



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**TEMA: SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE MOVIMIENTOS TELÚRICOS EN LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**AUTOR: SALAS VILLARREAL CRISTOPHER ALEJANDRO**

**DIRECTOR: ING. LUIS SUÁREZ ZAMBRANO, Mgs.**

**IBARRA- ECUADOR**

**2020**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0401537196		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Salas Villarreal Cristopher Alejandro		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Tulcán		
<b>EMAIL:</b>	casalas@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	06-224 5523	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0993057525

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE MOVIMIENTOS TELÚRICOS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
<b>AUTOR (ES):</b>	Salas Villarreal Cristopher Alejandro
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	30/11/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Luis Suárez Zambrano, Mgs

Firma: 

Nombre: Christopher Salas 040153719-6



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CONSTANCIA**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

En la ciudad de Ibarra, 30 de noviembre de 2020

El Autor:

Salas Villarreal Cristopher Alejandro

C.I.: 040153719-6



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN**

INGENIERO LUIS EDILBERTO SUÁREZ ZAMBRANO Mgs, DIRECTOR DEL PRESENTE  
TRABAJO DE TITULACIÓN.

**CERTIFICA:**

Que, el presente Trabajo de Titulación **“SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE MOVIMIENTOS TELÚRICOS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”** fue desarrollado en su totalidad por el Sr. Christopher Alejandro Salas Villarreal, portador de la cédula de identidad número: 040153719-6, bajo mi supervisión.

Ing. Luis Suárez Zambrano, Mgs.

**DIRECTOR DE PROYECTO**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo de grado a quienes creyeron y guiaron mi camino, sin conocer lo que me  
depararía en el futuro.*

*Cristopher Salas*



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

#### AGRADECIMIENTO

A Dios

Por darme la vida y permanecer siempre conmigo, guiándome en todo momento por más difíciles que haya resultado el camino.

A mis Padres,

El sacrificio y esfuerzo que me han dedicado, se refleja en las metas alcanzadas y el grande amor que brindan a todos sus hijos. Gracias a mis padres quiénes son mi motor para seguir adelante y orgullosamente y con la frente en alto agradezco a Alejandro Salas y Amparo Villarreal por mi mayor meta alcanzada.

A mi hermana y hermano,

Gracias Camila y Joel por haber dedicado tiempo a resolver mis dudas y siempre en compañía en todo el proceso de mi carrera a pesar de la distancia, siempre con su humor y ocurrencias se los agradezco desde el fondo de mi alama.

A mi novia,

Gracias Naty por ser la compañía en mis estudios en toda la carrera y en este Trabajo de Grado, gracias por estar conmigo en mis errores y mis aciertos, y por ser la persona que encontré y encuentro cobijo en todo momento y en quién puedo confiar.

A mi Director,

Por haber compartido su conocimiento en todo el proceso del desarrollo de mi trabajo de grado, para que culmine con éxito mi carrera.

A mis Asesores,

Por brindarme su tiempo en la guía de este proceso y poder culminar mi carrera con éxito.

## ÍNDICE

<b>IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....</b>	<b>I</b>
<b>CONSTANCIA.....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
1.1. Problema.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Alcance.....	3
1.4. Justificación.....	4
<b>2. Capítulo 2 .....</b>	<b>6</b>
2.1. Terremoto .....	6
2.1.1. Entorno sísmico del Ecuador. ....	7
2.1.2. Historial sísmico del Ecuador .....	9
2.1.3. Estructura de los terremotos.....	10
2.1.4. Ondas sísmicas.....	12
2.1.4.1. Ondas P.....	13
2.1.4.2. Ondas S.....	14
2.1.4.3. Onda Rayleigh. ....	14
2.1.4.4. Onda Love. ....	15
2.1.5. Medidas físicas de un terremoto. ....	15
2.1.5.1. Magnitud.....	16
2.1.5.2. Intensidad.....	18
2.1.5.3. Energía.....	18

2.1.6.	Escalas de magnitud sísmica.....	19
2.1.6.1.	Escala de Richter .....	19
2.1.6.2.	Escala de Mercalli .....	20
2.2.	Formas de medición de los sismos.....	23
2.2.1.	Global Positioning System (GPS).....	23
2.2.1.1.	Funcionamiento. ....	23
2.2.2.	Sismógrafos.....	24
2.2.2.1.	Red Nacional de Sismógrafos del Ecuador .....	25
2.2.3.	Acelerómetros.....	26
2.2.3.1.	Medidas de aceleración. ....	27
2.2.3.2.	Tipos de Acelerómetros.....	28
2.2.3.3.	Red Nacional de Acelerógrafos del Ecuador.....	29
2.2.3.4.	Detección de movimientos telúricos utilizando el acelerómetro de los smartphones. ....	31
2.3.	Vibración de los edificios.....	33
2.3.1.	Respuesta dinámica de los edificios. ....	34
2.3.2.	Mediciones de Vibraciones Ambientales (MVA).....	34
2.4.	Plan de Emergencia Institucional del Ecuador.....	35
2.5.	Sistemas basados en los Programable Logic Controller. ....	35
2.5.1.	Estructura. ....	36
2.5.2.	Funcionamiento de los PLC.....	37
2.6.	Plataformas de uso libre .....	39
2.6.1.	Arduino. ....	39
2.6.2.	Raspberry Pi.....	40
2.6.3.	Ventajas y desventajas del Arduino y Raspberry .....	40
2.7.	Redes inalámbricas.....	42
2.7.1.1.	6LoWPAN.....	43
2.7.1.2.	ZigBee .....	43
<b>3.</b>	<b>Capítulo 3. Desarrollo e implementación. ....</b>	<b>48</b>
3.1.	Metodología .....	48
3.2.	Modelo en V.....	48
3.3.	Análisis.....	49
3.4.	Campus Universidad Técnica del Norte.....	50
3.4.1.	Edificios del campus universitario.....	50
3.4.2.	Equipos actuales del sistema de evacuación inalámbrico.....	51



3.4.2.1.	PLC S7 1200.....	51
3.4.2.2.	Soluciones de Telemetría Wireless.....	52
3.4.3.	Infraestructura del Sistemas de Alarmas de la Universidad Técnica del Norte.	55
3.4.3.1.	Los pulsadores de Emergencia. ....	57
3.4.3.2.	Luces estroboscópicas con sirena. ....	57
3.4.4.	Modos de operación del Sistema de Evacuación. ....	58
3.4.4.1.	Siniestro de facultad. ....	58
3.4.4.2.	Siniestro en todo el campus universitario. ....	58
3.5.	Situación actual. ....	59
3.6.	Propósito y ámbito del sistema.....	60
3.7.	Definición de especificaciones y requerimientos.....	60
3.7.1.	Identificación de los Stakeholders. ....	61
3.7.2.	Requerimientos de los Stakeholders. ....	61
3.7.3.	Requerimientos iniciales del sistema. ....	62
3.7.4.	Requerimientos del sistema. ....	63
3.7.5.	Requerimientos de arquitectura. ....	63
3.8.	Descripción del funcionamiento del sistema de alerta temprana. ....	64
3.9.	Selección de hardware.....	67
3.9.1.	Bloque de sensores.....	68
3.9.1.1.	Selección del dispositivo de medición de sismos.....	68
3.9.1.2.	Requerimientos de los sensores acelerómetros. ....	69
3.9.1.3.	Selección de acelerómetro. ....	69
3.9.2.	Diseño de la comunicación inalámbrica. ....	71
3.9.2.1.	Diagrama de red.....	72
3.9.2.2.	Presupuesto de enlace.....	73
3.9.2.3.	Pérdidas de potencia en el espacio libre. ....	74
3.9.2.4.	Comparación de datos calculados y datos obtenidos de Radio Mobile.....	79
3.9.2.5.	Presupuesto de enlace.....	79
3.9.3.	Bloque de comunicación.....	82
3.9.3.1.	Requerimientos del módulo inalámbrico.....	82
3.9.4.	Selección del módulo inalámbrico.....	83
3.9.4.1.	Topología de la red. ....	84
3.9.5.	Bloque del reloj.....	84
3.9.5.1.	Selección del reloj. ....	84
3.9.5.2.	Obtención Hora local GTM-5.....	85

3.9.6.	Bloque de la plataforma. ....	86
3.9.6.1.	Selección de plataforma para nodo principal. ....	86
3.9.6.2.	Selección de plataforma para nodo remoto. ....	87
3.9.7.	Bloque de interconexión. ....	89
3.10.	Selección de software. ....	90
3.10.1.	Sistema operativo. ....	91
3.10.2.	Lenguaje de programación. ....	92
3.11.	Diseño del sistema. ....	92
3.12.	Diseño del hardware. ....	94
3.12.1.	Diagrama de conexión nodo remoto. ....	96
3.12.2.	Diagrama de conexión nodo principal. ....	97
3.13.	Diseño del software. ....	98
3.13.1.	Bloque de la comunicación inalámbrica. ....	98
3.13.2.	Nodo remoto.....	100
3.13.2.1.	Comunicación serial xBee S2C. ....	100
3.13.2.2.	Comunicación I2C MPU6050. ....	101
3.13.3.	Nodo principal.....	104
3.13.3.1.	Comunicación serial xBee S2C. ....	105
3.13.3.2.	Comunicación I2C MPU6050. ....	105
3.13.3.3.	Hora local GMT-5. ....	106
3.13.3.4.	Velocidad de transmisión. ....	107
3.13.3.5.	Bloque de interconexión. ....	108
3.14.	Implementación. ....	108
3.14.1.	Desarrollo de la placa base de los módulos y carcasa.....	109
3.14.2.	Base de los sensores. ....	110
3.14.3.	Ensamblaje del Nodo Remoto.....	111
3.14.4.	Ensamblaje del Nodo principal. ....	112
<b>4.</b>	<b>Capítulo 4. Análisis y Resultados .....</b>	<b>114</b>
4.1.	Comunicación inalámbrica.....	114
4.1.1.	Pruebas de transmisión. ....	115
4.1.1.1.	Prueba de rango de radio. ....	116
4.1.1.2.	Prueba de velocidad de transmisión. ....	117
4.1.1.3.	Canales en la zona. ....	118
4.1.1.4.	Recepción de los paquetes.....	119
4.2.	Funcionamiento del sensor MPU6050. ....	120

4.2.1.	Análisis de la calibración del MPU6050. ....	120
4.3.	Análisis eléctrico. ....	124
4.3.1.	Corriente y voltaje del xBee. ....	124
4.3.2.	Corriente y voltaje del MPU6050. ....	124
4.3.3.	Consumo eléctrico ....	125
4.4.	Mediciones de las vibraciones ambientales en cada edificio. ....	126
4.4.1.	Vibraciones ambientales en el edificio Bienestar Universitario. ....	126
4.4.1.1.	Calibración del sensor en la zona de instalación. ....	126
4.4.1.2.	Captura de las aceleraciones en el edificio de Bienestar Universitario. ....	127
4.4.2.	Vibraciones ambientales en el edificio de la FICA. ....	129
4.4.2.1.	Calibración del sensor en la zona de instalación. ....	129
4.4.2.2.	Captura de las aceleraciones en el edificio FICA. ....	129
4.4.3.	Detección de vibraciones fuertes. ....	130
4.4.4.	Funcionamiento de interconexión. ....	131
4.5.	Costo. ....	132
<b>5.</b>	<b>Capítulo 5</b> .....	<b>137</b>
5.1.	CONCLUSIONES .....	137
5.2.	RECOMENDACIONES .....	138
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>140</b>
	<b>ANEXO A</b> .....	<b>147</b>
	<b>ANEXO B</b> .....	<b>151</b>
	<b>ANEXO C</b> .....	<b>156</b>
	<b>ANEXO D</b> .....	<b>158</b>
	<b>ANEXO E</b> .....	<b>161</b>
	<b>ANEXO F</b> .....	<b>167</b>
	<b>ANEXO G</b> .....	<b>169</b>
	<b>ANEXO 1</b> .....	<b>170</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Configuración tectónica regional. ....	8
Figura 2: Mapa de peligrosidad sísmica del Ecuador. ....	8
Figura 3: Zonificación sísmica del Ecuador del CEC-2000. ....	9
Figura 4: Hipocentro. ....	10
Figura 5: Estructura del terremoto. ....	11
Figura 6: Falla de San Andrés. ....	12
Figura 7: Resumen partes de un terremoto. ....	12
Figura 8: Onda P. ....	13
Figura 9: Onda S. ....	14
Figura 10: Onda Rayleigh. ....	15
Figura 11: Onda Love. ....	15
Figura 12: GPS Tsunami detector. ....	24
Figura 13: Sismógrafo. ....	25
Figura 14: Distribución de las estaciones de la Red Sísmica Nacional Instituto Geofísico (RENSIG) hasta el año 2012. Fuente: (Pino, 2014). ....	26
Figura 15: Diagrama de Acelerómetro Capacitivo. ....	28
Figura 16: Diagrama de Acelerómetro MEMS. ....	29
Figura 17: Distribución espacial de las estaciones de la Red Nacional de Acelerógrafos. ....	30
Figura 18: Sensores internos de un smartphone. ....	31
Figura 19: Ejes del acelerómetro en el smartphone. ....	32
Figura 20: Teorema en base a las tres dimensiones. ....	32
Figura 21: Interfaz de aplicación detectora de sismos. ....	33
Figura 22: Modos de vibración de un edificio. ....	34
Figura 23: Programming Logic Controller del Sistema de Alarmas de la Universidad Técnica del Norte. ....	36
Figura 24: Estructura general del PLC. ....	37
Figura 25: Diagrama de ciclos de operación del PLC. ....	38
Figura 26: Esquema del área de cobertura de las redes wireless. ....	43
Figura 27: Modelo de capas de la tecnología Zigbee. ....	44
Figura 28: Dirección MAC del módulo Zigbee S2CTH. ....	46
Figura 29: Topologías de la tecnología Zibgee. ....	46

Figura 30: Etapas del modelo en V.....	49
Figura 31: Campus Universidad Técnica del Norte.....	50
Figura 32: Conexiones WRemote.....	53
Figura 33: Tablero de comunicación inalámbrica .....	54
Figura 34: Sistema de Alarmas UTN.....	56
Figura 35: Pulsador de Pánico .....	57
Figura 36: Botón de pánico.....	58
Figura 37: Botón de Pánico General.....	59
Figura 38: Arquitectura del sistema de alerta temprana. ....	66
Figura 39: Topología de la red, foto superior de los edificios de la UTN. ....	72
Figura 40: Diagrama de la red. ....	72
Figura 41: Perfil Topográfico entre el NoRe-NoPr. ....	75
Figura 42: Línea de Vista.....	76
Figura 43: Topología de la red.....	84
Figura 44: Relé como interruptor.....	89
Figura 45: Diagrama de bloques del sistema. ....	93
Figura 46: Diagrama de flujo del sistema. ....	94
Figura 47: MPU6050. ....	95
Figura 48: Diagrama de pines xBee S2C.....	96
Figura 49: Diagrama de conexión del nodo remoto.....	97
Figura 50: Diagrama de conexión del nodo principal.....	98
Figura 51: Software XCTU, parámetros de configuración.....	99
Figura 52:Diagrama de flujo del nodo remoto.....	100
Figura 53: Diagrama de flujo del nodo principal.....	104
Figura 54: Diseño de la placa base de los módulos. ....	109
Figura 55: Diseño de la baquelita. ....	109
Figura 56: Placa base con el módulo xBee S2C. ....	110
Figura 57: Disposición interna de los módulos inalámbricos.....	110
Figura 58: Base de los sensores MPU6050.....	111
Figura 59: Instalación del Nodo Remoto. ....	111
Figura 60: Case Raspberry Pi 3B.....	112
Figura 61: Instalación del Nodo Principal. ....	113
Figura 62: Nodo remoto agregado a la red PAN ID 2023. ....	114
Figura 63: Distancia entre los dos nodos. ....	115

Figura 64: Línea de vista al edificio Facultad FICA.....	116
Figura 65: Test de rango de la red. ....	116
Figura 66: Throughput de la red a 60 segundos.....	117
Figura 67: Throughput a 10 segundos. ....	118
Figura 68: Canales óptimos del nodo principal. ....	119
Figura 69: Recepción de datos en el XCTU. ....	119
Figura 70: Transmisión de datos entre los nodos.....	120
Figura 71: Sensor del nodo remoto antes de la calibración .....	121
Figura 72: Sensor del nodo remoto después de la calibración.....	122
Figura 73: Sensor del nodo principal antes de la calibración. ....	123
Figura 74: Sensor del nodo principal después de la calibración.....	123
Figura 75: Corriente módulo xBee. ....	124
Figura 76: Consumo de corriente en operación. ....	125
Figura 77: Primera medición en el edificio de Bienestar Universitario.....	128
Figura 78: Segunda medición en el edificio de Bienestar Universitario. ....	128
Figura 79: Medición de vibraciones en el edificio FICA. ....	130
Figura 80: Simulación de vibraciones fuertes.....	131
Figura 81: Detección de vibración fuerte.....	131
Figura 82: Activación de la alarma.....	132
Figura 83: Activación de la alarma física. ....	132
Figura 84: Ventana de búsqueda de dispositivos xBee.....	162
Figura 85: Ventana de selección de xBee. ....	162
Figura 86: Configuración del nodo Coordinador.....	164
Figura 87: Configuración del nodo END-DEVICE.....	165
Figura 88: XCTU, comunicación serial entre los dos módulos xBee.....	166

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de Richter .....	19
Tabla 2: Escala de Mercalli.....	21
Tabla 3: Ventajas e inconvenientes del Arduino. ....	40
Tabla 4: Ventajas e inconvenientes del Raspberry. ....	40
Tabla 5: Tabla de comparación entre Arduino y Raspberry. ....	41
Tabla 6: Resumen bandas de la tecnología Zigbee. ....	45
Tabla 7: Nomenclatura de los requerimientos. ....	60
Tabla 8: Tabla de Stakeholders.....	61
Tabla 9: Requerimientos de los stakeholders.....	61
Tabla 10: Requerimientos iniciales del sistema. ....	62
Tabla 11: Requerimientos del sistema. ....	63
Tabla 12: Requerimientos de arquitectura .....	63
Tabla 13: Selección del dispositivo de medición de los sismos. ....	68
Tabla 14: Características de los acelerómetros .....	69
Tabla 15: Comparativa de los diferentes acelerómetros en el mercado.....	70
Tabla 16: Análisis y comparación de los sensores acelerómetros .....	70
Tabla 17: Coordenadas de los nodos. ....	72
Tabla 18: Especificaciones técnicas de módulos inalámbricos. ....	73
Tabla 19: Comparación de datos.....	79
Tabla 20: Resumen de módulos inalámbricos. ....	83
Tabla 21: Comparativa de formas de obtención de tiempo real. ....	85
Tabla 22: Selección del reloj.....	85
Tabla 23: Comparación de los Raspberry Pi del mercado. ....	86
Tabla 24: Selección de la plataforma principal.....	87
Tabla 25: Comparación de los Arduinos en el mercado. ....	88
Tabla 26: Comparativa de los SO .....	91
Tabla 27: Selección del SO.....	91
Tabla 28: Selección del lenguaje de programación .....	92
Tabla 29: Conexiones del Arduino. ....	96
Tabla 30: Conexión Raspberry Pi con sus módulos. ....	97
Tabla 31: Configuración de parámetros xBee XCTU.....	99

Tabla 32: Rangos de aceleraciones del MPU6050. ....	101
Tabla 33: OFFSETs medidos Nodo Principal. ....	127
Tabla 34: OFFSETs medidos Nodo Remoto. ....	129
Tabla 35: Precio del sistema de alerta temprana UTN. ....	132
Tabla 36: Precio de los materiales utilizados para la fabricación. ....	133
Tabla 37: Costo por nodo remoto. ....	134
Tabla 38: Costo de operación. ....	135
Tabla 39: Resumen de configuración de los módulos xBee S2C. ....	165



## RESUMEN

En la actualidad el impacto que tiene los terremotos en nuestra sociedad es mucho mayor que hace 100 o 200 años, uno de los principales factores es el desarrollo urbano, densificación de la población y construcción de edificios cada vez más altos, siendo un beneficio muy importante para una población y país, pero conlleva un riesgo importante contra uno de los fenómenos más devastadores e impredecibles como son los terremotos. Por tanto, la sociedad ha dedicado esfuerzos para la predicción de estos fenómenos y varios estudios de su composición.

Los sistemas de alerta temprana telúricos son sistemas que tienen como propósito la prevención o aviso temprano de los terremotos para alertar a las personas que se refugien o salgan de sus ubicaciones actuales a zonas seguras.

Este sistema será capaz de alertar u optimizar los tiempos de reacción gracias al sistema de alerta temprana, reduciendo la activación de la alarma de la universidad a unos pocos milisegundos después de detectado un terremoto. El sistema está conformado por dos nodos, un Nodo Remoto que está ubicado en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (FICA) y el Nodo Principal está ubicado en el Edificio de Bienestar Universitario, en el Departamento de Seguridad y Gestión de Riesgos. Estos nodos están conectados de forma inalámbrica para el envío de datos desde el Nodo Remoto al Nodo Principal, y el sistema principal dará la alerta o no en base a los datos recibidos por el sensor remoto y local, discriminando los datos en casos de aceleraciones que no correspondan a un sismo. El sistema estará conectado al sistema de evacuación inalámbrica de la universidad para que reciba la alarma y así lanzar una alarma a nivel del campus universitario y prevenir lesiones o pérdidas humanas.

## **ABSTRACT**

Today the impact of earthquakes on our society is much greater than 100 or 200 years ago, one of the main factors is the urban development, population densification and construction of higher buildings, being a very profit important for a population and country, but carries a significant risk against one of the most devastating and unpredictable natural phenomena such as earthquakes. Therefore, the society has devoted efforts to the prediction of these phenomena and various studies of their composition.

Teluric early warning systems are systems that aim to prevent or warn earthquakes early to alert people to take refuge or leave their current locations to safe areas.

This system will be able to alert or optimize reaction times thanks to the early warning system, reducing the activation of the university alarm to a few milliseconds after an earthquake is detected. The system consists of two nodes, a Remote Node that is located in the Department of Engineering and Applied Sciences (FICA) and the Main Node is located in the University Welfare Building, in the Department of Security and Risk Management. These nodes are connected wirelessly for sending data from the Remote Node to the Primary Node, and the host will or will not alert based on data received by the remote and local sensor, discriminating against the data in cases of accelerations that you don't run put an earthquake. The system will be connected to the university's wireless evacuation system to receive the alarm to raise an alarm at the university campus level and prevent human injury or loss.

## Capítulo 1

### 1.1. Problema

La Universidad Técnica del Norte es una institución de educación superior creada en el año de 1986, se ubica en Ibarra, Ecuador, siendo referente en el norte del país, está conformada por diferentes edificios: Facultades, Administración Central, Bienestar Universitario, Postgrados, Polideportivo e institutos; en cada uno de estos edificios existe el sistema de alerta para cualquier emergencia, conformado por botón de pánico que, al ser presionado envía una cadena de mensajes que activan las luces de emergencia, alarma sonora en toda la Universidad y este sistema está conectado a un PLC en Administración Central, por medio de un mensaje se notifica al Departamento de Seguridad de la Universidad para que ejecute los respectivos protocolos; existe un inconveniente en el sistema, al momento de que ocurre un sismo debe ser activado por una persona dentro de un edificio para generar la alarma, siendo ineficiente para el Departamento de Seguridad.

Para la Universidad Técnica del Norte, que por medio de observación se da a notar la falta de preparación por parte de las personas al momento de suscitarse un sismo, como ejemplo: estar golpeando a las puertas para que puedan evacuar el edificio, de no sentir el terremoto cuando está ocurriendo, de activar el sistema de alarma de la universidad de manera manual para dar aviso al Departamento de Seguridad y así actuar tardíamente, desperdiciando segundos valiosos para ejecutar los respectivos protocolos que el Departamento de Seguridad tiene, ya que anteriormente el Departamento de seguridad disponía que al momento que ocurra un sismo o temblor esperar 20 segundos y luego evacuar, pero ahora los tiempos son críticos y como los sucesos de temblor son más frecuentes, lo que el departamento decidió que sea de manera inmediata la evacuación, pero con los problemas mencionados anteriormente se les dificulta, por tanto la Universidad Técnica del Norte, no se encuentra preparada.

Para lo cual implementar un sistema de alerta temprana es imprescindible para que detecte estas variaciones de movimiento o vibraciones al suscitarse el temblor y active de manera automática una alerta temprana para evacuar los edificios y ayudar al Departamento de Seguridad enviando una notificación para ejecución del protocolo, y poder así actuar antes de que pueda suscitarse en mayor grado el temblor o en casos extremos el colapso de un edificio, beneficiando a la comunidad universitaria como partes afectas directamente y al Departamento de Seguridad en eficiencia de sus tiempos de respuesta.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de alerta temprana acoplado al sistema de alarmas de la Universidad Técnica del Norte con notificación al Departamento de seguridad.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar estado del arte de los temas correspondientes al sistema de alarmas y al fenómeno natural.
- Definir requerimientos de hardware y software para el establecer las características de funcionalidad del sistema.
- Diseñar el sistema en base a los requerimientos de hardware, software y parámetros del sistema de alarmas de la Universidad Técnica del Norte para tener una visión más específica de la conexión entre el sistema de alerta temprana y el sistema de alarmas de la universidad.
- Construir un prototipo del sistema de alerta temprana en base a requerimientos establecidos.

- Implementar el prototipo al sistema de alarma de la Universidad Técnica del Norte en, y conexión al PLC para la notificación.
- Realizar las pruebas del prototipo para verificar el funcionamiento del sistema y evaluación del comportamiento del sistema para generar conclusiones de factibilidad del sistema.

### **1.3. Alcance**

Realizar los respectivos estudios acerca del sistema de alarmas de la Universidad, identificando partes, características y su funcionamiento. Se revisará bibliografía, base de datos acerca de sismos de cómo se suscita en sus diferentes movimientos y cómo poder detectarlos, determinar el mejor método para su análisis y medición del fenómeno natural.

En base a los estudios determinar que requerimientos el sistema necesitará, evaluar los diferentes sensores, determinar en qué edificios de la universidad se ubicarán los sensores y seleccionar la plataforma hardware y software libre adecuadas en costo-beneficio para el sistema.

Mediante la identificación de los requerimientos, diseñar el sistema de comunicación del sistema de alerta temprana y la conexión con el sistema de alarmas de la Universidad.

Se construirá el sistema con los diseños ya establecidos, se realizará las pruebas pertinentes de verificación de funcionalidad del prototipo y realizar modificaciones necesarias del diseño.

Una vez ya construido el sistema, se realizará recolección de datos en base al análisis de ubicación de los sensores en la universidad, para el estudio de los resultados y la creación de umbrales necesarios respecto al método establecido, para que de manera automática se

activen los sistemas de alarma si se excede los umbrales determinados y posteriormente comparación de datos para el descarte de falsos positivos que puedan ocurrir.

Se analizará la factibilidad del sistema de alerta temprana, para conocer el cumplimiento de los requerimientos y procesamiento de la información, evidenciando conclusiones y recomendaciones pertinentes al sistema de alerta temprana.

#### **1.4. Justificación**

En el Plan Nacional del Buen Vivir, Objetivo 3 menciona: Mejorar la calidad de vida de la población es un reto amplio que demanda la consolidación de los logros alcanzados en los últimos seis años y medio, mediante el fortalecimiento de políticas intersectoriales y la consolidación del Sistema Nacional de Inclusión y Equidad Social.

La Constitución, en el artículo 66, establece “el derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad social y otros servicios sociales necesarios”. Por ello, mejorar la calidad de vida de la población es un proceso multidimensional y complejo.

La implementación de este sistema ayudará a las personas afectadas directamente que son los estudiantes de cada facultad, dando un lapso de tiempo para poder evacuar y evitar pérdidas humanas, siendo los beneficiarios directos, y con la ayuda del Departamento de Seguridad de la universidad, manejarán de manera adecuada el control del protocolo al momento que ocurre un sismo.

Existen sistemas que permiten la detección de sismos, pero su detección y tiempo de respuesta varía grandemente donde ocurre el epicentro reduciendo así el margen de tiempo de seguridad de las personas, lo cual implementar un sistema de alerta temprana dentro de la

universidad ayude al Departamento de Seguridad y a la comunidad universitaria, a prevenir futuras tragedias provocadas por los sismos y/o terremotos.

Al momento de ocurrir un sismo las personas entran en un estado de alerta, lo que permite estar preparados para el escape, pero a veces es demasiado tarde el entender que está pasando y entran en pánico, por lo que dar un aviso o alarma antes de que se suscite el temblor, los prepara tanto en aspectos psicológicos como en físicos para la evacuación.

## Capítulo 2

### **Antecedentes y Situación actual del Sistema de alarmas de la Universidad Técnica del Norte**

En este capítulo se va a realizar el estado del arte acerca de los sismos, cuáles son sus partes que lo conforman, estudio del entorno sísmico del Ecuador y el nivel de peligrosidad de la actividad sísmica, también los efectos de los sismos en las estructuras y métodos para su medición, estudio de cómo pueden ser medidos estos sismos por medio de instrumentos tecnológicos en diferentes entornos, y las consecuencias en la región afectada. Además, se realizará el estudio de los Programmable Logic Controller (PLC) y de la situación actual del sistema de alarmas de la Universidad Técnica del Norte y como se conforma esta red.

#### **2.1. Terremoto**

Un terremoto también llamado sismo, temblor, temblor de tierra o movimiento telúrico, “es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas”(Zafra, 2017). Los más comunes se producen por la actividad de fallas geológicas siendo las principales causantes de estos fenómenos, también pueden ocurrir por otras causas, ejemplo, erupciones volcánicas o incluso pueden ser producidas por el hombre al realizar pruebas de detonaciones nucleares subterráneas o terrestres.

Existe un estudio muy amplio de estos terremotos y como se produce la liberación de energía, como se forman, cómo detectarlas y un reto muy grande de cómo predecirlas con la aplicación de nuevas tecnologías, siendo capaces de sentir movimientos de estas ondas sísmicas con gran sensibilidad y precisión, para dar un resultado de dónde fue el epicentro, intensidad, magnitud, profundidad y posteriormente las respectivas recomendaciones en normas de construcción, como resguardarse ante estos siniestros inesperados y mejoras en las



edificaciones que sean capaces de soportar estas vibraciones, ya que cuando estos fenómenos se presentan pueden tener un efecto devastador con una importante inversión económica en el país retrasando en su desarrollo, sin contar con las pérdidas humanas cuyo valor es inestimable.

La Tierra (nuestro planeta) está conformada por diferentes capas: la corteza, el manto y el núcleo; la corteza es una capa conformada por una docena de placas aproximadamente, llamadas placas Tectónicas, “las cuales han estado en un proceso de fricción, subducción y colisión”(EcuRed, 2016), dando forma a nuestro planeta Tierra durante millones de años, y ese proceso aun presente en nuestros días los sentimos con más magnitud por las edificaciones, con el riesgo de colapso principalmente en las zonas urbanas.

### **2.1.1. Entorno sísmico del Ecuador.**

El proceso de nacimiento de los terremotos son principalmente causados por el movimiento de las placas tectónicas, específicamente el Ecuador se encuentra ubicada en el límite de la Placa Tectónica de Suramericana y con la Placa de Nazca dentro de una zona llamada el “Anillo de Fuego”, zona la cual tiene una alta actividad sísmica; la Placa de Nazca se encuentran en un proceso de subducción con la placa Sudamericana (hundimiento de la placa) con una velocidad aproximada de “80mm/año con dirección Este-Oeste” (Trenkamp et al., 2002), siendo el Ecuador una región con alta probabilidad de un acontecimiento de este fenómeno; en la Figura 1 se observa la configuración tectónica en la que se encuentra el Ecuador, indicando la dirección del movimiento de la placa Nazca con la Sudamericana.

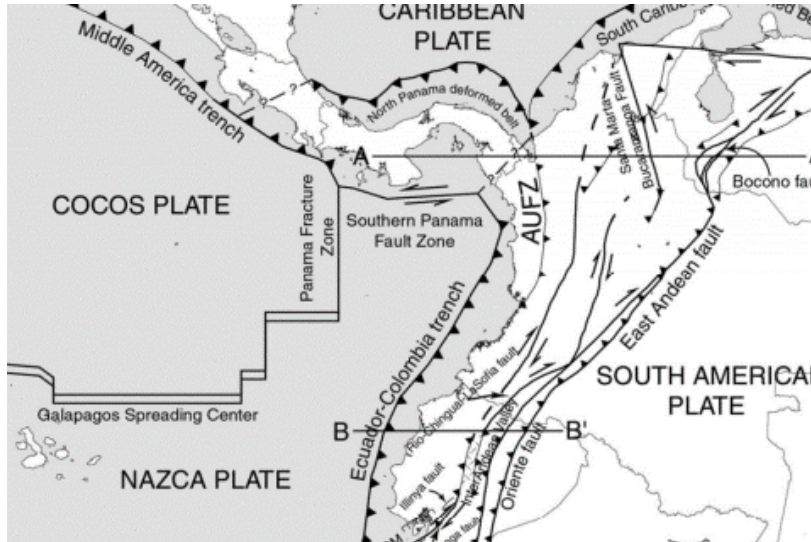


Figura 1: Configuración tectónica regional.

Fuente:(Trenkamp et al., 2002)

El Ecuador al estar en la zona de subducción tiene un alto riesgo de sismo, “a nivel mundial, se estima que en las zonas de subducción se libera la mayor cantidad de energía sísmica (alrededor de un 80%)” (Rivadeneira et al., 2007), en la Figura 2 se aprecia las regiones con valores altos de riesgos medidos en unidades de aceleración (Gales) especialmente en el litoral y zonas centrales, “los valores llega a ser de 750 gales en la ciudad de Manta y cercano a los 625 en la ciudad de Esmeraldas, en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca presentan valores aproximados de 350, 520 y 450 gales respectivamente” (Ortiz, 2013).

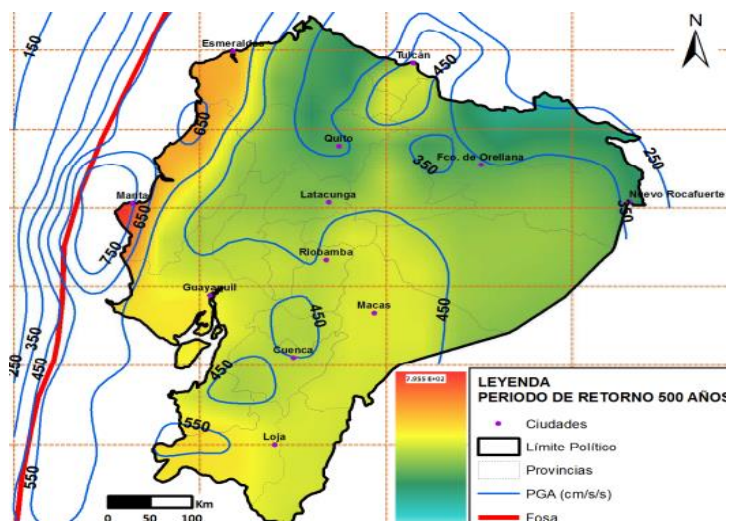


Figura 2: Mapa de peligrosidad sísmica del Ecuador.

Fuente: (Ortiz, 2013)

En la Figura 3 se presenta el mapa de zonificación sísmica estipulado en el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000 y que fue obtenido de un estudio de peligrosidad sísmica para estructuras que tienen “una vida útil de 50 años y con una probabilidad de excedencia del 10%” (Aguiar, 2008).

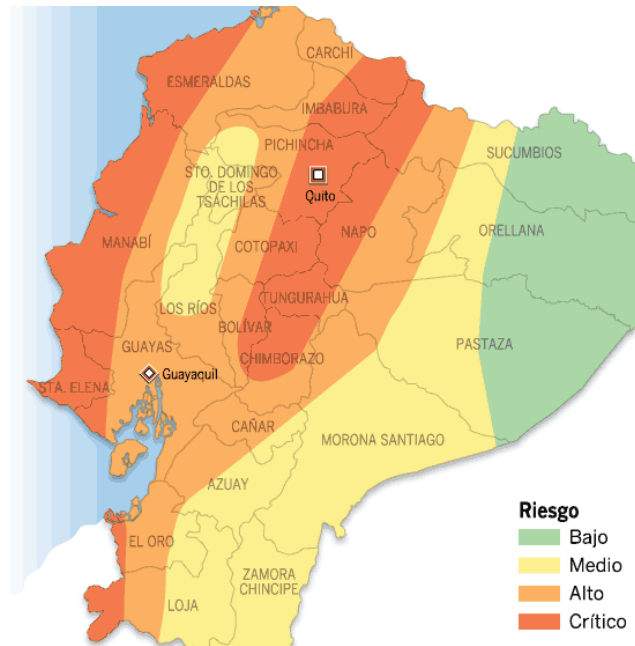


Figura 3: Zonificación sísmica del Ecuador del CEC-2000.

Fuente: (CEC, 2000)

Los estudios realizados por (Ortiz, 2013) y (CEC, 2000) coinciden que las zonas con mayor peligrosidad sísmica son las zonas costeras, central y norte del Ecuador, y con menor actividad sísmica en el oriente, con estos datos las normas especifican que las infraestructuras deben soportar aceleraciones de “400 Gal [ $\frac{cm}{s^2}$ ]” (Ortiz, 2013) o “0.4g - 392 Gal” (CEC, 2000).

### 2.1.2. Historial sísmico del Ecuador

El Ecuador al estar ubicada en los límites de las Placas Nazca y Placa Sudamericana, está en una zona con alta actividad sísmica tiene un extenso registro sísmico, con secuelas presentes hoy en día, los registros que se mencionarán a continuación son algunos de los que han remarcado en la historia del Ecuador:

- Terremoto del 4 de febrero, 1797, con epicentro en Riobamba y de Magnitud 8,3.
- Terremotos del 15 de agosto de 1868 y el 16 de agosto de 1868 con epicentro en El Ángel provincia del Carchi y Atuntaqui Imbabura respectivamente, con una magnitud de 6,3 y 7,2.
- El terremoto más reciente sucedió el 16 de abril del 2016, con epicentro en Pedernales provincia de Manabí y en la escala de Richter de 7,8.

### 2.1.3. Estructura de los terremotos.

Los terremotos se componen de cuatro partes fundamentales y en cada una de ellas hay un amplio estudio de como medir, cálculo de su energía y las consecuencias que acarrea en la superficie. A continuación, se resumirá brevemente la composición de los terremotos y su formación:

- **El hipocentro:** lugar donde sucede el terremoto mayormente en el interior de la tierra por causas de una falla geológica o desplazamiento de las placas, también llamado foco; aquí se concentra la mayor cantidad energía o que se proyecta con mayor intensidad tal como se observa en la Figura 4, en el hipocentro se originan las ondas sísmicas tanto las ondas primarias “ondas p” y ondas secundarias “ondas s”, y también como consecuencia las ondas superficiales.

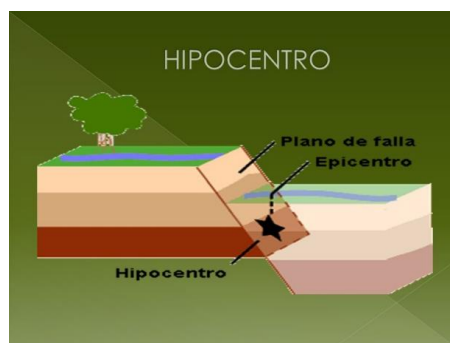


Figura 4: Hipocentro.

Fuente: Canonical

- **El epicentro:** es el punto de la superficie más cercano al hipocentro como se ve en la Figura 5, siendo lugar de origen para las ondas superficiales, como las ondas LOVE y las ondas RAYLEIGH, las cuales son las causantes de la mayor destrucción dependiendo también del volumen de la falla.



Figura 5: Estructura del terremoto.

Fuente: Epicentro Geográfico.com

- **Las ondas sísmicas:** Las ondas sísmicas son producidas por el movimiento natural de las placas tectónicas en periodos cortos y en diferentes magnitudes e intensidades, en el caso que ocurre un terremoto estas ondas sísmicas son de mayores proporciones, propagándose de manera esférica originadas en el hipocentro como se puede observó en la Figura 5.
- **Falla:** son los límites entre las placas, donde se produce el rozamiento, desplazamiento y liberación de energía en forma de terremotos, conociendo la frecuencia con que se desplaza estas fallas, con los datos históricos de desplazamiento se puede hacer una aproximado o una predicción del siguiente terremoto, en la Figura 6 se presenta uno de los casos más apreciables del desplazamiento de fallas, la Falla de San Andrés una de las más reconocibles y estudiadas en el campo y a nivel general.



Figura 6: Falla de San Andrés.

Fuente: National Science Foundation

En la Figura 7 se resume como está estructurado el fenómeno natural, se observa el Hipocentro que genera las ondas internas (Ondas P y Ondas S), y el epicentro formando las ondas superficiales (Ondas Rayleigh y Ondas Love).

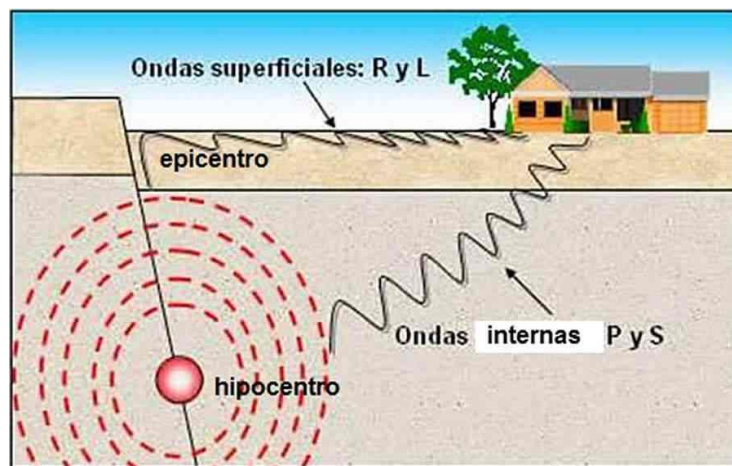


Figura 7: Resumen partes de un terremoto.

Fuente: Partesdel.com

#### 2.1.4. Ondas sísmicas.

Llamamos ondas sísmicas a las ondas que se propagan en el interior y superficie de la Tierra. Mucho de lo que sabemos acerca de la Tierra procede del estudio de “cómo éstas viajan a través de diferentes tipos de materiales y su velocidad”(Zafra, 2017).

Las ondas sísmicas se clasifican en dos grupos, “las ondas de cuerpo o volumétricas que se propagan al interior del suelo, y las superficiales, que se propagan a lo largo de un volumen muy reducido cerca de la superficie terrestre”(Aristizabal et al., 2012).

Las ondas volumétricas se generan en el foco del terremoto o llamado hipocentro generando las ondas principales y las ondas secundarias, conocidas como ondas p y ondas s, mientras que “las ondas superficiales se propagan en zonas de discontinuidad en el interior de la Tierra y por la superficie libre de la Tierra”(Sergio et al., 2014).

El estudio de los tipos de ondas nos ayudará al entendimiento de los terremotos y construir diversos mecanismos que sean capaces de detectarlos y edificaciones resistentes ante estas.

#### **2.1.4.1. Ondas P.**

Las ondas P (ondas primarias) se denominan así porque son las primeras en llegar a la superficie de la Tierra. Su velocidad de propagación es aproximadamente de “7,5 kilómetros por segundo  $\left[\frac{km}{s}\right]$ ”(Zafra, 2017). Las ondas P son ondas longitudinales que se propagan produciendo oscilaciones del material, semejante a las ondas sonoras, de forma que se comprime y dilata el terreno, como se puede observar en la *Figura 8*.

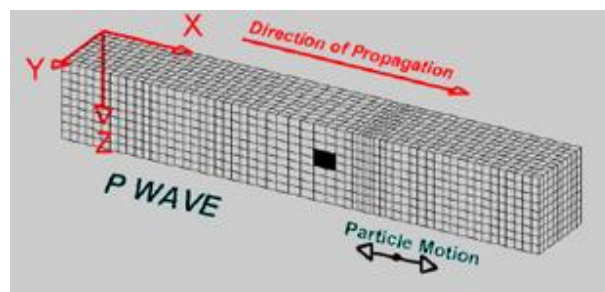


Figura 8: Onda P.

Fuente: (Universidad de Alicante, 2014)



#### 2.1.4.2. Ondas S.

Las ondas S (ondas secundarias) deben su nombre al hecho de que llegan a la superficie de la Tierra después de las ondas P, en segundo lugar. “Las ondas S tienen una velocidad de propagación de alrededor de 4,2 kilómetros por segundo  $[\frac{km}{s}]$ ”(Zafra, 2017), aunque estas también varían de acuerdo con el material en el que se propagan, aumentando o disminuyendo su velocidad. Las ondas S son ondas transversales y “sus partículas vibran perpendiculares a la dirección de propagación”(Aristizabal et al., 2012), como se observa en la Figura 9, una diferencia con las ondas P es que este tipo de ondas no se puede propagar en los fluidos.

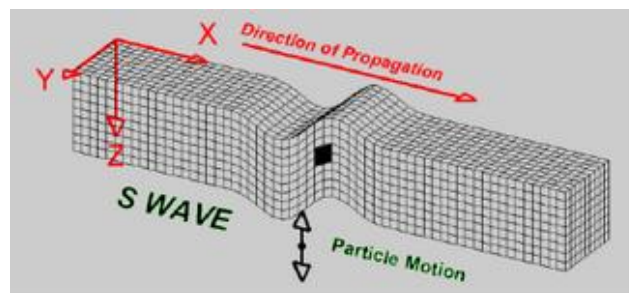


Figura 9: Onda S.

Fuente: (Universidad de Alicante, 2014)

#### 2.1.4.3. Onda Rayleigh.

Las ondas Rayleigh, también denominadas **GROUND ROLL**, como se observa en la Figura 10, son ondas superficiales que producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo. La existencia de estas ondas fue predicha por John William Strutt, Lord Rayleigh, en 1885. Son ondas más lentas que las ondas internas y su velocidad de propagación es “casi un 90% de la velocidad de las ondas S”(Aristizabal et al., 2012), estas ondas y en conjunto con la Onda Love son las causantes del mayor grado de destrucción por el hecho de ser superficiales.



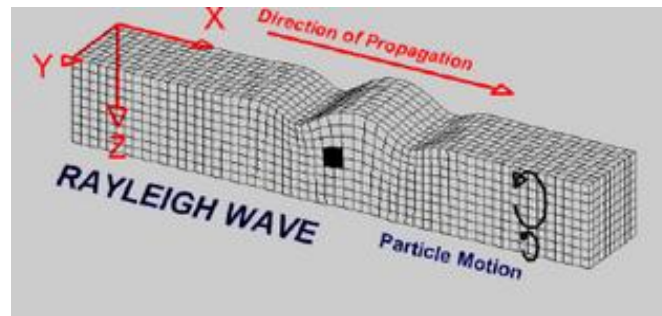


Figura 10: Onda Rayleigh.

Autor: (Universidad de Alicante, 2014)

#### 2.1.4.4. Onda Love.

Las ondas de Love son ondas superficiales que producen un movimiento horizontal de corte en superficie como se observa en la Figura 11. Se denominan así en “honor al matemático Augustus Edward Hough Love del Reino Unido”(Zafra, 2017). La velocidad de las ondas Love es un “90% de la velocidad de las ondas S y es ligeramente superior a la velocidad de las ondas Rayleigh” (Zafra, 2017).

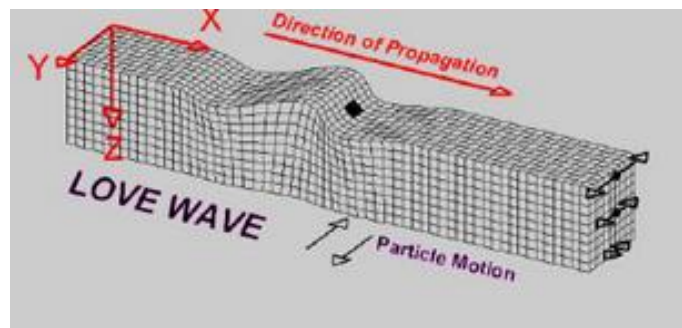


Figura 11: Onda Love.

Autor: (Universidad de Alicante, 2014)

#### 2.1.5. Medidas físicas de un terremoto.

Los terremotos como otros fenómenos naturales presentan magnitudes físicas que pueden ser medidos a través de diversos mecanismos, para poderlos interpretar y realizar una aproximación de lo que sucede internamente del fenómeno.

### 2.1.5.1. Magnitud.

El concepto de magnitud fue introducido en 1935 por Charles Francis Richter, sismólogo del Instituto de Tecnología de California, para medir los terremotos locales y así poder estimar la energía por ellos liberada a fin de ser comparados con otros terremotos. La magnitud está asociada a una función logarítmica calculada a partir de la amplitud de la señal registrada por el sismógrafo (Magnitud local, magnitud de ondas superficiales, magnitud de ondas de volumen) o a partir de su duración (magnitud de duración) sobre el sismograma.

Existen diferentes escalas de magnitud que dependen del tipo de onda sísmica que se utiliza para medir el tamaño del terremoto, siendo las más importantes las siguientes:

- **Magnitud local (ML):** La definición de magnitud local (ML) o también conocida como escala sismológica de Richter tiene una relación directa con la parte de la sismología dedicada a los movimientos fuertes del suelo”(Fernando et al., 2019), está expresada en la Ecuación ( 1 ) en una escala logarítmica decimal de la amplitud máxima del registro del sismo en un sismógrafo del tipo “Wood-Anderson (WA) de torsión horizontal” (Zafra, 2017).

$$ML = \text{Log}A(\Delta) - \text{Log}A_0(\Delta) \qquad \text{Ecuación ( 1 )}$$

Donde:

**A y A<sub>0</sub>:** representan a las amplitudes máximas de un terremoto registrado

**Δ:** distancia para el terremoto de magnitud *ML* y magnitud cero de las amplitudes máximas.

- **Magnitud de ondas superficiales:** Magnitud válida para terremotos con foco superficial en donde la amplitud máxima debe ser medida en el modo fundamental de la onda Rayleigh con periodo (T) entre 18 y 22 segundos.

$$M_s = \text{Log} \left( \frac{A}{T} \right) + 1.66 \log \Delta + 3.3 \quad \text{Ecuación ( 2)}$$

Donde:

**A:** La amplitud máxima de un registro

**T:** El periodo del modo fundamental

$\Delta$ : Distancia del terremoto

- **Magnitud de ondas de volumen:** Magnitud calculada a partir de la relación  $\left[ \frac{A}{T} \right]$  de la componente vertical para una onda P. Esta magnitud es válida para terremotos ocurridos a diferentes profundidades y a distancias comprendidas entre 5° y 90°.

$$m_b = \log \left( \frac{A}{T} \right) + Q(\Delta, h) \quad \text{Ecuación ( 3)}$$

Donde:

**A:** Amplitud máxima de un registro

**T:** Periodo fundamental

**Q:** Profundidad

$\Delta$ : Distancia del terremoto

- **Magnitud de duración (MD):** Magnitud válida para sismos de magnitud menor a 5, ocurridos a distancias menores a 200 km. Esta magnitud se basa en medir la duración

de la señal del registro del terremoto [ $t$ ] después del arribo de la onda P hasta cuando la amplitud de la señal se confunde con el ruido de fondo.

$$MD = a + b \log t + c \log t^2 + d\Delta \quad \text{Ecuación ( 4)}$$

Donde:

**$t$** : es la duración del registro del terremoto en segundos

**$\Delta$** : la distancia epicentral en km.

**$a, b, c$  y  $d$** : son constantes determinadas para cada estación.

#### ***2.1.5.2. Intensidad.***

La intensidad no permite medir el movimiento del suelo, pero si los efectos que ellos producen en la superficie en donde causan daños a las construcciones, materiales y la vida de las personas.

A fin de no confundir magnitud e intensidad, dos terremotos de igual magnitud pueden generar en la superficie intensidades máximas muy diferentes debido a varios factores como la composición del suelo, las edificaciones, entre otros.

#### ***2.1.5.3. Energía.***

La Energía [ $E$ ] total liberada por un terremoto es difícil de calcular con precisión, debido a que ella es la suma de la energía disipada en forma térmica por la deformación en la zona de ruptura y la energía emitida como ondas sísmicas, la única que puede ser estimada a partir de los sismogramas. Se ha mencionado que la magnitud está relacionada con la energía disipada en forma de ondas; por lo tanto, Gutenberg y Richter (1956) establecieron las siguientes relaciones correspondientemente:

$$\text{Log } E = 5.8 + 2.4 m_s \quad \text{Ecuación ( 5)}$$

$$\text{Log } E = 11.8 + 1.5 M_s \quad \text{Ecuación ( 6)}$$

### 2.1.6. Escalas de magnitud sísmica.

Las escalas para medir un terremoto varían de acuerdo con la magnitud y su intensidad, como resultado de estos parámetros físicos se calcula la energía liberada, determinando la dimensión o tamaño del terremoto y tienen repercusión para las ramas de ingeniería (diseño y construcción), creando normas de construcción, planificación urbana de los municipios, estudios de riesgos y creación de protocolos ante estos fenómenos.

#### 2.1.6.1. Escala de Richter

La escala sismológica de Richter, también conocida como escala de magnitud local (ML), es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar la energía que libera un terremoto, denominada así en honor del sismólogo estadounidense Charles Francis Richter (Lima, 2012), en la Tabla 1, se observa los grados que se emplean con su respectivo grado de destrucción y la probabilidad con que ocurren los sismos en sus diferentes magnitudes.

Tabla 1: Escala de Richter

<b>Magnitudes Richter</b>	<b>Descripción</b>	<b>Efectos de un sismo</b>	<b>Frecuencia de ocurrencia</b>
Menos de 2,0	Micro	Los microsismos no son perceptibles.	Alrededor de 8.000 por día
2,0 - 2,9	Menor	Generalmente no son perceptibles.	Alrededor de 1.000 por día
3,0 - 3,9		Perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños.	49.000 por año.
4,0 - 4,9	Ligero	Movimiento de objetos en las habitaciones que genera ruido. Sismo significativo,	6.200 por año.

			pero con daño poco probable.	
5,0 - 5,9	Moderado		Puede causar daños mayores en edificaciones débiles o mal construidas. En edificaciones bien diseñadas los daños son leves.	800 por año.
6,0 - 6,9	Fuerte		Pueden ser destructivos en áreas pobladas, en hasta unos 160 kilómetros a la redonda.	120 por año.
7,0 - 7,9	Mayor		Puede causar serios daños en extensas zonas.	18 por año.
8,0 - 8,9	Gran		Puede causar graves daños en zonas de varios cientos de kilómetros.	1 por año.
9,0 - 9,9			Devastadores en zonas de varios miles de kilómetros.	1 en 20 años.
10,0 - 10,9	Épico	Nunca registrado		En la historia de la humanidad (y desde que se tienen registros históricos de los sismos) nunca ha sucedido un terremoto de esta magnitud.

Fuente: Adaptado de (Lima, 2012).

### ***2.1.6.2. Escala de Mercalli***

La escala de Mercalli toma su nombre del físico italiano Giuseppe Mercalli, quien la desarrolló en 1902, y es un sistema de doce grados que evalúa la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras. (INSIVUMEH, 2011).

Esta escala sirve para recolectar información en zonas donde no existen aparatos detectores, o instrumentos de medición. “Cuando se utiliza esta escala, se habla de grados de intensidad, se basa en el efecto o daño producido en las estructuras y en la sensación percibida por la gente” (EcuRed, 2013). Se basa en una escala de 12 puntos, que va desde el nivel casi imperceptible hasta la destrucción total. Esta escala mide las aceleraciones que sufre una estructura y los daños que ocasiona, utiliza el Gal como unidad de medida.

Tabla 2: Escala de Mercalli.

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aceleración (Gal)</b>
<b>I - Muy débil.</b>	Imperceptible para la mayoría excepto en condiciones favorables.	0.5
<b>II - Débil.</b>	Perceptible solo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios. Los objetos colgantes suelen oscilar.	0.5 – 2,5
<b>III - Leve.</b>	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Muchos no lo perciben como un terremoto. Los automóviles detenidos se mueven ligeramente. Sensación semejante al paso de un camión pequeño.	2,5 – 6,0
<b>IV - Moderado.</b>	Perceptible por la mayoría de las personas dentro de los edificios, por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche algunas personas pueden despertarse. Perturbación en cerámica, puertas y ventanas. Las paredes suelen hacer ruido. Los automóviles detenidos se mueven con más energía. Sensación semejante al paso de un camión grande.	6,0 – 10
<b>V - Poco fuerte.</b>	Sacudida sentida casi por todo el país o zona y algunas piezas de vajilla o cristales de ventanas se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen los relojes de péndulo.	10 - 20
<b>VI - Fuerte.</b>	Sacudida sentida por todo el país o zona. Algunos muebles pesados cambian de sitio y provoca daños leves, en especial en viviendas de material ligero.	20 - 35
<b>VII - Muy fuerte.</b>	Ponerse de pie es difícil. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y	35 - 60

	construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. Mampostería dañada. Perceptible por personas en vehículos en movimiento.	
<b>VIII</b> <b>- Destructivo.</b>	Daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles derrumbes. Fuertes daños en estructuras pobremente construidas. Mampostería seriamente dañada o destruida. Muebles completamente sacados de lugar.	60 - 100
<b>IX - Muy destructivo.</b>	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. Grandes daños en importantes edificios, con derrumbes parciales. Edificios desplazados fuera de las bases.	100 - 250
<b>X</b> <b>- Desastroso.</b>	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. La mayoría de las estructuras de mampostería y el marco destruido con sus bases. Vías ferroviarias dobladas.	250 - 500
<b>XI - Muy desastroso.</b>	Pocas estructuras de mampostería, si las hubiera, permanecen en pie. Puentes destruidos. Vías ferroviarias curvadas en gran medida.	>500
<b>XII</b> <b>- Catastrófico.</b>	Destrucción total con pocos supervivientes. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. Imposibilidad de mantenerse en pie.	>500

Fuente: Adaptado de (INSIVUMEH, 2011)

Como se observa en la Tabla 2, la percepción de un sismo dentro de un edificio tiene una aceleración de 2,5 a 6,0 Gal, y una percepción mayoritaria en el nivel IV con aceleraciones de 6,0 – 10 Gal dentro de un edificio.



A diferencia de la escala de Richter, nos permite representar el nivel de percepción y el daño de destrucción, dependiendo de la intensidad del terremoto.

## **2.2. Formas de medición de los sismos**

A lo largo de la historia de la raza humana se ha interesado en los terremotos y cómo estos se producen, así que se han desarrollado métodos y herramientas para poder detectarlos, medirlos, y un esfuerzo grande para predecirlos; el avance de la tecnología y con evolución de los métodos de medición de los terremotos, ahora se tiene un más claro panorama de como estos interactúan en nuestro vivir diario.

### **2.2.1. Global Positioning System (GPS).**

El GPS es un sistema basado en la recepción de potencias y procesamiento datos emitidas por una constelación de 28 satélites (Howell, 2018), y dependiendo del existen otros sistemas como el GPS, GLONASS y GALILEO, estos están ubicados en 6 orbitas planas prácticamente circulares, con inclinación de  $55^\circ$  respecto al plano ecuatorial (4 satélites en cada orbita), a una altura media de 20.000 km. sobre la superficie terrestre, se interpreta que están en una órbita terrestre media (MEO).

#### **2.2.1.1. Funcionamiento.**

Estos sistemas pueden detectar desplazamientos de tierra especialmente en los fondos oceánicos, los cuales están enfocados para la predicción de tsunamis. “El monitoreo geofísico alrededor del mundo pueden ser utilizados para estimar cómo un terremoto deforma el fondo marino”(CSN Chile, 2016), lo cual en zonas costeras el sistema GPS brinda información útil que permite detectar estos desplazamientos para alertar los tsunamis, “aunque son especialmente infrecuentes pero son los más potentes y peligrosos”(CSN Chile, 2016), al detectar desplazamientos en las masas de agua con relación a un punto de referencia

concretamente en tierra, se hace comparaciones y en el caso de que exista variaciones de latitud y/o longitud se envía una alerta de posible Tsunami, como se aprecia en la Figura 12 una estación que recibe datos de la señal GPS del medidor que está colocado en el mar, y compara con registros anteriores de desplazamiento.

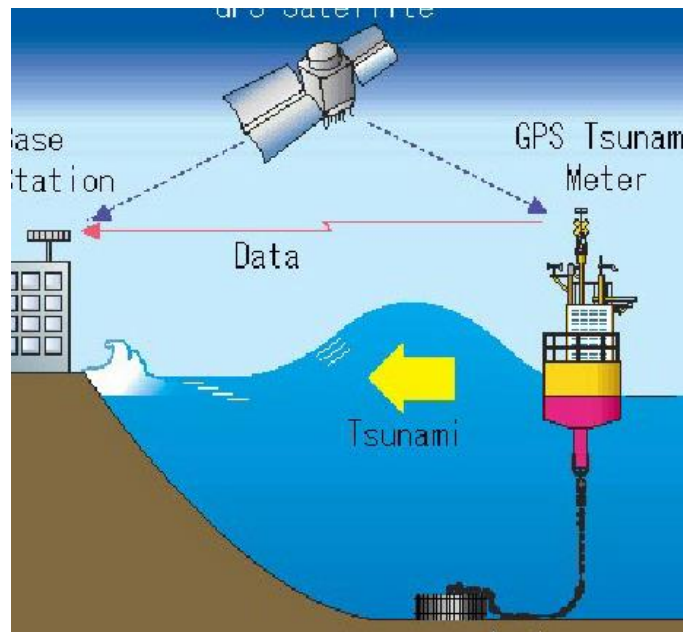


Figura 12: GPS Tsunami detector

Fuente: (Kato et al., 2008)

### 2.2.2. Sismógrafos

Un sismógrafo es un instrumento que es capaz de medir movimientos del suelo o de la superficie bajo el principio de inercia y menciona que todo cuerpo tiene una resistencia al movimiento o a la variedad de velocidad, se lo utiliza principalmente para observar registros de los movimientos telúricos. Está basado en un principio básico que es la inercia la cuál dice que todo cuerpo tiene resistencia al movimiento o a la variación de su velocidad.

El sismógrafo en su forma básica utiliza una masa, un registro y un reloj como se observa en la Figura 13, dependiendo de la intensidad del sismo o temblor, deja un registro que se muestra en forma de líneas continuas, y entre más sea el movimiento o cambio de la fuerza inercial, el registro mostrará un cambio directamente proporcional a la intensidad del sismo.

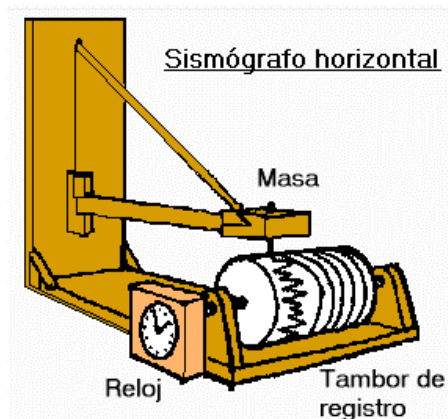


Figura 13: Sismógrafo.

Fuente: UDC.es

### ***2.2.2.1. Red Nacional de Sismógrafos del Ecuador***

En el Ecuador existe una red de sismógrafos llamados RED NACIONAL DE SISMÓGRAFOS (RENSIG), está conformado por “sismómetros de banda ancha y registradores de datos de alta resolución”(Ruiz, 2016). Estos sismómetros se conforman de varios tipos y en diferentes ubicaciones, los principales se los emplea para la detección de sismos en la región, actualmente “RENSIG ha instalado 130 estaciones sísmicas que cubren un 276.841 km<sup>2</sup>, 104 de ellas son estaciones de banda ancha, incluyendo 5 acelerómetros de movimiento fuerte instalados a través de la colaboración de JICA japonesa”(Ruiz, 2016).

Existen otras instalaciones que se requirieron por las emergencias de eventos producidos por volcanes, se instalaron sismógrafos para el monitoreo de la actividad volcánica de manera temporal por algunos periodos de actividad de los volcanes “Guagua Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi y Reventador”(Pino, 2014).

En la Figura 14 se puede observar la distribución de sismógrafos que tiene el Ecuador hasta el año 2012, con sus respectivos nombres y funcionamiento.

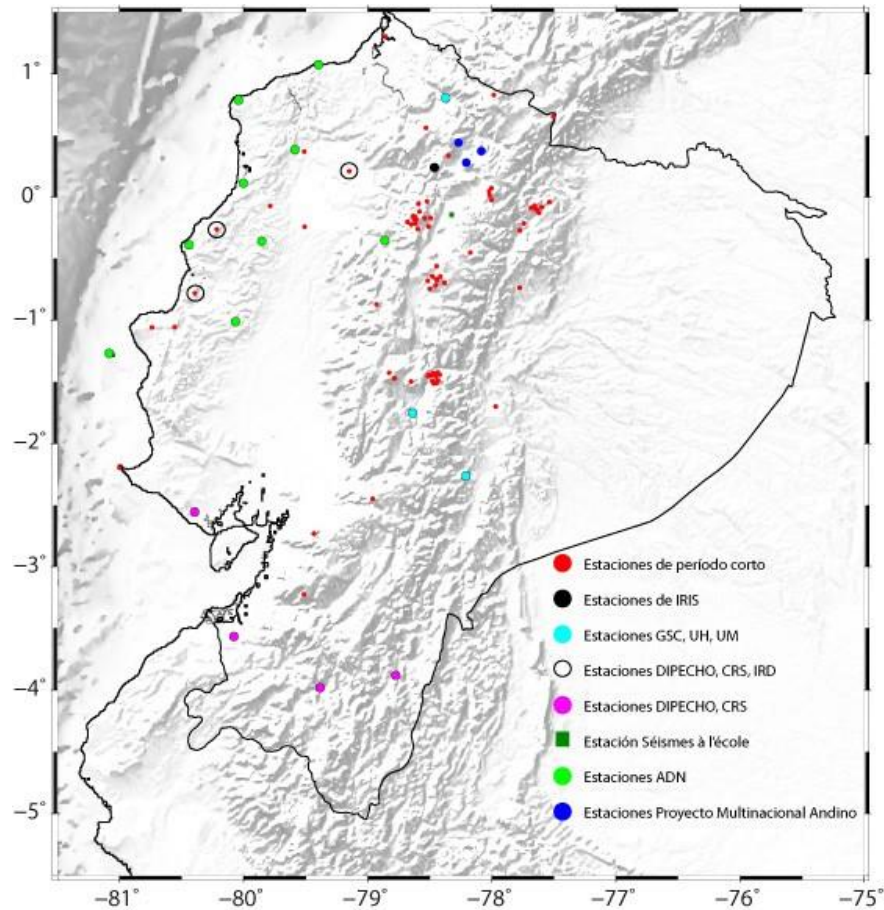


Figura 14: Distribución de las estaciones de la Red Sísmica Nacional Instituto Geofísico (RENSIG) hasta el año 2012. Fuente: (Pino, 2014)

### 2.2.3. Acelerómetros.

Los acelerógrafos recopilan la información en gráficos llamados acelerogramas, que permiten registrar los eventos máximos de los eventos sísmicos, luego posteriormente son analizados y procesados para determinar los valores de aceleración máxima y su escala de intensidad.

Los acelerómetros son dispositivos como el mismo nombre lo identifica, mide las variaciones de velocidad de un objeto en un tiempo determinado, se expresa en la Ecuación ( 7):

$$a = \frac{dV}{dT} \qquad \text{Ecuación ( 7)}$$

Donde:

***a***: es la aceleración

***dV***: variación de la velocidad (metros).

***dT***: variación en el tiempo (segundos).

### ***2.2.3.1. Medidas de aceleración.***

La medida de la aceleración se puede adquirir con un sistema que incorpore un acelerómetro acorde a la necesidad del investigador. Las unidades de la aceleración van de acuerdo a los sistemas de unidades:

- **Sistema Internacional:** Este sistema lo define como la unidad de medición de la aceleración, siendo una de las más extendidas y utilizadas en el mundo, el valor de la aceleración de la gravedad que es de:  $9.82 \text{ m/s}^2$ .

$$a = 1 \text{ m/s}^2 \qquad \text{Ecuación ( 8)}$$

- **Sistema Cegesimal:** Este sistema lo define como unidad de aceleración y su equivalencia con la unidad que es:  $1 \text{ Gal} = 0.01 \text{ m/s}^2$ , no se debe confundir el gal (minúscula) ya que es el símbolo del galón; esta unidad es utilizada especialmente para vibraciones menores a la que plantea el SI, poco conocida, pero ampliamente utilizada en las ramas de la geofísica, geodesia, entre otros.

La aceleración gravitacional de la Tierra varía entre 976 y 983 Gal.

$$1 \text{ cm/s}^2 = 1 \text{ Gal} \qquad \text{Ecuación ( 9)}$$

Existen varios tipos de tecnologías y diseños que, aunque todos tienen el mismo propósito se pueden emplear en distintas aplicaciones, y la cual es dependiente a las condiciones en las a emplear como la temperatura, la frecuencia, resistencia a golpes, entre otros.

### 2.2.3.2. Tipos de Acelerómetros.

Los sensores utilizados para el monitoreo sísmico son sensores de aceleración de tecnología MEMS, capacitivos, de bajo nivel de ruido y salida analógica, adosados a conversores ADC delta sigma de 24 bits. Su rango de precio va desde los \$30 hasta los \$3000 siendo estos últimos los utilizados para aplicaciones específicas; “los microelectromechanical systems (MEMS) los sensores triaxiales proporcionan medidas de aceleración de tierra de terremotos moderados a grandes”(Lawrence et al., 2014).

- **Acelerómetros capacitivos.**

Los acelerómetros capacitivos basan su funcionamiento en la variación de la capacidad entre dos o más conductores entre los que se encuentra un dieléctrico, en respuesta a la variación de la aceleración, la integración en silicio permite reducir los problemas derivados de la temperatura, humedad, capacidades parásitas, alta impedancia de entrada, etc. Trabajando realmente en un lazo de control electrónico de fuerza/balanceo, siendo muy resistentes, “empleados para soportar aceleraciones de hasta 3000g , utilizados en balas de cañón” (Arenas, 2008). En la Figura 15, se observa el efecto de la aceleración aplicada y como se comporta su masa y resorte, variando las capacidades con referencia a los puntos fijos y dependiendo de la dirección de la aceleración que se aplicó se calcula su valor.

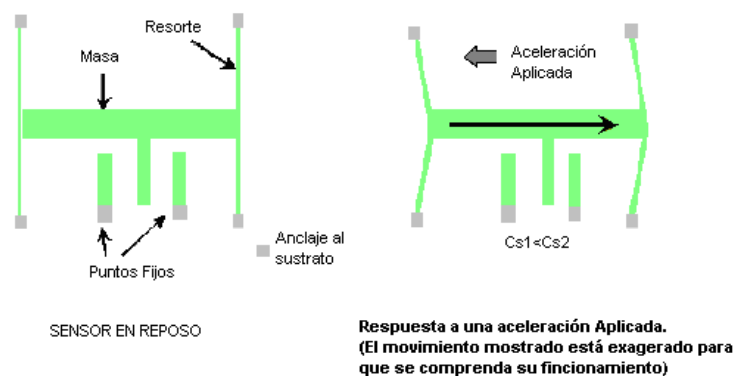


Figura 15: Diagrama de Acelerómetro Capacitivo.

Fuente:(Arenas, 2008)

- **Acelerómetros micro-mecánicos (MEMS)**

En la actualidad el diseño de acelerómetros MEMS consiste de un sistema de suspensión y de una masa de prueba cuya deflexión provee una medición de la aceleración como se observa en la Figura 16, cuando el sensor se somete a una aceleración lineal a lo largo de su eje sensible, la masa de prueba tiende a resistir el movimiento debido a su propia inercia, por lo que la masa y sus dedos se desplazan con respecto a los dedos del electrodo fijo (Silicon Sensing, 2017).

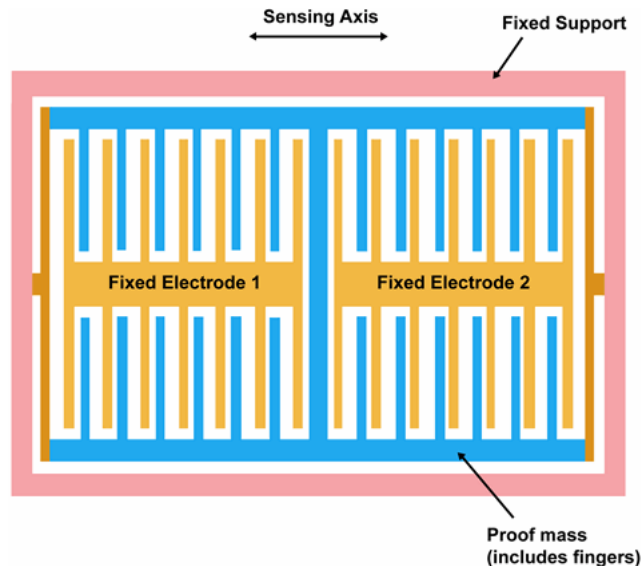


Figura 16: Diagrama de Acelerómetro MEMS.

Fuente: Silicon Sensing

### ***2.2.3.3. Red Nacional de Acelerógrafos del Ecuador.***

Existen organismos e institutos como el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) en Argentina, Sistema Sismológico Nacional en México, Red nacional de Acelerógrafos en Ecuador y Centro Sismológico Nacional en Chile (Rodolfo, Ríos, Gastón, & Flores, 2016), y en estos centros se basan en “una red de sismológica integrando acelerómetros de gran rango dinámico por lo general de muy alto costo, los cuales están conectados a un centro de datos” (Rodolfo et al., 2016). Este monitoreo en tiempo real permite “detectar

cambios en las características dinámicas de la estructura y, en consecuencia, identificar los daños producidos, identificar sismos, mediante el análisis de los registros de aceleración”(Rodolfo et al., 2016).

En el Ecuador existe una red de acelerógrafos llamada La Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC) que pertenece al instituto geofísico, el cual comenzó su instalación en el 2009 como parte del Proyecto FORTALECIMIENTO DEL INSTITUTO GEOFISICO: AMPLIACION Y MODERNIZACION DEL SERVICIO NACIONAL DE SISMOLOGIA Y VULCANOLOGIA - Programa Nacional de Sismología y Vulcanología (Instituto Geofísico - EPN, 2016).

Esta red está comprendida por 82 acelerógrafos digitales, los cuales son estaciones de grabación en su mayoría, en otras palabras, no transmiten en tiempo real los datos medidos hacia el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, en la Figura 17 se observa la distribución de la RENAC en el territorio ecuatoriano.



Figura 17: Distribución espacial de las estaciones de la Red Nacional de Acelerógrafos.

Fuente: (Manosalvas, 2014)



#### 2.2.3.4. *Detección de movimientos telúricos utilizando el acelerómetro de los smartphones.*

A nivel mundial los teléfonos celulares inteligentes (smartphones) cada vez son más indispensables y asequibles, por ejemplo: las aplicaciones, entretenimiento que brindan, facilidad en la educación, entre otras formas de uso. Al pasar los años estos terminales incorporan nueva tecnología y con la evolución de las actuales, siendo cada vez más compactos y baratos, con uno de los puntos más fuertes es la variedad de sensores que incorpora en un pequeño espacio como se ve en la Figura 18, recolector de datos (posición, luz, aceleración, etc), para posteriormente se procese y facilitar el uso del equipo a provecho a través de aplicaciones (APPs).

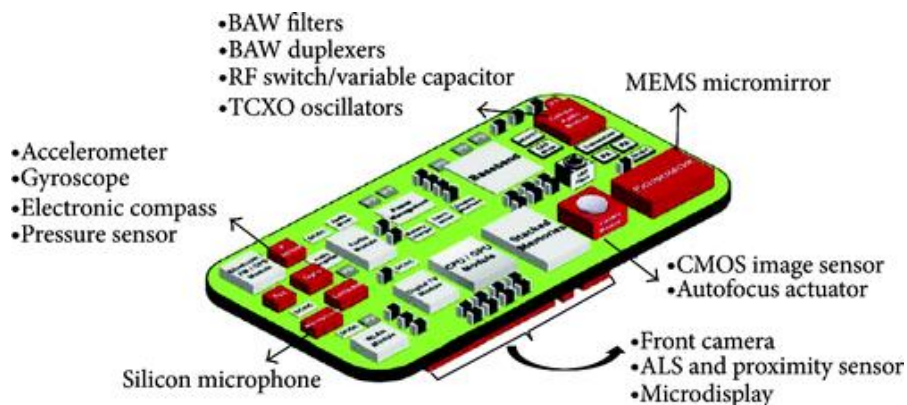


Figura 18: Sensores internos de un smartphone.

Autor: Ming Liu, International Journal of Distributed Sensor Networks

Los sismos pueden ser medidos a través de equipos llamados sismógrafos como lo idóneo, sin embargo en la investigación y desarrollo por parte de (Avila Pesantez et al., 2016), una aplicación que hace el uso de un algoritmo y los acelerómetros que disponen los smartphones para la detección de posición se expresa en un vector tridimensional X,Y,Z, en la Figura 19 se indica los ejes de este vector; es utilizado para detectar cambios en la posición del smartphone, la estabilización de las imágenes al tomar fotografías por mencionar algunos ejemplos.

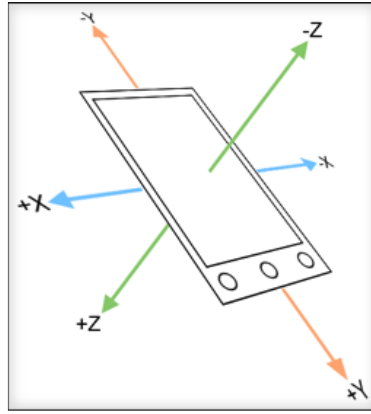


Figura 19: Ejes del acelerómetro en el smartphone.

Fuente: (Avila Pesantez et al., 2016)

Para que el acelerómetro sea utilizado para la medición de los movimientos telúricos, son necesarios conocer la orientación, desplazamiento, la aceleración que se aplica sobre el sensor. La orientación de la aceleración es, con respecto al dispositivo de tal manera que  $-1g$  se aplica para el eje Z cuando la pantalla está hacia arriba sobre una mesa, y “un  $-1g$  en el eje Y cuando está ubicado de manera perpendicular en la parte superior”(Avila Pesantez et al., 2016), rotando la imagen de manera horizontal la pantalla.

Para el cálculo de los movimientos telúricos se emplea en base al “Teorema de Pitágoras extendido para N dimensiones”(Avila Pesantez et al., 2016), que se aplica al triángulo equilátero correspondiente dada en la Ecuación ( 10), se observa en la Figura 20 la aplicación respecto a las 3 dimensiones.

$$d^2 = a^2 + b^2 + c^2$$

*Ecuación ( 10)*

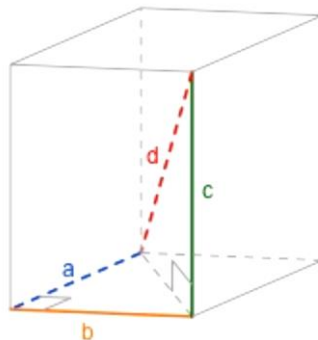


Figura 20: Teorema en base a las tres dimensiones.

Fuente: (Avila Pesantez et al., 2016)

Una vez obtenido el valor, se calcula a una escala logarítmica para obtener un valor aproximado en la escala de Richter (Magnitud Local) como resultado se muestra en la interfaz de la aplicación un mensaje de valor calculado, como se ve en la Figura 21.

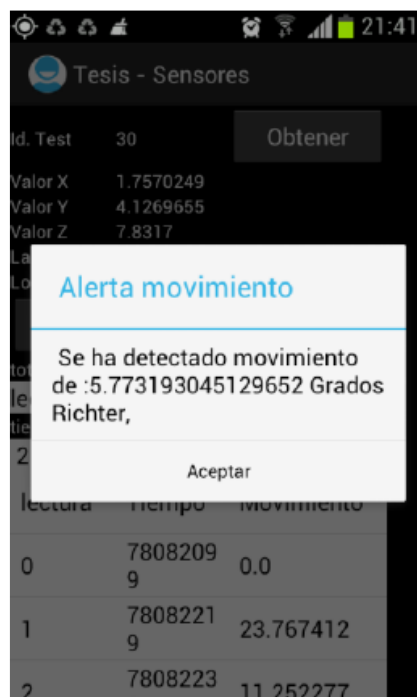


Figura 21: Interfaz de aplicación detectora de sismos.

Fuente: (Avila Pesantez et al., 2016)

### 2.3. Vibración de los edificios.

El análisis de vibración y frecuencia fundamental es único en cada edificio, ya que depende de los materiales de construcción, altura, composición, entre otros. La normativa de la infraestructura (depende de la región, Norma Ecuatoriana de Construcción) ayuda para el estudio y prevención de colapsos durante un sismo (anteriormente se ha mencionado) y debe soportar un rango mínimo de gales, esta normativa está conformada por el estudio de valores históricos de aceleración, tipos de materiales, características del suelo y edificios típicos del país para que con esto se analice los movimientos de una estructura y cómo se comporta, evaluando el deterioro y recuperación del mismo.

### 2.3.1. Respuesta dinámica de los edificios.

Los edificios, al igual que todos los cuerpos, poseen distintas formas de vibrar ante cargas dinámicas (cambios repentinos de intensidad y posición), que durante el terremoto, pueden afectar de mayor o menor medida a la estructura del edificio, “produciendo aceleraciones importantes sobre la misma”(Tosone, 2012), y estas formas de vibración se conocen como modos de vibración, en la Figura 22 se observa los diferentes modos que puede tener un edificio, los cuales depende de la altura y materiales de construcción .



Figura 22: Modos de vibración de un edificio.

Autor: (Arancibia, 2013)

La respuesta dinámica de los edificios durante un sismo depende de la relación entre el periodo de vibración de las ondas sísmicas y su propio periodo de vibración.

### 2.3.2. Mediciones de Vibraciones Ambientales (MVA).

Las MVA en estructuras han tomado fuerza a nivel internacional en las últimas dos décadas debido principalmente a lo económicas que son frente a otras opciones de pruebas dinámicas, como las vibraciones forzadas, y lo inocuas que son para el edificio y sus acabados, “para la sincronización los GPS son usados por los acelerógrafos, elevando el nivel de precisión de la medición”(Esquivel & Schmidt, 2016).

Entre los usos más comunes de este tipo de mediciones se encuentran la verificación de los modelos matemáticos utilizados para el diseño estructural, monitoreo de la salud estructural, verificación de intervenciones estructurales, detección de daños e inspección

basada en vibraciones. Lo anterior es posible ya que al analizar los datos de “las MVA se determinan parámetros dinámicos importantes en el rango elástico”(Esquivel & Schmidt, 2016), utilizados por diversos códigos sísmicos a nivel internacional en los métodos de análisis elásticos de estructuras(Esquivel & Schmidt, 2016).

#### **2.4. Plan de Emergencia Institucional del Ecuador**

La Gestión de Riesgos es un proceso complejo dirigido a la reducción de los riesgos, al manejo de las emergencias y desastres, y a la recuperación ante eventos adversos que afectan nuestras vidas y recursos.

El Plan de Emergencia Institucional tiene como objetivo “salvar vidas, proteger bienes materiales y restablecer la normalidad, alcanzar una eficiente organización, preparación, equipamiento y práctica personal” (Gestión de Riesgos, 2010). Este plan fortalece las instituciones con ejercicios de simulación y simulacros para el mejoramiento del personal, reforzar conductas de las personas previstos en una emergencia.

#### **2.5. Sistemas basados en los Programable Logic Controller.**

Los PLC (Programable Logic Controller) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de “funciones específicas como: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas”(Moreno, 2015); con el fin de controlar máquinas y procesos que se especifiquen, todo esto ejecutando de forma cíclica las instrucciones que se hayan grabado. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, controlando los valores de entradas de sensores que existan y que producen salidas para el funcionamiento de los actuadores (maquinas, motores, entre otros) dependiendo de la programación previa, pero el aspecto más importante de los PLC es “la garantía de ejecución completa del programa principal”(Moreno, 2015).

Los PLC son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para cumplir su parámetro de tiempo real (depende del programa). Los PLC son utilizados donde “son requeridos tanto para controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez”(Moreno, 2015), en la Figura 23 se observa el equipo PLC de la Universidad Técnica del Norte.



Figura 23: Programming Logic Controller del Sistema de Alarmas de la Universidad Técnica del Norte.

Fuente: Autoría

Los controladores lógicos son dispositivos electrónicos que reciben una cierta cantidad de entradas binarias y producen salidas binarias para el control de procesos, estas entradas binarias pueden ser sensores o equipos que se requieren medir, y las salidas binarias pueden ser actuadores o dependiendo del uso el resultado respectivo.

El control secuencial es la forma normal en la que se ejecuta un programa, inicia ejecutando la función main () en forma secuencial, esto es, ejecuta la primera instrucción, la segunda, la tercera, y así hasta terminar la ejecución de todas las instrucciones de la función y repetir nuevamente la primera línea.

### **2.5.1. Estructura.**

Como puede observarse en la Figura 24, para que el sistema funcione es necesario que exista un suministro de potencia cuyo propósito principal es garantizar los voltajes de operación

internos del controlador y sus bloques. Los valores más frecuentemente utilizados son “ $\pm 5V$ ,  $\pm 12V$  y  $\pm 24V$ ” (IEEC, 2014), y existen principalmente dos módulos de suministro de potencia: los que utilizan un voltaje de entra de la red de trabajo y los que utilizan suministradores de potencia operacionales para el control de los objetos.

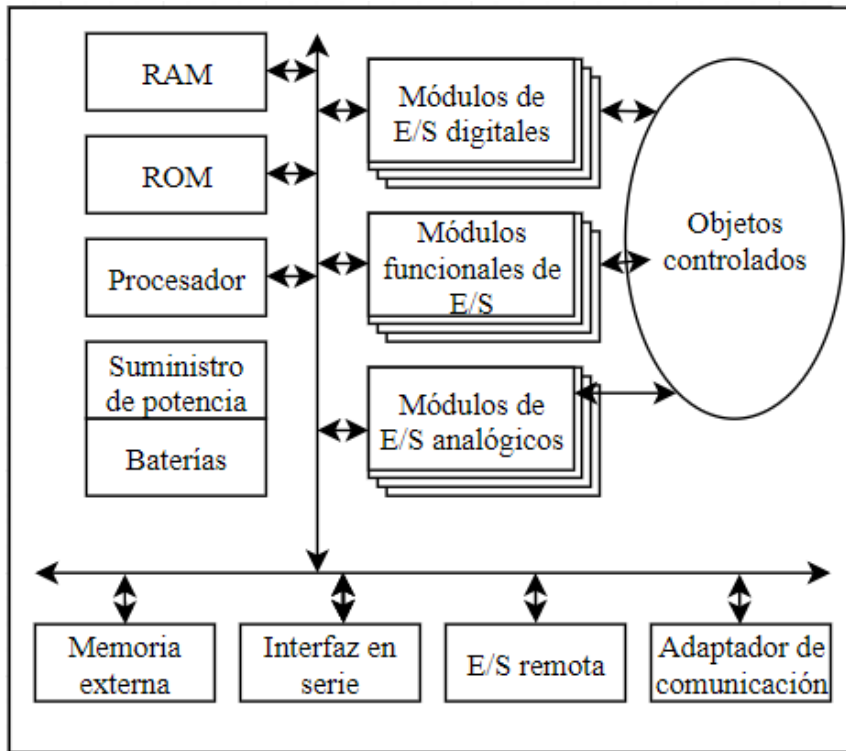


Figura 24: Estructura general del PLC.

Fuente: Adaptado de (IEEC, 2014)

La parte principal es la denominada “unidad central de procesamiento” o CPU que contiene la parte de procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones.

### 2.5.2. Funcionamiento de los PLC.

Los PLC son usados continuamente para el control de entradas y salidas, especialmente en ambientes industriales, donde las condiciones de funcionamiento deben ser tomadas en cuenta, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Son fácilmente programables por medio de lenguajes de programación bastante comprensibles. Sin embargo, presentan ciertas desventajas como la necesidad de contar con

técnicos cualificados para ocuparse de su buen funcionamiento, a continuación, se describe estos ciclos del PLC en la Figura 25.

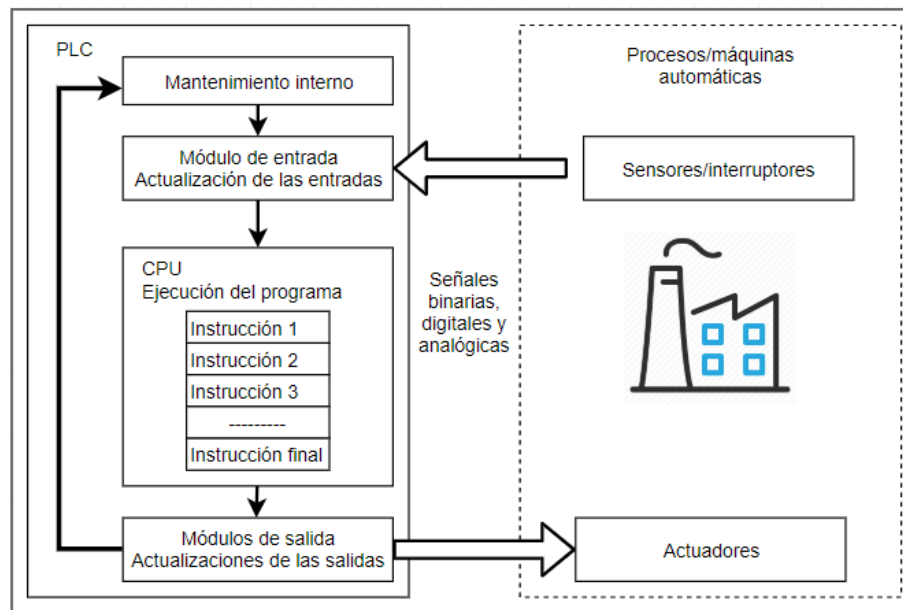


Figura 25: Diagrama de ciclos de operación del PLC.

Fuente: Adaptado de (IEEC, 2014).

- Cada ciclo comienza con un trabajo interno de mantenimiento del PLC como el control de memoria, diagnóstico, etc. Esta parte del ciclo se ejecuta muy rápidamente de modo que el usuario no lo perciba.
- El siguiente paso es la actualización de las entradas. Las condiciones de la entrada de los SMS se leen y convierten en señales binarias o digitales. Estas señales se envían a la CPU y se guardan en los datos de la memoria.
- Después, la CPU ejecute el programa del usuario, el cual ha sido cargado secuencialmente en la memoria (cada instrucción individualmente). Durante la ejecución del programa se generan nuevas señales de salida.
- El último paso es la actualización de las salidas. Tras la ejecución de la última parte del programa, las señales de salida (binaria, digital o analógica) se envían a la SM desde los datos de la memoria. Estas señales son entonces convertidas en las señales



apropiadas para las señales de los actuadores. Al final de cada ciclo el PLC comienza un ciclo nuevo. (IEEC, 2014).

## **2.6. Plataformas de uso libre**

Para el desarrollo de nuevas aplicaciones de tecnología a soluciones, existen diversas plataformas con diferentes requerimientos que depende de la aplicación (web, software, hardware), del usuario, del lenguaje de programación, del ambiente a implementar, entre otros varios aspectos definidos por cada desarrollador.

Estas plataformas también varían según su disponibilidad en cada país, el alcance y su costo, las plataformas de desarrollo destacables y más reconocidas para el uso libre son el Arduino y Raspberry.

### **2.6.1. Arduino.**

La plataforma Arduino es una de las mejores plataforma libres para el desarrollo de aplicaciones, únicamente con los conocimientos para solucionar problemas con tecnologías, esto gracias a “la simplificación en su código que es el C++” (Badamasi, 2014), y la integración del microprocesador Atmega328 el cuál se puede programar, borrar y reprogramar con facilidad con ayuda de un computador y un IDE (Integrated Development Environment) que facilita la comunicación con el Arduino , en todas sus versiones disponen de entradas y salidas las cuales permiten ser programados como entradas o salidas, en los cuales colocar un actuador para enviar/recibir información para computo o hacia otros nodos y todo esto en una sola placa lo cual puede ser una ventaja como un desventaja ya que no es modular, entonces si se daña debe ser reemplazado totalmente.

### 2.6.2. Raspberry Pi.

Raspberry Pi es un ordenador compacto, de placa única de bajo coste que, y su precio depende de sus variables existentes que ofrecen con más o menos recursos en procesador, memoria RAM (Random Access Memory), puertos USB, e implementan módulos como WiFi, Bluetooth, conexión Ethernet, puerto HDMI, entre otros módulos.

El Raspberry Pi es una de las plataformas más populares de desarrollo para la implementación de proyectos, facilitar el aprendizaje en la informática y programación/electrónica, su gran capacidad de procesamiento en un espacio reducido y amplia ejecución con una gran cantidad de proyectos, la hace una de las plataformas con mayor alcance y es apoyada por toda la comunidad alrededor del mundo.

### 2.6.3. Ventajas y desventajas del Arduino y Raspberry

Las dos plataformas ofrecen ventajas y desventajas, dependiendo del campo en el que se aplicará, el proyecto o desarrollo que formará partícipe, a continuación, se detalla una tabla con las ventajas y desventajas de estas dos plataformas:

*Tabla 3: Ventajas e inconvenientes del Arduino.*

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
Configuración de software y hardware inmediata	Nivel escaso de aprendizaje en términos de electrónica y programación (al utilizar el IDE)
Entorno de desarrollo propio con diversas bibliotecas (compatible con cualquier plataforma)	El equipamiento con shields puede ser caro

Fuente: Autoría

*Tabla 4: Ventajas e inconvenientes del Raspberry.*

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
-----------------	-----------------------

Normalmente compatible con HDMI y redes (a excepción de algunos modelos)	El software no está incluido en el paquete, por lo que el usuario tiene que descargarlo y configurarlo
Apto tanto para tareas sencillas como complejas	Para un funcionamiento autónomo se requieren piezas adicionales de pago

Fuente: Autoría.

Tabla 5: Tabla de comparación entre Arduino y Raspberry.

	<b>Raspberry</b>	<b>Arduino</b>
	Procesador más robusto y veloz.	Fácil para conectar sensores, motores u otros componentes electrónicos.
	Puerto Ethernet, WiFi y Bluetooth integrados (la mayoría de las modelos).	Gran variedad de SHIELDS que pueden añadir funcionalidad al Arduino.
	Software puede ser cambiado fácilmente	Fácil de configurar, únicamente es necesario un cable USB y el IDE.
<b>Ventajas</b>	Salida de audio, puerto para cámara, puertos USB, salida de HDMI.	Precio más asequible.
	Buen motivante para el inicio de aprendizaje de programación y electrónica.	Versátil para proyectos que necesitan obtener datos rápidamente de sensores y procesar estos datos en la misma actividad.
	Robusto para proyectos donde es necesario conectarse en redes con múltiples tareas simultáneamente.	Puede ejecutar el código uno a la vez, así que no es multitareas, baja velocidad.
	Para la configuración es necesario dispositivos extra-mouse, teclado, monitor, Internet si es requerido para librerías extra.	No tiene conexión a Internet, a menos que se instale un shield (aumenta costo).
<b>Desventajas</b>	Más costoso.	Conocimientos previos en programación, ya que no es muy interactivo.

Fuente: Autoría.

Para la selección del funcionamiento del Sistema de Alerta temprana será, el Arduino al ser un dispositivo versátil al obtener datos y procesarlos, su función se limitará a ser un nodo el cuál se conectará al nodo principal, en cambio el Raspberry por sus características más

robustas en procesamiento y ejecución de varias tareas simultáneamente, funcionará como nodo principal, obtendrá datos, procesará y comprará valores entre los dos nodos, y se conectará al Sistema de Evacuación de la Universidad Técnica del Norte para dar alerta si ocurre un sismo o no.

## **2.7. Redes inalámbricas.**

Las redes inalámbricas permiten conexión de nodos sin la necesidad de una conexión física, por medio de ondas electromagnéticas (radio frecuencia) con beneficios de la movilidad dentro de una zona geográfica, permite acceso a lugares remotos y principalmente la reducción de costos ya que no se necesita infraestructuras de acceso para los nodos o usuarios finales, pero también con importantes desventajas como la velocidad baja de transmisión. Las redes inalámbricas se pueden clasificar según el área de aplicación y alcance de la señal, como se observa a continuación en la Figura 26:

- Redes inalámbricas de área personal (WPAN – Wireless Personal-Area Networks).
- Redes inalámbricas de área local (WLAN – Wireless Local-Area Networks).
- Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN – Wireless Metropolitan-Area Networks).
- Redes inalámbricas de área amplia (WWAN – Wireless Wide-Area Networks).

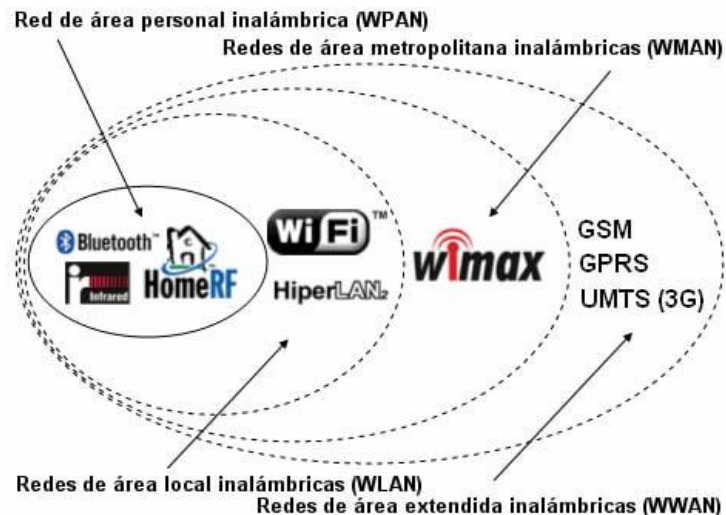


Figura 26: Esquema del área de cobertura de las redes wireless.

Fuente: CCM.com

### 2.7.1.1. 6LoWPAN.

6LoWPAN se basa en el estándar IEEE 802.15.4 como un protocolo de ruta. “Su aparición provocó la expansión de LR-WPAN. la capa inferior de la tecnología 6LowPAN defiende los estándares de capa PHY y MAC de IEEE 802.15.4” (Olsson, 2014), 6LowPAN se basa en IPv6 como la tecnología de red, su objetivo es principalmente las redes inalámbricas de sensores, que cada vez son más populares y con mayor cantidad.

A diferencia de LoRaWPAN el 6LoWPAN utiliza el protocolo de red IPv6 (IPv6 es el nuevo protocolo de Internet que se está implementando cada vez con mayor frecuencia) IPv6 está reemplazando a IPv4, ya que IPv4 se ejecuta dentro de un rango de direcciones cada vez más limitado y para el Internet of Things (IoT) se vuelve crítico la cantidad de nodos a implementar. IPv4 ofrece  $2^{32} = 4.294.967.296$  direcciones IP. IPv6 utiliza direcciones de 128 bits, por lo que el nuevo espacio de direcciones admite  $2^{128} = 3.4 \times 10^{38}$  direcciones

### 2.7.1.2. ZigBee

La tecnología ZigBee se basa en el estándar IEEE 802.15.4 en la frecuencia de 2.4 GHz y este protocolo define las capas físicas y MAC. Por encima de esto, ZigBee define la

aplicación y las especificaciones de capa de seguridad que permiten la interoperabilidad entre productos de diferentes fabricantes, se observa en la Figura 27. De esta manera ZigBee es un superconjunto de la especificación 802.15.4. (Electronics Notes, 2018)

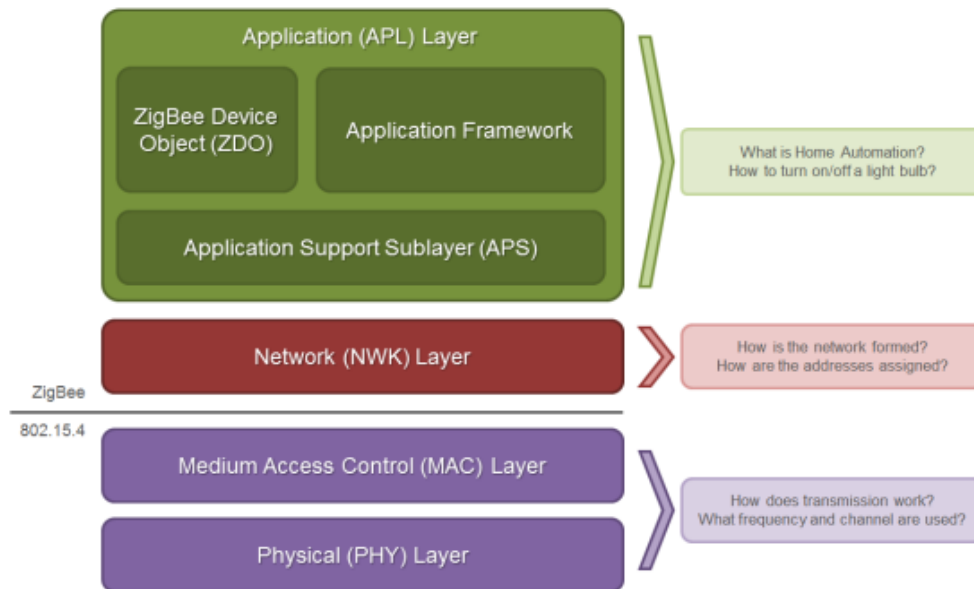


Figura 27: Modelo de capas de la tecnología Zigbee.

Autor: (Cruz, 2018)

### Capa física

Se encuentran 27 canales en total, un canal para la banda de 868.3 MHz, 10 para 915 MHz y 16 para 2.45 GHz. La primera banda ha sido especificada para el uso regional europeo, la segunda para América además de Australia y la última disponible en la gran mayoría de naciones (banda ISM — Industrial, Scientific and Medical) (Cruz, 2018). Esta última es la más recomendable para trabajar en proyectos que involucren transmisiones en medio rural o urbano.

Para los canales cuyas frecuencias asignadas son menores a 2.4GHz, se utiliza la modulación por desplazamiento diferencial de fase (BPSK — Binary Phase Shift Keying) con una técnica denominada filtrado de pulso de coseno elevado (RCP — Raised Cosine Pulse). Para el resto de los canales, se utiliza otra técnica llamada Offset Quadrature PSK (O-QPSK)

para la modulación junto con el filtro RCP. En la codificación se utiliza el Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS — Direct Sequence Spread Spectrum), donde se emplea un estilo de multiplexación por código, en la Tabla 6.

Tabla 6: Resumen bandas de la tecnología Zigbee.

Enumeración del canal	Banda	Tasa de transmisión	Modulación	Codificación	Acceso al canal
<b>0</b>	868.3 MHz	20 kbps	BPSK	DSSS	CSMA-CA
<b>1-10</b>	915 MHz	40 kbps	BPSK	DSSS	CSMA-CA
<b>11-26</b>	2.45 GHz	250 kbps	O-QPSK	DSS	CSMA-CA

Autor: Adaptado de (Cruz, 2018)

Las aplicaciones principales para 802.15.4 están dirigidas a aplicaciones de control y monitoreo donde se necesitan niveles relativamente bajos de transmisión de datos, y con la posibilidad de sensores remotos con batería. Sensores, controles de iluminación, seguridad y muchas más aplicaciones son todos candidatos para la nueva tecnología.

### Capa MAC

Esta capa representa la interfaz entre la capa física y la capa de red. Esta capa provee dos tipos de servicios: el primero es el servicio de datos MAC, el cual se especializa en habilitar la transmisión y recepción de datos por medio del protocolo conocido como *MAX Protocol Data Units* (MPDU) a través de la capa física, y el segundo servicio maneja la traducción de las tramas en la recepción y transmisión, así como el control de la capa; por ejemplo, las funciones de asociación y des-asociación (Cruz, 2018).

. Todos los dispositivos son dirigibles por su dirección MAC única; por ejemplo, en la Figura 28 se muestra la dirección MAC de un dispositivo ZigBee, generalmente indicado por el fabricante en los distintos dispositivos.



Figura 28: Dirección MAC del módulo Zigbee S2CTH.

Autor: DigiXbee.

## Capa de red

Esta capa ofrece una interfaz para la capa de aplicación, garantizando el funcionamiento de la capa MAC, admite varias topologías para la transmisión de la información como se observa en la Figura 29, siendo una red versátil y fácil escalabilidad de dispositivos conectados en áreas amplias.

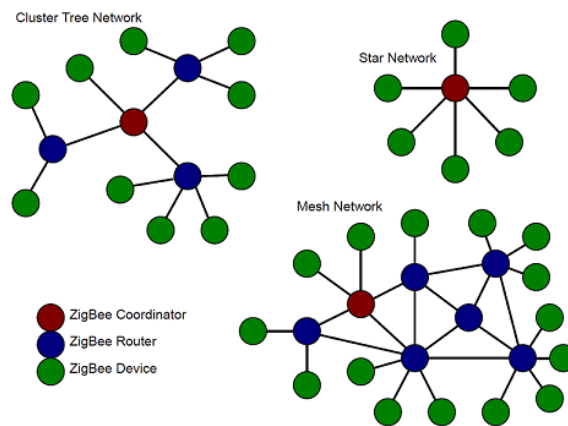


Figura 29: Topologías de la tecnología Zigbee.

Autor: (Cruz, 2018)

Esto es posible gracias a sus tres configuraciones de los dispositivos, el COORDINADOR, el ROUTER y el END-DEVICE.

- **Coordinador:** nodo encargado de formar una red. Posee la responsabilidad de establecer el canal de comunicación y el identificador de dicha red (PAN ID)



- **Router:** nodo encargado de crear y mantener información sobre la red, determinando la mejor ruta para dirigir un paquete determinado de información. Una vez dentro de una red ZigBee, el Router tiene la capacidad de retransmitir paquetes provenientes de otros Routers o de End Points.
- **End-Device:** Son los nodos finales, capaces de recolectar información y no son capaces de enrutar a otros nodos.

## **Capítulo 3. Desarrollo e implementación.**

En este capítulo se analiza los requerimientos de usuario en base al Modelo en V con el fin de especificar los requerimientos y componentes que se emplea en el sistema. Se define el proceso de medición de las aceleraciones en los edificios que se seleccionará y como se obtendrá los datos respectivos. Luego el diseño de conexión inalámbrica entre los dos nodos para el envío de información y posteriormente el procesamiento. Finalmente se presenta el diseño del prototipo del sistema de alerta temprana e interconexión al sistema de evacuación (sistema de alarmas UTN).

### **3.1. Metodología**

La metodología es un conjunto de procedimientos organizados que se utilizan para cumplir adecuadamente los objetivos que se rige un proyecto o investigación, facilitando la recolección de información, de conocimientos y la presentación de resultados concisos y confiables para la solución de problemas.

El método que se aplica en este trabajo de grado será el Modelo en V, por su fácil observación de cuatro fases de desarrollo y permite evaluar los diferentes procesos que se ejecutarán, analizando los requerimientos tanto de hardware como software en base a requerimientos iniciales para el sistema de alerta temprana e interconexión con el sistema de alarmas de la universidad.

### **3.2. Modelo en V**

El modelo en V o modelo de las 4 fases se encarga de representar las relaciones temporalmente entre las fases del ciclo de desarrollo del proyecto, en él se realizan dos procesos al mismo tiempo hasta llegar a la punta de la V, se detalla en la Figura 30. Se lo utiliza en este proyecto para la representación del desarrollo del prototipo

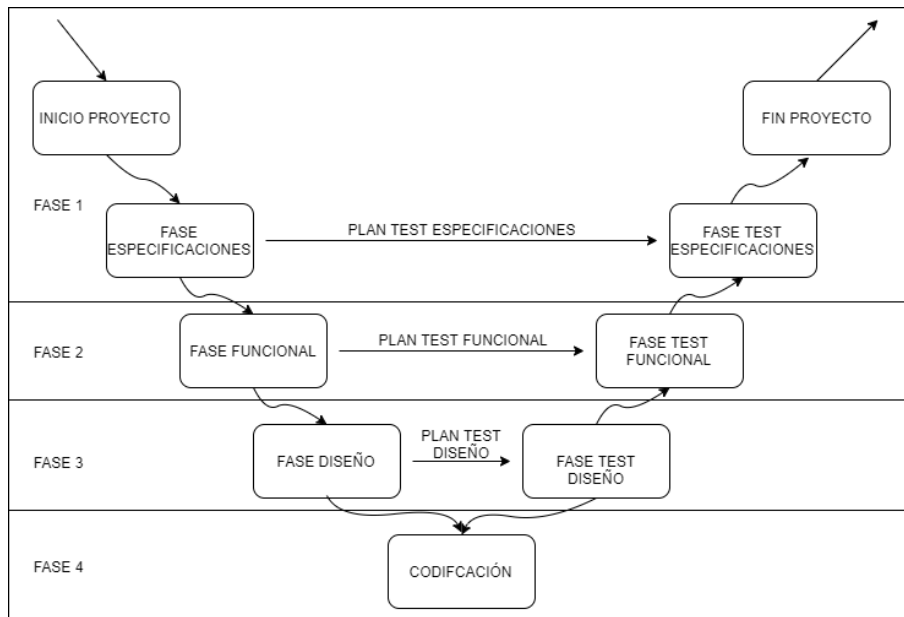


Figura 30: Etapas del modelo en V

Fuente: Adaptado de (Soria, 2015)

NIVEL 1: Descripción general del funcionamiento del prototipo, y los bloques que este contendrá para su entendimiento en el desarrollo.

NIVEL 2: Definición de los requerimientos del sistema con los que el prototipo cumplirá durante todo el ciclo de vida y selección del hardware y software.

NIVEL 3: Diseño detallado de cada bloque del prototipo, con sus respectivas configuraciones.

NIVEL 4: Implementación del prototipo y análisis de cada módulo.

### 3.3. Análisis

En esta sección se recolecta información acerca del problema que tiene el Departamento de Seguridad y Gestión de Riesgos de la UTN frente a los sismos y la función que tiene el sistema de alerta, empleando técnicas de investigación para cumplir con los objetivos del proyecto.

### 3.4. Campus Universidad Técnica del Norte

La Universidad Técnica del Norte (UTN), se encuentra en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura – Ecuador, el campus universitario del Olivo se ubica en la Av. 17 de julio 5-21 y General José María Córdova, cuenta con una extensión de 102.460 m<sup>2</sup>, 10 edificios con modernas instalaciones, equipadas con tecnología de vanguardia, cuentan con auditorios, biblioteca, centro de copias e impresión, salas de exposición, salas de cómputo, laboratorios de investigación, talleres de diseño, salas de clase, entre otros servicios, cubiertos de amplias áreas verdes, “acoge a más de 9.000 personas entre docentes, estudiantes y funcionarios” (utn.edu.ec) en jornada diurna y nocturna, en la Figura 31 se observa el campus UTN.



Figura 31: Campus Universidad Técnica del Norte.

Fuente: UniPortal Web UTN

#### 3.4.1. Edificios del campus universitario.

Los edificios con que cuenta el campus UTN son:

- Facultad de Ciencias Aplicadas (FICA)
- Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA)
- Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas (FACAE)
- Facultad de Educación, Ciencia y Tecnología (FECYT)

- Facultad de Ciencias en Salud (FCCSS)
- Edificio Central
- Polideportivo
- Edificio de postgrado
- Edificio de Bienestar Universitario.

### **3.4.2. Equipos actuales del sistema de evacuación inalámbrico.**

La Universidad Técnica del Norte dispone de un PLC para su sistema de alarmas independiente, su estructura se compone de dos elementos: los botones de alerta de auxilio para dar aviso en caso de emergencia, como dispositivo de entrada digital; y las luces de emergencia y los altavoces para alertar a las personas dentro de la Universidad como dispositivos de salida digital (funcionamiento básico de un sistema PLC), la empresa EICONS está a cargo del mantenimiento y operación del sistema.

La Universidad Técnica del Norte dispone de los equipos wRemote que permiten manejar entradas/salidas y puertos series remotos a través de una comunicación inalámbrica basados en el protocolo 802.15.4, accediendo a ellas desde un dispositivo concentrador usando el protocolo Modbus.

#### **3.4.2.1. PLC S7 1200.**

El Simatic S7-1200 ofrece a la empresa EICONS un amplio abanico de características técnicas entre las cuales cabe destacar las siguientes:

- Alta capacidad de procesamiento. Cálculo de 64 bits.
- Entradas analógicas integradas.

- Bloques de función para control de ejes conforme a PLCopen.

#### Entradas Digitales

- Tipo: Sumidero/Fuente
- Tensión nominal: 24 VDC a 4 mA

#### Salidas Digitales

- Tipo Relé - Rango de voltaje: 5 a 30 VDC o 5 a 250 VAC
- Tipo Relé - Corriente (max.): 2.0 A
- Tipo Fuente - Rango de voltaje: 20.4 a 28.8 VDC
- Tipo Fuente - Corriente (max.): 0.5 A

(Siemens, 2013)

#### ***3.4.2.2. Soluciones de Telemetría Wireless.***

El wRemote se basa en el armado de una red inalámbrica de tipo **MESH** según el estándar IEEE 802.15.4, para esto se cuenta con un equipo "Concentrador" (Concentrator) encargado de formar la red y otros "Nodos" (Nodes) "que se conectan a la misma con un numero de ID y la replican aumentando el alcance"(EICONS, 2017), en la Figura 32 se observa la representación de la RED Mesh utilizada dentro del campus universitario.

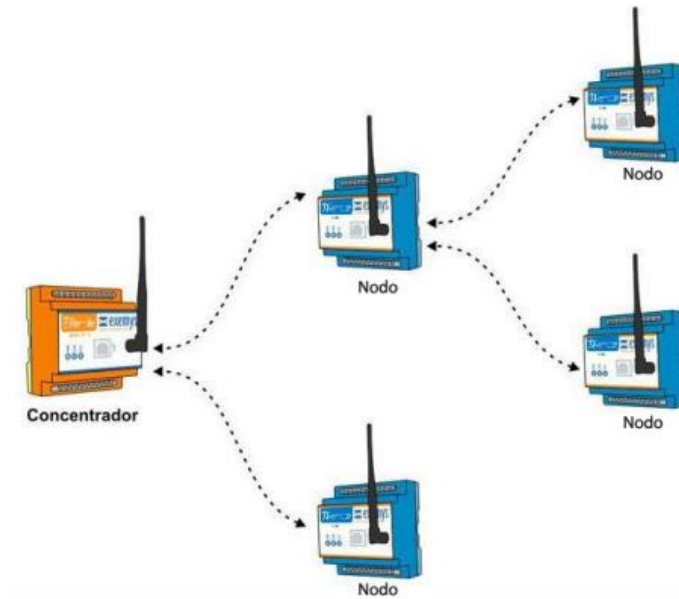


Figura 32: Conexiones WRemote.

Fuente: Obtenido de Manual (EICONS, 2017)

En la Figura 33 se observa el tablero de comunicación inalámbrica del sistema de evacuación de la universidad, con sus diferentes terminales wRemote, Nodos y el PLC.

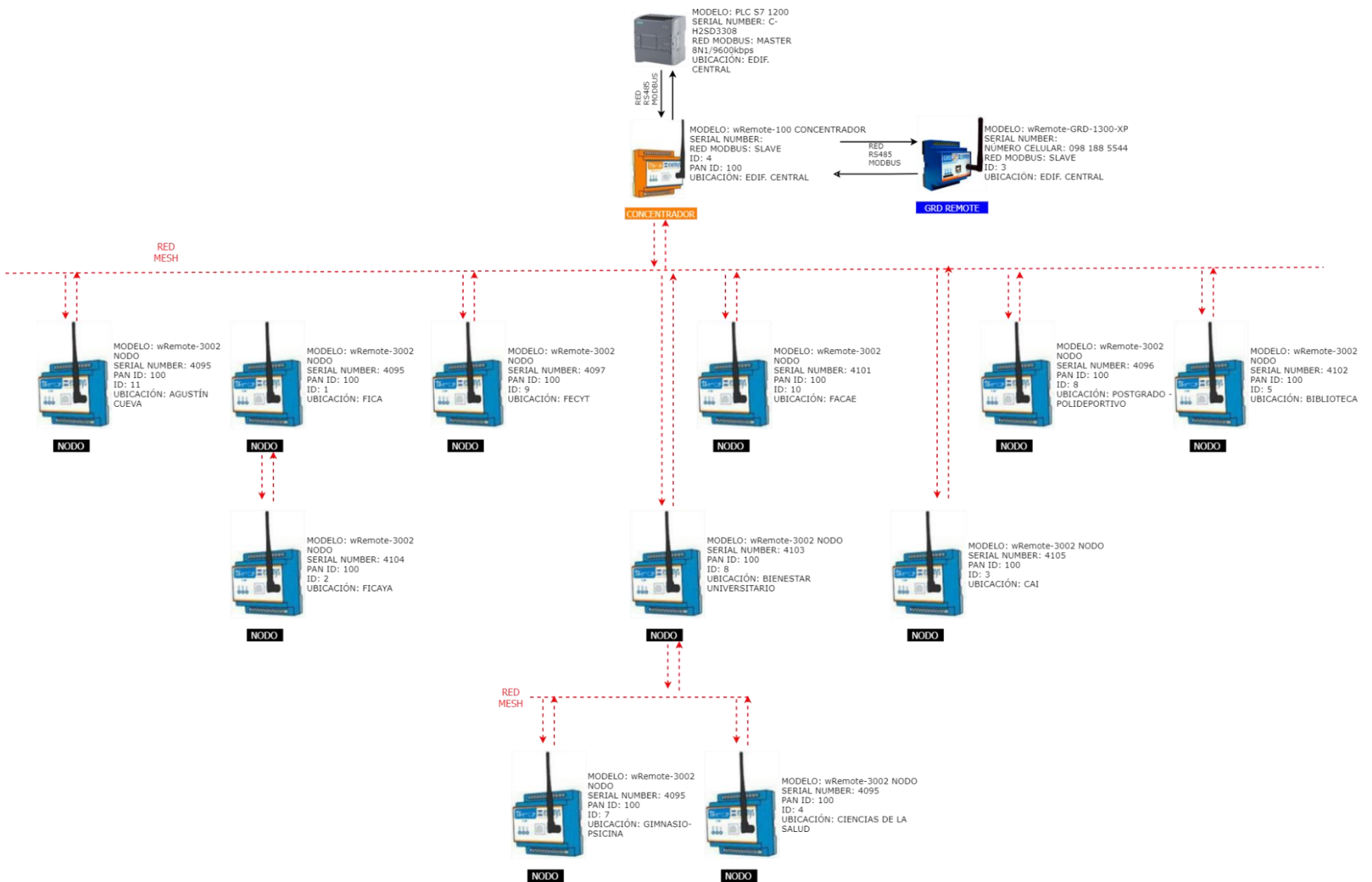


Figura 33: Tablero de comunicación inalámbrica

Autor: Adaptado de (Echeverría Ingenieros Constructores Cía. Ltda., 2017)



### **3.4.3. Infraestructura del Sistemas de Alarmas de la Universidad Técnica del Norte.**

La Universidad Técnica del Norte a través de la Compañía Echeverría Ingenieros Constructores Cía. Ltda. (EICONS), son los encargados del Sistema Inalámbrico de Alarmas de Evacuación del Campus de la Universidad en conjunto con el Departamento de Seguridad y Gestión de Riegos, en la Figura 34 se representa el tablero de comunicación inalámbrico y como está implementado en el campus universitario, está conformado de las siguientes partes:

- Las luces estroboscópicas con sirena
- Los pulsadores de emergencia
- Los equipos Concentrador y Nodos
- Sirenas en los exteriores de cada facultad y bloque administrativo.

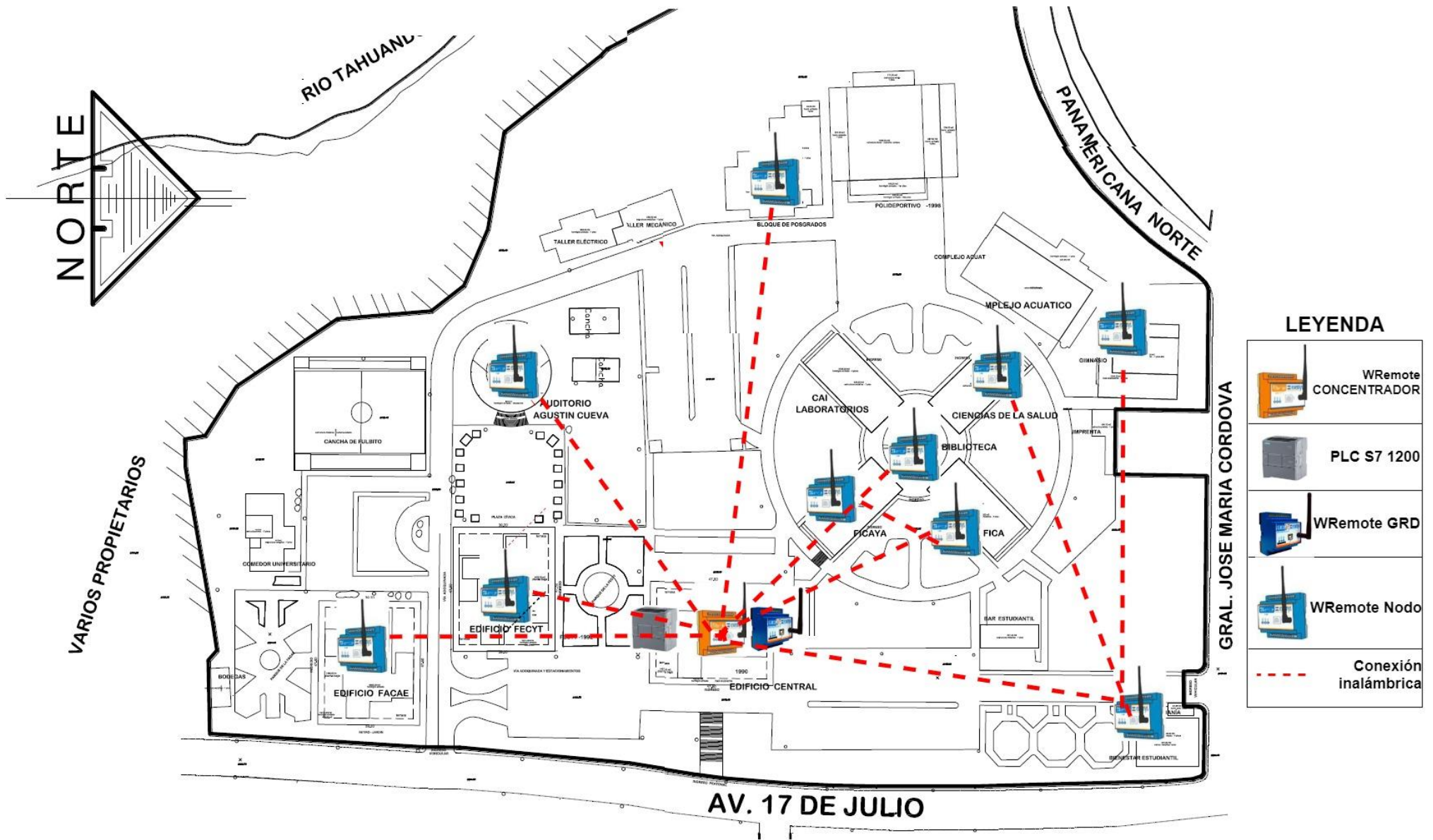


Figura 34: Sistema de Alarmas UTN

Autor: Adaptado de (Echeverría Ingenieros Constructores Cía. Ltda., 2017)

### ***3.4.3.1. Los pulsadores de Emergencia.***

Los pulsadores se encuentran uno en cada planta de la facultad y bloque administrativo, y se encuentran en lugares estratégicos y de fácil acceso, en el caso de que haya una emergencia puedan ser activados (pulsados) para emitir la emergencia y puedan todos evacuar de forma rápida, se observa en la Figura 35 el aspecto del botón de emergencia.



Figura 35: Pulsador de Pánico

Fuente: EICONS

“El encargado de presionar el botón de pánico dentro de la facultad debe de ser el brigadista del mismo”(Echeverría Ingenieros Constructores Cía. Ltda., 2017), esa persona debe ayudar a evacuar por cada piso dentro de la facultad y ubicarlos en un sitio marcado como seguro, también lo cual limita al uso de las demás personas dentro de la facultad, y en caso de un sismo o terremoto tendría que ser activado por una persona autorizada, y el prototipo de Sistema de Alerta Temprana actuará de manera oportuna.

### ***3.4.3.2. Luces estroboscópicas con sirena.***

Las luces estroboscópicas con sirena son elementos auditivos visuales, que ayudan a las personas dentro y fuera de la facultad, identificar fácilmente que se debe realizar una evacuación y dirigirse a los puntos seguros que indiquen los brigadistas de la facultad. Se

visualiza luces de emergencia y una alarma sonora que guían a las personas a la salida de emergencia y así evitar el siniestro.

#### **3.4.4. Modos de operación del Sistema de Evacuación.**

El Sistema de Evacuación de la Universidad Técnica del Norte tiene dos modos de operación, dependiendo del siniestro.

##### **3.4.4.1. Siniestro de facultad.**

Este modo es activado cuando una emergencia dentro de la facultad o bloque administrativo ocurre y se presiona los Pulsadores de Pánico que se encuentran en cada piso, se observa en la Figura 36.



Figura 36: Botón de pánico.

Fuente: EICONS

##### **3.4.4.2. Siniestro en todo el campus universitario.**

Este modo es activado únicamente por el supervisor de seguridad física o jefe inmediato para activar el botón de pánico general del campus, se indica en la Figura 37, este modo es muy estricto en su uso ya que activa la emergencia en todas las facultades y bloque administrativo.

Para activar la alarma general se debe presionar el botón de candado abierto, y para desactivar la alarma se debe presionar el botón de candado cerrado.



Figura 37: Botón de Pánico General

Fuente: EICONS

“Una vez que se activa la alarma, se debe esperar unos minutos y que la gente se encuentre calmada y a salvo, se deberá ir piso por piso, revisando que no se encuentre enclavado el botón de pánico” (Echeverría Ingenieros Constructores Cía. Ltda., 2017). En el caso de que se active el botón de pánico general del campus, se debe esperar la confirmación de apagado del mismo y “esperar 30 segundos hasta que los edificios dejen de sonar” (Echeverría Ingenieros Constructores Cía. Ltda., 2017), y por consiguiente revisar si existe botones de pánicos enclavados en cada facultad.

### 3.5. Situación actual.

Durante los sismos, el Departamento de Seguridad y Gestión de Riesgo, no actúa en tiempo real para la activación del sistema de alerta durante un sismo de nivel IV en la escala de Mercalli; la evacuación de las personas dentro de los edificios de la UTN es inadecuada, ya que al no escuchar las alarmas activadas para que puedan reaccionar, no perciben peligro, siendo pérdida de tiempo y en sismos de nivel VI o superior (escala de Mercalli) puede ser esencial ese tiempo, el tiempo que transcurre entre el sismo y la activación del sistema de alarmas es entre (10 y 20 segundos) depende del Departamento de Seguridad la activación en modo siniestro e nivel campus. El sistema inalámbrico de alarmas de evacuación, es un sistema independiente, que está conformado por PLC y nodos wRemote formando una red inalámbrica dentro del campus universitario, y recomienda que pueda el sistema a implementar fuera

independiente como el implementado por EICONS. Datos obtenidos de la entrevista al Ing. Edwar Vásquez (Departamento de Seguridad y Gestión de Riesgos) e informes del sistema inalámbrico de alarmas de Evacuación del campus de la Universidad EICONS ANEXO A y ANEXO B.

### **3.6. Propósito y ámbito del sistema.**

Diseñar el sistema de alerta temprana que se acople al sistema de evacuación de la Universidad Técnica Del Norte, reduciendo el tiempo de activación del sistema de evacuación de la UTN, como resultado la reacción más rápida de las personas dentro y fuera de los edificios a la evacuación ante los sismos con ayuda del Departamento de Seguridad y Gestión de Riesgos. Optimizando el tiempo en que se suscita el sismo y el tiempo de ejecución del protocolo ante movimientos telúricos.

### **3.7. Definición de especificaciones y requerimientos.**

Para el desarrollo de un proyecto es necesario conocer los diferentes requerimientos que necesita el proyecto, sean requerimientos iniciales, requerimientos del sistema y de los usuarios, y se establecerán en una escala de prioridad (Alta, media, baja) de manera que permita visualización de la necesidad del sistema. Para la fácil interpretación de los requerimientos en la que se procede a identificar la nomenclatura que se utiliza en la Tabla 7.

*Tabla 7: Nomenclatura de los requerimientos.*

<b>Requerimiento</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b>StRS</b>	Requerimientos de los Stakeholders
<b>SySR</b>	Requerimientos del Sistema
<b>SySI</b>	Requerimientos Iniciales del Sistema
<b>SrSH</b>	Requerimientos de Arquitectura

Fuente: Autoría.

### 3.7.1. Identificación de los Stakeholders.

Los Stakeholders son las personas que se encuentran involucradas directa e indirectamente en el desarrollo del proyecto, en la Tabla 8 se definirá los Stakeholders presentes del prototipo.

Tabla 8: Tabla de Stakeholders

	Stakeholder
<b>Departamento de seguridad</b>	Ing. Edwar Vásquez – Departamento de Seguridad Empresa EICONS
<b>Directora del proyecto</b>	MSc. Luis Suarez
<b>Asesores del proyecto</b>	Msc. Fabián Cuzme Msc. Paul Rosero
<b>Desarrollador del proyecto</b>	Cristopher Salas

Fuente: Autoría

### 3.7.2. Requerimientos de los Stakeholders.

En la Tabla 9, se observa los requerimientos de los Stakeholders en base al ANEXO A, entrevista al ingeniero Edwar Vasquez.

Tabla 9: Requerimientos de los stakeholders.

Requerimientos de los stakeholders				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
<b>StRS1</b>	GUI - Interfaz			X
<b>StRS3</b>	Visualización de alerta		X	
<b>StRS4</b>	Notificación de alerta	X		

<b>StRS5</b>	Comunicación inalámbrica	X	
<b>StRS6</b>	Compacto	X	
<b>StRS7</b>	Configurable		X

Fuente: Entrevistas a Ing. Edwar Vásquez.

### 3.7.3. Requerimientos iniciales del sistema.

En la elaboración del sistema, se plantea requerimiento de funcionalidad inicial, en la Tabla 10 se especifica de manera general como debería funcionar y especificar también lo que no debería hacer.

Tabla 10: Requerimientos iniciales del sistema.

<b>Requerimientos iniciales del sistema</b>				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
<b>SySI1</b>	Interfaz			X
<b>SySI2</b>	Almacenamiento	X		
<b>SySI3</b>	Visualización de alerta			X
<b>SySI4</b>	Notificación de alerta	X		
<b>SySI5</b>	Comunicación inalámbrica	X		
<b>SyRI6</b>	Mediciones en los edificios involucrados	X		
<b>SyRI7</b>	Interconexión al sistema de evacuación	X		
<b>SyRI8</b>	Medición de aceleraciones	X		
<b>SyRI9</b>	Tiempo alto de respuesta	X		
<b>SyRI10</b>	Bajo costo	X		
<b>SyRI11</b>	Seguridad Física y Lógica		X	

Fuente: Análisis de los Anexo A y situación actual, Documentación



### 3.7.4. Requerimientos del sistema.

Se detalla los requerimientos del sistema en la Tabla 11 y las prioridades del sistema de alerta temprana.

Tabla 11: Requerimientos del sistema.

<b>Requerimientos funcionales del sistema</b>				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
<b>SySR1</b>	Conexión externa de dispositivos	X		
<b>SySR2</b>	Velocidad de Procesamiento mínimo 2 GHz	X		
<b>SySR3</b>	Tiempo de respuesta alto	X		
<b>SySR4</b>	Capacidad de almacenamiento de datos			X
<b>SySR5</b>	Capacidad de programación de alertas		X	
<b>SySR6</b>	Soporte a largo plazo del software	X		
<b>SySR7</b>	Interconexión entre el sistema de alertas y de evacuación	X		
<b>SySR8</b>	Seguridad lógica		X	

Fuente: Recolección de información – EICONS – Anexo A, Documentación

### 3.7.5. Requerimientos de arquitectura.

Se detalla a continuación los requerimientos de la arquitectura.

Tabla 12: Requerimientos de arquitectura

<b>Requerimientos funcionales del sistema</b>				
<b>Requerimientos de Software</b>				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja

<b>SrSH1</b>	Sistema operativo libre	X		
<b>SrSH2</b>	Lenguaje de programación libre	X		
<b>Requerimientos de Hardware</b>				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
<b>SrSH4</b>	Plataformas que utilicen software libre	X		
<b>SrSH5</b>	Resistencia a ambientes externos	X		
<b>SrSH6</b>	Sistema embebido compatible con las librerías de los diferentes módulos.	X		
<b>SrSH7</b>	Bajo consumo energético	X		
<b>SrSH8</b>	Bajo costo	X		
<b>SrSH9</b>	Ancho de banda 200 Hz	X		
<b>SrSH10</b>	Alta sensibilidad	X		
<b>SrSH11</b>	Medir aceleraciones de < 2g	X		
<b>SrSH12</b>	Tamaño pequeño		X	
<b>SrSH13</b>	Seguridad física		X	

Fuente: Análisis de situación actual y anteproyecto

### 3.8. Descripción del funcionamiento del sistema de alerta temprana.

El presente prototipo pretende detectar el movimiento de los edificios al momento de ocurrir un terremoto, creando umbrales que se establece en el MVA, generando así una alerta

(modo activo - MA) hacia el PLC el cuál detectará este MA activando así el siniestro en todo el campus universitario y almacenando las aceleraciones fuertes en registros para futuros análisis.

El funcionamiento del sistema de alerta temprana se basa en dos secciones, el Nodo Remoto (NoRe) y el Nodo Principal (NoPr) como se observa en la Figura 38, el NoRe será ubicado en un edificio de la universidad, midiendo aceleraciones que estableció en el MVA, estos datos son enviados al nodo principal. En cambio el NoPr receptorá estos datos inmediatamente, que posteriormente comparará con las aceleraciones obtenidas por los sensores ubicados en el NoPr y así discriminar falsas alarmas que producen aceleraciones debidos a las actividades industrial, paso de vehículos, o eventos poco comunes dentro de las edificaciones. Una vez realizada la comparación y discrimina las falsas alarmas, su condicional es si sobrepasa los dos umbrales de los edificios y si es correcta esta información, se lanza la alerta a través de la interconexión entre el sistema de alerta temprana y el sistema de alarmas de la universidad.

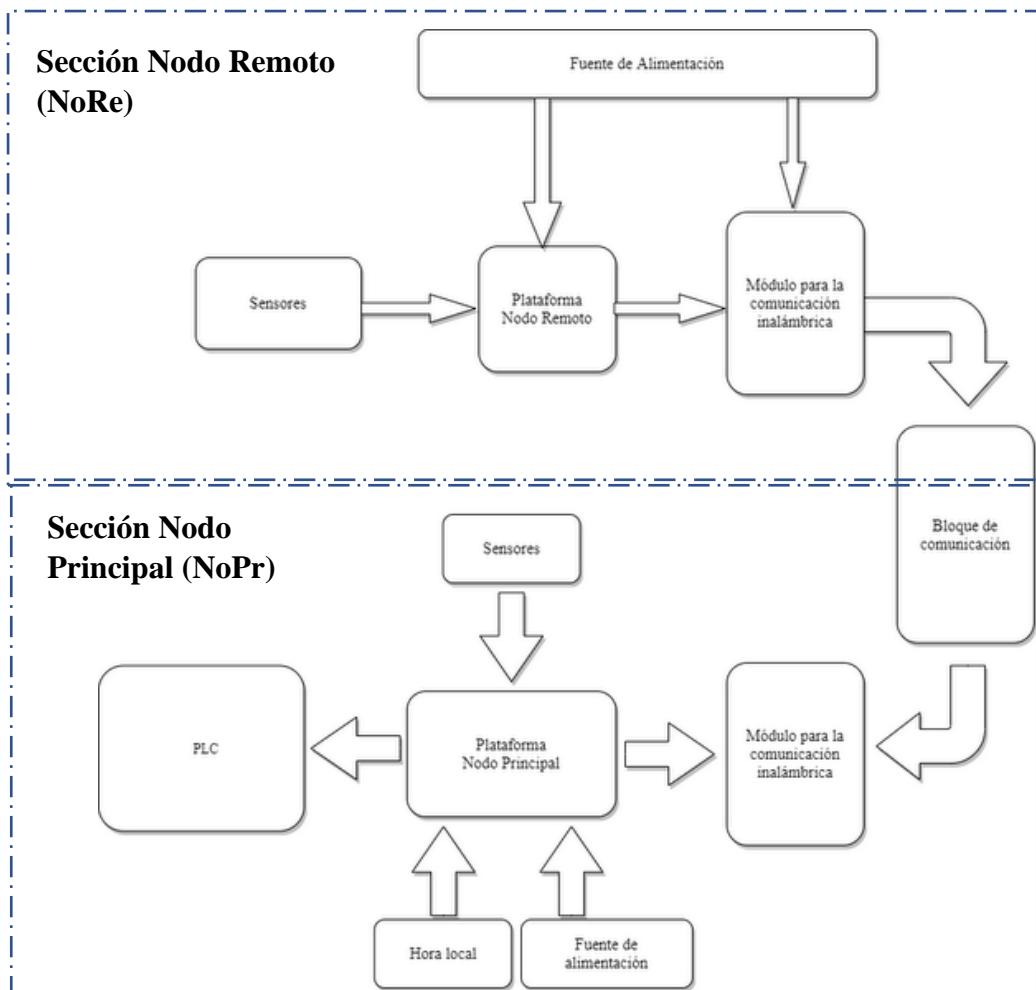


Figura 38: Arquitectura del sistema de alerta temprana.

Fuente: Autoría.

La sección NoPr realiza funciones como la medición de aceleraciones del edificio, conexión al PLC de la universidad y comparación de datos de los sensores del nodo principal y recepción de datos de la sección remota, y la sección NoRe realiza las funciones de recolección de datos de aceleraciones y la transmisión de los datos a través de la comunicación inalámbrica.

El umbral se creará en base a los datos obtenidos del MVA, con la selección del eje óptimo, el cual se selecciona en cada edificio, por tanto, el nodo remoto como el nodo principal tendrán umbrales diferentes por motivos de su construcción, amoblado y personal al momento de realizar el MVA.

Mediante el diagrama de bloques de la Figura 38, se representa el funcionamiento del sistema de alerta temprana, se divide en sección y bloques o módulos para su posterior análisis y diseño individual. Cada bloque cumple una función específica del sistema, a continuación, se detalla cada uno:

- **Bloque Sensor:** En esta sección se conforma por los sensores acelerómetro y obtendrán datos de aceleración, su ubicación va de acuerdo como se establece en el MVA.
- **Bloque Reloj:** Al momento de obtener las aceleraciones se debe asignar un registro temporal el cuál sincroniza los datos de los dos nodos y así hacer una comparación más precisa.
- **Bloque Comunicación inalámbrica:** aquí se realiza la conexión entre los dos nodos, para la transmisión y recepción de información. Para procesar la información del NoRe debe ser enviada al NoPr, aquí se analizará los diferentes módulos para realizar la comunicación.
- **Bloque Plataforma:** se analiza las diferentes plataformas de acuerdo a su funcionamiento en el prototipo, optimizando en el procesamiento de la información como en la obtención de datos.
- **Bloque Interconexión:** se analiza la conexión que tendrán los dos sistemas, optimizando tiempos de respuestas, configuración de la notificación y activación del siniestro a nivel del campus universitario.

### 3.9. Selección de hardware.

Para la selección de hardware se basa en el diseño global, se recalca los bloques: Bloque de sensores, bloques de comunicación, bloques de plataforma nodo principal y remoto, y

bloque de interconexión. En los siguientes puntos se analiza los módulos y plataformas para selección de hardware y software.

### 3.9.1. Bloque de sensores.

El sensor es un bloque fundamental para la adquisición de la información, depende de este la fidelidad de la obtención de la información que necesita el sistema de acuerdo con los requerimientos. En los siguientes puntos se describe y selecciona el dispositivo de medición de los sismos y el sensor se utilizará.

#### 3.9.1.1. Selección del dispositivo de medición de sismos.

El dispositivo seleccionado en base a los requerimientos establecidos se destalla en Tabla 13, de acuerdo con los requerimientos establecidos en este capítulo uno y en los requerimientos del sistema.

Tabla 13: Selección del dispositivo de medición de los sismos.

Dispositivo	Requerimientos				Valoración
	SyRI6	SyRI8	SyRI9	SyRI10	
<b>Acelerómetro</b>	X	X	X	X	4
<b>Sismómetro</b>	-	-	X	-	1
<b>Sistema GPS</b>	-	-	X	X	2
<b>Elección: Acelerómetro</b>					

Fuente: Autoría

Al cumplir los requisitos, las aceleraciones dentro de un edificio pueden ser medido por este sensor, al realizar el análisis comparativo el sensor acelerómetro cumple con los requerimientos, y también comprobando que el sensor es altamente recomendado por (Esquirol & Díaz, 2016) por la sensibilidad a estas vibraciones.

### 3.9.1.2. *Requerimientos de los sensores acelerómetros.*

El sistema al tratarse de un medidor de sismos en base a las aceleraciones producidas se debe tener en cuenta los siguientes requerimientos del sistema establecidos en la sección 3.7:

- Ancho de banda 200 Hz.
- Alimentación de 3.3 - 5v.
- Alta sensibilidad.
- Medida de aceleración de máximo 2g.
- Bajo consumo.
- Triaxiales.

### 3.9.1.3. *Selección de acelerómetro.*

En la Tabla 14 se detallará las características principales (margen de medida, ancho de banda) de los tipos de acelerómetros y sus aplicaciones con sus respectivas ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

*Tabla 14: Características de los acelerómetros*

<b>Tipo</b>	<b>Margen de medida (g)</b>	<b>Ancho de banda (Hz)</b>	<b>Ventajas e Inconvenientes</b>	<b>Aplicaciones</b>
<b>MEMS</b>	1.5g – 250g	0.1 - 1500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta sensibilidad</li> <li>• Conste medio</li> <li>• Uso sencillo</li> <li>• Bajas temperaturas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto</li> <li>• ABS</li> <li>• Airbag</li> <li>• Uso en automoción</li> <li>• Mediciones sísmicas</li> </ul>
<b>Capacitivos</b>	0g – 1000g	0 - 2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funciona en contint</li> <li>• Bajo ruido</li> <li>• Baja potencia</li> <li>• Bajo coste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso general</li> <li>• Uso industrial</li> <li>• Sistemas de alarma</li> </ul>

Fuente: Adaptado de (Arenas, 2008)

Se evaluará algunos acelerómetros disponibles en el mercado de acuerdo con los parámetros que deben tener para este prototipo, detallando características técnicas y precios.

Tabla 15: Comparativa de los diferentes acelerómetros en el mercado.

Modelo	Rango de aceleración	Axis	Tensión de alimentación	Sensibilidad	Ancho de banda	Precio
<b>MPU 6050</b>	±2, ±4, ±8, ±16	X,Y,Z	2.375 – 3.46 V 500 µA	16,384 LSB/g a ±2g	260 Hz	\$ 3.50
<b>ADXL 320</b>	±5	X,Y	2,4 – 6 V 350 µA	174mV/g	2,5 kHz	
<b>MPU 9250</b>	±2, ±4, ±8, ±16	X,Y,Z	2.4 - 3.6 V 450µA	16,384 LSB/g a ±2g	1KHz	\$ 8.00
<b>MMA 7361</b>	±1.5g, ±6g	X,Y,Z	3.3 – 5.3 V 400 µA	800 mV/g a 1.5g	400 Hz	\$ 7.50
<b>ADXL 335</b>	±3 g	X,Y,Z	1.8 - 3.6 V 350 µA	300 mV/g	1.6 kHz	\$ 5.50

Fuente: Autoría.

Para realizar la selección del acelerómetro se toma en cuenta los requerimientos del sistema, basándose en las especificaciones técnicas y costo del sensor, estos datos son tomados de tiendas electrónicas y páginas WEB de compra/venta: MercadoLibre y Mouser EC (sin costo de envío), se detalla a continuación en la Tabla 16.

Tabla 16: Análisis y comparación de los sensores acelerómetros

Dispositivo	Requerimientos						Valoración
	SyRI10	SrSH5	SrSH7	SrSH9	SrSH10	SrSH11	
<b>MPU 6050</b>	X	X	X	X	X	X	<b>6</b>
<b>ADXL 320</b>	X	X	X	-	-	-	<b>3</b>
<b>MPU 9250</b>	X	X	X	-	X	X	<b>5</b>
<b>MMA 7361</b>	X	X	X	-	X	-	<b>4</b>



<b>ADXL 335</b>	X	X	X	-	-	-	<b>3</b>
-----------------	---	---	---	---	---	---	----------

---

**Elección:**

**MPU 6050**

---

Fuente: Autoría

El sensor seleccionado es el MPU 6050 ya que cumple con todos los requerimientos establecidos del sistema y una excelente medición, al ser construido en base a la tecnología MEMS, ampliamente distribuido en la región, es asequible y cumple con todos los requerimientos que necesita el sistema.

### **3.9.2. Diseño de la comunicación inalámbrica.**

En base a los requerimientos establecidos se realiza el diseño de la comunicación inalámbrica y se analiza los parámetros de distancia, pérdidas de potencia y estudio de presupuesto de enlace de los módulos inalámbricos disponibles en el mercado a través del software de simulación RadioMobile, para seleccionar el módulo adecuado para el sistema de comunicación inalámbrica.

En la red existen dos nodos, el nodo principal (receptor) y el nodo remoto (transmisor) como se observa en la Figura 39, se observa el nodo remoto en el Edificio FICA y el nodo principal en el edificio Bienestar Universitario.



Figura 39: Topología de la red, foto superior de los edificios de la UTN.

Fuente: Autoría.

### 3.9.2.1. Diagrama de red

Con el uso de Radio Mobile se puede generar un diagrama tentativo para la conformación de la red, para ello se tomarán en cuenta la distancia, punto de cada nodo, se observa en la Figura 40 la ubicación de las estaciones.



Figura 40: Diagrama de la red.

Fuente: Autoría.

La información de cada nodo se observa en la Tabla 17, se detalla la latitud, longitud y altura (sobre el nivel del mar).

Tabla 17: Coordenadas de los nodos.

	Latitud	Longitud	Altura (metros)
<b>NoRe PA</b>	0.35900	-78.11124	2203,2 m

Fuente: Autoría

### 3.9.2.2. Presupuesto de enlace.

Para el análisis del presupuesto de enlace, se selecciona algunos módulos inalámbricos disponibles en la región, tomando valores del Datasheet como potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, velocidad de transmisión, compatibilidad con las plataformas de Arduino y Raspberry Pi, distancia teórica con línea de vista, frecuencia de operación (depende de cada país las bandas libres) y su precio, como se observa en la Tabla 18. A continuación, se observa la ecuación para el cálculo de los márgenes del enlace para cada uno de los dispositivos que se analizarán.

$$\text{Margen del enlace} = (Gt + Lp) - Srx \quad \text{Ecuación ( 11)}$$

Donde:

**Gt:** Ganancia total

**Lp:** Pérdidas por propagación

**Srx:** Sensibilidad de recepción

Tabla 18: Especificaciones técnicas de módulos inalámbricos.

Características	Módulos			
	ESP8266	LoRa SX1278	nRF24l01	xBee S2C
Protocolo	802.11 b/g/n	LORA WAN	802.11	802.15.4
Power Output	802.11b, CCK, +19.5 dBm,	+14 dBm	0 dBm	Boost mode, 6.3 mW
	802.11b, CCK, +18.5 dBm			Normal mode, 3.1 mW
	802.11g, OFDM, +16 dBm			
	802.11n, MCS7, +14 dBm			
Sensibilidad	802.11 b: -91 dbm	-148 dBm	-82 dBm	Boost mode:

	802.11 g: -75 dbm			-102 dBm
	802.11 n: -72 dbm			Normal mode: -100 dBm
<b>Ganancia de antenas</b>	0dBi	2dBi	2dBi	2.1 dBi
<b>Voltaje de alimentación</b>	3.6 V	1.8 - 3.7 V	1.9 – 3.6 V	2.1 – 3.6 V
<b>Rango</b>	Line of sight: 300 metros	Hasta 10km	Hasta 100 metros	Line of sight: 1200 metros
	Indoor: 25 metros		PA + SMA: 1000 metros	Indoor: 60 metros
<b>Frecuencia de operación</b>	2412 MHz – 2484 MHz	137 – 960 MHz	2.4 – 2.5 GHz	2.4 GHz
<b>Precio</b>	\$ 8.00	\$ 20.00	\$ 11.00	\$ 41.00

Fuente: Autoría.

### 3.9.2.3. Pérdidas de potencia en el espacio libre.

La cobertura se ve limitada en función de parámetros inherentes a la ubicación geográfica como obstáculos, disposición de los equipos; y otros propios del hardware del enlace, como la potencia utilizada y la ganancia de las antenas, se analiza a continuación las pérdidas de potencias totales que se presentan en un enlace inalámbrico de 2.4GHz y 915 MHz, ya que son bandas ISM libres en el Ecuador. Se considera punto A como Nodo Remoto (PA) y punto B como Nodo Principal (PB).

- **Cálculo de la distancia.**

$$d = \sqrt{[111.32 * (LaPA - LaPB)]^2 + [111.32 * (loPA - loPB)]^2 + \left(\frac{HPA - HPB}{1000}\right)^2}$$

Ecuación ( 12)

Dónde:

d = Longitud del trayecto radioeléctrico [ km]

LaPA = Latitud PA

LaPB = Latitud PB

LoPA = Longitud PA

LoPB = Longitud PB

HPA = Altitud PA

HPB = Altitud PB

$$d = \sqrt{[111.32 * (0.359 - 0.35949)]^2 + [111.32 * (-78.1112 + 78.11062)]^2 + \left(\frac{2203,2 - 2205}{1000}\right)^2}$$

$$d = 0.0879 \text{ km}$$

$$d = 87,9 \text{ metros}$$

- **Perfil topográfico**

Se analiza también el perfil topográfico entre estos dos nodos en la Figura 41 y en Figura 42 se puede observar la línea de vista con el edificio FICA desde el edificio bienestar universitario.

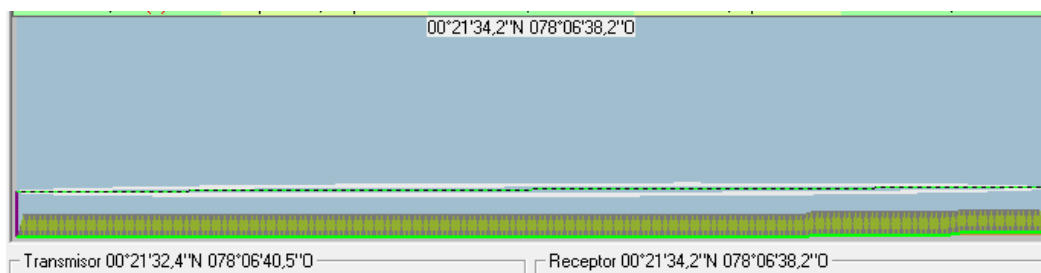


Figura 41: Perfil Topográfico entre el NoRe-NoPr.

Fuente: Autoría.



Figura 42: Línea de Vista.

Fuente: Autoría.

La existencia de obstáculos es casi nula, por la altura de las antenas que es de 13 metros con respecto al suelo.

- **Ángulo de azimuth**

Es el ángulo que indica la orientación en el que se debe fijar la antena con respecto al plano horizontal.

$$azimuth = \tan^{-1}(\theta) \quad \text{Ecuación ( 13)}$$

$$\theta = \frac{\Delta longitud}{\Delta latitud} \quad \text{Ecuación ( 14)}$$

Donde:

$\theta$ : Diferencia entre la variación de longitud y latitud entre los puntos

$$\theta = \frac{LoPA - LoPB}{LaPA - LaPB}$$

$$\theta = \frac{-78.11124 + 78.11062}{0.359 - 0.35949} = 1.2653$$

$$azimuth = \tan^{-1}(1.2653)$$

$$azimuth = 51.67^\circ$$

- **Ángulo de elevación**

Es la inclinación con respecto al plano vertical

$$elevación = \tan^{-1}(\alpha) \quad \text{Ecuación ( 15)}$$

$$\alpha = \frac{HPA - HPB}{d} \quad \text{Ecuación ( 16)}$$

Donde:

$\alpha$ : la diferencia entre la variación de alturas y la distancia entre los puntos.

$$\alpha = \frac{(2203,2 - 2205)[m]}{87.9[m]} = -0.0214$$

$$elevación = \tan^{-1}(-0.02045)$$

$$elevación = 1.17^\circ$$

- **Atenuación en el espacio libre.**

$$L_b = 32.45 + 20 \log(f[MHZ]) + 20 \log(d[km]) \quad \text{Ecuación ( 17)}$$

Dónde:

$L_p$  = Pérdida de transmisión en el espacio libre [dB]

$K = 35.45$  Constante de atenuación frecuencias en [MHz].

$f$  = Frecuencia [MHz]

$d$  = Distancia [km]

**Para la frecuencia de 2.4 GHz**

$$L_p = 32.45 + 20 \log(f[2400]) + 20 \log(d[0.0879])$$

$$L_p = 78,93 \text{ dB}$$

**Para la frecuencia de 915 MHz**

$$L_p = 32.45 + 20 \log(f[915]) + 20 \log(d[0.0879])$$

$$L_p = 70.55 \text{ dB}$$

Se analiza también las pérdidas por el clima, ya que en la zona de Imbabura también es característico la presencia de lluvias frecuentes y neblinas. Por tal caso se considera:

*Pérdida en el espacio libre + pérdidas debido a la lluvia (Losses rain) + neblina (Los fog) y gases atmosféricos (losses as).*

$$L_r = \frac{1 \text{ dB}}{\text{Km}} \times 0.0879 \text{ Km} = 0.0879 \text{ [dB]}$$

$$L_f = 0,01 \frac{\text{dB}}{\text{Km}} \times 0.0879 \text{ Km} = 0.000879 \text{ [dB]}$$

$$L_g = 0,01 \frac{\text{dB}}{\text{Km}} \times 0.0879 \text{ Km} = 0.000879 \text{ [dB]}$$

Las pérdidas totales de estos tres parámetros son:

$$L_{rfg} = 0.08807 \text{ [dB]}$$

Finalmente, el presupuesto de las pérdidas se toma en cuenta por espacio libre y pérdidas por lluvia, niebla y gas, con lo cual se determina que las pérdidas totales serán de:

**Para la frecuencia 2.4 GHz**

$$L_t = L_p + L_{rfg} = 78.53 + 0.08807 = 79.022 \text{ [dB]}$$

$$L_t = 79.02 \text{ [dB]}$$



### Para la frecuencia 915 MHz

$$L_t = L_p + L_{rfg} = 70.55 + 0.08807 = 70.64[\text{dB}]$$

$$L_t = 70.64 [\text{dB}]$$

#### 3.9.2.4. Comparación de datos calculados y datos obtenidos de Radio Mobile.

Se utiliza el software Radio Mobile para la obtención de los valores calculados, que nos permite la comparación con los resultados obtenidos.

Tabla 19: Comparación de datos

	Calculados	Radio Mobile
<b>Pérdidas totales 2.4 GHz</b>	79.02 dB	79.0 dB
<b>Pérdidas totales 915 MHz</b>	70.65 dB	70.64 dB
<b>Distancia entre nodos</b>	87.9 m	90 m
<b>Azimuth</b>	51.67°	51.59°
<b>Elevación</b>	1.17°	1.17°

Fuente: Autoría.

#### 3.9.2.5. Presupuesto de enlace.

El enlace NoRe-NoPr por tener una distancia menor a 100 metros y un ángulo de elevación de 1.172° se opta por un enlace de punto a punto, por motivo de reducción de costos de hardware a ser empleado.

El análisis del presupuesto de enlace requiere de los valores de pérdidas en conexiones y en el hardware, se considera 0.5 dB para todos los casos. Se realiza los cálculos con la Ecuación ( 17).

- **Caso ESP8266**

$$P_{TX} = 19.5 \text{ dBm}$$

$$G_{TX} = 0 \text{ dBi}$$

$$\text{Pérdida en el cable}_{TX} = 0.5 \text{ dB}$$

$$P_{RX} = 19.5 \text{ dBm}$$

$$G_{RX} = 0 \text{ dBi}$$

$$\text{Pérdida en el cable}_{RX} = 0.5 \text{ dB}$$

$$\text{Ganancia total} = 19.5\text{dBm} + 0\text{dBi} - 0.5\text{dB} + 0\text{dBi} - 0.5\text{dB} = 18.5 \text{ [dB]}$$

$$\text{Nivel de señal recibida esperado} = 18.5 - 79.02 = -60.52 \text{ [dBm]}$$

$$\text{Margen del enlace} = -60.12 - (-91) = 30.47 \text{ [dB]}$$

El margen del enlace para el módulo ESP8266 es suficiente para la distancia requerida en los cálculos realizados, pero al tratarse del protocolo 802.11 no garantiza la distancia máxima de 100 metros en espacio libre, por motivos de la interferencia que se presenta con otras redes WiFi o los canales saturados en horas pico.

- **Caso Lora Sx1276 (915 MHz)**

$$P_{TX} = 14 \text{ dBm}$$

$$G_{TX} = 2 \text{ dBi}$$

$$\text{Pérdida en el cable}_{TX} = 0.5 \text{ dB}$$

$$\text{Sensibilidad}_{RX} = -148 \text{ dBm}$$

$$G_{RX} = 2 \text{ dBi}$$

$$\text{Pérdida en el cable}_{RX} = 0.5 \text{ dB}$$

$$\text{Ganancia total} = 14\text{dBm} + 2\text{dBi} - 0.5\text{dB} + 2\text{dBi} - 0.5\text{dB} = 17 \text{ [dB]}$$

$$\text{Nivel de señal recibida esperado} = 13 - 70.65 = -53.64 \text{ [dBm]}$$

$$\text{Margen del enlace} = -53.64 - (-148) = 94.36 \text{ [dB]}$$

Este enlace tiene mejor margen, siendo muy alto en la diferencia entre potencia transmitida con las pérdidas en el medio, esto se debe a la baja sensibilidad que el módulo Sx1276 y su protocolo LoraWAN, los cuales permiten coberturas teóricas máximas de hasta 10 Km, por estos motivos el enlace tiene un margen muy elevado satisfaciendo en enlace de la red a implementar.

- **Caso nRF24L01 (2.4 GHz)**

$$P_{TX} = 0 \text{ dBm}$$

$$G_{TX} = 2 \text{ dBi}$$

$$\text{Pérdida en el cable}_{TX} = 0.5 \text{ dB}$$

$$\text{Sensibilidad}_{RX} = -82 \text{ dBm}$$

$$G_{RX} = 2 \text{ dBi}$$

$$\text{Pérdida en el cable}_{RX} = 0.5 \text{ dB}$$

$$\text{Ganancia total} = 0\text{dBm} + 2\text{dBi} - 0.5\text{dB} + 2\text{dBi} - 0.5\text{dB} = 3 \text{ [dB]}$$

$$\text{Nivel de señal recibida esperado} = 3 - 79.02 = -76.02 \text{ [dBm]}$$

$$\text{Margen del enlace} = -76.02 - (-82) = 5.98 \text{ [dB]}$$

Este módulo al igual que el ESP8266, usa el protocolo 802.11 pero con la diferencia que incorpora una antena externa para amplificación de la potencia, pero cuenta con una sensibilidad muy baja que da como resultado un margen de enlace pobre, por sus velocidades de transmisión relativamente altas, siendo un valor muy bajo para el objetivo de la red.

- **Caso xBee S2C (2.4 GHz)**

$$P_{TX} = 8 \text{ dBm}$$

$$G_{TX} = 2.1 \text{ dBi}$$

$$\text{Pérdida en el cable}_{TX} = 0.5 \text{ dB}$$

$$\text{Sensibilidad}_{RX} = -102 \text{ dBm}$$

$$G_{RX} = 2.1 \text{ dBi}$$

$$\text{Pérdida en el cable}_{RX} = 0.5 \text{ dB}$$

$$\text{Ganancia total} = 8\text{dBm} + 2.1\text{dBi} - 0.5\text{dB} + 2.1\text{dBi} - 0.5\text{dB} = 11.2 \text{ [dB]}$$

$$\text{Nivel de señal recibida esperado} = 11.2 - 78.62 = -67.82 \text{ [dBm]}$$

$$\text{Margen del enlace} = -67.82 - (-102) = 34.18 \text{ [dB]}$$

Este módulo al trabajar con el protocolo 802.15.4 permite distancias relativamente largas (depende del modelo), el xBee S2C al ser módulo de nueva generación comparados con la serie 1 y serie 2, estos módulos mejoran sus prestaciones en potencia (normal y boost) y sensibilidad (normal y boost) con un rango máximo teórico de 1200 metros, los cuales se reflejan en el resultado del margen de enlace siendo un valor suficiente para la red que se implementa.

### **3.9.3. Bloque de comunicación.**

La comunicación es una parte fundamental dentro de un sistema, por tanto, este bloque se encarga de la transferencia de la información del nodo remoto al nodo principal, para el procesamiento.

#### **3.9.3.1. Requerimientos del módulo inalámbrico.**

Los requerimientos del módulo inalámbrico deben ser capaz de mantener una conexión confiable para la transmisión de los datos, tanto para el nodo receptor como para el nodo transmisor.

- Voltaje de operación de 3.3v o 5v.
- Fiabilidad.

- Rango de cobertura por lo menos 100 metros.
- Consumo bajo de corriente.
- Tamaño pequeño.
- Distancia 90 m

### 3.9.4. Selección del módulo inalámbrico.

Como se analizó en la sección 3.9.2, se observa en la Tabla 20 el resumen de los diferentes módulos que se seleccionaron, comparando el margen que tiene el enlace en cada caso.

*Tabla 20: Resumen de módulos inalámbricos.*

<b>Parámetro</b>	<b>ESP8266</b>	<b>LoRa SX1278</b>	<b>nRF24l01</b>	<b>xBee S2C</b>
<b>Margen del enlace a 90 metros</b>	30.7 dB	94.36 dB	5.98 dB	34.18 dB
<b>Data Rate</b>	To 2MBps	37000 bps	To 2MBps	250000 bps
<b>Facilidad de configuración</b>	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado

Fuente: Autoría.

Al realiza las comparaciones se concluye que: el módulo ESP8266 al trabajar con el protocolo 802.11 2.4GHz no garantiza una cobertura de los 100 metros, ya que existen mucha interferencia con las redes WiFi, teniendo un máximo de 30 metros óptimos en el ambiente que se implementaría. El LoRa SX1278, al tener el mayor margen de enlace tiene una característica muy especial, el cuál empleado mayormente para control y no monitoreo. El nRF24L01 se descarta por su bajo margen de enlace, ya que en las condiciones que se realizó los cálculos se aplica en casos ideales. El xBee S2C es el mejor módulo para el sistema de alerta temprana ya que tiene un margen de enlace más que suficiente, su data rate es suficiente para el proyecto y por su característica principal que es un módulo para monitoreo. Por tanto, el módulo seleccionado es el xBee S2C por sus prestaciones.

### 3.9.4.1. Topología de la red.

En el ANEXO C se resume técnicamente la topología de red.

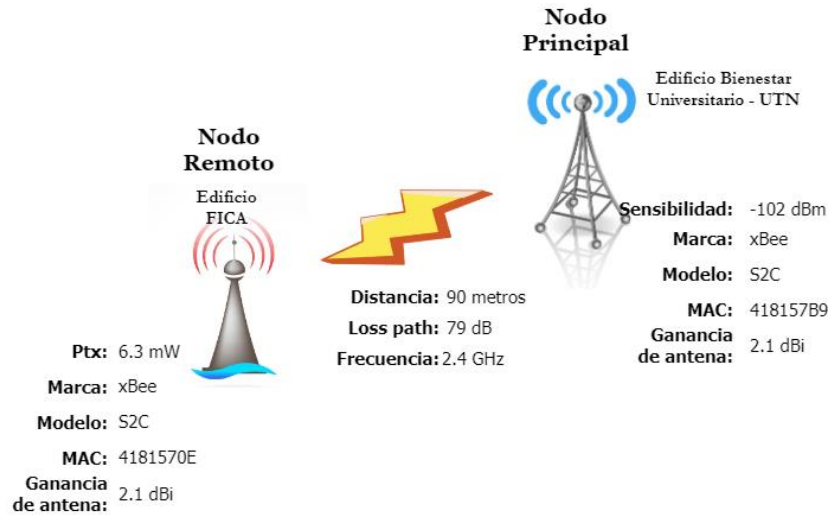


Figura 43: Topología de la red.

Fuente: Autoría.

### 3.9.5. Bloque del reloj.

Este bloque es el encargado de almacenar la fecha y hora en la que ocurre una aceleración, esta información es almacenada para futuros análisis. Para la sincronización en tiempo real al nodo principal, se puede obtener de varias formas, las cuales se analiza a continuación, respecto a los requerimientos del sistema.

- Tiempo real
- Tempo en milisegundos.
- Mínimo desfase.

#### 3.9.5.1. Selección del reloj.

Existen varias formas para obtener la fecha y hora en tiempo real, pero detallaremos dos formas, a través de módulos tanto RTC (DS3231), GPS y el internet (NTC), en la Tabla 21 se detalla la precisión y desfase.

Tabla 21: Comparativa de formas de obtención de tiempo real.

Forma	Precisión	Desfase
RTC	Configuración manual	6 segundos al mes
GPS	Fecha y hora UTC (-5 time local)	Sincronización automática
Internet (NTP)	Fecha y hora UTC (-5 time local) Requiere conexión a internet.	Sincronización automática

Fuente: Autoría Selección del reloj.

A continuación, se selecciona el método para la obtención de la hora local, por medio de puntuación respecto a los requerimientos, como se observa en la Tabla 22.

Tabla 22: Selección del reloj.

Dispositivo	Requerimientos			Valoración
	SyRI10	SySR6	SrSH6	
DS3231	X	X	X	3
GPS	-	X	X	2
Internet (NTP)	X	X	X	3
<b>Elección: Internet</b>				

Fuente: Autoría.

### 3.9.5.2. Obtención Hora local GTM-5.

Para la obtención de la hora a través de Internet es necesario instalar el servidor NTP, ya que un Raspberry Pi al no contar con un reloj integrado, al momento de un corte de energía o reinicio la hora se reinicia al por defecto 1 de enero de 1970, así obligando a configurar la hora nuevamente y sin precisión. Con NTP se hace consulta de hora a través del Internet con una precisión muy alta y con fiabilidad de mantener esa hora a pesar de que haya un corte energético.

### 3.9.6. Bloque de la plataforma.

En el capítulo 2 se detalla las plataformas y asignación al prototipo para su funcionamiento, en los siguientes puntos se hace la selección del más adecuado para el sistema.

#### 3.9.6.1. Selección de plataforma para nodo principal.

El nodo principal como se definió en el capítulo 2, es requerido un Raspberry Pi por su gran capacidad de procesamiento en un single-board y la ejecución de múltiples tareas simultáneamente, a continuación, se describirá algunos ejemplares que existen en el mercado, con sus respectivas características técnicas que posteriormente se analizarán en base a los requerimientos y finalmente la selección de la plataforma para el nodo principal, como se observa en la Tabla 23.

Tabla 23: Comparación de los Raspberry Pi del mercado.

Características	Raspberry Pi 3 B+	Raspberry Pi 3 B	Raspberry Pi A +	Raspberry Pi B
Typo de SOC	Broadcom BCM2837B0	Broadcom BCM2837	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835
N° de núcleos	4	4	1	1
CPU clock	1.4 GHz	1.2 GHz	700 MHz	700 MHz
RAM	1 GB	1 GB DDR2	256 MB	512 MB
Puertos USB	4xUSB 2.0	4	1	2
Ethernet	Gigabit – Over USB 2.0	Si	No	Si
HDMI	Si	Si	Si	Si v1.3
SD/MMC	micro-SD	microSD	microSD	SD
SPI	Si	Si	Si	Si
I2C	Si	Si	Si	Si



<b>WiFi</b>	2.4 y 5 GHz 802.11 b/g/n/ac	802.11n	No	No
<b>Power</b>	1.13A – 5V	1.34A – 5V	200 mA – 5V	700 mA – 5V

Fuente: Autoría

Como se observó en los requerimientos de hardware, es necesario que la plataforma principal cumpla con los siguientes puntos, como se observa en la Tabla 24:

*Tabla 24: Selección de la plataforma principal.*

<b>Dispositivo</b>	<b>Requerimientos</b>						<b>Valoración</b>
	<b>SySR2</b>	<b>SySR3</b>	<b>SrSRH8</b>	<b>SySR13</b>	<b>SySH4</b>	<b>SySH6</b>	
<b>Raspberry Pi 3 B+</b>	X	X	-	X	X	X	<b>5</b>
<b>Raspberry Pi 3 B</b>	X	X	X	X	X	X	<b>6</b>
<b>Raspberry Pi A +</b>	-	X	X	X	X	X	<b>5</b>
<b>Raspberry Pi B</b>	-	X	X	X	X	X	<b>5</b>
<b>Elección:</b>							
Raspberry Pi 3 B							

Fuente: Autoría.

El dispositivo con mayor puntuación es el Raspberry Pi 3B, siendo un multi-core, tiene la velocidad suficiente para ejecutar sin dificultad los scripts que se programarán, y con compatibilidad con los terminales de comunicación I2C, SPI y Serial que requiere por los sensores y módulos inalámbricos.

### **3.9.6.2. Selección de plataforma para nodo remoto.**

Para la selección del nodo remoto se detalla las especificaciones de los diferentes Arduino que existen actualmente en el mercado en la Tabla 25.

En el mercado actual existe una gran variedad de esta plataforma de desarrollo, se realizará una comparación entre todos los Arduino más relevantes.

Tabla 25: Comparación de los Arduinos en el mercado.

<i>Característica</i>	<i>Uno</i>	<i>Leonardo</i>	<i>Mega</i>	<i>Mini</i>	<i>Nano</i>
<b>Procesador</b>	ATmega328P	ATmega32U4	ATmega2560	ATmega328P	ATmega168P ATmega328P
<b>Operating/Input Voltage</b>	5 V / 7-12 V	5 V / 7-12 V	5 V / 7-12 V	5 V / 7-9 V	5 V / 7-9 V
<b>CPU Speed</b>	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz
<b>Analog In/Out</b>	6/0	12/0	54/15	8/0	8/0
<b>Digital IO/PWM</b>	14/6	20/6	20/7	14/6	14/6
<b>Flash [kB]</b>	32	32	256	32	16/32
<b>USB</b>	Regular	Micro	Regular	-	Mini
<b>UART</b>	1	1	4	-	-
<b>Precio en USD</b>	\$ 10.00	\$10.00	\$21.00	\$5.50	\$6.50

Fuente: Autoría

Para el nodo remoto, al ser que va a recolectar y enviar los datos hacia el nodo principal. Debe cumplir con los requerimientos ya establecidos en capítulo 3.

<b>Dispositivo</b>	<b>Requerimientos</b>						<b>Valoración</b>
	<b>SySR3</b>	<b>SySR6</b>	<b>SrSRH4</b>	<b>SrSH6</b>	<b>SySH8</b>	<b>SrSH12</b>	
<b>Uno</b>	X	X	X	X	X	-	<b>5</b>
<b>Leonardo</b>	X	X	X	X	X	-	<b>5</b>
<b>Mega</b>	X	X	X	X	X	-	<b>5</b>
<b>Mini</b>	-	X	X	X	X	X	<b>5</b>
<b>Nano</b>	X	X	X	X	X	X	<b>6</b>

**Elección:**

Arduino Nano

Fuente: Autoría

La plataforma seleccionada es el Arduino nano, ya que obtuvo mayor puntuación, cumpliendo todos los requerimientos del sistema, a más de que es compatible con el protocolo I2C para la comunicación con el sensor MPU6050 y tiene comunicación a través de UART para el módulo xBee S2C.

### 3.9.7. Bloque de interconexión.

El bloque de interconexión es el apartado esencial para la vinculación con el sistema de evacuación de la universidad, se debe tomar en cuenta características de la plataforma Raspberry Pi y la interfaz o entradas digitales del sistema de evacuación. Los pines de salida Digital del Raspberry Pi 3, tiene un máximo de 3.3V de voltaje de salida y 15 mA de corriente de salida. En cambio, en la interfaz de wRemote los pines de entrada digital tiene un rango de valores de 0-10V y 4-20 mA, como se observó en la situación actual.

Se toma en cuenta los valores de corriente y valor medio de voltaje, porque que al ser el Raspberry Pi el que dará la señal la corriente máxima que proporciona es de 15 mA se debe tener precaución en la protección del pin. Para esto se necesita aislar eléctricamente la interconexión para protección de la plataforma Raspberry, se utilizará un optoacoplador con un relé para el envío de la señal con un voltaje y corriente relativamente mayor para la correcta activación del MA.

El módulo relé es un componente electrónico que se utiliza como interruptor y el optoacoplador como aislante eléctrico óptico (de luz).

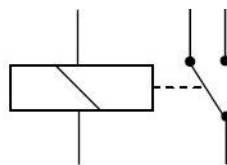


Figura 44: Relé como interruptor.

Fuente: Prometec.net

El módulo relé se selecciona de 5V por ser el más común y adecuado para su utilización en el Raspberry Pi.

- Tensión de Alimentación: 5 VDC
- Consumo del Módulo: 75mA (0.075A) Aprox.
- Acondicionamiento de señal: 10ms.
- Diodo de protección para la bobina del Relé.
- Diodo LED indicador de estado de alimentación.
- Diodo LED indicador de estado de activación del relé
- Soporta tensiones de 250VAC a 10A en carga Resistiva
- Soporta tensiones de 30VDC a 10A

### **3.10. Selección de software.**

En esta sección se seleccionará el software que utilizará el prototipo respecto a los requerimientos del sistema, tanto para el sistema operativo, como el lenguaje a utilizar para la programación de las operaciones, debe cumplir lo siguiente:

- Sistema operativo libre
- Lenguaje de programación con librerías compatibles.
- Largo periodo de mantenimiento.

### 3.10.1. Sistema operativo.

Los sistemas operativos que se pueden instalar en los Raspberry Pi varían según el distribuidor y la compatibilidad con ciertas placas, en la Tabla 26 se analizará los SO para la selección.

Tabla 26: Comparativa de los SO

Sistema operativo	
<b>Raspbian</b>	Una de las distribuciones con más alcance en la plataforma, por su tamaño, altamente soportado por la comunidad, extensas aplicaciones son diversas librerías
<b>Ubuntu Mate</b>	Es una variación del Ubuntu, con su interfaz basada en MATE desktop environment, por tanto el tamaño de SO es considerable. Ampliamente usado por la comunidad.
<b>Kali Linux</b>	Esta distribución se enfoca al apartado de seguridad

Fuente: Autoría.

En la Tabla 27 se selecciona de acuerdo con los requerimientos del sistema ya planteados.

Tabla 27: Selección del SO.

Dispositivo	Requerimientos			Valoración
	SyRI10	SySR6	SrSH6	
<b>Raspbian</b>	X	X	X	<b>3</b>
<b>Ubuntu Mate</b>	X	X	X	<b>3</b>
<b>Kali linux</b>	X	X	X	<b>3</b>
<b>Elección:</b>				
<b>Raspbian</b>				

Fuente: Autoría.

Se elige Raspbian como SO, por su robustez dentro del campo de las aplicaciones IoT o Sistemas Embebidos, ya que tiene apoyo por la comunidad, con actualizaciones frecuentes mejorando su estabilidad y su fácil implementación en la plataforma.

### 3.10.2. Lenguaje de programación.

Existen muchos lenguajes de programación, varía por plataforma u otros que se adaptan por su versatilidad considerados multiplataforma, en la Tabla 28 se compara los diferentes lenguajes.

Tabla 28: Selección del lenguaje de programación

Dispositivo	Requerimientos			Valoración
	SyRI10	SySR6	SrSH6	
Python	X	X	X	3
Java	-	X	X	2
C++	X	X	X	3

**Elección:**

**Python**

Fuente: Autoría

Se selecciona el lenguaje de programación Python por su robustez y compatibilidad en casi todas las plataformas independientes del SO, con gran cantidad de librerías para Raspbian y con diversas aplicaciones para los Raspberry Pi.

### 3.11. Diseño del sistema.

Una vez analizado el estudio de los requerimientos y selección tanto del hardware y software, se diseña la red punto a punto implementando un sensor MPU-6050 GY-521 en cada nodo, el módulo inalámbrico xBee S2C para el envío de la información del nodo remoto al nodo principal, y en el caso del nodo principal se procederá a la obtención de la hora a través del servidor NTP, en la Figura 45 se observa la arquitectura del sistema simplificada.

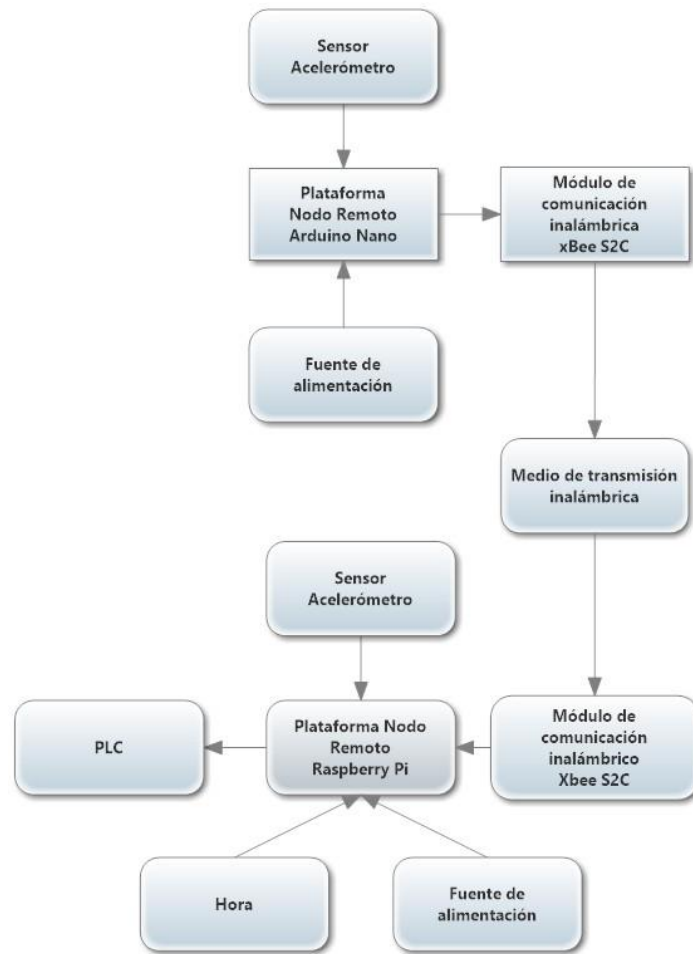


Figura 45: Diagrama de bloques del sistema.

Fuente: Autoría.

Para la notificación en caso de sismo, se debe comparar datos de los dos nodos, el cuál como primer paso se debe obtener las aceleraciones respectivas tanto del nodo principal como del nodo remoto, la información del nodo remoto debe ser enviada inalámbricamente al nodo principal, luego se compara estos datos con sus umbrales respectivos, decidiendo si hay o no un sismo, que finalmente activaría el MA hacia el PLC ejecutando la alarma de siniestro a nivel del campus universitario, en la Figura 46 se observa su diagrama de flujo.

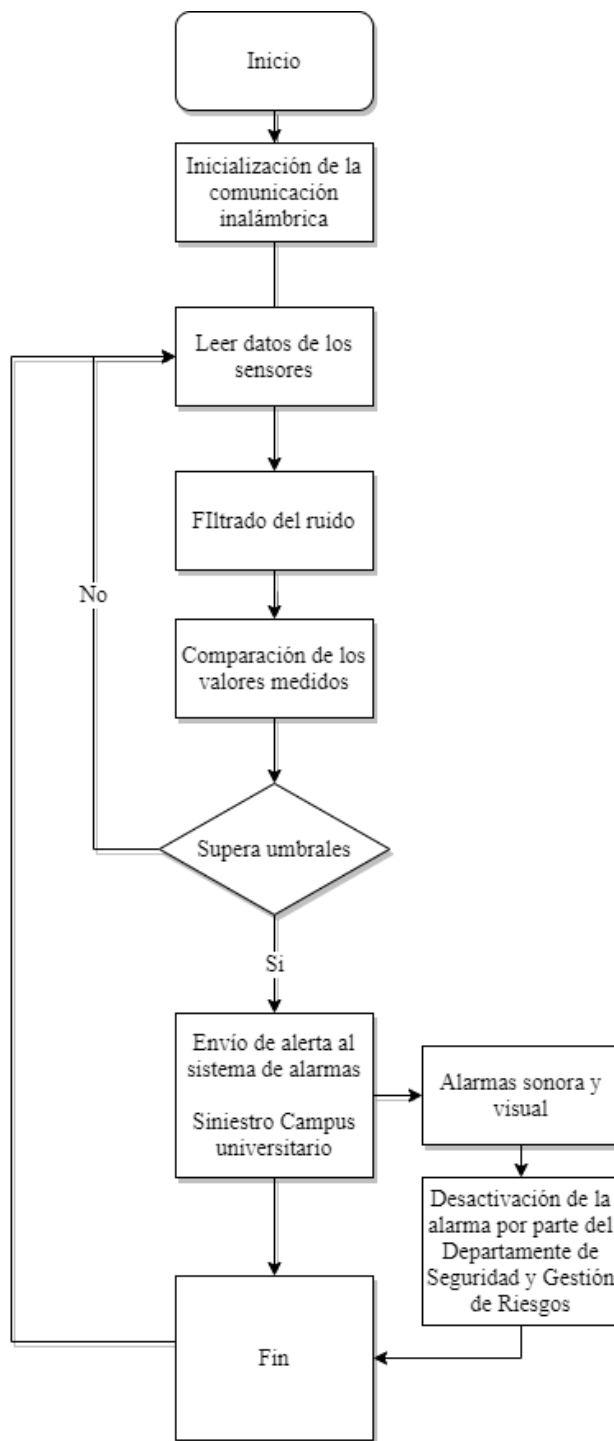


Figura 46: Diagrama de flujo del sistema.

Fuente: Autoría.

### 3.12. Diseño del hardware.

Para el desarrollo del proyecto se utiliza Arduino Nano para el nodo remoto, el sensor MPU6050-Gy, el Raspberry Pi 3 B como nodo principal y el módulo xBee S2C para la comunicación inalámbrica, el módulo de reloj se analizó y la manera más rentable de la



obtención del GTM-5 se lo describe en el diseño de software, en los puntos siguientes se describe los pines de cada dispositivo para el diseño de las conexiones y posteriormente la construcción.

- **Diagrama de pines - MPU 6050 GY-521.**

El sensor está conformado por 6 ejes, 3 para acelerómetros y 3 giroscopios, el sensor utiliza el I2C-bus para interconectar con el Arduino, I2C es un protocolo serial para interfaz de dos hilos para conectar dispositivos de baja velocidad con los microcontroladores. El MPU6050 actúa siempre como esclavo al comunicar al procesador del sistema. El LSB del direccionamiento del esclavo I2C es fijado por el PIN 9 (AD0). (Inc. InvenSense, 2011).

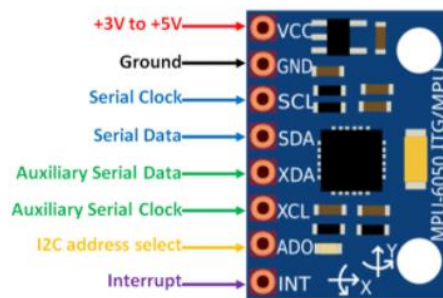


Figura 47: MPU6050.

Fuente: componentes101.com

- **Diagrama de pines xBee S2C.**

xBee S2C es un transceptor de radio de un solo chip trabaja en las frecuencias 2,4 GHz que es un ISM Banda. El transceptor consiste en un sintetizador de frecuencia totalmente integrado. La potencia de salida, los canales de frecuencia y la configuración de protocolo son fácilmente programable a través de una interfaz serial, en la Figura 48 se observa la distribución de pines del módulo.

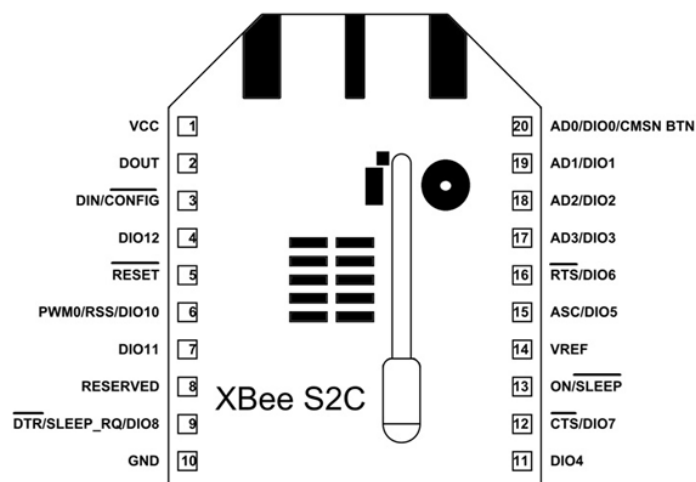


Figura 48: Diagrama de pines xBee S2C.

Fuente: componentes101.com

### 3.12.1. Diagrama de conexión nodo remoto.

Este nodo está conformado por el Arduino Nano, el sensor MPU6050 y el módulo xBee S2C, para el tratamiento de los datos, medición de los datos y envío de datos respectivamente. Como fuente de alimentación se usará un adaptador de corriente de 5V a 500mA, ya que este provee de la voltaje y corriente confiable para el nodo remoto en caso de cualquier sobretensión en la red eléctrica del edificio FICA.

En la Tabla 29 se detalla los pines de conexión del Arduino Nano con los diferentes módulos.

Tabla 29: Conexiones del Arduino.

Arduino	MPU 6050
5V	VCC
GND	GND
A4	SDA
A5	SCL
xBee S2C	
3.3V	VCC (1)
GND	GND (10)
D2 (Rx)	Tx(2)
D3 (Tx)	Rx(3)

Fuente: Autoría

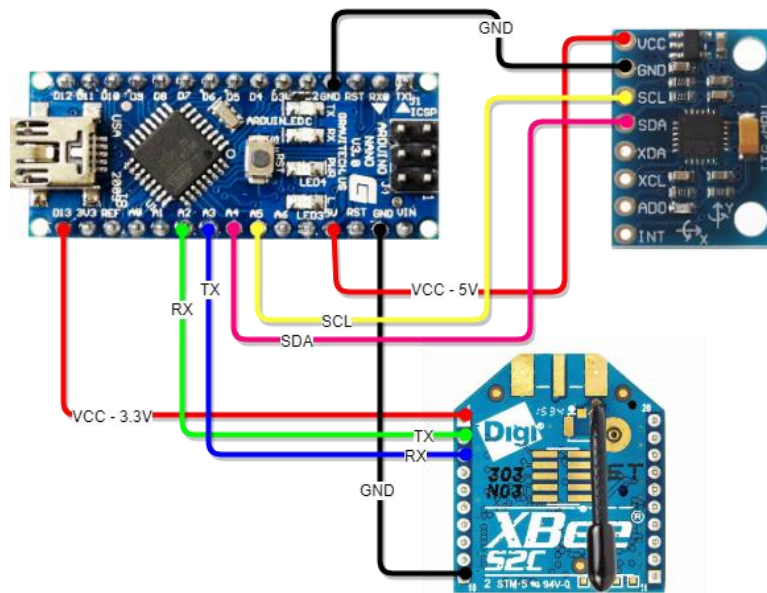


Figura 49: Diagrama de conexión del nodo remoto.

Fuente: Autoría.

### 3.12.2. Diagrama de conexión nodo principal.

El Raspberry Pi debe permitir la conexión del MPU6050 a través del puerto I2C y el módulo inalámbrico con conexión serial (UART), este nodo permitirá la conexión inalámbrica, la medición de aceleraciones de edificio, la interconexión al sistema de alarmas de la universidad por medio del wRemote y por último la conexión a Internet para la obtención de la hora local. En la Figura 50, se presenta el diagrama de conexión del nodo principal. En la Tabla 30, se detalla la conexión del Raspberry Pi con el MPU6050.

Tabla 30: Conexión Raspberry Pi con sus módulos.

Raspberry Pi	MPU 6050
(2)	VCC
(14)	GND
(3)	SDA
(5)	SCL
	<b>xBee S2C</b>
3.3V(2)	VCC (1)
GND(6)	GND (10)
10 (Rx)	Tx(2)
8 (Tx)	Rx(3)
	<b>Relé</b>
VCC(4)	VCC

GND(39)	GND
GPIO.18(12)	IN
<b>Relé</b>	<b>wRemote</b>
NC	IN

Fuente: Autoría.

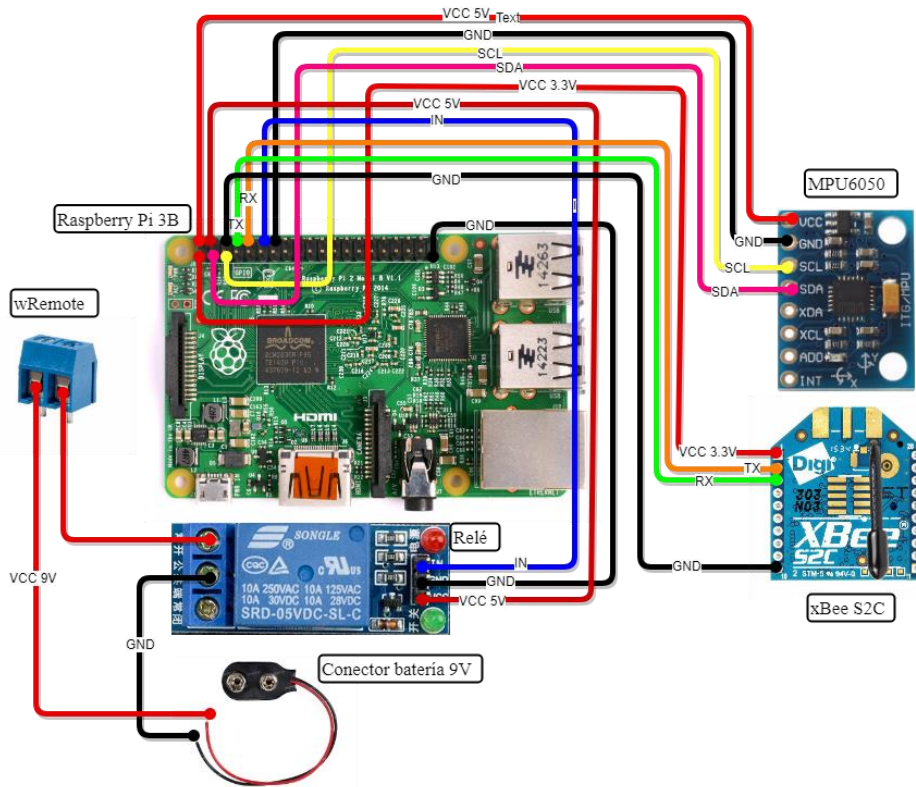


Figura 50: Diagrama de conexión del nodo principal.

Fuente: Autoría.

### 3.13. Diseño del software.

En la sección 3.13.2 y 3.13.3, se observa el diagrama de flujo del sistema de alerta temprana de cada nodo y las funcionalidades que cumple cada módulo, conformado por el sensor MPU6050, el módulo xBee S2C y el Arduino Nano y el Raspberry Pi 3 B.

#### 3.13.1. Bloque de la comunicación inalámbrica.

Al utilizar el módulo xBee S2C, su configuración es muy sencilla, ya que este cuenta con su propio software XCTU para la asignación de los diferentes roles (coordinador, nodo y router), configuración de parámetros AT y multiplataforma. A continuación, se realiza la

configuración de estos módulos para los dos nodos que dispone la red. En la Tabla 31, se detalla la configuración para el nodo remoto como el nodo principal:

- NI (Nodo identifier),
- DH (Destination Address High),
- DL (Destination Address low),
- SH (Serial number High),
- SL (Serial number Low),
- MY (16-bit Source address).

Tabla 31: Configuración de parámetros xBee XCTU.

Parámetro	Nodo Remoto	Nodo Principal
<b>Modo</b>	END-DEVICE	COORDINADOR
<b>NI</b>	No Re END_DEVICE	No Pr COORD
<b>DH</b>	13A200	0
<b>DL</b>	418157B9	FFFF
<b>SH</b>	13A200	13A200
<b>SL</b>	4181570E	418157B9
<b>MY</b>	CA20	CA95

Fuente: Autoría.

Con el Software XCTU se configura los parámetros de la Tabla 31, se muestra en la Figura 51 una representación de su configuración para los módulos. En el ANEXO E, se encuentra el manual de configuración de cada módulo.

<b>ID PAN ID</b>	2023
<b>DH Destination Address High</b>	0
<b>DL Destination Address Low</b>	FFFF
<b>MY 16-bit Source Address</b>	CA95

Figura 51: Software XCTU, parámetros de configuración.

Fuente: Autoría

### 3.13.2. Nodo remoto.

El nodo remoto se conforma de un Arduino Nano, sensor MPU6050 y el módulo xBee S2C para la comunicación. El Arduino es capaz de iniciar la comunicación serial con el xBee, iniciar la comunicación I2C con el sensor MPU6050, filtrar los datos y enviarlos al nodo principal, como se observa en la Figura 52.

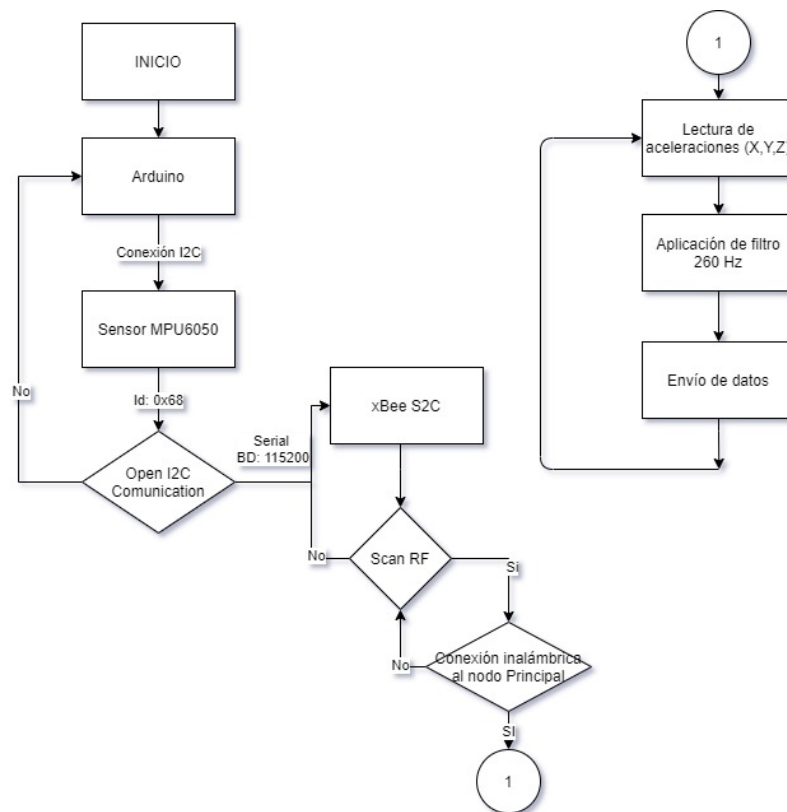


Figura 52: Diagrama de flujo del nodo remoto.

Fuente: Autoría.

#### 3.13.2.1. Comunicación serial xBee S2C.

Para iniciar la comunicación con el xBee se debe utilizar una librería llamada SoftwareSerial.h, ya que los pines Serial 1 y 2, no permiten utilizarlos en Arduino Nano, por lo tanto, se asigna nuevos pines UART que serán el 2 y 3 para Rx y Tx respectivamente.

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial xbee(2, 3); // RX, TX
```

```

void setup() {
  Serial.println( "Arduino started sending bytes via XBee" );
  // set the data rate for the SoftwareSerial port
  xbee.begin(115200);
}

```

### 3.13.2.2. Comunicación I2C MPU6050.

El módulo MPU6050, como se especificó en la sección 3.12, se usa únicamente los 3 ejes del acelerómetro, al ser capaz de medir varios rangos de aceleraciones debe ser configurado con un microcontrolador, se muestra en la Tabla 32, por lo tanto, al cumplir la aceleración de  $\pm 2g$ , tendrá una sensibilidad de 16384 LSB/g o 14bits de sensibilidad  $2^{14} = 16384$ , puede ser configurado con un mapa de registro del acelerómetro para el rango de escala. Las librerías que se usan son: “wire.h”, "I2Cdev.h" y “mpu6050.h”.

Tabla 32: Rangos de aceleraciones del MPU6050.

Rango De Escala Completa Acelerómetro	Sensibilidad del Acelerómetro LSB/g	Mapa de registro (1C)	Valor del registro
$\pm 2$	16384	AFS_SEL = 0	(0x00)
$\pm 4$	8192	AFS_SEL = 1	(0x08)
$\pm 8$	4096	AFS_SEL = 2	(0x10)
$\pm 16$	2048	AFS_SEL = 3	(0x18)

Fuente: Adaptado de Registro de mapa (Inc. InvenSense, 2011)

El código para la especificación de la aceleración es el siguiente:

```

// Dirección I2C del MPU6050 - Inicia comunicación
Wire.beginTransmission(0x68);

// Petición de escritura Registro 1C.
Wire.write(0x1C);

// Escritura en el registro. Aquí elegimos los 2g (0x00) - Leer Mapa de registro
Wire.write(0x00);

```

```
// Fin de esta parte de la configuración
```

```
Wire.endTransmission();
```

La selección de la sensibilidad se lo puede realizar una sola vez, ya que queda almacenado en los registros del sensor, si se requiere cambiar la sensibilidad se ejecuta el código anterior con una sensibilidad diferente.

- **Filtro pasa bajos.**

Se aplica un filtro pasa bajos a 260 HZ (0x00), ya que las vibraciones ambientales se encuentran dentro de ese ancho de banda.

```
Wire.beginTransaction(0x68);
```

```
//Reg_Map page 6 DLPF (3 Register Map Add(Dec.)26 (26=1A)
```

```
Wire.write(0x1A);
```

```
// Setting the filter to 0 - Register Map last 3 bits (or 0b00000000  
for 0x00)
```

```
Wire.write(0b00000000);
```

```
Wire.endTransmission(true);
```

- **Lectura de los datos del sensor**

Para la lectura de los datos se utilizará las librerías antemencionadas se leerá los registros de los 3 ejes del acelerómetro.

```
MPU6050 sensor;  
Wire.begin(); // Iniciando I2C  
sensor.initialize(); //Iniciando el sensor  
sensor.getAcceleration(&AcclX, &AcclY, &AcclZ);
```

Donde:

***AcclX***: Aceleración eje X

***AcclY***: Aceleración eje Y



**AcclZ:** Aceleración eje Z

- **Cálculos sistema cegesimal**

Como se observó en el capítulo 2, sección de unidades de medida, las aceleraciones fuertes se lo realizan en base a la unidad de medida Gal [ $cm/s^2$ ] dentro del Sistema Cegesimal. La sensibilidad como se estableció es de 16384 para  $\pm 2g$ , por tanto, se hace conversión a  $g$  y luego a  $Gal$ .

$$\begin{aligned} \text{Acc1XSC} &= ((\text{Acc1X} * g) / 16384.0) * 980; \\ \text{Acc1YSC} &= ((\text{Acc1Y} * g) / 16384.0) * 980; \\ \text{Acc1ZSC} &= ((\text{Acc1Z} * g) / 16384.0) * 980; \end{aligned}$$

Donde:

*Acc1XSC:* Aceleración eje X en Sistema Cegesimal.

*Acc1YSC:* Aceleración eje Y en Sistema Cegesimal.

*Acc1ZSC:* Aceleración eje Z en Sistema Cegesimal.

- **Calibración**

Este tipo de sensores es necesario realizar la calibración para descartar valores sobre o debajo del rango normal en un estado de reposo, deberían ser de  $X=0$  en  $Y=0$ ,  $Z = 16384$ , los cuales son los valores de referencia, cada sensor depende el valor de OFFSET por varios factores de construcción, diseño entre otros.

La calibración y obtención del OFFSET se lo realiza con un script de la librería MPU6050, su ejecución debe ser: el sensor en posición horizontal e inmóvil durante unos tres minutos hasta que el script calcule la variación que tiene con los datos de OFFSET actuales y

los actualiza, esta calibración se lo realiza en los dos edificios para eliminar cualquier error de inclinación que posea. Observar en el ANEXO D.

Para la utilización de los nuevos OFFSET se utiliza el siguiente código en el void setup del script, colocando el valor obtenido en el script de calibración:

```
sensor.setXAccelOffset("Aceleración X");
sensor.setYAccelOffset("Aceleración Y");
sensor.setZAccelOffset("Aceleración Z");
```

### 3.13.3. Nodo principal.

El nodo principal está conformado con el Raspberri Pi 3B como el cerebro de la red, el sensor MPU6050, el módulo xBee S2C para la recepción de los datos y el módulo de interconexión formado por una batería de 9V y el relé., en la Figura 53 se observa los procesos que ejecutará el nodo principal hasta la activación de la alarma a nivel de campus.

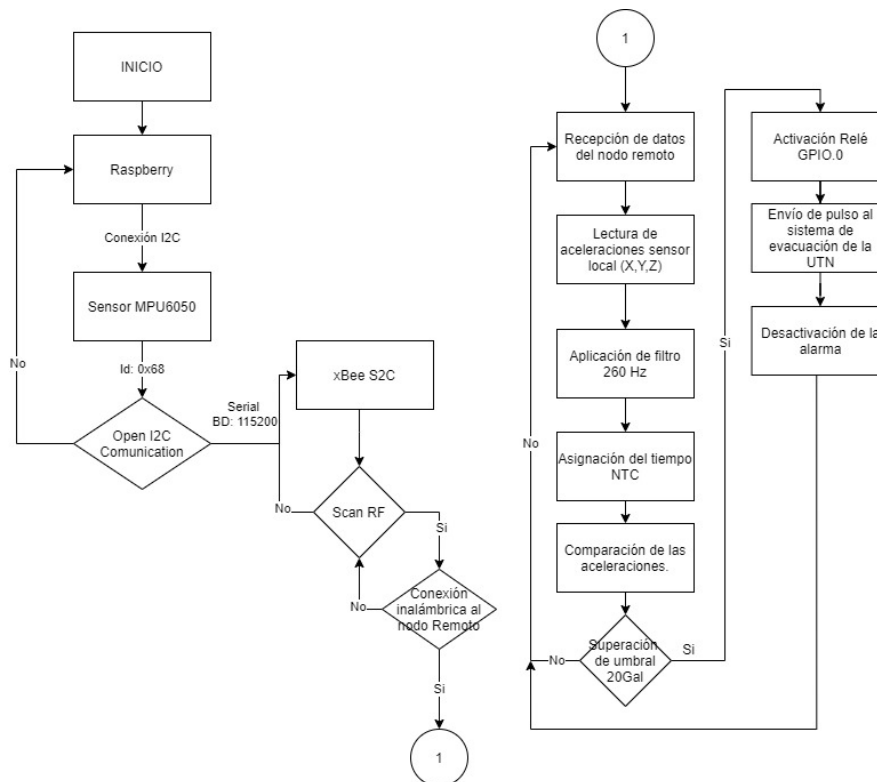


Figura 53: Diagrama de flujo del nodo principal.

Fuente: Autoría.

### 3.13.3.1. *Comunicación serial xBee S2C.*

En este caso, al utilizar el Raspberry Pi y el lenguaje Python es necesario instalar las librerías para la utilización del UART, se observa en el ANEXO F, cabe recalcar que el BD del xBee configurado fue de 115200.

```
import time
import serial

ser = serial.Serial(
    port='/dev/ttyS0',
    baudrate = 115200,
    parity=serial.PARITY_NONE,
    stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
    bytesize=serial.EIGHTBITS,
    timeout=1
)
```

Para la lectura de los datos que receipta el módulo xBee, es con el siguiente comando, el cual se lo divide en un vector para posterior procesamiento.

```
while True:
    data_raw = ser.readline().strip()
    vData = data_raw.split(',')
```

### 3.13.3.2. *Comunicación I2C MPU6050.*

Se utiliza librería I2C para la lectura de los bits de registro de datos del sensor, utilizando también el smbus para este sensor, la configuración de este sensor en el software raspbian se encuentra en el ANEXO D.

```
def read_raw_data(addr):
    #Accelero and Gyro value are 16-bit
    high = bus.read_byte_data(Device_Address, addr)
    low = bus.read_byte_data(Device_Address, addr+1)

    #concatenate higher and lower value
    value = ((high << 8) | low)
```

```

#to get signed value from mpu6050
if(value > 32768):
    value = value - 65536
return value

bus = smbus.SMBus(1)    # or bus = smbus.SMBus(0) for older versio
n boards
Device_Address = 0x68  # MPU6050 device address

while True:

    #Read Accelerometer raw value
    acc_x = read_raw_data(ACCEL_XOUT_H)
    acc_y = read_raw_data(ACCEL_YOUT_H)
    acc_z = read_raw_data(ACCEL_ZOUT_H)

```

- **Cálculos sistema cegesimal**

Se realiza el mismo cálculo que el caso del nodo remoto, unidad Gal [ $cm/s^2$ ] dentro del Sistema Cegesimal. La sensibilidad como se estableció es de 16384 para la sensibilidad LSB/g a  $\pm 2g$ , por tanto, se hace conversión a  $g$  y luego a  $Gal$ .

```

Acc1XSC = ((Acc1X * g) /16384.0)*980;
Acc1YSC = ((Acc1Y * g) /16384.0)*980;
Acc1ZSC = ((Acc1Z * g) /16384.0)*980;

```

### 3.13.3.3. Hora local GMT-5.

Para la obtención de la hora a través de Internet es necesario instalar el servidor NTP, ya que un Raspberry Pi al no contar con un reloj integrado, al momento de un corte de energía o reinicio la hora se reinicia al por defecto 1 de enero de 1970, así obligando a configurar la hora nuevamente y sin precisión. Con NTP se hace consulta de hora a través del Internet con una precisión muy alta y con fiabilidad de mantener la hora a pesar de que haya un corte energético, en el ANEXO G se observa la configuración y verificación del servidor NTP.

Para empezar a usar el NTP se sigue los siguientes comandos:

```
systemctl stop systemd-timesyncd
systemctl disable systemd-timesyncd
/etc/init.d/ntp stop
/etc/init.d/ntp start
```

Al utilizar el lenguaje Python, es necesario utilizar librerías respectivas como `datetime` para la obtención de la hora en tiempo real.

```
import datetime
now = datetime.now()
time = ('%02d/%02d/%02d-%02d:%02d:%02d.%d'%(now.year, now.month, now.day, now.hour, now.minute, now.second, now.microsecond))[:-3]
```

```
>>> time = ('%02d/%02d/%02d-%02d:%02d:%02d.%d'%(now.year, now.month, now.day, now.hour, now.minute, now.second, now.microsecond))[:-3]
>>> time
'2019/07/30-23:27:50.911'
>>>
```

#### 3.13.3.4. *Velocidad de transmisión.*

La velocidad de transmisión que requerirá el sistema dependerá de la cantidad de bytes a enviar y la velocidad de transmisión del módulo, para realizar los cálculos se tomarán en cuenta el caso más extremo en la exigencia de la red cuando en los valores de las tres ejes exista una variación de cientos de Gal, quedando en el siguiente formato *a, xxxx, yyyy, zzzz* con un total de 16 Bytes que enviar, la tasa de refresco de lectura es cada 5ms dando un total de 200 paquetes por cada segundo, con estos valores calculamos lo siguiente:

$$16 \text{ Bytes a bits} = 128 \text{ bits}$$

$$128 \text{ bits} \times 200 = 25600 \text{ bits}$$

Tomando en cuenta la velocidad de transmisión de los módulos xBee es de 250000 *bits/s*, por tanto, la velocidad de transferencia de los datos en el caso extremo sería de 0.1024s o 102ms.

Haciendo el mismo cálculo únicamente para transferencia de datos en mediciones cotidianas sería el siguiente formato:  $b, x, y, zzz$  con un total de 10 bytes a la misma tasa de refresco de 200 veces en un segundo.

$$10 \text{ bytes a bits} = 80 \text{ bits}$$

$$80 \text{ bits} \times 200 = 16000 \text{ bits}$$

La velocidad de transferencia a 250000 *bps* sería de 0.064s o 64 *ms*, muy inferior en el caso extremo.

#### **3.13.3.5. Bloque de interconexión.**

Para la utilización automática de la activación del módulo relé es necesario implementar líneas de código en lenguaje Python. Se activa el GPIO.0 – PIN 17 como *IN* para el relé, el código es el siguiente:

```
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(17, GPIO.OUT)
GPIO.output(17, False)
time.sleep(0.25)
GPIO.output(17, True)
GPIO.cleanup()
```

Con esto se activa y desactiva el interruptor, pasando el voltaje de 9V y la corriente que el wRemote requiere, dependiendo de los valores analizados del sistema activa o no la alerta.

### **3.14. Implementación.**

En este apartado se desarrolla los procesos de creación de la placa de cada módulo, la conexión, disposición y ubicación de cada nodo en su respectiva carcasa con protección a exteriores.

### 3.14.1. Desarrollo de la placa base de los módulos y carcasa.

Para la realización de diagrama esquemático se utilizó el software EAGLE, conectando adecuadamente los sockets y pines de conexión, ya que el módulo Xbee S2C tiene una separación de  $.0.79 [mm]$ , muy pequeño para realizarlo visualmente, se lo conectará a los pines de distancia de  $2.5 [mm]$ , a más de la implementación de un puente Loopback en los módulos.

Se verifica que no haya cortocircuitos en las placas, un análisis visual entre espaciados de los pines y correcciones en el caso necesario. El tamaño de la placa base final deberá ser lo más pequeño posible para el montaje, en la Figura 54 , se muestra el diseño final de la placa base para el módulo inalámbrico.

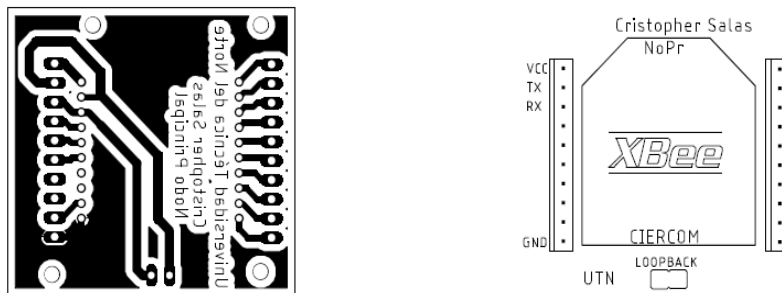


Figura 54: Diseño de la placa base de los módulos.

Fuente: Autoría.

Inmediatamente con la elaboración de las placas se transfiere el diseño a la baquelita, para después sumergirle en ácido férrico y queda libre las pistas y zonas deseadas, como se muestra en la Figura 55.



Figura 55: Diseño de la baquelita.

Fuente: Autoría.

La placa final, como se muestra en la Figura 56, permite el fácil reemplazo o desmontaje del módulo xBee sin alterar las conexiones, tomar en cuenta que los xBee S2C es compatible únicamente con la serie 2, en el caso de que se reemplace. Se observa también la colocación de tornillos de 3mm de diámetro y 20mm de largo con sus respectivas tuercas para la sujeción con la carcasa.

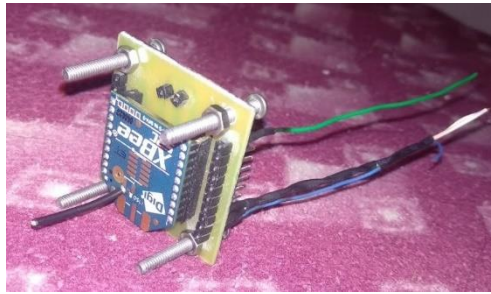


Figura 56: Placa base con el módulo xBee S2C.

Fuente: Autoría.

En las Figura 57 se observa la disposición interna de cada módulo inalámbrico que será instalado en el Nodo Remoto como en el Nodo Principal.



Figura 57: Disposición interna de los módulos inalámbricos.

Fuente: Autoría.

### **3.14.2. Base de los sensores.**

Los sensores se los prepara con una pequeña base de madera, lo más horizontal posible, ya que con esta base ayuda a la instalación fácil del sensor MPU6050, ya que este sobre sale sus pines y soldaduras, imposibilitando su adecuada ubicación y calibración, se observa en la Figura 58, será ubicado dentro de la case de cada módulo inalámbrico.



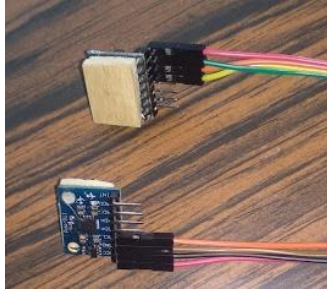


Figura 58: Base de los sensores MPU6050.

Fuente: Autoría

### 3.14.3. Ensamblaje del Nodo Remoto.

El Nodo Remoto consta del módulo inalámbrico y del Arduino, dentro del módulo inalámbrico se encuentra el módulo xBee y el sensor MPU6050, para la comunicación inalámbrica y censado de las vibraciones. En la Figura 59 se observa la instalación del Nodo Remoto en la parte de arriba del módulo inalámbrico y abajo el Arduino Nano, esto se encuentra en una ubicación alternativa solo como muestra del ensamblaje, esto debido a la emergencia sanitaria en el Ecuador por el COVID19.

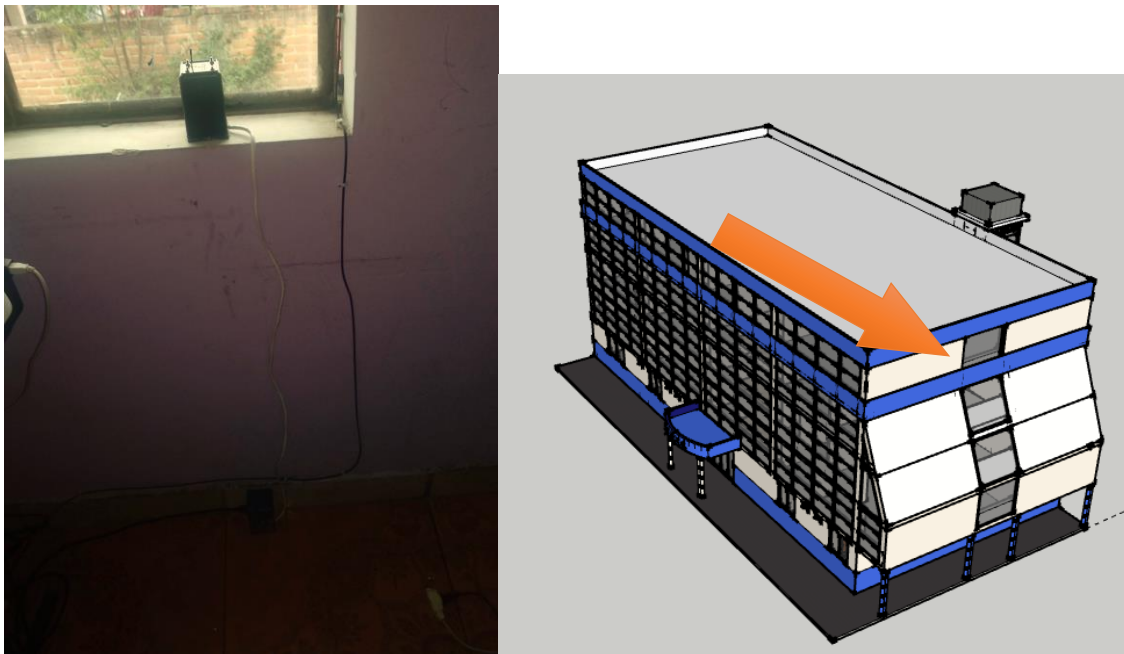


Figura 59: Instalación del Nodo Remoto.

Fuente: Autoría.

#### 3.14.4. Ensamblaje del Nodo principal.

El Raspberry Pi, al ser un computador con placa expuesta, se considera la adquisición de una carcasa a la medida, únicamente se tendrá conexiones de los pines GPIO al módulo inalámbrico ya ensamblado y de la fuente de carga. Este case se adquirió por Mercado Libre en la ciudad de Ibarra, en la Figura 60 se observa ya colocado el Raspberry Pi con sus conexiones, este case es fácil de utilizar ya que es desmontable en 5 partes con accesos al Raspberry Pi y mencionar su diseño elegante; en la Figura 61 se observa el ensamblado del Nodo Principal en la parte superior el case del módulo inalámbrico y la parte inferior el Raspberry con el relé y la batería de 9V, debido a la emergencia sanitaria por el COVID19 se desarrolló la instalación en una ubicación alternativa al Edificio de Bienestar Universitario, esto solo con fines demostrativos de su instalación.



Figura 60: Case Raspberry Pi 3B.

Fuente: Autoría.

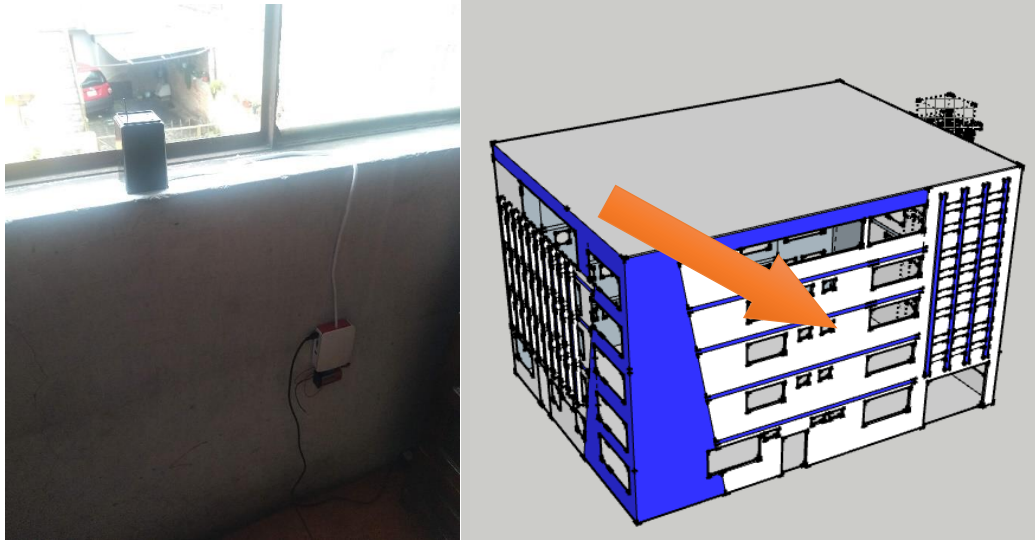


Figura 61: Instalación del Nodo Principal.

Fuente: Autoría.

## Capítulo 4. Análisis y Resultados

En esta sección se realiza las diferentes pruebas, analizando los módulos del sistema de alerta temprana con la que se comprueba el correcto funcionamiento de cada uno de ellos, de la misma manera pruebas de la comunicación inalámbrica e interconexión con el sistema de evacuación de la universidad. Además, permite evidenciar el correcto funcionamiento que debe cumplir en caso de aceleraciones fuertes, el análisis del Data Rate entre los dos nodos y calidad de enlace.

### 4.1. Comunicación inalámbrica.

En esta sección se realiza pruebas de transmisión de datos, margen de enlace, consumo energético del módulo y comparar con los datos calculados en la sección 3.9.2 del capítulo 3 “Diseño de la Comunicación Inalámbrica”, así garantizando que la comunicación entre el nodo remoto y nodo principal sea exitosa.

Para comenzar a realizar las pruebas es necesario tener instalado el software XCTU y tener conectado a un puerto serial el módulo xBee, se recalca que debe estar configurado en modo API (Coordinador) y el LOOPBACK (Nodo remoto), en la Figura 62 se observa la configuración del software para el comienzo de las pruebas.

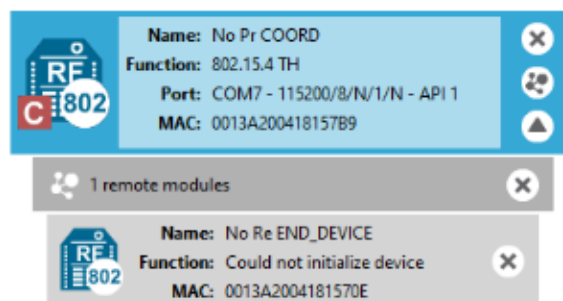


Figura 62: Nodo remoto agregado a la red PAN ID 2023.

Fuente: Obtenido de Software xBee.

#### 4.1.1. Pruebas de transmisión.

En esta sección se compara los valores obtenidos en el diseño de la comunicación y los resultados obtenidos en XCTU. El ambiente en el que se van a realizar las pruebas es en el interior de la universidad entre los edificios Bienestar Universitario y Facultad FICA, entre los edificios hay una distancia aproximada de 90 metros de distancia. En la Figura 63 se muestra los puntos donde se ubican cada nodo y la distancia entre ellos.



Figura 63: Distancia entre los dos nodos.

Fuente: Datos obtenidos de maps.google.com

En la Figura 63, se muestra el Nodo Remoto como punto NoRe y en el punto NoPr se ubica el nodo principal, al estar a una altura de 13 metros en ambos edificios, no existe obstáculos como personas, árboles o paso de vehículos, en la Figura 64 se observa el punto donde se ubica el NoRe desde el edificio de Bienestar.



Figura 64: Línea de vista al edificio Facultad FICA.

Fuente: Autoría.

#### 4.1.1.1. Prueba de rango de radio.

En la Figura 65, se observa los valores de RSSI de los dos nodos, el local como nodo principal y el nodo remoto, su configuración es: cada 1000ms se envíe un paquete y que se repita 100 veces.

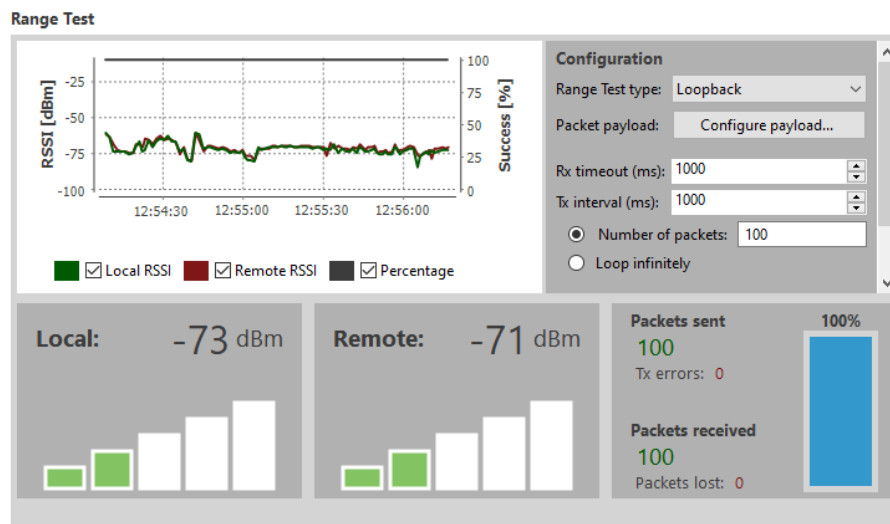


Figura 65: Test de rango de la red.

Fuente: Autoría.

El nodo local tiene un nivel de recepción de -73dBm, el nodo remoto tiene un valor muy próximo que es de: -71dBm, con un éxito de transmisión del 100% de los datos, al no

existir obstáculos y la distancia los valores son regulares para la transmisión ya que al obtener las pérdidas de potencia en el Diseño de la comunicación inalámbrica se calculó los siguientes valores: -60.02 dBm como potencia de señal esperado, con su margen de enlace de 34.18 dB. Existe una diferencia de 13dBm entre los valores obtenidos y calculados por motivo de que la prueba se la realizó en unas condiciones reales, por tanto, los resultados son más que satisfactorios para este caso cumpliendo con lo que se diseñó.

#### 4.1.1.2. Prueba de velocidad de transmisión.

La velocidad se analizó unidireccionalmente y durante 10 segundos y otro durante 1 minuto, tiempo suficiente para evaluar el Data Rate de la red. En la Figura 66 y Figura 67 se observa los parámetros configurados y resultados de 10.04 Kbps y 12.26 Kbps, se obtiene una como velocidades promedio, transferencia de datos que requiere la red al transferir un máximo de 16000 bits.

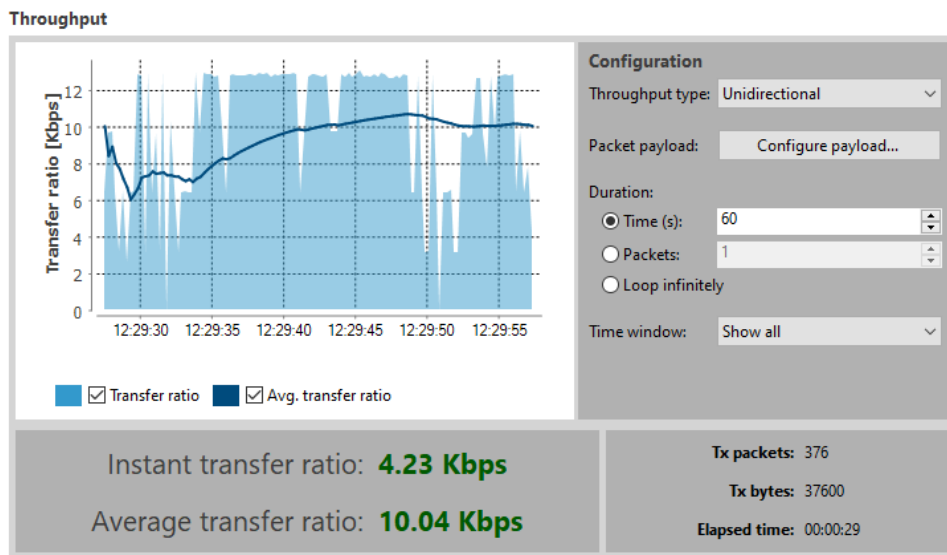


Figura 66: Throughput de la red a 60 segundos.

Fuente: Autoría.

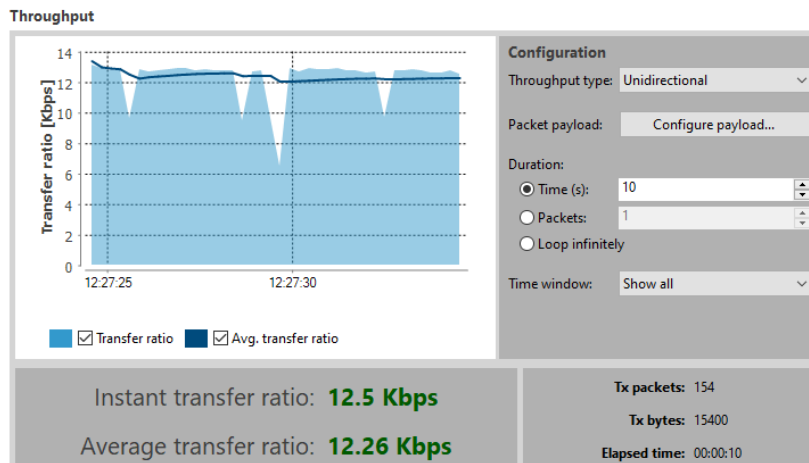


Figura 67: Throughput a 10 segundos.

Fuente: Autoría.

#### 4.1.1.3. Canales en la zona.

Este al ser el caso de los 100 metros se analiza los canales que existe en el nodo remoto, así para conocer canales óptimos que el coordinador puede asignar a la red.

Se utiliza la herramienta Spectrum Analyzer, que se ubica en Tool/ Spectrum Analyzer. En la Figura 68 se observa el análisis de cada canal en el módulo xBee (nodo principal) en el lugar, los valores promedios son de -33dBm para el canal 4. Y el canal 15 con valores deficientes para la comunicación aproximadamente de -85dBm, el módulo xBee seleccionará automáticamente el mejor canal para la transmisión de datos, realizando un broadcast a todos los dispositivos conectados al coordinador.



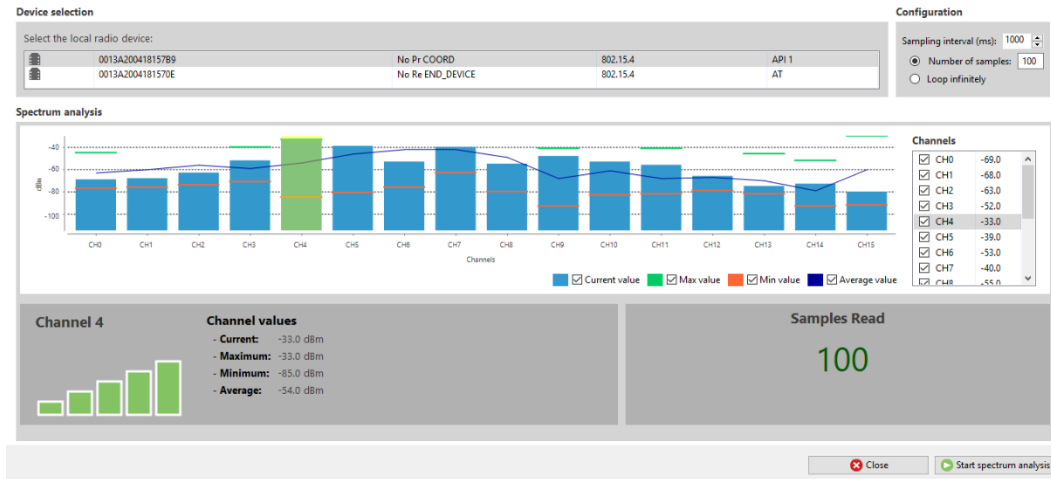


Figura 68: Canales óptimos del nodo principal.

Fuente: Autoría.

#### 4.1.1.4.Recepción de los paquetes.

En esta sección se realiza pruebas de estructuración de los paquetes, como en todos los sistemas de comunicación sean alámbricos e inalámbricos, es necesaria una trama la cual permite corregir errores, identificación del nodo que proviene la información e identificación de los diferentes datos, como también de la configuración.

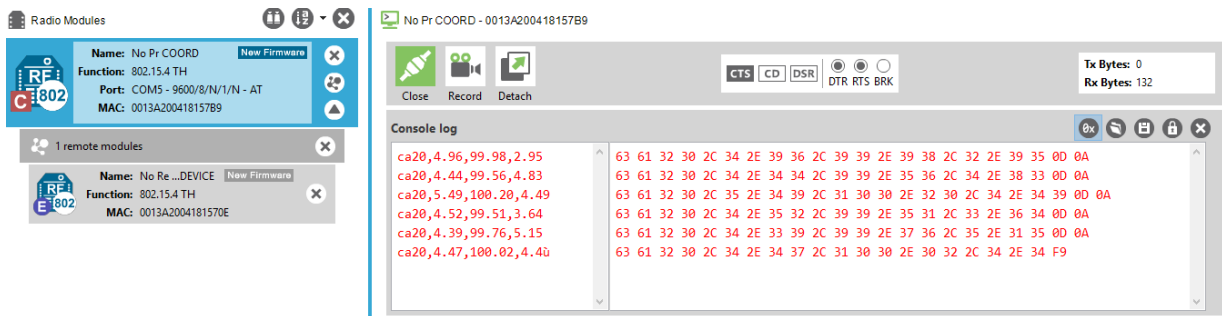


Figura 69: Recepción de datos en el XCTU.

Fuente: Autoría.

Como se observa en la Figura 69, la recepción de los paquetes internamente con la estructura AT en formato hexadecimal del módulo receptor.

Se realiza una prueba de transmisión de datos entre los dos nodos, para evaluar si los datos llegan correctamente en la red. En la Figura 70 se observa por consola los datos recibidos del NoRe junto con la lectura del NoPr.

```

pi@raspberrypi: ~
(424, 'NoRe', ['t', '-8', '8', '976', '2020-11-29 20:23:44.259773'])
(424, 'NoPr', '117.00', '-18.42', '941.00', '2020-11-29 20:23:44.259773')
(425, 'NoRe', ['t', '-7', '12', '964', '2020-11-29 20:23:44.287026'])
(425, 'NoPr', '114.84', '-23.45', '931.19', '2020-11-29 20:23:44.287026')
(426, 'NoRe', ['t', '-4', '7', '975', '2020-11-29 20:23:44.314013'])
(426, 'NoPr', '117.24', '-25.60', '932.63', '2020-11-29 20:23:44.314013')
(427, 'NoRe', ['t', '-5', '11', '974', '2020-11-29 20:23:44.341138'])
(427, 'NoPr', '119.63', '-22.01', '944.11', '2020-11-29 20:23:44.341138')
(428, 'NoRe', ['t', '-7', '11', '963', '2020-11-29 20:23:44.368288'])
(428, 'NoPr', '116.76', '-27.75', '918.75', '2020-11-29 20:23:44.368288')
(429, 'NoRe', ['t', '-16', '10', '969', '2020-11-29 20:23:44.395578'])
(429, 'NoPr', '118.43', '-28.71', '940.76', '2020-11-29 20:23:44.395578')
(430, 'NoRe', ['t', '-6', '10', '972', '2020-11-29 20:23:44.422701'])
(430, 'NoPr', '114.84', '-27.75', '922.58', '2020-11-29 20:23:44.422701')
(431, 'NoRe', ['t', '-2', '12', '979', '2020-11-29 20:23:44.449835'])
(431, 'NoPr', '107.43', '-15.79', '935.74', '2020-11-29 20:23:44.449835')
(432, 'NoRe', ['t', '-8', '9', '975', '2020-11-29 20:23:44.476820'])
(432, 'NoPr', '116.52', '-23.21', '937.65', '2020-11-29 20:23:44.476820')
(433, 'NoRe', ['t', '-5', '12', '976', '2020-11-29 20:23:44.504129'])
(433, 'NoPr', '117.00', '-25.36', '922.34', '2020-11-29 20:23:44.504129')
(434, 'NoRe', ['t', '-10', '13', '972', '2020-11-29 20:23:44.531593'])
(434, 'NoPr', '133.03', '-27.04', '922.58', '2020-11-29 20:23:44.531593')
(435, 'NoRe', ['t', '-11', '11', '973', '2020-11-29 20:23:44.559227'])

```

Figura 70: Transmisión de datos entre los nodos.

Fuente: Autoría.

En el ANEXO 1 se observa una muestra de datos en un segundo, dando un total de 194 muestras por segundo.

#### 4.2. Funcionamiento del sensor MPU6050.

El análisis de su funcionamiento se lo realiza en dos formas de configuración, antes y después de la calibración con el filtro de 260 Hz aplicado, verificando la variación de los Gal en ambas condiciones y en cada edificio. Con este paso también se realiza la captura de datos de las vibraciones ambientales de cada edificio. Y también se analizó el consumo y voltaje de operación de este sensor.

##### 4.2.1. Análisis de la calibración del MPU6050.

Se analiza los dos sensores, tanto del nodo remoto y del nodo principal utilizando el script de calibración del ANEXO D y software de visualización de datos llamado RST en conjunto con el software de captura de puertos COM llamado Realterm.

El objetivo es obtener los valores  $aX=0$ ,  $aY=0$ , y  $aZ=100$ , para que no exista errores en la lectura y obtenga un valor muy aproximado a la aceleración de la gravedad de 100.

En la Figura 30 se observa el eje X, Y y Z respectivamente de arriba hacia abajo:

- El eje X tiene un mínimo de 2 y un máximo de 4, con promedio de 3 de desface.
- El eje Y tiene un mínimo de -4.5 a un máximo de -3 con un promedio de desface de -3.
- El eje Z un mínimo de 109, un máximo de 111 con un promedio de inferior a 110.

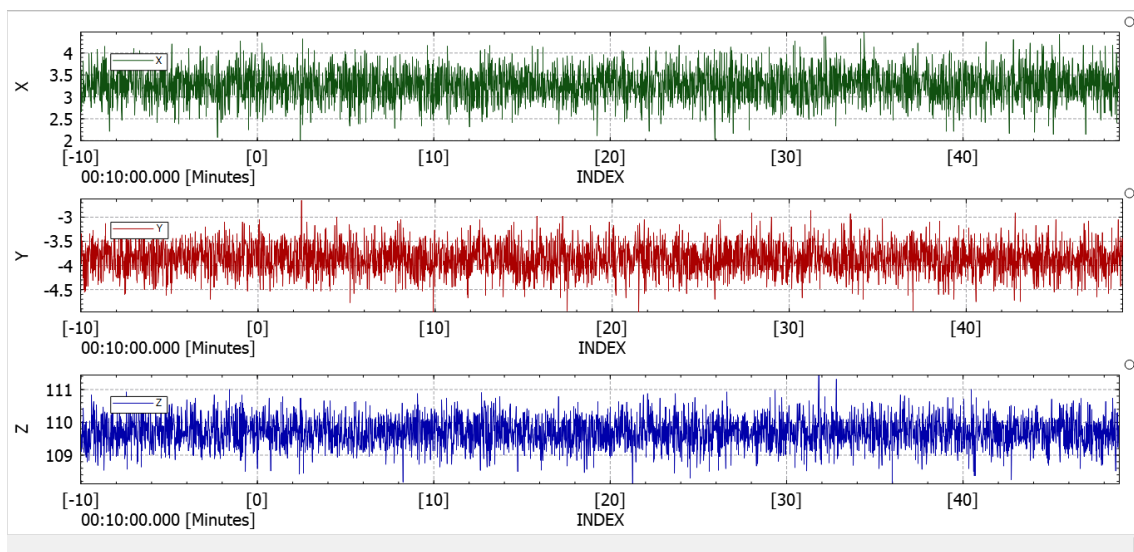


Figura 71: Sensor del nodo remoto antes de la calibración

Fuente: Autoría

Después de la calibración se tiene los siguientes resultados, se observa en la Figura 72:

- Eje X con un mínimo de -1 y un máximo de 1, promedio de 0, logrando la calibración de  $X=0$ .
- Eje Y con un mínimo de -1 y un máximo de 1, promedio de 0, logrando la calibración de  $Y=0$ .
- Eje Z con un mínimo de 99 y un máximo de 101, promedio de 100, logrando la calibración de  $Z=100$ .

Las aceleraciones de  $\pm 1$  es producto de las micro aceleraciones presentes por las vibraciones ambientales.

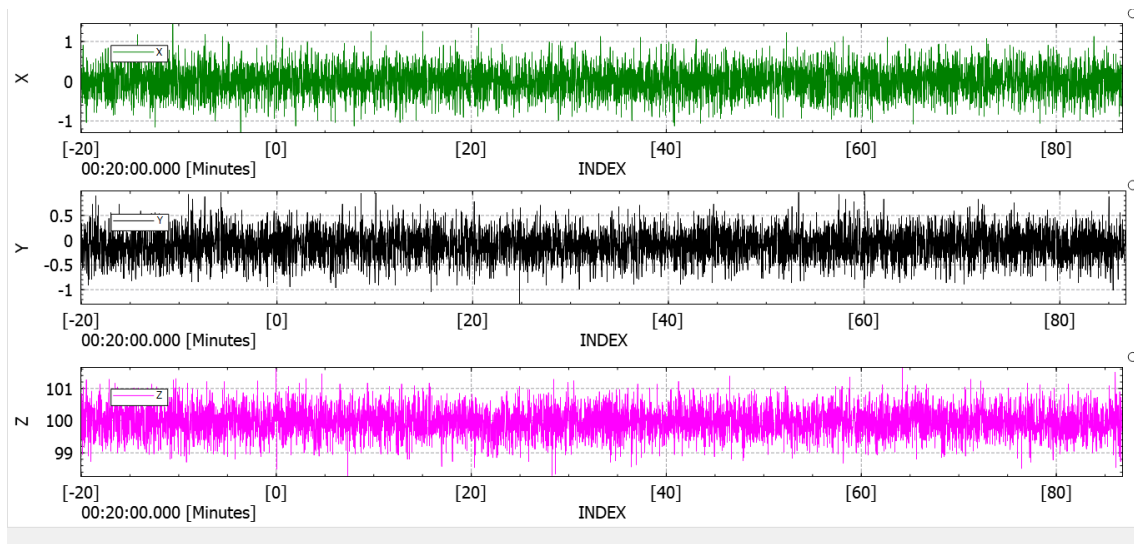


Figura 72: Sensor del nodo remoto después de la calibración.

Fuente: Autoría.

El análisis se lo realiza también para el sensor del nodo principal, obteniendo los valores  $X=0$ ,  $Y=0$  y  $Z=100$ .

En la Figura 73, se observa los valores antes de la calibración:

- Eje X con un mínimo de 9 y un máximo de 11, promedio de 10
- Eje Y con un mínimo de -4.5 y un máximo de -2.5, promedio de -4
- Eje Z con un mínimo de 94 y un máximo de 96, promedio de 95

Estos valores tienen un desfase considerable a la hora de obtener aceleraciones precisas, porque al estar desfasado, las diferentes aceleraciones se miden erróneamente por presentarse ruido y vibraciones en las diferentes medidas, obteniendo valores innecesarios para efectos del proyecto. Por esto se debe realizar la calibración en el lugar que se vaya a realizar la instalación del sensor.

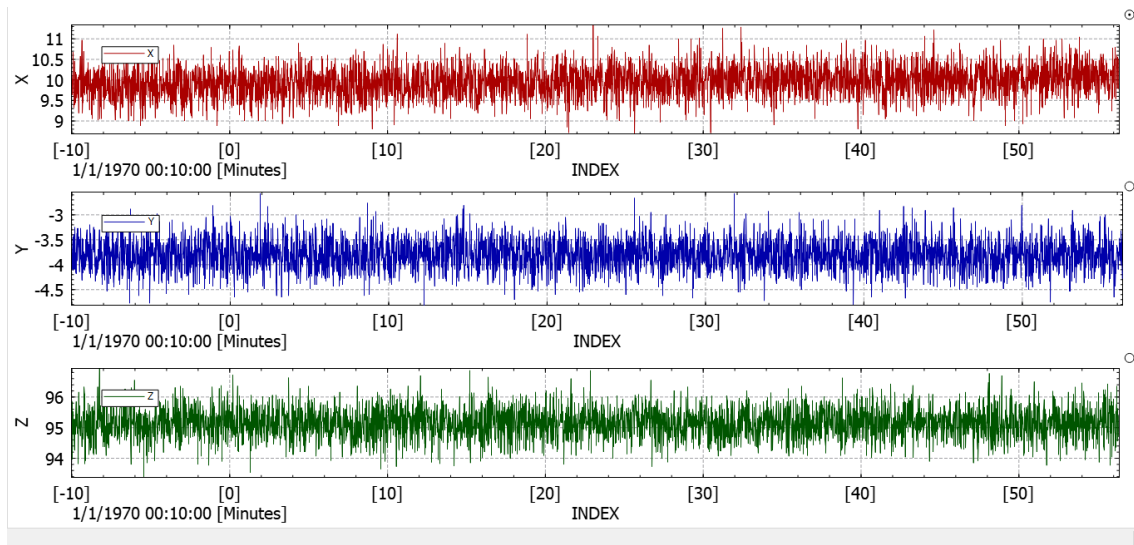


Figura 73: Sensor del nodo principal antes de la calibración.

Fuente: Autoría.

Los valores se calibraron correctamente, igual que en el sensor del nodo remoto se logró los valores de  $X=0$ ,  $Y=0$  y  $Z=100$ , se observa en la Figura 74.

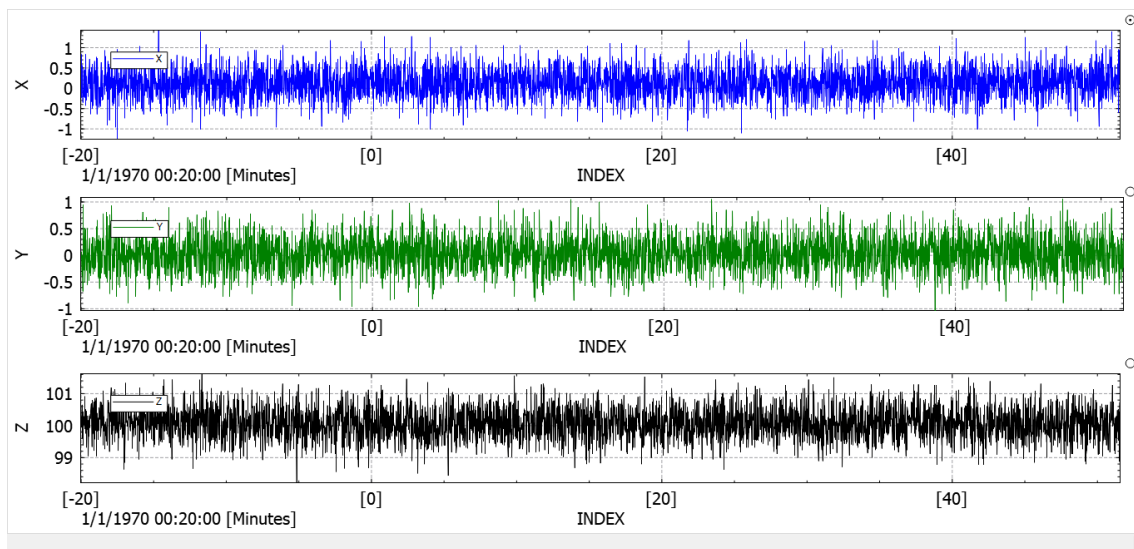


Figura 74: Sensor del nodo principal después de la calibración.

Fuente: Autoría.

Con estos valores se procede a realizar el tratamiento de la información en el nodo principal. Completando la obtención correcta de las vibraciones ambientales de cada edificio, las muestras que se tomaron fueron del total de 5000 muestras para descartar cualquier error o imprevisto en el momento de la calibración.

### 4.3. Análisis eléctrico.

En esta sección se analiza el consumo eléctrico del sistema de alerta temprana. Al ver investigado y medido el consumo eléctrico, se realiza la suma de estos para sacar un promedio por el NoRe y NoPr.

#### 4.3.1. Corriente y voltaje del xBee.

Se analizó la medición del módulo xBee para ambos nodos, el módulo xBee requiere de 3.3V y 30mA. Tanto el Arduino como el Raspberry, en sus pines de salida de 3.3V proveen como máximo 50 mA, siendo suficientes para la alimentación de este módulo inalámbrico, sin la necesidad de implementar una fuente externa de estas características, en la Figura 75 se observa su medición.

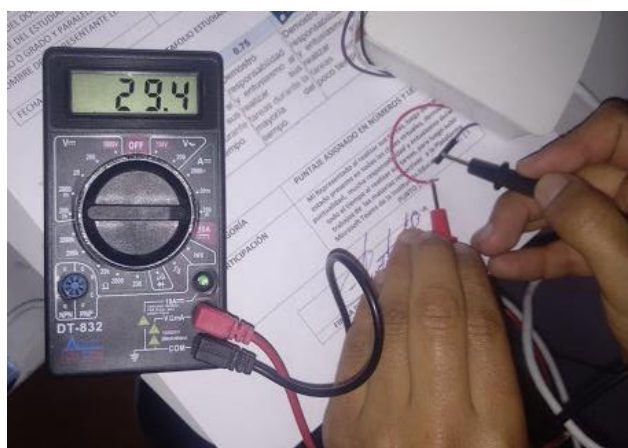


Figura 75: Corriente módulo xBee.

Fuente: Autoría.

#### 4.3.2. Corriente y voltaje del MPU6050.

Se analizó la medición del consumo del sensor MPU6050 en operación, como observa en la Figura 76, la corriente es de 5,16 mA, valores que el Arduino Nano provee sin ningún problema la administración de corriente a un voltaje de 5 V. Al estar el sensor midiendo aceleraciones a 200 veces por segundo se considera siempre activo y no se analizará el estado en reposo.



Figura 76: Consumo de corriente en operación.

Fuente: Autoría.

Al no requerir una fuente adicional para el sensor, el Arduino Nano tiene como salida de corriente un máximo de 50 mA en su pin de 5V y el Raspberry Pi 3 B+ el pin de 5V provee máximo 50mA, suficientes para el funcionamiento del sensor en ambos nodos.

### 4.3.3. Consumo eléctrico

Se analiza la potencia y consumo que tiene tanto el nodo Remoto como el Nodo principal.

- **Nodo Remoto.**

$$\text{Arduino Nano: } 5V - 19 \text{ mA} = 0.095W$$

$$\text{Sensor MPU6050: } 5V - 5.1 \text{ mA} = 0.026W$$

$$\text{xBee S2C: } 3.3 V - 29.4 \text{ mA} = 0.97W$$

$$\text{Total (W)} = 1.091W$$

$$0.78Kw/h \text{ al mes}$$

$$\text{Total (mA)} = 53.5mA$$

- **Nodo Principal**

$$\text{Raspberry Pi: Adaptador de: } 12V - 0.8 A = 9.6 W$$

$$\text{Sensor MPU6050: } 5V - 5.1 mA = 0.026W$$

$$\text{xBee S2C: } 3.3 V - 29.4 mA = 0.97W$$

$$\text{Relé : } 5V - 75mA = 0.375$$

$$\text{Total (W) = } 10.97 W$$

$$\text{Total (mA) = } 920.47 mA$$

7.9KW/h al mes

#### **4.4. Mediciones de las vibraciones ambientales en cada edificio.**

Las mediciones se realizan en los edificios de Bienestar Universitario y de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA), para el análisis de los límites en Gales por cada edificación ante los posibles sismos que superen estas aceleraciones.

##### **4.4.1. Vibraciones ambientales en el edificio Bienestar Universitario.**

Para las mediciones de las vibraciones ambientales se observa el lugar donde será ubicado el Nodo Principal, se limpia la zona para evitar que no haya irregularidades que afecten las mediciones.

###### **4.4.1.1. Calibración del sensor en la zona de instalación.**

Antes de medir las vibraciones se realiza una calibración para evitar errores en las mediciones, tal como se observó en la sección 4.2.1 Análisis de la calibración del MPU6050.

La calibración se la realiza durante 20 minutos y 4 veces para reducir el error y configurar los OFFSET más próximos.



Los OFFSETS que se obtuvieron fueron los siguientes:

*Tabla 33: OFFSETs medidos Nodo Principal.*

<b>Acx</b>	<b>Acy</b>	<b>Acz</b>	<b>Grx</b>	<b>Gry</b>	<b>Grz</b>
-4945	1092	587	563	-5	57
-4968	1067	592	560	-8	58
-4961	1070	589	561	-9	57
-4961	1070	589	563	-9	57

Fuente: Autoría.

La inclinación del edificio con respecto a la posición del sensor no varía en más de 3 puntos de diferencia entre su máximo y mínimo, obteniendo un valor que se establecerá como predeterminado para el edificio de Bienestar Universitario que es de: **-4961 1070 589 563 -9 57**, con estos valores se configura el sensor como nuevos OFFSETS y se empieza la captura de las aceleraciones.

#### ***4.4.1.2. Captura de las aceleraciones en el edificio de Bienestar Universitario.***

Una vez ya capturados los datos de los sensores se realiza la toma de datos de aceleraciones; estos datos se lo realizan durante un periodo de 20 minutos, con repeticiones de 3 veces para mayor precisión en la lectura de los datos. A continuación, se muestra las gráficas de las dos series del análisis de las vibraciones, primera medición en la Figura 77, segunda medición en la Figura 78. Se observa en las tres gráficas los ejes X, Y & Z para los valores correspondientes de las aceleraciones.

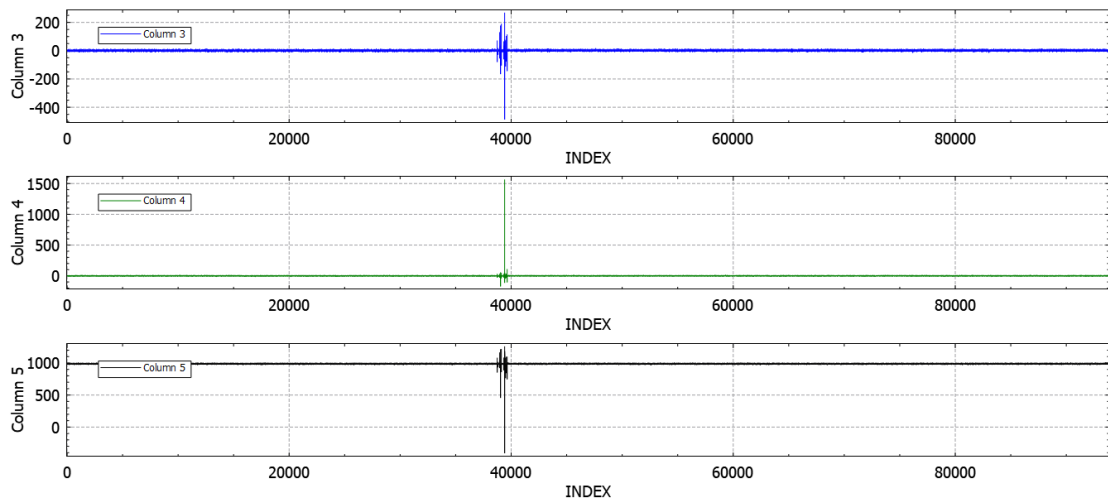


Figura 77: Primera medición en el edificio de Bienestar Universitario.

Fuente: Autoría.

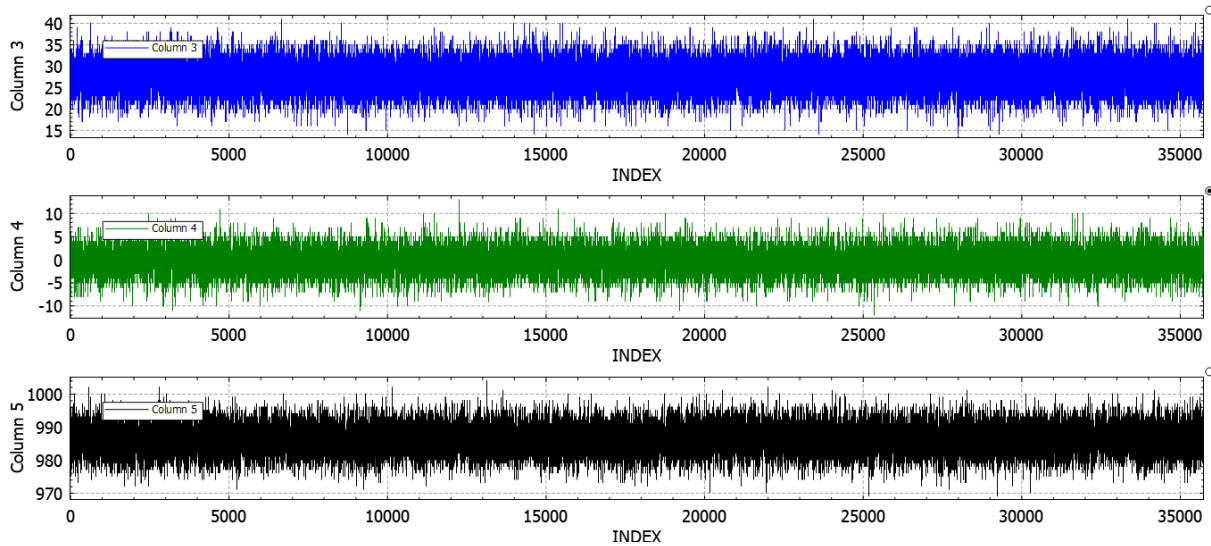


Figura 78: Segunda medición en el edificio de Bienestar Universitario.

Fuente: Autoría.

Como se observa en la Figura 77, existió un pico de aceleración producto de algún movimiento o vibración repentina dentro del edificio por parte de algún agente externo o interno. Dado este caso se realiza las otras mediciones para descartar de que sea un movimiento común o únicamente producido rara vez. Observando las otras gráficas se comportan de manera adecuada ya que no existe casos puntuales de picos de vibración, teniendo una variación de  $\pm 5Gal$  siendo un valor bajo y perceptible para algunas personas dentro del edificio, especialmente en pisos altos según la Escala de Mercalli. Por tanto, los valores obtenidos de acuerdo con la Escala de Mercalli son los esperados, dentro del rango de 2.5 a 10 Gal.

#### 4.4.2. Vibraciones ambientales en el edificio de la FICA.

Para las mediciones de las vibraciones ambientales se observa el lugar donde será ubicado el Nodo Remoto, se limpia la zona para evitar que no haya irregularidades que afecten las mediciones.

##### 4.4.2.1. Calibración del sensor en la zona de instalación.

Se realiza las tomas de datos durante 20 minutos y 4 repeticiones para obtener los OFFSET con menores errores posibles.

Los OFFSETS que se obtuvieron fueron los siguientes:

*Tabla 34: OFFSETs medidos Nodo Remoto.*

<b>Acx</b>	<b>Acy</b>	<b>Acz</b>	<b>Grx</b>	<b>Gry</b>	<b>Grz</b>
-4974	1073	576	548	10	60
-4966	1069	587	563	-5	58
-4965	1074	588	561	-8	58
-4964	1073	589	563	-9	58

Fuente: Autoría

El edificio FICA, no tiene una inclinación importante, los primeros datos de OFFSET tienen una variación grande con respecto a los del resto, el dato de OFFSET para configurar en el MPU6050 para la continuación de tomas de datos.

##### 4.4.2.2. Captura de las aceleraciones en el edificio FICA.

Se procede a capturar los datos, con el sensor ya configurado con los OFFSET obtenidos. Se limpia la zona donde se realiza la instalación y se procede a recolección de datos durante 20 minutos.

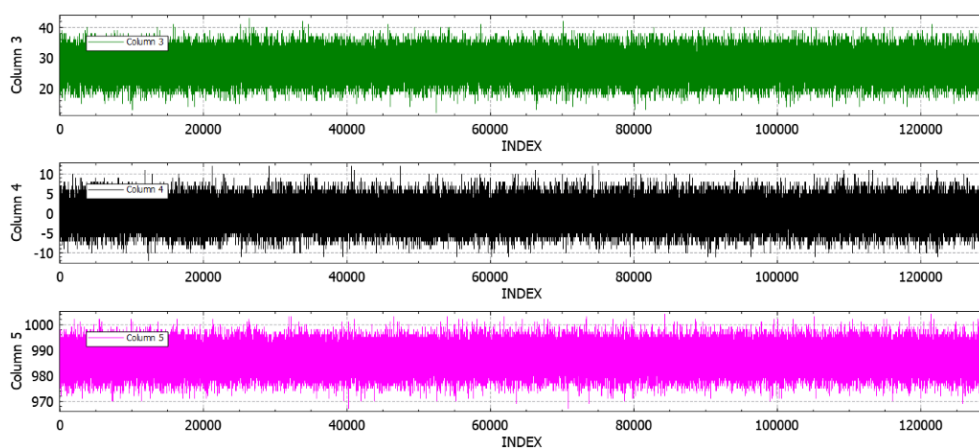


Figura 79: Medición de vibraciones en el edificio FICA.

Fuente: Autoría.

Las aceleraciones tomadas no varían mucho, a excepción de casos puntuales donde su promedio alcanza  $\pm 5Gal$  sobre su OFFSET con picos de  $\pm 7Gal$ , en la escala de Mercalli son los datos esperados, ubicados en el nivel III, de 2,5 a 6 Gal, con máximos de 20 Gal debido a que el Edificio FICA es poblado de estudiantes, docentes, personal administrativo.

#### 4.4.3. Detección de vibraciones fuertes.

Al no ser posible la detección y espera de un sismo, se realiza una simulación de una vibración fuerte, ubicando el sensor en la posición de la ventana y se comprueba que no exista balanceo por parte del sensor y lejos de cualquier fuente de ruido, como puertas, ascensores, paso de vehículos, y se procede a dar golpes en la pared 3 veces cada 3 minutos, siendo primero leve hasta, el segundo un poco más duro y el tercero un golpe fuerte. En la Figura 80 se observa los picos durante la simulación, el primer pico se obtuvo un máximo de 25 gal durante 0.25 segundos, el segundo pico al ser de mayor intensidad se registró un máximo de 45 gal durante 2.25 segundos, y el tercer pico con un máximo de 120 durante 3. Existe cambios únicamente en el eje Y, a que la prueba se la realizó sobre este eje, para el eje X se obtiene el mismo resultado, para el eje Z no se realizó la prueba ya es el que representa la gravedad, censaría algún cambio vertical de la edificación.

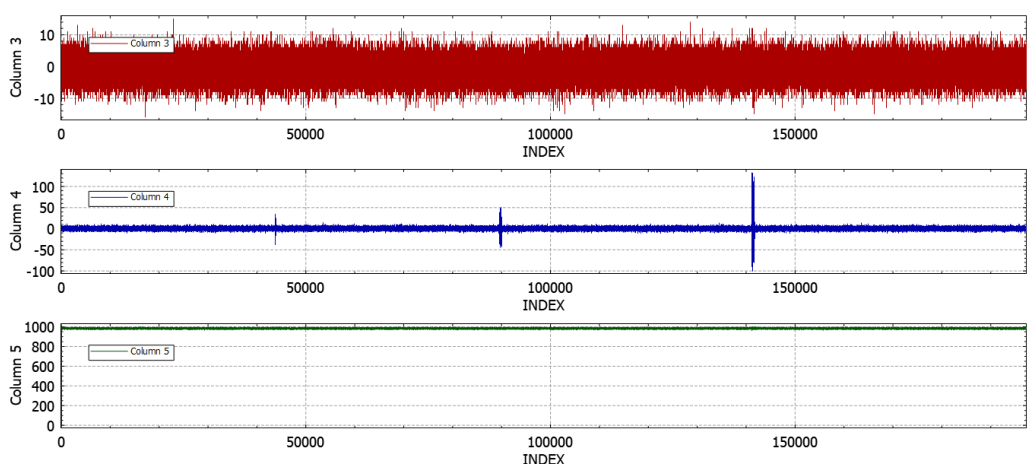


Figura 80: Simulación de vibraciones fuertes.

Fuente: Autoría.

#### 4.4.4. Funcionamiento de interconexión.

Se realizó una simulación de una vibración fuerte simultánea en los dos nodos, para que exista una detección y haya una activación de la alarma por medio del bloque de interconexión.

Como se analizó, la alarma se activará cuando haya la detección de pulso a más de 20 Gal, para evitar falsas alarmas.

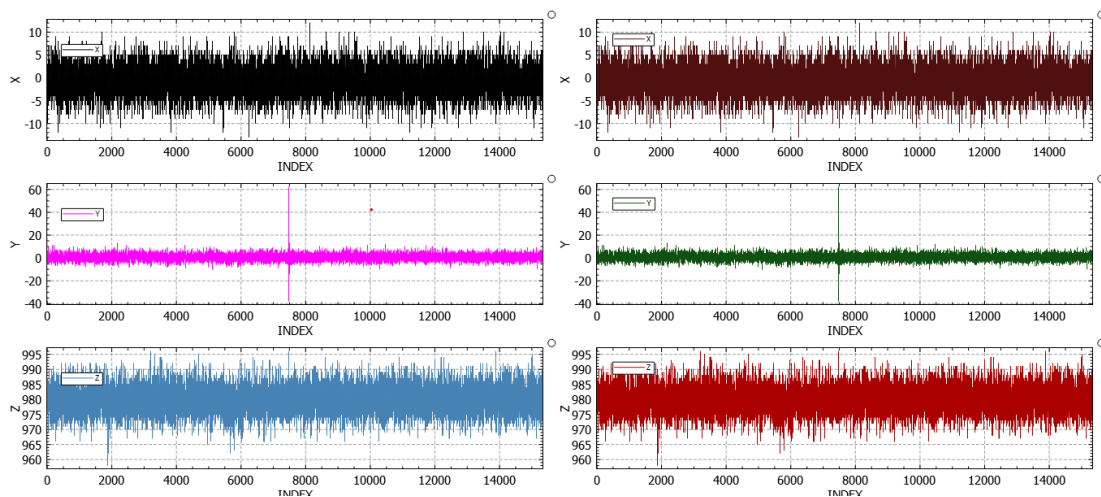


Figura 81: Detección de vibración fuerte.

Fuente: Autoría.

La detección de la superación del umbral en ambos nodos, se activa el relé conectado al Raspberry Pi, como se observa en consola en la Figura 82, y en la Figura 83 se observa la activación de la alarma físicamente,

```

(7830, 'NoRe', ['t', '-12', '14', '977', '2020-11-30 00:06:58.667049
(7830, 'NoPr', '5.37', '-6.22', '932.39', '2020-11-30 00:06:58.66704
(7831, 'NoRe', ['t', '-12', '13', '969', '2020-11-30 00:06:58.693813
(7831, 'NoPr', '12.79', '-1.67', '923.77', '2020-11-30 00:06:58.6938
(7832, 'NoRe', ['t', '-11', '15', '965', '2020-11-30 00:06:58.720573
(7832, 'NoPr', '17.57', '-1.67', '924.97', '2020-11-30 00:06:58.7205
(7833, 'NoRe', ['t', '-11', '19', '975', '2020-11-30 00:06:58.747420
Activado
(7834, 'NoRe', ['t', '-15', '15', '966', '2020-11-30 00:06:58.559979
(7835, 'NoPr', '-11.62', '-4.79', '925.21', '2020-11-30 00:06:58.559
(7835, 'NoRe', ['t', '-10', '17', '962', '2020-11-30 00:06:58.586792
(7836, 'NoPr', '5.61', '-6.70', '921.86', '2020-11-30 00:06:58.58679
(7836, 'NoRe', ['t', '-10', '17', '971', '2020-11-30 00:06:58.613561
(7837, 'NoPr', '4.17', '-4.55', '925.93', '2020-11-30 00:06:58.61356

```

Figura 82: Activación de la alarma.

Fuente: Autoría.

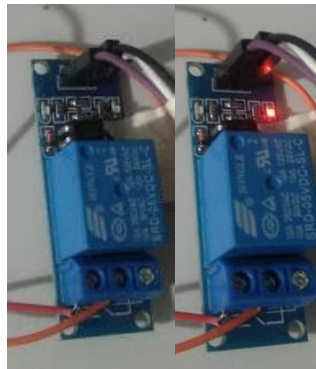


Figura 83: Activación de la alarma física.

Fuente: Autoría.

#### 4.5. Costo

En este apartado se realiza un estudio económico para determinar el beneficio económico que se tiene con la implementación del sistema de alerta temprana basado en el xBee y MPU6050, en la Tabla 35 y Tabla 36 se observa los costos por cada dispositivo y de los materiales usados para el ensamblaje, los dispositivos fueron adquiridos en Mercadolibre.com Ecuador.

Tabla 35: Precio del sistema de alerta temprana UTN.

Dispositivo	Marca	Modelo	Cantidad	Valor	Total
xBee S2C	xBee Digi	S2C	2	\$45.00	\$90.00
xBee Xplorer	xBee Digi	Xplorer	2	\$11.00	\$22.00
Raspberr Pi	Raspberry Pi	3 B	1	\$80.00	\$80.00
Arduino	Arduino	Nano	1	\$14.00	\$14.00

<b>Sensor</b>					
<b>Acelerómetros</b>	INVENSENSE	MPU6050 GY521	2	\$7.50	\$15.00
<b>Relé</b>		Relé Module	1	\$4.00	\$4.00
<b>Case para Raspberry</b>		Pi 3B (Rojo y blanco)	1	\$9.00	\$9.00
<b>Caja hermética</b>			3	\$3.00	\$9.00
<b>Base de batería</b>			1	\$2.00	\$2.00
<b>Batería de 9V</b>	GP	1604C 6f22 9V	1	\$4.00	\$4.00
<b>SO</b>	Linux	Raspbian	1	\$0.00	\$0.00
<b>Cable UTP</b>			4 (metros)	\$0.40	\$1.60
<b>Adaptador AC/DC</b>		5V – 2A		\$8.00	\$8.00
<b>TOTAL</b>					\$249.60

Fuente: Mercadolibre.com.

*Tabla 36: Precio de los materiales utilizados para la fabricación.*

<b>SUMINISTRO</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
<b>Baquelita</b>	1	\$2.00	\$2.00
<b>Cloruro férrico</b>	1	\$1.00	\$1.00
<b>Estaño</b>	3	\$0.40	\$1.20
<b>Regleta de pines 2.5mm</b>	4	\$0.80	\$3.20
<b>regleta de pines 0.8mm</b>	4	\$0.80	\$3.20
<b>Taladro de baja velocidad</b>	1	\$22.00	\$22.00
<b>TOTAL</b>			\$32.60

Fuente: Mercadolibre.com.

Por tanto, el costo total del sistema de alerta temprana es la suma del costo de los dispositivos empleados y materiales utilizados es de: \$282.20 y dependiendo de la zona y el mercado se ajusta un 5% si hubiera algún cambio en el precio final dando un total de: \$296.31,

sin tomar en cuenta la mano de obra, la fabricación e implementación, a más del sistema de evacuación inalámbrico que está funcionando en la universidad técnica del norte.

El costo por el trabajo de ingeniería se analiza a partir del salario promedio de una Ingeniero en Electrónica y Redes de comunicación en el Ecuador que es de \$939, se multiplica por 12 meses dando un resultado de \$11268 y se divide para las horas laborales de un año que son 2000 horas dando como resultado de \$5,6/h (honorario) se multiplica por 1.3 (impuestos del gobierno) quedando un valor de \$7.3/h. Dependiendo del tiempo que se cotice con el cliente y cuan grande sea la implementación se estima para este proyecto la duración entre 40 a 50 horas. Quedando un resultado de \$292 a \$365. El coste total de implementación y trabajo de ingeniería será entre \$588.31 a 657 dólares, dependiendo de la duración del proyecto.

Para el precio en el caso de incrementar más nodos remotos a la red sería de: \$79.3 por cada nodo más el importe de \$182.5 por la duración de 25 horas laborables de trabajo de ingeniería, como instalación, soldaduras, creación de la placa, implementación, configuración del nuevo módulo y en el nodo principal, se muestra en la Tabla 37.

*Tabla 37: Costo por nodo remoto.*

<b>Dispositivo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
<b>Arduino Nano</b>	1	\$14	\$14
<b>xBee S2C</b>	1	\$45	\$45
<b>Acelerómetro MPU6050</b>	1	\$7.5	\$7.5
<b>Caja hermética</b>	1	\$3	\$3
<b>Adaptador AC/DC</b>	1	\$8	\$8
<b>Baquelita</b>	1 pieza	\$0.80	\$0.80
<b>Cable UTP</b>	2 metros	\$1	\$1
<b>Trabajo de ingeniería</b>		\$182.5	\$182.5



---

---

**TOTAL**    \$261.8

---

Fuente: Autoría.

El costo de operación del sistema se establece en dos apartados, el fijo y variable, Los costos fijos son necesarios para el funcionamiento del sistema: servidor NTC, arriendo de lugar, software, y los costos variables como: el uso de la red eléctrica. En la Tabla 38 se observa un costo de \$8.09 dólares mensuales, únicamente por el consumo eléctrico, ya que el sistema está basado en software y plataforma de uso libre.

*Tabla 38: Costo de operación.*

	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
<b>Servidor NTC</b>	N/C	\$0
<b>Arriendo de lugar</b>	N/C	\$0
<b>Software</b>	Software Libre	\$0
<b>Red eléctrica</b>	Nodo remoto 9,33 ctvs *	\$0.73
	0.78KW/h	\$7.36
	Nodo Principal 9,33 ctvs * 7,89 KW/h	
<b>TOTAL</b>		<b>\$8.09</b>

Fuente: Autoría.

El costo de mantenimiento en el apartado de software y mantenimiento no requiere mayor gasto, la actualización de software se debería realizar cada año por motivos de seguridad y nuevas funcionalidades (en el caso de implementarlas). En el apartado de reparación, es necesario tomar en cuenta los costos por cada pieza o dispositivo que se necesite. En el apartado de limpieza una vez cada semana, para evitar el deterioro temprano de los nodos, realizarlo de manera cuidadosa con alguna brocha para no crear falsas alarmas, o en el peor de los casos desconectar el nodo principal si se observa algún cuerpo extraño a los alrededores del nodo. En el apartado técnico realizarlo una vez cada 50 días para la recalibración de sensores, reloj interno del Arduino por el motivo de funcionamiento de 24 horas 7 días a la semana durante todo el año.

La batería de 5v tiene una vida útil de 2 a 5 años, por tanto, es recomendable cambiarla cada dos años, para evitar pérdida de eficiencia en la interconexión.

La vida útil de un Raspberry Pi 3B+ depende mucho de su fuente de alimentación, en este caso se utiliza el cargador que vino junto a la plataforma, garantizando un continuo suministro de corriente y voltaje, capaz de soportar cambios de voltaje en el suministro eléctrico. Este dispositivo debe ser revisado cada año, para la verificación del funcionamiento adecuado y actualización de software, en el caso alguna falla ajena a lo previsto realizar el cambio, caso contrario realizarlo cada 10 años, por motivo de obsolescencia.

La vida útil de un Arduino Nano, depende mucho de cuantas veces su memoria EEPROM es borrada y escrita, la vida útil de esta memoria es de 100000 ciclos, al necesitar recalibración del sensor y Arduino cada 50 días se tiene una duración de varios años, por tanto se recomienda una revisión del equipo cada año y un reemplazo cada 5 años por motivos de desgaste en la placa, o algún fallo interno. En el apartado de suministro energético se tiene un adaptador de energía de 5V a 500mA, capaz de soportar sobretensiones que puedan ocurrir dentro del Edificio FICA.

El tiempo de vida útil de los sensores y xBee dependen del case hermético, al tener una vida útil de dos años, se recomienda el reemplazo del nodo en este periodo, con revisiones cada 50 días para la revisión y recalibración de los nodos.

## Capítulo 5

### 5.1. CONCLUSIONES

En el desarrollo de la red inalámbrica consiste en dos nodos, a una altura aproximada de 13 metros, donde no existe mayores obstáculos, teniendo muy buena calidad de enlace, aumentado la transferencia de datos y tiempo de respuesta por parte del nodo principal de 64 ms en el envío de 200 registros ante algún caso de movimientos telúricos fuertes, siendo un valor mínimo a un segundo, activando el protocolo ante este siniestro.

Las aceleraciones medidas con el sistema es capaz de medir desde las aceleraciones 1 Gal hasta  $\pm 10Gal$  que son vibraciones ambientales de cada edificio, y por la altura de los pisos sus valores esperados y medidos según la Escala de Mercalli son hasta 20 Gal y son perceptibles por la algunas de las personas dentro del edificio.

Debido a la emergencia sanitaria no es posible el análisis de la conexión al SISTEMA INALÁMBRICO DE ALARMAS DE EVACUACIÓN DEL CAMPUS DE LA UNIVERIDAD TÉCNICA DEL NORTE, por tal motivo las pruebas que se hicieron en campo son simulaciones del estado de alarma cuando las vibraciones fuertes que superan los umbrales de 20gal. El sistema detecta vibraciones de 20gal dentro de los primeros 0.25s. Tomando en cuenta que un terremoto dura entre varios segundos y hasta minutos, el sistema es capaz de detectarlo en los primeros segundos.

El sistema al ser configurado a una frecuencia de 260 Hz, es capaz de discriminar vibraciones parásitas como las vibraciones del caminar de personas cercanas al sensor, movimiento de objetos dentro del edificio, pero es capaz de detectar vibraciones de golpes fuertes cercanos, el paso de vehículos livianos y pesados cerca del edificio, se evidencia en la

simulación de vibraciones fuertes donde es capaz de detectar movimiento que supere los 20 Gal y no el paso de alguna persona cerca al sensor.

El tiempo de reacción del sistema y activación de la alarma depende mucho del sistema de alarmas inalámbricas, teniendo en cuenta los fallos que este pueda tener y los periodos de mantenimiento por parte del Departamento de Seguridad, siempre y cuando el wRemote ubicado en el edificio de Bienestar Universitario se encuentre operativo, el sistema de alerta temprana podrá enviar la alarma a nivel campus.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

El sistema al tratarse de una red ZigBee por parte de los módulos xBee, puede asignarse más nodos ya que este sistema permite crear redes mesh, tipo estrella o cluster, con una gran cantidad de dispositivos END-DEVICE y ROUTER con un único COORDINADOR, configurándolos con los parámetros establecidos (ID-SH-SL). Con el beneficio de tener una cobertura más amplia para la lectura de movimientos sísmicos y discriminación más precisa de los valores si hubiera algún caso de falso negativo de que exista aceleraciones que superen el rango en ambos edificios al mismo tiempo, sea por golpes fuertes o trabajos cerca del edificios. En este caso se recomienda desconectar el sistema de alerta temprana para evitar falsas alarmas.

El enlace inalámbrico al tener una recepción sensible de -120dBm, es capaz de ampliar la distancia hasta 1200 metros según su datasheet, pero para los requerimientos de nuestra red al tener una transferencia de datos es relativamente elevados y es efectiva a las distancia de 90 metros, si requiere aumentar la distancia entre el NoPr y un nodo remoto es recomendable realizar pruebas de distancia superiores a los 100 metros o la utilización de nodos ROUTERs para grandes áreas o no haya punto de vista.

Es recomendable la calibración del sensor en cada lugar que se va a recolectar datos, para evitar los errores de inclinación de cada edificio o superficie donde se colocará el sensor,

limpiando la zona donde se colocará el sensor y evitar lugares concurridos por personas para evitar lo más posible la lectura de vibraciones parásitas a las aceleraciones fuertes provocadas por sismos.

Para la colocación de puntos de recolección de datos remotos, sin fuente de energía constante, se debe analizar fuentes de alimentación portables fijos, como baterías y sistemas de recarga o energías alternativas con el objetivo ser móvil y medición en distintos lugares.

Se recomienda la implementación del sistema de alerta temprana al Sistema de Evacuación Inalámbrico de la Universidad Técnica del Norte para que se realice las pruebas oportunas de conexión con el Bloque de Interconexión del Sistema de Alerta Temprana, ya que únicamente se envía una señal que representa una alarma sonora, lumínica o el sistema de evacuación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, R. (2008). *Análisis sísmico de edificios* (Centro de Investigaciones Científicas (ed.); 1st ed.).
- Arancibia, F. (2013). *Modos de vibración de un edificio*. Ingeniería Sísmica y La Construcción Civil.  
<http://ingenieriasismicaylaconstruccioncivil.blogspot.com/2013/08/modos-de-vibracion-de-un-edificio.html>
- Arenas, M. (2008). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE ACELERACIONES CON PROCESAMIENTO MEDIANTE MICROCONTROLADOR* [UNIVERSIDAD DE SEVILLA].  
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11638/fichero/Capitulo+4.pdf>
- Aristizabal, V., Fulla, M., & Florez, C. (2012). Ondas sísmicas y sensores inalámbricos: Herramientas potenciales para la prospección de subsuelos a baja profundidad. *Revista Cintex*, 95(17), 80–95.  
<http://www.pascualbravo.edu.co:5056/cintexpb/index.php/cintex/article/view/70>
- Avila Pesantez, D., Fernando, D., Salazar, V., Gabriela, J., & Humanante Ramos, P. (2016). *DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS TELÚRICOS UTILIZANDO EL ACELEROMETRO DE LOS SMARTPHONES EARTHQUAKES DETECTION USING ACCELEROMETER OF SMARTPHONES*. 4.  
[https://www.researchgate.net/publication/317903304\\_DETECCION\\_DE\\_MOVIMIENTOS\\_TELURICOS\\_UTILIZANDO\\_EL\\_ACCELEROMETRO\\_DE\\_LOS\\_SMARTPHONES\\_EARTHQUAKES\\_DETECTION\\_USING\\_ACCELEROMETER\\_OF\\_SMARTPHONES](https://www.researchgate.net/publication/317903304_DETECCION_DE_MOVIMIENTOS_TELURICOS_UTILIZANDO_EL_ACCELEROMETRO_DE_LOS_SMARTPHONES_EARTHQUAKES_DETECTION_USING_ACCELEROMETER_OF_SMARTPHONES)

- Badamasi, Y. A. (2014). The working principle of an Arduino. *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, 1–4.  
<https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997578>
- BCC Mundo. (2016). *Terremoto de magnitud 7,8 en la zona costera de Ecuador deja más de 600 muertos*. BCC.  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416\\_ecuador\\_terremoto\\_magnitud\\_colombia\\_peru\\_bm](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416_ecuador_terremoto_magnitud_colombia_peru_bm)
- CEC. (2000). Código Ecuatoriano de la Construcción. *XIII Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador*, 325–350.
- Cruz, J. C. (2018). *ZigBee para IoT*. <https://medium.com/análisis-de-la-tecnología-zigbee-para-su-uso-en-el/zigbee-para-iot-12666b636821>
- CSN Chile. (2016). *Tecnología GPS posibilita alertas de tsunami*. Universidad de Chile.  
<http://uchile.cl/u119299>
- Echeverría Ingenieros Constructores Cía. Ltda. (2017). *Manual de Usuario Sistema Inalámbrico de Alarma de evacuación del campus de la Universidad*.
- EcuRed. (2013). *Escala Mercalli - EcuRed*.  
[https://www.ecured.cu/index.php?title=Escala\\_Mercalli&action=history](https://www.ecured.cu/index.php?title=Escala_Mercalli&action=history)
- EcuRed. (2016). *Placa tectónica*. EcuRed. [https://www.ecured.cu/Placa\\_tectónica](https://www.ecured.cu/Placa_tectónica)
- EICONS. (2017). *wRemote*. 1–30.  
<http://www.mhhe.com/engcs/electrical/papoulis/sppts.mhtml>
- El Universo. (2016). *Sismos más potentes que han afectado Ecuador*.  
<https://www.eluniverso.com/noticias/2016/04/17/nota/5531580/sismos-mas-potentes-que-han-afectado-ecuador>

- Electronics Notes. (2018). *What is ZigBee Technology*. <https://www.radio-electronics.com/info/wireless/zigbee/zigbee.php>
- Esquivel, L. C., & Schmidt, V. (2016). *Metodología Propuesta Para Ejecutar Y Reforzado De Menos De 100M De Altura Proposed Methodology for Executing and Processing Ambient Vibration Measurements Using Triaxial Accelerometers in Reinforced Concrete Buildings Less Than 100M High*. 21, 61–77.
- Fernando, L., Hugo, I., & Jaramillo, M. (2019). *DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD LOCAL ML A PARTIR DE ACELEROGRAMAS DE MOVIMIENTO FUERTE* (pp. 105–129).  
[https://www.researchgate.net/publication/267558647\\_DETERMINACION\\_DE\\_LA\\_MAGNITUD\\_LOCAL\\_ML\\_A\\_PARTIR\\_DE\\_ACELEROGRAMAS\\_DE\\_MOVIMIENTO\\_FUERTE](https://www.researchgate.net/publication/267558647_DETERMINACION_DE_LA_MAGNITUD_LOCAL_ML_A_PARTIR_DE_ACELEROGRAMAS_DE_MOVIMIENTO_FUERTE)
- Gestión de Riesgos. (2010). *GESTIÓN DE RIESGOS - PLAN DE EMERGENCIA INSTITUCIONAL*. Gestionderiesgos.Gob.Ec.
- Howell, E. (2018). *Navstar: GPS Satellite Network*. Space.Com.  
<https://www.space.com/19794-navstar.html>
- IIEC. (2014). *Controladores Inteligentes Industriales*. 1–19.  
[http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE5\\_3\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE5_3_1.pdf)
- Inc. InvenSense. (2011). *MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions*. 1(408), 1–47.
- INSIVUMEH. (2011). *Sismología*. [http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice\\_sismo.htm#ESCALA\\_DE\\_MERCALLI\\_MODIFICADA \(M. M.\)](http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice_sismo.htm#ESCALA_DE_MERCALLI_MODIFICADA_(M._M.))



Instituto Geofísico. (2013). *EL 16 DE AGOSTO SE RECUERDA EL GRAN TERREMOTO DE IBARRA*. Instituto Geofísico - EPN. <https://www.igeqn.edu.ec/cayambe/808-el-16-de-agosto-se-recuerda-el-gran-terremoto-de-ibarra>

Instituto Geofísico - EPN. (2016). *Informe Sísmico Especial N. 17 - 2016*. Instituto Geofísico - EPN. <https://www.igeqn.edu.ec/servicios/noticias/1323-informe-sismico-especial-n-17-2016>

Kato, T., Terada, Y., Nagai, T., Shimizu, K., Tomita, T., & Koshimura, S. (2008). Development of a new Tsunami Monitoring System Using a GPS Buoy. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.

Kious, J., & Tilling, R. (1996). This dynamic earth: the story of plate tectonics. *U.S. Geological Survey*, 1.2(01), 77. <https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/USGS/PB2004101893.pdf>

Lawrence, J. F., Cochran, E. S., Chung, A., Kaiser, A., Christensen, C. M., Allen, R., Baker, J. W., Fry, B., Heaton, T., Kilb, D., Kohler, M. D., & Taufer, M. (2014). Rapid Earthquake Characterization Using MEMS Accelerometers and Volunteer Hosts Following the M 7.2 Darfield, New Zealand, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(1), 184–192. <https://doi.org/10.1785/0120120196>

Lima, S. (2012). *TABLA DE MAGNITUDES DE LOS TERREMOTOS EN LA ESCALA DE RICHTER*. <http://sabanetasr.over-blog.com/article-tabla-de-magnitudes-de-los-terremotos-en-la-escala-de-richter-96218393.html>

Manosalvas, S. (2014). *Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC)*. Instituto Geofísico - EPN. <https://www.igeqn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografos>

- Moreno, M. (2015). Controlador Lógico Programable. *Automación Micromecánica s.a.i.C, I*, 1–27.  
<http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLogicoProgramablePLC.pdf>
- Núñez, O. (2017). *VALORACIÓN DEL CAMPUS ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE UBICADO EN LA AV. 17 de JULIO* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6859>
- Olsson, J. (2014). 6LoWPAN demystified. *Texas Instruments*, 13.  
<http://www.ti.com/lit/wp/swry013/swry013.pdf>
- Ortiz, Ó. (2013). Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador [Universidad Complutense de Madrid]. In *Madrid, Curso 2012-2013* (Vol. 1).  
<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>
- Pino, G. (2014). *RED NACIONAL DE SISMÓGRAFOS (RENSIG)*. Instituto Geofísico - EPN.  
<https://www.igepn.edu.ec/red-nacional-de-sismografos>
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador* (Corporación Editora Nacional (ed.); 1st ed.).
- Ruiz, M. (2016). Ecuador RENSIG Data. *Incorporated Research Institutions for Seismology*, 18(2). <https://ds.iris.edu/ds/newsletter/vol18/no2/467/ecuador-rensig-data/>
- Sergio, M., Giner, J., & Jáuregui, P. (2014). El tamaño de los terremotos: intensidad y magnitud. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 12(12.1), 99–107.
- Siemens. (2013). *Simatic s7-1200*. 1, 1–72.

[http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce\\_educacion/soluciones/Documents/314 SCE - CF - S71200.pdf](http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/soluciones/Documents/314 SCE - CF - S71200.pdf)

Silicon Sensing. (2017). *MEMS Accelerometers*. Silicon Sensing.

<https://www.siliconsensing.com/technology/mems-accelerometers/>

Torres, F., & Chaca, K. (2015). *Diseño e implementación de un digitalizador sísmico de 4 canales con acceso IP*. Universidad de Cuenca.

Tosone, H. (2012). *Teoría Cargas Dinámicas*.

[https://www.academia.edu/7558426/TEORÍA\\_CARGAS\\_DINÁMICAS\\_Profesor\\_Titular](https://www.academia.edu/7558426/TEORÍA_CARGAS_DINÁMICAS_Profesor_Titular)

Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T., & Mora, H. P. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2), 157–171.

[https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00018-4)

Universidad de Alicante. (2014). *Propagación de Ondas Sísmicas*. Universidad de Alicante.

Zafra, D. (2017). ONDAS SÍSMICAS, su importancia para la geofísica y la humanidad. In *ResearchGate* (Issue July 2017, pp. 51–73).

[https://www.researchgate.net/publication/322747134\\_ONDAS\\_SISMICAS\\_su\\_importancia\\_para\\_la\\_geofisica\\_y\\_la\\_humanidad](https://www.researchgate.net/publication/322747134_ONDAS_SISMICAS_su_importancia_para_la_geofisica_y_la_humanidad)



## ANEXO A

El Departamento de Gestión y Seguridad se ubica en el Edificio de Bienestar Universitario quinto piso, dentro de la Universidad Técnica del Norte Ibarra-Ecuador, este departamento es el encargado de la gestión ante emergencias dentro del campus, está dirigido por el Ing, Edwar Vásquez.

El Departamento de Seguridad Y Gestión de Riesgos son los encargados de efectuar lo siguiente de acuerdo con el Reglamento de Higiene y Seguridad de la UTN y del artículo 15 del decreto 2393:

- a. Realizar el reconocimiento y evaluación de riesgos
- b. Gestionar el control de riesgos profesionales;
- c. Promocionar y adiestrar a los trabajadores;
- d. Llevar el registro de la accidentalidad, ausentismo y evaluación estadística de los resultados.
- e. Asesorar técnicamente en materia de control de incendios, almacenamientos adecuados, protección de maquinaria, instalaciones eléctricas, primeros auxilios, control y educación sanitaria, ventilación, protección personal y demás materias contenidas en el Decreto 2393.
- f. Colaborar en la prevención de riesgos; que efectúen los organismos del sector público y comunicar los accidentes y enfermedades profesionales que se produzcan.
- g. Organizar y planificará el mejoramiento continuo de todas las actividades de la gestión preventiva en seguridad y salud ocupacional, para posteriormente ponerla en práctica.

h. Promover un lugar de trabajo seguro y saludable para los trabajadores con la participación de todos los involucrados.

¡.Asegurar que las instalaciones de trabajo cumplan con los estándares establecidos en leyes y normas establecidas con la participación de todos los involucrados.

j. Desarrollar y proveer a los trabajadores de entrenamiento específico en seguridad y salud de acuerdo a su función.

k. Entregar los equipos de protección personal, luego de su selección técnica y de haber proporcionado capacitación y entrenamiento, dejando registros.

El Departamento de Seguridad y Gestión de Riesgos también cuenta con la responsabilidad de dar mantenimiento y operación al Sistema de Evacuación Inalámbrica en conjunto con la empresa de servicios EICONS, el cual se detalla en la situación actual de la Universidad Técnica del Norte.

Para el levantamiento de información se realizó citas técnicas dentro del departamento de seguridad y gestión de riesgos, realización de entrevista, análisis de datos recolectados de la empresa EICONS.

El estado actual del sistema de evacuación inalámbrica del campus universitario, se observó tanto en la documentación entregada por parte de EICONS e inspección personal, que consta de un sistema capaz de dar alerta a nivel del campus universitario y de facultad (dentro de cada facultad), la alarma se la realiza de manera manual, sea presionando los botones que hay dentro de cada edificio y/o por medio de un botón remoto que dispone el Ing, Edwar Vásquez. Se comentó que, al momento de un movimiento telúrico, el departamento de Seguridad y Gestión de Riesgos activa el protocolo para que encargados de cada facultad

asistan a docentes, personal administrativo y estudiantes a la evacuación de los edificios, aclarando que este proceso es lento ya que se necesita de la activación de la alarma a todo el campus para dar aviso y activación del protocolo. Se observa en las siguientes imágenes el botón remoto y botón en cada edificio de izquierda a derecha.



El Director del Departamento de seguridad y gestión de riesgos, se le realizó una entrevista acerca del funcionamiento e inconvenientes acerca del sistema de evacuación y consta a continuación de los documentos pertinentes.

## **ENTREVISTA REALIZADA AL INGENIERO EDWAR VASQUEZ**

### **ANALISTA DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.**

### **ENCARGADO DEL DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y GESTIÓN DE RIEGOS (Situación actual)**

**Nombre del entrevistado:** Ing. Edwar Vasquez

**Nombre del entrevistador:** Cristopher Salas

### **¿Qué cargo ocupa dentro de la organización?**

Analista del Departamento de Seguridad y Gestión de Riesgos.

### **¿Qué funciones realiza?**

Tareas como organización, control, prevención de riesgos, asesoramiento y capacitación de uso de materiales de prevención de riesgos, entrega de equipo de seguridad y mejoramiento de actividades en la prevención de riesgos, entre muchos otros.

### **¿Cómo se realiza el protocolo de evacuación ante sismos?**

Al momento de existir un sismo o terremoto se activa la alarma en toda la universidad, se da aviso a los encargados de cada facultad a la asistencia de las personas, ayudando a la evacuación y reubicación a los puntos seguros. Se inspecciona que todas las personas hayan evacuado el edificio. En los puntos seguros se realiza controles para mantener en a los estudiantes, docentes, personal administrativo y público en general.

### **¿Qué es el sistema inalámbrico de alarmas de evacuación de la Universidad Técnica del Norte?**

Es un sistema que se instaló en cada edificio de la universidad para dar alertas en caso de cualquier emergencia, permitiendo a las personas reconocer que se encuentra bajo cierto peligro y que es obligatorio la reunión en puntos seguros dentro de la universidad, previniendo cualquier siniestro hacia la vida humana, como un sistema independiente.

### **¿Qué inconvenientes hay al ejecutar el protocolo ante sismos?**

La activación de la alarma para dar aviso a las personas que evacuen los edificios, muchas veces la activación de la alarma es muy retardada desde que ocurre el sismo, ya que el sistema de evacuación de problemas de cobertura para el botón remoto y es necesario comunicar a los encargados de cada facultad activar de forma manual cada alarma, perdiendo



tiempo para que la gente evacue los edificios, porque la gente al no escuchar la alarma, muchas de las veces omiten la emergencia y permanecen dentro de los edificios.

**¿Cree conveniente la implementación de un sistema independiente al sistema inalámbrico de alarmas, para la activación de la alerta?**

Sería una ayuda al momento de la activación de las alertas, como un sistema de alarma temprano, ya que se realizaría oportunamente la ejecución del protocolo y así reducir el tiempo de reacción de las personas dentro de la universidad.

**¿Si se implementa un sistema independiente, cómo debería ser su funcionamiento?**

Es importante que se visualice una alerta de que detectó un movimiento telúrico y de que va a enviar una alarma general a todo el campus universitario, para activar el protocolo y una evacuación más inmediata. Se debería tomar en cuenta que el sistema de alarmas inalámbrica de evacuación es un sistema independiente con su propia estructura, podría ser también con su misma estructura.

Al detectar los sismos tomar en cuenta que el edificio de bienestar universitario se encuentra en una intersección donde pasan vehículos y existen vientos fuertes durante las tardes. Activar la alerta sin la intervención del personal, pero aún ser capaz de activar manualmente. El mantenimiento del sistema no debería ser tan extenso y lo menos manipulable, evitando falsas alarmas.

## **ANEXO B**

### **MANUAL DE USUARIO DE SISTEMA INALÁMBRICO DE ALARMAS DE EVACUACIÓN DEL CAMPUS DE LA UNIVERIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**EICONS**

Echeverría Ingenieros  
Constructores Cía. Ltda.  
[www.eicons.noenergy.com](http://www.eicons.noenergy.com)

## MANUAL DE USUARIO SISTEMA INALÁMBRICO DE ALARMAS DE EVACUACIÓN DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD.

CAMPUS CIUDADELA  
UNIVERSITARIA

### INDICE

- ✓ INTRODUCCIÓN
- ✓ UBICACIÓN
- ✓ OPERACIÓN

### RESUMEN

*El sistema inalámbrico de alarmas del campus de la ciudadela universitaria es un equipo con el cual se pretende alertar de cuales quiere catástrofe sea natural o provocado, para todas las personas que se encuentren dentro de este lugar, para que acudan a los lugares más seguros dentro del predio.*

*También sirve para realizar simulacros ya sea, por facultades o como en general, ayudando a la colectividad universitaria a estar preparada para cualquiera catástrofe.*

DISEÑADO POR  
**EICONS**  
[www.eicons.noenergy.com](http://www.eicons.noenergy.com)

## INTRODUCCIÓN

### UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

#### SISTEMAS DE ALARMAS DE EVACUACIÓN DEL CAMPUS DE LA CIUDADELA UNIVERSITARIA.

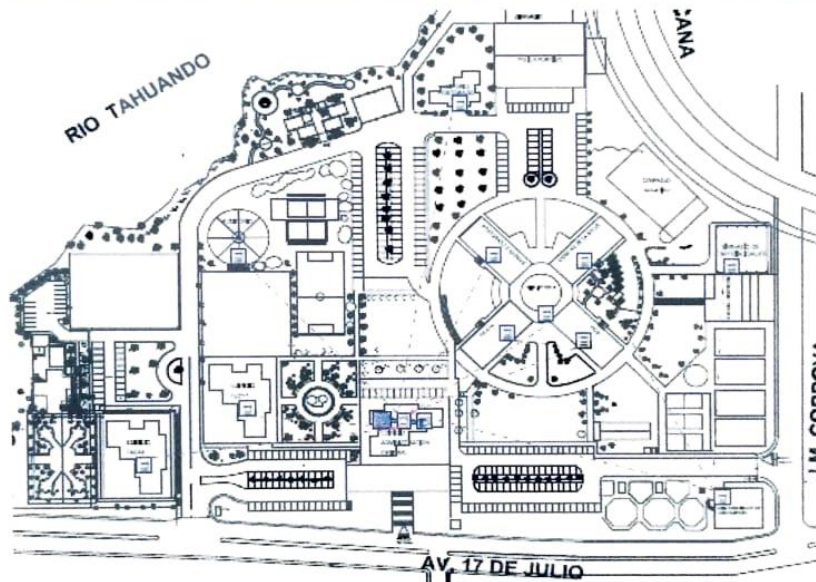
Existe la necesidad de implementar un sistema de alarmas de evacuación para la Universidad Técnica del Norte en la ciudad de Ibarra, por lo tanto, se deberá tomar en cuenta las siguientes consideraciones de implementación.

- 1.- Las luces estroboscópicas con sirena son elementos auditivos visibles que alertan al usuario en caso de algún siniestro; es necesario que se ubiquen una por planta de cada facultad y bloque administrativo, con la finalidad de que el usuario escuche y mire que, en caso de producirse una emergencia, le permita realizar una evacuación de manera rápida siguiendo el recorrido de las luces y evitando el pánico.
- 2.- Los pulsadores de emergencia se ubicarán uno por planta de cada facultad y bloque administrativo, además serán ubicados en lugares estratégicos y de fácil acceso, ya que en caso de producirse una emergencia estos podrán ser activados y por ende permitir la evacuación de forma rápida.
- 3.- Se ubicará una sirena para exteriores por cada facultad y bloque administrativo, con la finalidad de alertar a las personas que se encuentren por los exteriores de cada facultad y bloques administrativos del campus universitario.
- 4.- Los circuitos electrónicos se implementarán de forma independiente para cada facultad y bloque administrativo del campus, es decir, que si se activa uno de ellos solo se alertara la emergencia para el mismo; es por eso que el edificio central tendrá la prioridad máxima para activar todo el campus universitario, tanto de forma interna o externa a cada facultad y bloque administrativo.
- 5.- Al no disponer de la información técnica necesaria como son los planos de implantación del campus universitario se desconoce los recorridos de ductos y pozos para el tendido del cableado; es necesario implementar un sistema inalámbrico con módulos de control en cada facultad y bloque administrativo del campus, con la finalidad de mantener centralizado el sistema de alarmas en el edificio central, y garantizar la conectividad total del campus universitario para la activación de las alarmas de evacuación en caso de emergencia.

Página 3

## UBICACIÓN

*El sistema inalámbrico se encuentra actualmente en lazo como se ve en el siguiente diagrama.*



Página 4

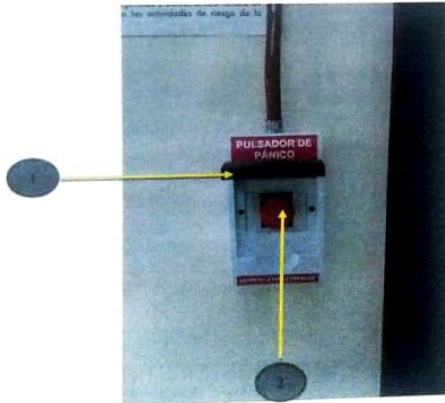


## OPERACIÓN

*El Sistema de Evacuación posee dos modos de operación, dependiendo del tipo de siniestro.*

- 1.- Siniestro en facultad.
- 2.- Siniestro en todo el campus universitario.

### 1.- SINIESTRO EN FACULTAD.



1. Se debe de levantar la tapa plástica.
2. Presionar el botón Rojo.

Y ayudar a evacuar por piso y pisos dentro de la facultad, a sitios seguros ya marcados.

**NOTA:** El encargado de presionar el botón de pánico dentro de la facultad debe de ser el brigadista del mismo.

Página 5

## OPERACIÓN

### 2.- SINIESTRO EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD.



Se debe de esperar la instrucción de presionar el botón de pánico general del campus por el supervisor de seguridad física de turno o jefe inmediato.

1. Presionar el control inalámbrico, botón con el signo de candado abierto.

Y ayudar a evacuar a las personas que se encuentran frente los edificios a sitios seguros ya marcados.

2. La desactivación de las alarmas se realizará al presionar el botón con el candado cerrado


**NOTA:** El encargado de presionar el botón de pánico dentro del campus, es el guardia de turno o jefe inmediato.

Página 6

# SUGERENCIAS

*Después de que pase algunos minutos y que la gente se encuentre calmada y a salvo, se deberá ir piso por piso, revisando que no se encuentre enclavado el botón de pánico.*

*Si es el caso del siniestro y que se activó el botón de pánico general de todo el campus, se debe de esperar la confirmación de apagado del mismo, presionando el botón con candado seguro y aguardar 30 segundos hasta que los edificios dejen de sonar, si es el caso que no se paga, se debe de ir a la facultad que siga en evacuación y revisar piso por piso el botón que se encuentre enclavado.*



**Echeverría Ingenieros Constructores Cia. Ltda.**  
www.eicons-neoenergy.com

ORDEN N°	AE-EICONS250A
CLIENTE	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DESCRIPCIÓN	SISTEMA INALÁMBRICO DE ALARMAS DE EVACUACIÓN DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD.
ID TABLERO	=00+SAEC UTN 01
DESCRIPCIÓN	SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO ENTRE NODOS, CONCENTRADOR, MÓDULO GSM Y PLC. SE DESCRIBE DISTINTOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN
NOTAS	-


  

PROTOCOLO: IEEE 802.15.4			
RED		WIRING	
CATEGORY	FRECUENCIA	WIRE ID ITEM	COLOR
RED MÓVIL CLARO	BANDA 2G-3G	1700//2100MHz	INALÁMBRICO
RED RF Wireless	5MHz//~104dlm	2.4Ghz//RED MESH	INALÁMBRICO
RED RS485 Modbus	BNV//9600brmp	TR+/TR-/GND	GR/BR/SCREEN

00	24/06/17	SAEC-UTN	R.BLANCO	A.ECHEVERRIA	A.ECHEVERRIA
REV	DATE	DESCRIPTION	DRAWN BY	CHECKED BY	APPROVED BY

REV.	FECHA-DIAZ	PARA-SON	NOTAS-NOTES	CONTN-JOB N°	SB-DESIGNER	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
0	07/2017	RE	ORIGEN PROYECTO	EICONS250A	RE	TABLERO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA EL SISTEMA DE ALARMAS DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD
1	07-2017	RE	COMO CONSULTA	250A-DIAZ	CONTN-DIAZ	
2	08/2017	EICONS INC.	EMERGENCIAS	04-07-2017	RE	

Rev. No. **EICONS RB002.07.17**

Drawn: **003**

Checked: **003**

Approved: **003**

ESTE DIBUJO ES PROPIEDAD DE EICONS CIA. LTDA. EL DISEÑO COMPLETO O PARCIAL DE LOS MODULOS ESTÁ PROHIBIDO PARA USO O TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN A TERCEROS SIN PERMISO EXPLÍCITO DE EICONS CIA. LTDA.

## ANEXO C

Se resume las características técnicas de la red y de los equipos que se utilizan para la implementación de la comunicación inalámbricas.

*Resumen del diseño de la red.*

<b>Resumen del diseño de la red inalámbrica</b>					
<b>Información general</b>					
<b>Nombre:</b>	SALAS VILLARREAL CRISTOPHER ALEJANDRO				
<b>C.I.:</b>	040153719-6				
<b>Email:</b>	casalas@utn.edu.ec				
<b>Teléfono:</b>	0993057525				
<b>Información técnica de la red</b>					
<b>CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA</b>					
Punto a punto ( X )			Punto a multipunto ( )		
<b>COBERTURA (Provincias, ciudades, poblaciones o zonas)</b>					
Zona FICA-Bienestar Universitario ubicado en la UTN					
<b>CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA:</b>					
N° Estaciones	N° Repetidores	N° Enlaces físicos		N° Enlaces Inalámbrico	Total de Enlaces
		Cobre	Fibra óptica	Fijo móvil por satélite	
2		-	-	-	1
<b>Distancia (km):</b>	0.100 km				
<b>Características técnicas de los equipos</b>					
<b>Tipo de estación:</b>	Nodo principal				
<b>Código del equipo:</b>	418157B9				
<b>Marca:</b>	Xbee				
<b>Modelo:</b>	S2C				
<b>Anchura de banda (MHz)</b>					
<b>Tipo de modulación:</b>	O-QPSK				
<b>Velocidad de transmisión:</b>	250000 bps				
<b>Rango de operación:</b>	2.4 GHz				
<b>Sensibilidad (dBm):</b>	-102 dBm				
<b>Máxima desviación de frecuencias:</b>					
<b>Ubicación</b>					
<b>Latitud:</b>	0.35949				
<b>Longitud</b>	-78.11062				

<b>Altitud:</b>	13 m
<b>Azimut:</b>	51.67°
<b>Descripción:</b>	La estación se ubica en la planta quinta del edificio de bienestar Universitario, con línea de vista con el nodo remoto.

### Características técnicas de los equipos

<b>Tipo de estación:</b>	Nodo remoto
<b>Código del equipo:</b>	4181570E
<b>Marca:</b>	xBee
<b>Modelo:</b>	S2C
<b>Anchura de banda (MHz)</b>	
<b>Tipo de modulación:</b>	O-QPSK
<b>Velocidad de transmisión:</b>	250000 bps
<b>Rango de operación:</b>	2.4 GHz
<b>Sensibilidad (dBm):</b>	-102 dBm
<b>Máxima desviación de frecuencias:</b>	

### Ubicación

<b>Latitud:</b>	0.35900
<b>Longitud:</b>	-78.11124
<b>Altitud:</b>	13m
<b>Azimut:</b>	
<b>Descripción:</b>	La estación se ubica en la planta quinta del edificio FICA (Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas) línea de vista con el nodo principal

Fuente: Autoría

## ANEXO D

La calibración del sensor se lo debe realizar para cada sensor que se aplica en un proyecto, y debe ser realizado en el lugar donde se instala el sensor, esto con evitar variaciones en la inclinación de la superficie a medir, con el objetivo de que los valores iniciales sean “X=0”, “Y=0” y “Z=1g”. A continuación, el sketch de la calibración del sensor usando la herramienta Arduino IDE.

Cabe recalcar que esta calibración es necesaria hacerla una sola vez, y no es necesario ejecutarlo en cada código.

```
// calibrar_mpu6050.ino
// Librerías I2C para controlar el mpu6050 con Arduino,
// la librería MPU6050.h necesita I2Cdev.h, la librería I2Cdev.h necesita
Wire.h

#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"

// La dirección del MPU6050 puede ser 0x68 o 0x69, dependiendo
// del estado de AD0. Si no se especifica, 0x68 estará implícito
MPU6050 sensor;

// Valores RAW (sin procesar) del acelerómetro y giroscopio en los ejes x,y,z
int ax, ay, az;
int gx, gy, gz;

//Variables usadas por el filtro pasa bajos
long f_ax,f_ay, f_az;
int p_ax, p_ay, p_az;
long f_gx,f_gy, f_gz;
int p_gx, p_gy, p_gz;
int counter=0;

//Valor de los offsets
int ax_o,ay_o,az_o;
int gx_o,gy_o,gz_o;

void setup() {
```



```

Serial.begin(57600); //Iniciando puerto serial
Wire.begin(); //Iniciando I2C
sensor.initialize(); //Iniciando el sensor

if (sensor.testConnection()) Serial.println("Sensor iniciado
correctamente");

// Leer los offset los offsets anteriores
ax_o=sensor.getXAccelOffset();
ay_o=sensor.getYAccelOffset();
az_o=sensor.getZAccelOffset();
gx_o=sensor.getXGyroOffset();
gy_o=sensor.getYGyroOffset();
gz_o=sensor.getZGyroOffset();

Serial.println("Offsets:");
Serial.print(ax_o); Serial.print("\t");
Serial.print(ay_o); Serial.print("\t");
Serial.print(az_o); Serial.print("\t");
Serial.print(gx_o); Serial.print("\t");
Serial.print(gy_o); Serial.print("\t");
Serial.print(gz_o); Serial.println("\t");

Serial.println("\n\nEnvie cualquier caracter para empezar la calibracionnn");
// Espera un caracter para empezar a calibrar
while (true){if (Serial.available()) break;}
Serial.println("Calibrando, no mover IMU");
}

void loop() {
// Leer las aceleraciones y velocidades angulares
sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
sensor.getRotation(&gx, &gy, &gz);

// Filtrar las lecturas
f_ax = f_ax-(f_ax>>5)+ax;
p_ax = f_ax>>5;

f_ay = f_ay-(f_ay>>5)+ay;
p_ay = f_ay>>5;

f_az = f_az-(f_az>>5)+az;
p_az = f_az>>5;

f_gx = f_gx-(f_gx>>3)+gx;
p_gx = f_gx>>3;

f_gy = f_gy-(f_gy>>3)+gy;

```

```

p_gy = f_gy>>3;

f_gz = f_gz-(f_gz>>3)+gz;
p_gz = f_gz>>3;

//Cada 100 lecturas corregir el offset
if (counter==100){
    //Mostrar las lecturas separadas por un [tab]
    Serial.print("promedio:"); Serial.print("\t");
    Serial.print(p_ax); Serial.print("\t");
    Serial.print(p_ay); Serial.print("\t");
    Serial.print(p_az); Serial.print("\t");
    Serial.print(p_gx); Serial.print("\t");
    Serial.print(p_gy); Serial.print("\t");
    Serial.println(p_gz);

    //Calibrar el acelerometro a 1g en el eje z (ajustar el offset)
    if (p_ax>0) ax_o--;
    else {ax_o++;}
    if (p_ay>0) ay_o--;
    else {ay_o++;}
    if (p_az-16384>0) az_o--;
    else {az_o++;}

    sensor.setXAccelOffset(ax_o);
    sensor.setYAccelOffset(ay_o);
    sensor.setZAccelOffset(az_o);

    //Calibrar el giroscopio a 0º/s en todos los ejes (ajustar el offset)
    if (p_gx>0) gx_o--;
    else {gx_o++;}
    if (p_gy>0) gy_o--;
    else {gy_o++;}
    if (p_gz>0) gz_o--;
    else {gz_o++;}

    sensor.setXGyroOffset(gx_o);
    sensor.setYGyroOffset(gy_o);
    sensor.setZGyroOffset(gz_o);

    counter=0;
}
counter++;
}

```

## ANEXO E

Para la configuración de los módulos Xbee S2C, es necesario descargar el programa XCTU desde su página oficial: [https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001526/tasks/t\\_download\\_and\\_install\\_xctu.htm](https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001526/tasks/t_download_and_install_xctu.htm).

Antes de realizar la configuración se deberá tomar en cuenta los siguientes parámetros.

<b>Parámetro</b>	<b>Nodo Remoto</b>	<b>Nodo Principal</b>
<b>Modo</b>	END-DEVICE	COORDINADOR
<b>NI</b>	No Re END_DEVICE	No Pr COORD
<b>DH</b>	13A200	0
<b>DL</b>	418157B9	FFFF
<b>SH</b>	13A200	13A200
<b>SL</b>	4181570E	418157B9
<b>MY</b>	CA20	CA95

Una vez instalado, conectamos el módulo Xbee al computador con su respectivo xBee Explorer, se selecciona buscar dispositivos como se muestra en la Figura 84.

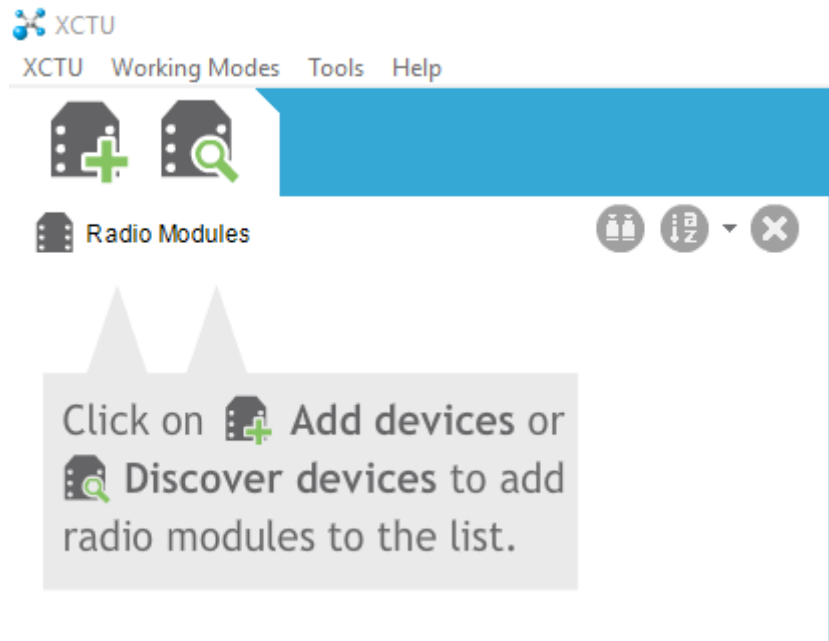


Figura 84: Ventana de búsqueda de dispositivos xBee.

Fuente: Autoría.

Se configura el puerto serial, y se espera hasta que detecte el dispositivo, como se muestra en la Figura 85. Por defecto en los dispositivos tienen una configuración predeterminada de 9600 Baud Rate- 8 Bits, 1 de paridad. Este paso lo realizamos con los dos dispositivos para la configuración y asignación de roles.

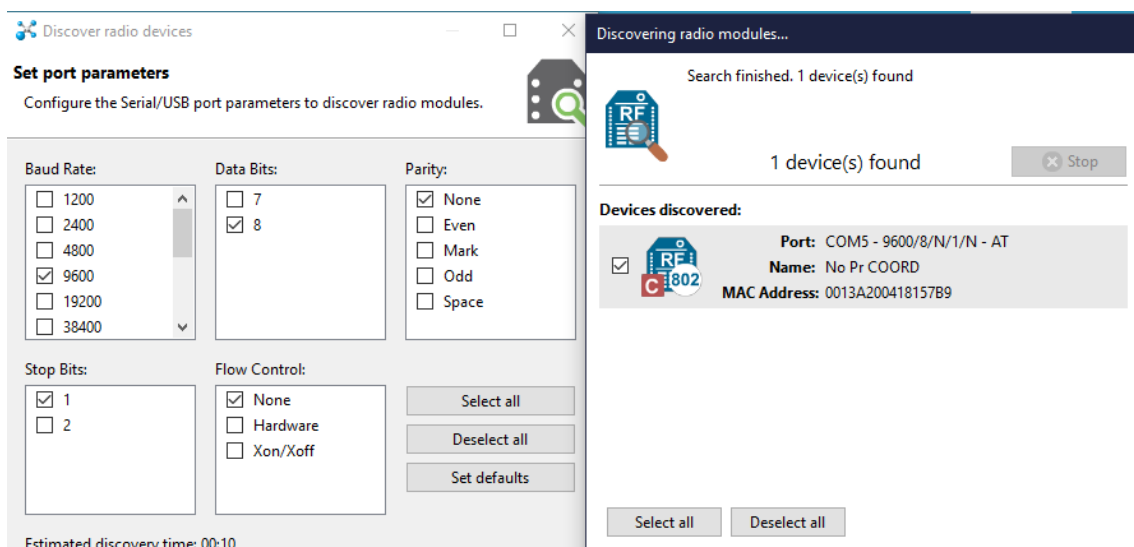


Figura 85: Ventana de selección de xBee.

Fuente: Autoría.

Antes de comenzar se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros.

Parámetro	Nodo Remoto	Nodo Principal
<b>Modo</b>	END-DEVICE	COORDINADOR
<b>NI</b>	No Re END_DEVICE	No Pr COORD
<b>DH</b>	DH del coordinador	0
<b>DL</b>	SL del coordinador	FFFF
<b>SH</b>	Por defecto	Por defecto
<b>SL</b>	Dispositivo SL	Dispositivo SL
<b>MY</b>	Dirección Addr	Dirección Addr

Como se observó en el capítulo 2, los módulos xbee tienen tres configuraciones: Coordinador (único en la red), Router y End-Device. Se configurará el nodo principal como COORDINADOR, las modificaciones están resaltadas con una flecha azul, como se observa en la Figura 86.

Product family: XB24C      Function set: 802.15.4 TH      Firmware version: 2001

▼ Networking & Security  
Modify networking settings

i	CH Channel	<input type="text" value="C"/>		
i	ID PAN ID	<input type="text" value="2023"/>		
i	DH Destination Address High	<input type="text" value="0"/>		
i	DL Destination Address Low	<input type="text" value="FFFF"/>		
i	MY 16-bit Source Address	<input type="text" value="CA95"/>		
i	SH Serial Number High	<input type="text" value="13A200"/>		
i	SL Serial Number Low	<input type="text" value="418157B9"/>		
i	MM MAC Mode	<input type="text" value="802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]"/>		
i	RR XBee Retries	<input type="text" value="0"/>		
i	RN Random Delay Slots	<input type="text" value="0"/>		
i	NT Node Discover Time	<input type="text" value="19"/> x 100 ms		
i	NO Node Discover Options	<input type="text" value="0"/> Bitfield		
i	TO Transmit Options	<input type="text" value="0"/> Bitfield		

<b>C8</b> 802.15.4 Compatibility	0	Bitfield			
<b>CE</b> Coordinator Enable	Coordinator [1]				
<b>SC</b> Scan Channels	1FFE	Bitfield			
<b>SD</b> Scan Duration	4	exponent			
<b>A1</b> End Device Association	0	Bitfield			
<b>A2</b> Coordinator Association	0	Bitfield			
<b>AI</b> Association Indication	0				
<b>EE</b> AES Encryption Enable	Disable [0]				
<b>KY</b> AES Encryption Key					
<b>NI</b> Node Identifier	No Pr COORD				

Figura 86: Configuración del nodo Coordinador.

Fuente: Autoría.

Para la configuración del nodo remoto se muestra en la Figura 87. Se configura como un dispositivo END-DEVICE.

**Product family:** XB24C      **Function set:** 802.15.4 TH      **Firmware version:** 2001

▼ **Networking & Security**  
Modify networking settings

<b>CH</b> Channel	C				
<b>ID</b> PAN ID	2023				
<b>DH</b> Destination Address High	13A200				
<b>DL</b> Destination Address Low	418157B9				
<b>MY</b> 16-bit Source Address	CA20				
<b>SH</b> Serial Number High	13A200				
<b>SL</b> Serial Number Low	4181570E				
<b>MM</b> MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]				
<b>RR</b> XBee Retries	0				
<b>RN</b> Random Delay Slots	0				
<b>NT</b> Node Discover Time	19	x 100 ms			
<b>NO</b> Node Discover Options	0	Bitfield			
<b>TO</b> Transmit Options	0	Bitfield			

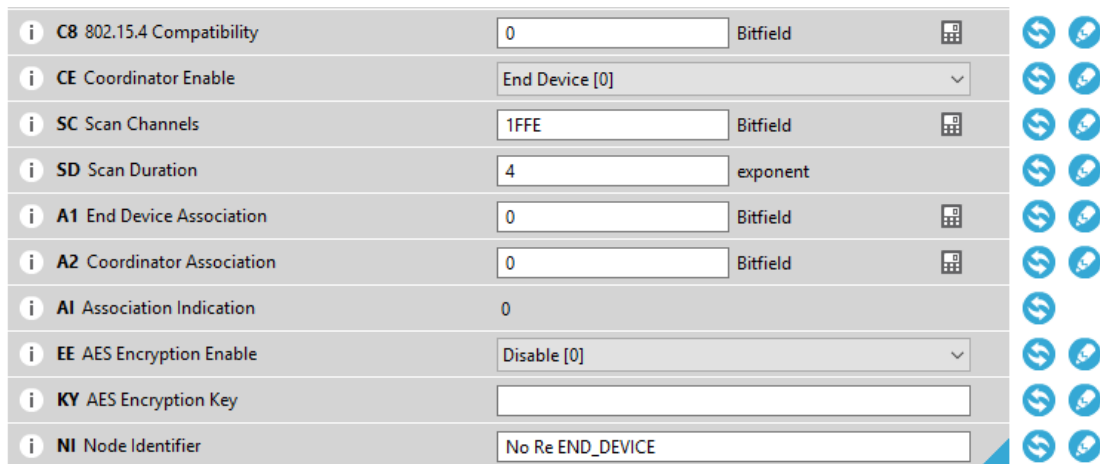


Figura 87: Configuración del nodo END-DEVICE.

Fuente: Autoría.

En la Tabla 39, se muestra el resumen de la configuración.

Tabla 39: Resumen de configuración de los módulos xBee S2C.

Parámetro	Nodo Remoto	Nodo Principal
<b>Modo</b>	END-DEVICE	COORDINADOR
<b>NI</b>	No Re END_DEVICE	No Pr COORD
<b>DH</b>	13A200	0
<b>DL</b>	418157B9	FFFF
<b>SH</b>	13A200	13A200
<b>SL</b>	4181570E	418157B9
<b>MY</b>	CA20	CA95

Fuente: Autoría.

Con esta configuración el dispositivo será capaz de transmitir, los datos al nodo principal, y utilizando el software XCTU podemos ver los datos transmitidos por medio de su software serial, se observa en la Figura 88.

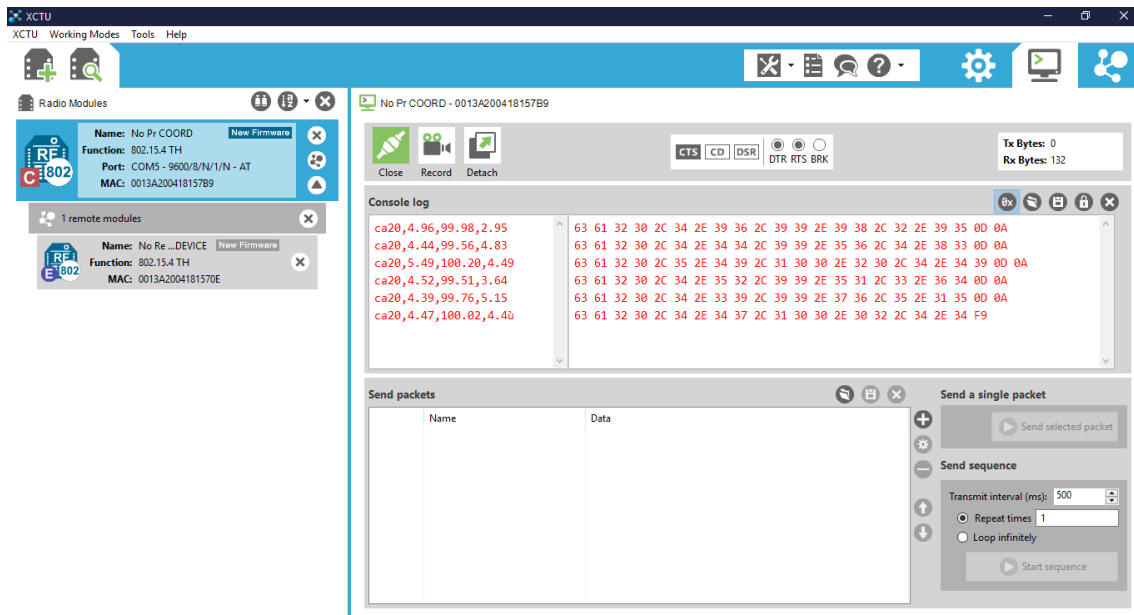


Figura 88: XCTU, comunicación serial entre los dos módulos xBee.

Fuente: Autoría.

Los dos módulos xBee están configurados en modo transparente para su fácil interpretación en la comunicación serial, puede ser configurado modo API para el acceso a la configuración de los módulos remotos.



## ANEXO F

Para la utilización del protocolo I2C, se necesita instalar las librerías `smbus` para poder comunicarse con el MPU6050 y activación de la interfaz I2C como se observa en la siguiente imagen, ingresando al menú de la configuración `raspi-config`, al utilizar el S.O. Raspbian la calibración y obtención de los OFFSET del sensor MPU6050.

```
sudo raspi-config
```

1 Change User Password	Change password for the current u
2 Network Options	Configure network settings
3 Boot Options	Configure options for start-up
4 Localisation Options	Set up language and regional sett
5 Interfacing Options	Configure connections to peripher
6 Overclock	Configure overclocking for your P
7 Advanced Options	Configure advanced settings
8 Update	Update this tool to the latest ve
9 About raspi-config	Information about this configurat
P1 Camera	Enable/Disable connection to the
P2 SSH	Enable/Disable remote command lin
P3 VNC	Enable/Disable graphical remote a
P4 SPI	Enable/Disable automatic loading
P5 I2C	Enable/Disable automatic loading
P6 Serial	Enable/Disable shell and kernel m
P7 1-Wire	Enable/Disable one-wire interface
P8 Remote GPIO	Enable/Disable remote access to G

Activación de la interfaz I2C.

Fuente: Autoría.

Para instalar la librería I2C, se ejecuta la siguiente línea de comando.

```
sudo apt-get install -y i2c-tools
```

Para verificar que esté conectado correctamente el MPU6050 con dirección 0x68, se ejecuta la siguiente línea de comando:

```
sudo i2cdetect -y 1
```

En la siguiente imagen se puede observar la identificación de la dirección 0x68 del mpu6050, indicando que está conectado correctamente y listo para su configuración y posteriormente la recolección de datos.

```
pi@raspberrypi:~$ sudo i2cdetect -y 1
   0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
10:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
20:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
30:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
40:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
50:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
60:  -- -- -- -- -- -- -- -- 68 -- -- -- -- -- --
70:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
```

Identificación de la dirección I2C en Linux.

Fuente: Autoría.

## ANEXO G

El servidor de hora NTP en el sistema operativo Raspbian ya tiene preinstalado, se puede comprobar con el comando:

```
apt list --installed | grep ntp.
```

```
pi@raspberrypi:~ $ apt list --installed | grep ntp
WARNING: apt does not have a stable CLI interface. Use with caution in scripts.
pi@raspberrypi:~ $ █
```

Caso contrario se reinstala el NTP, con el siguiente comando:

```
sudo apt-get install --reinstall ntp.
```

```
pi@raspberrypi:~ $ sudo apt-get install --reinstall ntp
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following additional packages will be installed:
  libopts25
Suggested packages:
  ntp-doc
The following NEW packages will be installed:
  libopts25 ntp
0 upgraded, 2 newly installed, 0 to remove and 98 not upgraded.
Need to get 609 kB of archives.
After this operation, 1,826 kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue? [Y/n] y █
```

Utilizando este método de obtención de hora, el costo de adquisición es nulo, ya que únicamente se necesita un punto WiFi o Ethernet, y el NTP es de acceso libre y no implicará costos de mantenimiento ni de operación.

## ANEXO 1

Se observa a continuación datos de comunicación de los dos nodos, como muestra un solo segundo de transferencia de datos, siendo en total 194 datos recolectados por nodo y un total de 388 datos analizados.

```
(20171, 'Nano', ['t', '-218', '-97', '-16', '2020-11-28 19:19:56.005027'])
(20172, 'Pi', '-586.90', '330.42', '677.58', '2020-11-28 19:19:56.005027')
(20172, 'Nano', ['t', '-207', '-87', '-15', '2020-11-28 19:19:56.016089'])
(20173, 'Pi', '-584.03', '329.70', '684.28', '2020-11-28 19:19:56.016089')
(20173, 'Nano', ['t', '-211', '-84', '-18', '2020-11-28 19:19:56.027023'])
(20174, 'Pi', '-588.33', '329.70', '680.69', '2020-11-28 19:19:56.027023')
(20174, 'Nano', ['t', '-212', '-82', '-23', '2020-11-28 19:19:56.036266'])
(20175, 'Pi', '-583.07', '336.64', '682.84', '2020-11-28 19:19:56.036266')
(20175, 'Nano', ['t', '-200', '-80', '-21', '2020-11-28 19:19:56.047316'])
(20176, 'Pi', '-579.72', '336.40', '681.41', '2020-11-28 19:19:56.047316')
(20176, 'Nano', ['t', '-193', '-82', '-17', '2020-11-28 19:19:56.057770'])
(20177, 'Pi', '-580.68', '332.09', '703.66', '2020-11-28 19:19:56.057770')
(20177, 'Nano', ['t', '-200', '-85', '-14', '2020-11-28 19:19:56.067929'])
(20178, 'Pi', '-588.10', '325.63', '691.46', '2020-11-28 19:19:56.067929')
(20178, 'Nano', ['t', '-205', '-92', '-19', '2020-11-28 19:19:56.077981'])
(20179, 'Pi', '-585.46', '323.24', '688.34', '2020-11-28 19:19:56.077981')
(20179, 'Nano', ['t', '-205', '-91', '-19', '2020-11-28 19:19:56.088417'])
(20180, 'Pi', '-589.29', '330.65', '683.80', '2020-11-28 19:19:56.088417')
(20180, 'Nano', ['t', '-211', '-92', '-18', '2020-11-28 19:19:56.098838'])
(20181, 'Pi', '-582.59', '331.37', '676.38', '2020-11-28 19:19:56.098838')
(20181, 'Nano', ['t', '-207', '-85', '-9', '2020-11-28 19:19:56.108601'])
(20182, 'Pi', '-588.57', '332.09', '669.20', '2020-11-28 19:19:56.108601')
(20182, 'Nano', ['t', '-198', '-83', '-17', '2020-11-28 19:19:56.118897'])
(20183, 'Pi', '-570.63', '333.29', '682.60', '2020-11-28 19:19:56.118897')
(20183, 'Nano', ['t', '-200', '-81', '-25', '2020-11-28 19:19:56.129932'])
(20184, 'Pi', '-591.45', '349.79', '673.27', '2020-11-28 19:19:56.129932')
(20184, 'Nano', ['t', '-191', '-79', '-19', '2020-11-28 19:19:56.139810'])
(20185, 'Pi', '-590.73', '337.59', '683.80', '2020-11-28 19:19:56.139810')
(20185, 'Nano', ['t', '-199', '-85', '-6', '2020-11-28 19:19:56.150042'])
(20186, 'Pi', '-587.86', '333.76', '684.52', '2020-11-28 19:19:56.150042')
(20186, 'Nano', ['t', '-207', '-85', '-17', '2020-11-28 19:19:56.160533'])
(20187, 'Pi', '-569.91', '327.07', '679.49', '2020-11-28 19:19:56.160533')
(20187, 'Nano', ['t', '-199', '-89', '-20', '2020-11-28 19:19:56.171030'])
(20188, 'Pi', '-589.77', '326.35', '685.47', '2020-11-28 19:19:56.171030')
(20188, 'Nano', ['t', '-211', '-89', '-21', '2020-11-28 19:19:56.181413'])
(20189, 'Pi', '-583.79', '319.89', '681.65', '2020-11-28 19:19:56.181413')
(20189, 'Nano', ['t', '-211', '-87', '-17', '2020-11-28 19:19:56.191860'])
(20190, 'Pi', '-587.14', '336.64', '685.23', '2020-11-28 19:19:56.191860')
(20190, 'Nano', ['t', '-209', '-90', '-13', '2020-11-28 19:19:56.202572'])
(20191, 'Pi', '-591.92', '326.35', '675.19', '2020-11-28 19:19:56.202572')
(20191, 'Nano', ['t', '-204', '-92', '-20', '2020-11-28 19:19:56.212751'])
(20192, 'Pi', '-584.75', '330.18', '701.50', '2020-11-28 19:19:56.212751')
(20192, 'Nano', ['t', '-209', '-87', '-6', '2020-11-28 19:19:56.222310'])
(20193, 'Pi', '-592.40', '330.42', '678.30', '2020-11-28 19:19:56.222310')
(20193, 'Nano', ['t', '-213', '-81', '-6', '2020-11-28 19:19:56.232733'])
(20194, 'Pi', '-591.68', '334.48', '681.65', '2020-11-28 19:19:56.232733')
(20194, 'Nano', ['t', '-208', '-80', '-19', '2020-11-28 19:19:56.243280'])
(20195, 'Pi', '-586.42', '335.92', '674.71', '2020-11-28 19:19:56.243280')
(20195, 'Nano', ['t', '-206', '-80', '-13', '2020-11-28 19:19:56.253679'])
(20196, 'Pi', '-588.57', '328.26', '675.66', '2020-11-28 19:19:56.253679')
(20196, 'Nano', ['t', '-199', '-81', '-10', '2020-11-28 19:19:56.264144'])
(20197, 'Pi', '-588.10', '339.51', '675.90', '2020-11-28 19:19:56.264144')
(20197, 'Nano', ['t', '-202', '-81', '-20', '2020-11-28 19:19:56.274543'])
(20198, 'Pi', '-568.00', '326.35', '672.55', '2020-11-28 19:19:56.274543')
(20198, 'Nano', ['t', '-205', '-83', '-14', '2020-11-28 19:19:56.284978'])
(20199, 'Pi', '-591.45', '324.19', '685.47', '2020-11-28 19:19:56.284978')
(20199, 'Nano', ['t', '-200', '-80', '-10', '2020-11-28 19:19:56.294754'])
(20200, 'Pi', '-587.14', '329.22', '681.65', '2020-11-28 19:19:56.294754')
(20200, 'Nano', ['t', '-203', '-89', '-9', '2020-11-28 19:19:56.305074'])
(20201, 'Pi', '-595.03', '329.70', '690.50', '2020-11-28 19:19:56.305074')
(20201, 'Nano', ['t', '-201', '-91', '-25', '2020-11-28 19:19:56.315820'])
(20202, 'Pi', '-588.33', '334.24', '681.88', '2020-11-28 19:19:56.315820')
(20202, 'Nano', ['t', '-207', '-79', '-21', '2020-11-28 19:19:56.326046'])
(20203, 'Pi', '-581.40', '332.09', '681.41', '2020-11-28 19:19:56.326046')
```

(20203, 'Nano', ['t', '-200', '-84', '-12', '2020-11-28 19:19:56.335822'])  
(20204, 'Pi', '-585.22', '337.83', '676.86', '2020-11-28 19:19:56.335822')  
(20204, 'Nano', ['t', '-194', '-77', '-18', '2020-11-28 19:19:56.347047'])  
(20205, 'Pi', '-584.03', '329.46', '681.88', '2020-11-28 19:19:56.347047')  
(20205, 'Nano', ['t', '-207', '-83', '-4', '2020-11-28 19:19:56.356893'])  
(20206, 'Pi', '-588.57', '331.61', '672.79', '2020-11-28 19:19:56.356893')  
(20206, 'Nano', ['t', '-207', '-88', '-16', '2020-11-28 19:19:56.367702'])  
(20207, 'Pi', '-593.60', '327.78', '679.01', '2020-11-28 19:19:56.367702')  
(20207, 'Nano', ['t', '-204', '-89', '-13', '2020-11-28 19:19:56.377823'])  
(20208, 'Pi', '-588.10', '324.43', '685.23', '2020-11-28 19:19:56.377823')  
(20208, 'Nano', ['t', '-204', '-84', '-20', '2020-11-28 19:19:56.388311'])  
(20209, 'Pi', '-568.72', '324.91', '675.90', '2020-11-28 19:19:56.388311')  
(20209, 'Nano', ['t', '-202', '-85', '-26', '2020-11-28 19:19:56.398695'])  
(20210, 'Pi', '-590.01', '329.46', '685.95', '2020-11-28 19:19:56.398695')  
(20210, 'Nano', ['t', '-194', '-87', '-24', '2020-11-28 19:19:56.409462'])  
(20211, 'Pi', '-583.07', '327.30', '687.63', '2020-11-28 19:19:56.409462')  
(20211, 'Nano', ['t', '-195', '-85', '-14', '2020-11-28 19:19:56.418961'])  
(20212, 'Pi', '-584.27', '328.26', '683.08', '2020-11-28 19:19:56.418961')  
(20212, 'Nano', ['t', '-200', '-86', '-21', '2020-11-28 19:19:56.430032'])  
(20213, 'Pi', '-586.18', '335.44', '674.47', '2020-11-28 19:19:56.430032')  
(20213, 'Nano', ['t', '-201', '-87', '-13', '2020-11-28 19:19:56.439792'])  
(20214, 'Pi', '-591.68', '326.83', '679.49', '2020-11-28 19:19:56.439792')  
(20214, 'Nano', ['t', '-203', '-80', '-20', '2020-11-28 19:19:56.450172'])  
(20215, 'Pi', '-584.75', '331.85', '678.54', '2020-11-28 19:19:56.450172')  
(20215, 'Nano', ['t', '-200', '-83', '-23', '2020-11-28 19:19:56.461353'])  
(20216, 'Pi', '-588.57', '334.48', '683.56', '2020-11-28 19:19:56.461353')  
(20216, 'Nano', ['t', '-200', '-82', '-16', '2020-11-28 19:19:56.471131'])  
(20217, 'Pi', '-593.60', '334.96', '687.63', '2020-11-28 19:19:56.471131')  
(20217, 'Nano', ['t', '-204', '-81', '-11', '2020-11-28 19:19:56.481511'])  
(20218, 'Pi', '-590.49', '335.44', '678.06', '2020-11-28 19:19:56.481511')  
(20218, 'Nano', ['t', '-206', '-87', '-12', '2020-11-28 19:19:56.492286'])  
(20219, 'Pi', '-590.73', '328.26', '684.76', '2020-11-28 19:19:56.492286')  
(20219, 'Nano', ['t', '-201', '-86', '-20', '2020-11-28 19:19:56.502585'])  
(20220, 'Pi', '-585.46', '327.07', '674.47', '2020-11-28 19:19:56.502585')  
(20220, 'Nano', ['t', '-203', '-84', '-16', '2020-11-28 19:19:56.512968'])  
(20221, 'Pi', '-575.89', '327.30', '677.58', '2020-11-28 19:19:56.512968')  
(20221, 'Nano', ['t', '-200', '-88', '-14', '2020-11-28 19:19:56.522895'])  
(20222, 'Pi', '-571.59', '329.70', '689.30', '2020-11-28 19:19:56.522895')  
(20222, 'Nano', ['t', '-198', '-86', '-18', '2020-11-28 19:19:56.533248'])  
(20223, 'Pi', '-590.25', '331.37', '670.16', '2020-11-28 19:19:56.533248')  
(20223, 'Nano', ['t', '-197', '-84', '-13', '2020-11-28 19:19:56.543667'])  
(20224, 'Pi', '-585.46', '330.18', '673.99', '2020-11-28 19:19:56.543667')  
(20224, 'Nano', ['t', '-206', '-83', '-22', '2020-11-28 19:19:56.553424'])  
(20225, 'Pi', '-594.08', '335.20', '682.84', '2020-11-28 19:19:56.553424')  
(20225, 'Nano', ['t', '-206', '-82', '-12', '2020-11-28 19:19:56.563890'])  
(20226, 'Pi', '-587.62', '349.32', '682.84', '2020-11-28 19:19:56.563890')  
(20226, 'Nano', ['t', '-204', '-79', '-15', '2020-11-28 19:19:56.574934'])  
(20227, 'Pi', '-592.64', '322.76', '661.07', '2020-11-28 19:19:56.574934')  
(20227, 'Nano', ['t', '-200', '-83', '-11', '2020-11-28 19:19:56.584715'])  
(20228, 'Pi', '-587.14', '329.70', '664.42', '2020-11-28 19:19:56.584715')  
(20228, 'Nano', ['t', '-209', '-83', '-23', '2020-11-28 19:19:56.595201'])  
(20229, 'Pi', '-583.07', '327.78', '682.84', '2020-11-28 19:19:56.595201')  
(20229, 'Nano', ['t', '-201', '-81', '-7', '2020-11-28 19:19:56.605324'])  
(20230, 'Pi', '-579.00', '330.18', '686.19', '2020-11-28 19:19:56.605324')  
(20230, 'Nano', ['t', '-200', '-85', '-8', '2020-11-28 19:19:56.616402'])  
(20231, 'Pi', '-585.46', '331.85', '684.28', '2020-11-28 19:19:56.616402')  
(20231, 'Nano', ['t', '-189', '-88', '-27', '2020-11-28 19:19:56.626120'])  
(20232, 'Pi', '-579.48', '332.57', '677.34', '2020-11-28 19:19:56.626120')  
(20232, 'Nano', ['t', '-200', '-86', '-14', '2020-11-28 19:19:56.636587'])  
(20233, 'Pi', '-588.81', '330.18', '689.54', '2020-11-28 19:19:56.636587')  
(20233, 'Nano', ['t', '-200', '-84', '-3', '2020-11-28 19:19:56.646194'])  
(20234, 'Pi', '-581.64', '330.42', '680.45', '2020-11-28 19:19:56.646194')  
(20234, 'Nano', ['t', '-197', '-89', '-12', '2020-11-28 19:19:56.657411'])  
(20235, 'Pi', '-586.66', '327.07', '673.27', '2020-11-28 19:19:56.657411')  
(20235, 'Nano', ['t', '-200', '-87', '-16', '2020-11-28 19:19:56.667868'])  
(20236, 'Pi', '-586.66', '339.51', '674.71', '2020-11-28 19:19:56.667868')  
(20236, 'Nano', ['t', '-206', '-85', '-20', '2020-11-28 19:19:56.677607'])  
(20237, 'Pi', '-589.05', '329.94', '675.42', '2020-11-28 19:19:56.677607')  
(20237, 'Nano', ['t', '-200', '-84', '-15', '2020-11-28 19:19:56.688025'])  
(20238, 'Pi', '-592.40', '331.13', '688.82', '2020-11-28 19:19:56.688025')  
(20238, 'Nano', ['t', '-201', '-83', '-18', '2020-11-28 19:19:56.699177'])  
(20239, 'Pi', '-592.64', '334.96', '678.06', '2020-11-28 19:19:56.699177')  
(20239, 'Nano', ['t', '-207', '-85', '-19', '2020-11-28 19:19:56.708952'])  
(20240, 'Pi', '-587.86', '336.16', '688.11', '2020-11-28 19:19:56.708952')

(20240, 'Nano', ['t', '-199', '-82', '-14', '2020-11-28 19:19:56.719563'])  
(20241, 'Pi', '-585.94', '326.11', '675.19', '2020-11-28 19:19:56.719563')  
(20241, 'Nano', ['t', '-201', '-78', '-22', '2020-11-28 19:19:56.729717'])  
(20242, 'Pi', '-579.48', '328.26', '683.56', '2020-11-28 19:19:56.729717')  
(20242, 'Nano', ['t', '-206', '-88', '-19', '2020-11-28 19:19:56.740181'])  
(20243, 'Pi', '-580.68', '328.74', '676.14', '2020-11-28 19:19:56.740181')  
(20243, 'Nano', ['t', '-203', '-83', '-11', '2020-11-28 19:19:56.750578'])  
(20244, 'Pi', '-586.66', '333.05', '680.45', '2020-11-28 19:19:56.750578')  
(20244, 'Nano', ['t', '-212', '-92', '-12', '2020-11-28 19:19:56.760367'])  
(20245, 'Pi', '-595.51', '326.11', '687.63', '2020-11-28 19:19:56.760367')  
(20245, 'Nano', ['t', '-202', '-93', '-17', '2020-11-28 19:19:56.771567'])  
(20246, 'Pi', '-590.01', '332.09', '683.80', '2020-11-28 19:19:56.771567')  
(20246, 'Nano', ['t', '-197', '-83', '-29', '2020-11-28 19:19:56.781898'])  
(20247, 'Pi', '-591.92', '333.29', '673.99', '2020-11-28 19:19:56.781898')  
(20247, 'Nano', ['t', '-201', '-79', '-20', '2020-11-28 19:19:56.791912'])  
(20248, 'Pi', '-583.31', '331.13', '680.93', '2020-11-28 19:19:56.791912')  
(20248, 'Nano', ['t', '-204', '-79', '-12', '2020-11-28 19:19:56.802776'])  
(20249, 'Pi', '-592.16', '330.18', '669.68', '2020-11-28 19:19:56.802776')  
(20249, 'Nano', ['t', '-201', '-83', '-15', '2020-11-28 19:19:56.812549'])  
(20250, 'Pi', '-587.62', '328.02', '672.08', '2020-11-28 19:19:56.812549')  
(20250, 'Nano', ['t', '-203', '-84', '-9', '2020-11-28 19:19:56.822550'])  
(20251, 'Pi', '-584.03', '334.72', '698.63', '2020-11-28 19:19:56.822550')  
(20251, 'Nano', ['t', '-197', '-74', '-13', '2020-11-28 19:19:56.832766'])  
(20252, 'Pi', '-589.77', '331.37', '688.82', '2020-11-28 19:19:56.832766')  
(20252, 'Nano', ['t', '-203', '-87', '-26', '2020-11-28 19:19:56.843804'])  
(20253, 'Pi', '-585.46', '333.53', '691.69', '2020-11-28 19:19:56.843804')  
(20253, 'Nano', ['t', '-198', '-89', '-22', '2020-11-28 19:19:56.854209'])  
(20254, 'Pi', '-586.42', '327.54', '679.97', '2020-11-28 19:19:56.854209')  
(20254, 'Nano', ['t', '-193', '-86', '-12', '2020-11-28 19:19:56.863990'])  
(20255, 'Pi', '-581.40', '330.89', '672.55', '2020-11-28 19:19:56.863990')  
(20255, 'Nano', ['t', '-200', '-92', '-14', '2020-11-28 19:19:56.875083'])  
(20256, 'Pi', '-588.33', '329.46', '685.47', '2020-11-28 19:19:56.875083')  
(20256, 'Nano', ['t', '-197', '-89', '-13', '2020-11-28 19:19:56.885486'])  
(20257, 'Pi', '-585.22', '326.11', '685.95', '2020-11-28 19:19:56.885486')  
(20257, 'Nano', ['t', '-202', '-85', '-14', '2020-11-28 19:19:56.895281'])  
(20258, 'Pi', '-590.97', '333.29', '676.86', '2020-11-28 19:19:56.895281')  
(20258, 'Nano', ['t', '-208', '-89', '-11', '2020-11-28 19:19:56.905718'])  
(20259, 'Pi', '-589.77', '326.35', '675.90', '2020-11-28 19:19:56.905718')  
(20259, 'Nano', ['t', '-210', '-85', '-17', '2020-11-28 19:19:56.916180'])  
(20260, 'Pi', '-587.86', '332.57', '677.34', '2020-11-28 19:19:56.916180')  
(20260, 'Nano', ['t', '-209', '-81', '-21', '2020-11-28 19:19:56.926877'])  
(20261, 'Pi', '-585.94', '336.88', '671.12', '2020-11-28 19:19:56.926877')  
(20261, 'Nano', ['t', '-201', '-79', '-23', '2020-11-28 19:19:56.937019'])  
(20262, 'Pi', '-592.88', '334.72', '681.65', '2020-11-28 19:19:56.937019')  
(20262, 'Nano', ['t', '-203', '-81', '-16', '2020-11-28 19:19:56.947703'])  
(20263, 'Pi', '-594.79', '334.48', '676.86', '2020-11-28 19:19:56.947703')  
(20171, 'Nano', ['t', '-218', '-97', '-16', '2020-11-28 19:19:56.005027'])  
(20172, 'Pi', '-586.90', '330.42', '677.58', '2020-11-28 19:19:56.005027')  
(20172, 'Nano', ['t', '-207', '-87', '-15', '2020-11-28 19:19:56.016089'])  
(20173, 'Pi', '-584.03', '329.70', '684.28', '2020-11-28 19:19:56.016089')  
(20173, 'Nano', ['t', '-211', '-84', '-18', '2020-11-28 19:19:56.027023'])  
(20174, 'Pi', '-588.33', '329.70', '680.69', '2020-11-28 19:19:56.027023')  
(20174, 'Nano', ['t', '-212', '-82', '-23', '2020-11-28 19:19:56.036266'])  
(20175, 'Pi', '-583.07', '336.64', '682.84', '2020-11-28 19:19:56.036266')  
(20175, 'Nano', ['t', '-200', '-80', '-21', '2020-11-28 19:19:56.047316'])  
(20176, 'Pi', '-579.72', '336.40', '681.41', '2020-11-28 19:19:56.047316')