

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO
PARA GESTIÓN DE EMERGENCIAS SÍSMICAS

TESIS DOCTORAL

PRESENTADA POR:

ANA MARÍA ZAMBRANO VIZUETE

DIRIGIDA POR:

DR. D. MANUEL ESTEVE DOMINGO

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2015.

TESIS DOCTORAL

ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO PARA GESTIÓN DE EMERGENCIAS SÍSMICAS

REALIZADA POR: ANA MARÍA ZAMBRANO VIZUETE
DIRIGIDA POR: DR. D MANUEL ESTEVE DOMINGO

TRIBUNAL CALIFICADOR

PRESIDENTE: DR. ANTONIO VALDOVINOS B.
SECRETARIO: DR. JULIÁN SALT LL.
VOCAL: DR. FRANCISCO GONZÁLEZ C.

EVALUADORES EXTERNOS

DR. PEDRO MUÑOZ M.
DR. PEDRO RODRIGUEZ H.
DR. ANTONIO VALDOVINOS B.

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2015

“Un mal terremoto destruye en un momento las viejas asociaciones; el mundo, el verdadero símbolo de todo lo que es sólido. Se movió debajo de nuestros pies como una corteza sobre fluido; un segundo de tiempo creó en la mente un sentimiento de inseguridad, que horas de reflexión no producirán”.

Charles Darwin

Reflexiones de su experiencia en el terremoto
20 de Febrero de 1835
Concepción, Chile

RESUMEN:

Este proyecto de Tesis presenta una diferente e innovadora propuesta para detectar eventos sísmicos en tiempo real obteniendo conocimiento de la comunidad mediante una arquitectura jerárquica en 3 capas: La primera capa, una red de sensores de bajo costo distribuida que aprovecha el gran boom electrónico actual, el smartphone; un equipo multi-sensor, multi-red, multi-procesamiento dentro de un pequeño ordenador capaz de ser reprogramado convirtiéndolo por ejemplo, en un “*acelerógrafo*” por medio de una aplicación en Android eficiente en precisión y consumo de energía. La segunda capa llamada Servidor Intermedio, corresponde a un ordenador con las capacidades suficientes para gestionar la llegada de mensajes provenientes de usuarios de la primera capa y deducir con estas muestras, si ha existido un pico sísmico o no, y si es el caso, notificar en tiempo real a los usuarios (smartphones) ganando tiempo extra en la toma de una mejor decisión que implique la reducción de daños y pérdidas tanto económicas, estructurales y lo más importante, vidas humanas. Este considera análisis tanto espaciales como temporales obteniendo un servidor personalizable a las características específicas de la zona. Por último, la tercera capa llamada el Centro de Control es el lugar donde toda la información de los niveles inferiores toma sentido siendo el líder en la gestión post-evento de la emergencia; permite extender a una ayuda bidireccional: primero cada smartphone asiste a éste con información multimedia de su entorno (comentarios, videos e imágenes) logrando así una visión global del desastre, y con esta, gestionar eficientemente a los diferentes cuerpos de ayuda; y segundo asistir a los usuarios por medio de su smartphone con información que un usuario en particular desconoce y que el Centro de Control conoce por otros usuarios: Carreteras destruidas, deslaves, caminos sin conexión, centros de apoyo, lugares de peligro, etc.).

Todo validado mediante una extensa evaluación de cada una de las capas con información sísmica obtenida del Instituto Geofísico Nacional de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador (IGEPN), lugar donde se basa parte de esta investigación, obteniendo prometedores y relevantes resultados alertando hasta con 12 segundos de antelación en el lugar del epicentro, reduciendo los falsos positivos, y pudiendo incrementar este tiempo en lugares más alejados.

RESUM:

Aquest projecte de Tesi presenta una diferent i innovadora proposta per a detectar esdeveniments sísmics en temps real obtenint coneixement de la comunitat mitjançant una arquitectura jeràrquica en 3 capes: La primera capa, una xarxa de sensors de baix cost distribuïda que aprofita el gran boom electrònic actual, el l' smartphone; un equip multi-sensor, multi-xarxa, multi-processament dins d'un petit ordinador capaç de ser reprogramat convertint-ho per exemple, en un accelerògraf per mitjà d'una aplicació en Android eficient en precisió i consum d'energia. La segona capa anomenada Servidor Intermedi, correspon a un ordinador amb les capacitats suficients per a gestionar l'arribada de missatges provinents d'usuaris de la primera capa i deduir amb aquestes mostres, si ha existit un pic sísmic o no, i si és el cas, notificar en temps real als usuaris (smartphones) guanyant temps extra en la presa d'una millor decisió que impliqui la reducció de danys i pèrdues tant econòmiques, estructurals i el més important, vides humanes; aquest considera anàlisi tant espacials com a temporals obtenint un servidor personalitzable a les característiques específiques de la zona. Finalment, la tercera capa anomenada el Centre de Control és el lloc on tota l'informació dels nivells inferiors pren sentit sent el líder en la gestió post-esdeveniment de l'emergència; permet estendre a una ajuda bidireccional, primer cada smartphone assisteix a aquest amb l'informació multimèdia del seu entorn (comentaris, videos i imatges) aconseguint així una visió global del desastre i amb aquesta, gestionar eficientment als diferents cossos d'ajuda; i posteriorment assistir als usuaris per mitjà del seu smartphone amb informació que un usuari en particular desconeix i que el Centre de Control coneix per altres usuaris: Carreteres destruïdes, esllavissades, camins sense connexió, centres de suport, llocs de perill, etc.). Tot validat mitjançant una extensa avaluació de cadascuna de les capes amb informació sísmica obtinguda de l'Institut Geofísic Nacional de l'Escola Politècnica Nacional de l'Equador (IGEPN), lloc on es basa part d'aquesta recerca, obtenint prometedors i rellevants resultats alertant fins a amb 12 segons d'antelació en el lloc de l'epicentre, reduint els falsos positius i podent incrementar-se en llocs més allunyats.

ABSTRACT

This thesis project has a different and innovative approach to detect seismic events in real time gaining knowledge of the community through a hierarchical architecture in 3 layers: The first layer, a low-cost distributed network which takes advantage of the current huge trend; the smartphone; a multi-sensor, multi-network, multi-task device embedded into a small processing computer able to be reprogrammed, for example, in an "accelerograph" through an efficient in precision and power consumption Android application. The second layer called Intermediate Server, corresponds to a computer with sufficient hardware to handle incoming messages from users of the first layer and deduce on these samples, if a seismic peak has occurred, and if appropriate, notify in real-time to the users (smartphones) gaining extra time in making a better decision involving harm reduction, as well as economic and structural losses, and most importantly human lives losses. It considers spatial and temporal analyzes obtaining a customizable server to the specific characteristics of the area. Finally, the third layer called the Control Center is the place where all the information from the lower levels makes sense, being the leader in the post-event emergency management; it can extend to a bidirectional help: first, users (smartphones) attend to Control Center with multimedia information from their environment (comments, videos and images) thus achieving an overview of the disaster in order to efficiently manage the various aid-centers; and second, it assists users through their own smartphones, with information that a particular user unknown but the Control Center knows by other users: roads destroyed, landslides, roads offline support centers, places of danger, etc.).

All validated through an extensive evaluation of each layer through seismic data obtained from the National Geophysical Institute of the National Polytechnic School in Ecuador (IGEPN), data which part of this research is based; obtaining promising and relevant results alerting until 12 seconds ahead at the epicenter, reducing false positives and this time could be increased by further afield.

AGRADECIMIENTOS

Sin duda alguna el primer agradecimiento es para Dios, que sin su bendición de día tras día esta meta no podría haber sido lograda. Gracias por no soltar mi mano en ningún momento.

Agradezco también a todos quienes conforman el Laboratorio de Sistemas de Tiempo Real Distribuido, quienes con diferentes tipos de apoyo han hecho que este trabajo sea más llevadero y fácil.

Un agradecimiento especial al Dr. Manuel Esteve por haberme permitido realizar mi tesis bajo su tutela y guiarme en cada paso dado. Sería imposible olvidar al Dr. Carlos Palau que sin yo ser una de sus obligaciones, se ha tomado el tiempo cada vez que fuera necesario para sustentar mis dudas e inquietudes; a ambos, por creer en mis capacidades incluso cuando yo misma no creía en las mías. Gracias.

Valencia, Septiembre 2015.

Cada libro que pasa por nuestras manos agrega un nuevo peldaño en la escalera del aprendizaje de nuestras vidas. Otros simplemente van mucho más allá. Así como "Mil soles espléndidos" de Khaled Hosseini, que ha grabado en mi pecho, con la brillante sencillez de una palabra, el significado del amor supremo, de lo incondicional, de mi razón de vivir: "noor".

*Este trabajo está dedicado a dos personas.
Por ser mi más grande bendición y la luz de mi vida.*

"Rocío e Iván, ambos la noor de mis ojos"

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Introducción.....	2
1.2	Motivación.....	2
1.2.1	Ecuador, un país en riesgo sísmico	4
1.3	Objetivos	7
1.3.1	Objetivo General.....	7
1.3.2	Objetivos Específicos.....	8
1.4	Estructura de la Tesis.....	9
2	ESTADO DEL ARTE.....	11
2.1	Introducción.....	12
2.2	Sismología	12
2.2.1	Instrumentos de Medición Sísmica.....	13
2.2.2	Redes de Observación Sísmica	17
2.2.2.1.	Red Nacional de Sismógrafos RENSIG.....	18
2.2.3	El Movimiento del Suelo – Ondas P, S, L	20
2.2.4	Acelerograma	22
2.2.5	Tamaño de un Sismo.....	25
2.2.5.1.	Magnitud	25
2.2.5.2.	Intensidad.....	28
2.2.6	Origen de un Sismo.....	31
2.2.6.1.	Hipocentro	32
2.2.6.2.	Epicentro	33
2.2.7	Ecuaciones y Leyes Sísmicas.....	33
2.2.7.1.	Leyes de Atenuación Sísmica	33
2.2.7.2.	Intensidad, PGA y PGV.....	36
2.2.7.3.	Ecuaciones Sísmicas en Ecuador	38

2.3	Sistemas Distribuidos	42
2.3.1	Definición y Características	42
2.3.2	Ventajas y Desafíos	44
2.3.3	Modelo Cliente Servidor	46
2.4	Sistemas de Tiempo Real	49
2.4.1	Sistema en Tiempo Real Crítico	50
2.5	Sistemas de Gestión de Emergencias	51
2.5.1	Sistemas de Gestión de Emergencias en Ecuador	52

3 DISEÑO DE LA ARQUITECTURA.....54

3.1	Introducción	55
3.2	Análisis de Requerimientos	55
3.3	Arquitectura Propuesta.....	57
3.3.1	Modelo JDL (Joint Directors of Laboratory).....	60
3.4	Primera Capa: Aplicación Cliente “ <i>e-quake</i> ”	64
3.4.1	El Smartphone – Funcionamiento y Sensores.....	65
3.4.1.1	<u>Acelerómetro MEMS en 3 Ejes</u>	66
3.4.1.2	<u>GPS (Global Positioning System)</u>	70
3.4.2	Proceso de Detección de Picos Sísmicos.....	72
3.4.2.1	<u>Sensorización y Muestreo</u>	74
3.4.2.2	<u>Intensidad Mínima</u>	79
3.4.2.3	<u>Correcciones sobre Acelerogramas</u>	80
3.4.2.4	<u>Transformada Discreta de Fourier</u>	81
3.4.2.5	<u>Detección de Picos Short Term Averaging/Long Term Averaging (STA/LTA)</u>	84
3.4.2.6	<u>Sincronización de Tiempo (NTP)</u>	86
3.4.2.7	<u>Mensaje “e-quake”</u>	88
3.5	Segunda Capa: Servidor Intermedio.....	89

3.5.1	Diagrama de Flujo del Servidor Intermedio.....	90
3.5.2	Análisis Espacial – Haversine	91
3.5.3	Muestra Mínima.....	96
3.5.4	Análisis de la Varianza (ANOVA).....	99
3.5.4.1	<u>Probabilidad de Kruskal Wallis</u>	103
3.5.4.1.1	<i>Elección del valor de PKW crítico</i>	105
3.5.4.2	<u>Configuración de Ventanas Deslizantes</u>	108
3.6	Tercera Capa: Centro de Control.....	111
3.7	Antecedentes e Iniciativas Actuales	112
3.8	Características Específicas de la Arquitectura	116
4	DESARROLLO DEL SISTEMA	118
4.1	Introducción.....	119
4.2	Características Hardware y Software	120
4.3	Desarrollo de la Primera Capa	123
4.3.1	Equipamiento Hardware.....	124
4.3.2	Definición del Sistema Operativo Móvil.....	125
4.3.2.1	<u>Análisis de Mercado Actual</u>	127
4.3.2.2	<u>Plataforma de desarrollo</u>	129
4.3.2.3	<u>Desarrollo Android</u>	135
4.3.3	Interfaz de Usuario (GUI) y Funcionamiento	137
4.4	Desarrollo de la Segunda Capa y Tercera Capa.....	142
4.4.1	Lenguaje de Programación.....	144
4.4.2	Funcionamiento	145
4.5	Repositorio de Datos.....	146
4.5.1	MySQL	147
4.5.2	Estructura de la Base de Datos	150
4.6	Comunicación Pre-evento	157
4.6.1	Internet de las Cosas – Un planeta inteligente	161

4.6.1.1	<u>Message Queue Telemetry Transport (MQTT)</u>	163
4.6.1.1.1	<i>Calidad de Servicio en MQTT</i>	166
4.6.1.1.2	<i>Conceptos y agentes básicos de MQTT</i>	167
4.6.1.1.3	<i>Broker Mosquitto</i>	170
4.6.1.2	<u>Escenario de notificaciones</u>	171
4.6.1.3	<u>Notificaciones</u>	172
4.7	Comunicación Post-evento	173
4.7.1	Análisis de Soluciones	176
4.7.1.1	<u>Mobile Ad-Hoc Network (MANET)</u>	176
4.7.1.1.1	<i>Ventajas y Desventajas de “rootear” un Smartphone</i>	179
4.7.1.2	<u>Bluetooth</u>	181
4.7.1.3	<u>Radio Bases Móviles</u>	183
4.7.1.4	<u>WiFi Direct</u>	185
5	VALIDACIÓN DE LA ARQUITECTURA.....	187
5.1	Introducción	188
5.2	Evaluación de la Primera Capa	188
5.2.1	El Smartphone como Sensor.....	189
5.2.1.1.	<u>El Acelerómetro como Acelerógrafo</u>	191
5.2.2	Consumo de Batería	192
5.2.3	Desempeño “e-quake”	195
5.3	Evaluación de la Segunda Capa.....	198
5.3.1	Desempeño en el Servidor Intermedio.....	208
5.3.1.1.	<u>Probabilidad Kruskal Wallis (PKW) – Ventanas Deslizantes</u>	208
5.3.1.2.	<u>Justificación de Umbral de Correlación PKW</u>	215
5.3.1.3.	<u>Tiempo de anticipación y ganancia</u>	216
5.4	Evaluación del Sistema	223

5.4.1	Factibilidad del Sistema	223
5.4.1.1.	<u>La Telefonía Móvil en el Ecuador</u>	223
5.4.1.2.	<u>Porcentaje Mínimo de Aceptación Requerido</u>	227
5.4.2	Retardos de comunicación.....	231
5.5	Limitaciones de la Evaluación.....	234
6	CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO.....	236
6.1	Introducción.....	237
6.2	Conclusiones	237
6.3	Líneas de Trabajo Futuro.....	241
7	BIBLIOGRAFÍA	243

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Cinturón de fuego del pacífico. Los 10 sismos más grandes de la historia.....	5
Figura 1.2: Porcentajes de área de influencia según el tipo de amenaza.....	6
Figura 1.3: Clasificación del riesgo de mortalidad.....	7
Figura 2.1: Registros sísmicos en función del tiempo.....	13
Figura 2.2: Primer sismógrafo por James Forbes.....	14
Figura 2.3: Ventas de MEMS para uso en smartphones.....	15
Figura 2.4: Acelerómetro y giroscopio (magnetómetro).....	17
Figura 2.5: Red Nacional de Sismógrafos en Ecuador (RENSIG)....	18
Figura 2.6: Atenuación de ondas sísmicas por frecuencia.....	20
Figura 2.7: Onda primaria u de compresión.....	21
Figura 2.8: Ondas secundarias o transversales.....	21
Figura 2.9: Ondas superficiales Love y Rayleigh.....	22
Figura 2.10: Aceleraciones E, N, Z en sismo Conocoto-Ecuador 17/02/2011.....	23
Figura 2.11: California, sismo 18/05/1940, Componente N-S.....	24
Figura 2.12: PGA en acelerograma en sismo en Conocoto – Ecuador 17/02/2011.....	25
Figura 2.13: Nomograma de Richter.....	27
Figura 2.14: Epicentro e hipocentro.....	31
Figura 2.15: Epicentro e hipocentro en la superficie.....	32
Figura 2.16: Nivel de energía vs. Tiempo vs. Distancia.....	34
Figura 2.17: Comparación de relaciones entre intensidad vs. PGA.....	36
Figura 2.18: Comparación de relaciones entre intensidad vs. PGV.....	38
Figura 2.19: Información macrosísmica en Ecuador (Aguar 2009).....	39
Figura 2.20: Leyes de atenuación en Ecuador para sismo de magnitud 6.....	40
Figura 2.21: Leyes de atenuación en Ecuador para sismo de magnitud 7.....	40
Figura 2.22: Relación entre Aceleración máx. vs. Intensidad.....	41
Figura 2.23: Dispositivos de mano y fijos en un ambiente distribuido.....	43

Figura 2.24: Modelo Cliente Servidor.	46
Figura 2.25: Línea temporal en un STR.	49
Figura 2.26: STR críticos y no críticos.	51
Figura 2.27: Diagrama de un sistema de gestión de emergencias.	51
Figura 2.28: Actores dentro del “Plan de buen vivir” - Ecuador.	53
Figura 3.1: Arquitectura en 3 capas.	57
Figura 3.2: Comunicación “up” entre capas.	59
Figura 3.3: Comunicación “down” entre capas.	59
Figura 3.4: Eficiencia de decisión por medio de la fusión multi-sensor vs. Número de sensores.	61
Figura 3.5: Modelo JDL acoplado a la arquitectura propuesta.	62
Figura 3.6: Primera capa de la arquitectura.	64
Figura 3.7: Penetración mundial de acelerómetros en teléfonos móviles.	66
Figura 3.8: Asignación de ejes (x, y, z) en un smartphome.	67
Figura 3.9: Constelación de 24 Satélites GPS.	71
Figura 3.10: Sistema GPS.	71
Figura 3.11: Proceso de detección de picos en un smartphome.	74
Figura 3.12: Aplicación “prueba” de monitoreo de sensores.	75
Figura 3.13: Discretización de una señal analógica.	77
Figura 3.14: Señal muestreada siguiendo el Teorema de NyQuist.	78
Figura 3.15: I_{MM} vs. Aceleración (gals) en Ecuación (Aguiar 2009). ..	79
Figura 3.16: (a) Ruido de baja frecuencia; (b) Ruido de alta frecuencia.	82
Figura 3.17: Tipos de filtros de frecuencia aplicados en acelerogramas.	83
Figura 3.18: Comparación de resultados aplicando la Transformada Continua de Fourier y la Discreta de Fourier.	84
Figura 3.19: Jerarquía NTP en la arquitectura.	87
Figura 3.20: Diagrama de bloques del Servidor Intermedio.	89
Figura 3.21: Diagrama de flujo del Servidor Intermedio.	90
Figura 3.22: Intensidad I_{MM} vs. Aceleración.	92
Figura 3.23: Hipocentro y epicentro en Servidor Intermedio.	93
Figura 3.24: Aceleración vs. Distancia usando la ecuación de Ecuador.	94

Figura 3.25: Histograma de la variable x en el tiempo. Sin correlación.....	98
Figura 3.26: Histograma de la variable x en el tiempo. Con correlación.....	99
Figura 3.27: Histogramas de igual media; y diferente varianza. .	100
Figura 3.28: Histograma de la variable Intensidad en el tiempo.	100
Figura 3.29: Variación de la ventana temporal t_w	101
Figura 3.30: Variación de PKW dependiendo del número de muestras.....	106
Figura 3.31: Comparación de PKW con 5 y 100 muestras.	107
Figura 3.32: Kruskal Wallis en configuración de Ventanas Deslizantes.	108
Figura 3.33: Diagrama de bloques Centro de Control.	110
Figura 4.1: Comparativa de acogida entre sistemas operativos móviles.....	128
Figura 4.2: Diagrama de pastel por versión Android.	133
Figura 4.3: Aceptación por versión por cuatrimestre.	133
Figura 4.4: SDK Android usado.	135
Figura 4.5: SDK Eclipse para desarrollo Android.....	136
Figura 4.6: Emulador por dispositivos reales o AVD.	137
Figura 4.7: Aplicación de escritorio del Servidor Intermedio. Ingreso de valores de inicio.	145
Figura 4.8: Estructura de base de datos del Servidor Intermedio	150
Figura 4.9: Comunicación “up” de capas inferiores a superiores..	157
Figura 4.10: Comunicación “down” de capa superiores a inferiores.....	158
Figura 4.11: Pilares para conformar un planeta inteligente.	162
Figura 4.12: Evolución en “Internet of Things”.....	162
Figura 4.13: Diagrama básico de un modelo MQTT.	167
Figura 4.14: Escenario básico de notificaciones.	171
Figura 4.15: Escenario completo de notificaciones.....	172
Figura 4.16: Wireless Ad-Hoc Network (sensores).	177
Figura 4.17: Wireless Ad-Hoc Network si un usuario sale de la conexión.....	177
Figura 4.18: Ayuda de radio bases móviles en una red.	183

Figura 4.19: Radio bases de la Cruz Roja.	184
Figura 4.20: Radio bases móviles vehiculares.....	184
Figura 5.1: Pantalla “e-quake”. Aceleración [x, y, z] medida por el smartphone en reposo, en diferentes posiciones.....	191
Figura 5.2: Pantalla “e-quake”. Aceleración [x, y, z] medida por el smartphone debido a una notificación o SMS.	192
Figura 5.3: Comparación en almacenamiento entre “e-quake” y algunas aplicaciones comúnmente instaladas en smartphones.....	194
Figura 5.4: Comparación de consumo de batería (%) entre “e-quake” y algunas aplicaciones comúnmente instaladas en smartphones...	194
Figura 5.5: Pantallas “e-quake”. (a) Usuario caminando. (b) Usuario corriendo. (c) Movimiento brusco.	197
Figura 5.6: Aceleración eje E en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.....	199
Figura 5.7: Aceleración eje N en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.....	200
Figura 5.8: Aceleración eje Z en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.....	200
Figura 5.9: Módulo de aceleración en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.....	201
Figura 5.10: Aceleración eje E en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.....	202
Figura 5.11: Aceleración eje N en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.....	203
Figura 5.12: Aceleración eje Z en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.....	203
Figura 5.13: Módulo de Aceleración en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.....	204
Figura 5.14: Aceleración eje E en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.....	205
Figura 5.15: Aceleración eje N en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.....	206
Figura 5.16: Aceleración eje Z en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.....	206

Figura 5.17: Módulo de aceleración en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.	207
Figura 5.18: PKW (2, 1, 1, 2, 6) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.	210
Figura 5.19: PKW (1, 1, 1, 2, 2) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.	210
Figura 5.20: PKW (0.5, 1, 1, 2, 1) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.	211
Figura 5.21: PKW (0.3, 1, 1, 2, 1) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.	211
Figura 5.22: PKW (0.3, 2, 1, 2, 1) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.	212
Figura 5.23: PKW (0.5, 0.5, 1, 2, 1) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.	212
Figura 5.24: Comparación PKW entre configuraciones (A, B, C, D, E) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.	213
Figura 5.25: Servidor Intermedio con la configuración (1, 1, 1, 2, 2) en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.	217
Figura 5.26: Servidor Intermedio con la configuración (0.5, 1, 1, 2, 1) en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.	218
Figura 5.27: Servidor Intermedio con la configuración (0.3, 1, 1, 2, 2) en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.	218
Figura 5.28: Servidor Intermedio con la configuración (0.5,0.5,1,2, 1) en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.	219
Figura 5.29: Servidor Intermedio con la configuración (0.3, 1, 1, 2, 2) en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.....	221
Figura 5.30: Servidor Intermedio con la configuración (0.3, 1, 1, 2, 2) en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.	221
Figura 5.31: Crecimiento de abonados de telefonía móvil.....	225
Figura 5.32: Muestra mínima con N total de muestras.....	229
Figura 5.33: Número de usuarios por porcentaje de error.....	230
Figura 5.34: Número de usuarios en algoritmo de Ventanas Deslizantes.	231
Figura 5.35: Escenario de retardos en el ambiente planteado.	232

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Equipos de medición que conforman RENSIG en Ecuador.....	19
Tabla 2.2: Sismos más grandes de la historia en magnitud.	26
Tabla 2.3: Escala de Intensidad de Mercalli Modificada.....	30
Tabla 2.4: Leyes de atenuación para países dentro del anillo de fuego.....	35
Tabla 2.5: Relación Aceleración vs. Intensidad de algunos estudios.....	37
Tabla 2.6: Ventajas de un modelo distribuido.....	44
Tabla 2.7: Desafíos de un sistema distribuido.....	45
Tabla 2.8: Soluciones que acarrea el modelo Cliente Servidor.	47
Tabla 2.9: Ventajas de la Arquitectura Cliente Servidor.....	48
Tabla 3.1: Requerimientos del Sistema a Desarrollar.	56
Tabla 3.2: Asignación de ejes (x, y, z) dependiendo de la posición del smartphone.	69
Tabla 3.3: Relación de Aceleración sísmica vs. IMM.	76
Tabla 3.4: Tipo de Movimiento por rango de frecuencias de ondas. 78	
Tabla 3.5: IMM vs. Aceleración máxima en la Ecuación (.....	80
Tabla 3.6: Ejemplo de configuración de reloj y hora en dos smartphones.....	86
Tabla 3.7: Rango de Cobertura de un Servidor Intermedio.	95
Tabla 3.8: Muestra mínima con grado de confiabilidad y error dados.	98
Tabla 3.9: Definición de ANOVA paramétrico en el proceso.	103
Tabla 3.10: Probabilidad Kruskal Wallis.	105
Tabla 3.11: Variación de PKW crítico por número de muestras.....	106
Tabla 3.12: Ventajas de la Arquitectura propuesta.....	118
Tabla 4.1: Tipos de Software y definiciones.	121
Tabla 4.2: Ejemplos de Aplicaciones de Software Libre y Propietario.	122
Tabla 4.3: Lista de Dispositivos usados.....	125

Tabla 4.4: Principales Sistemas Operativos Móviles.....	126
Tabla 4.5: Comparativa numérica entre Sistemas Operativos Móviles.	128
Tabla 4.6: Unidades vendidas por Sistema Operativo.....	128
Tabla 4.7: Versiones del Sistema Operativo Android.	131
Tabla 4.8: Porcentaje de Aceptación por Versión en Android.....	132
Tabla 4.9: Tipos de Sensores en Diferentes Versiones de Android.	134
Tabla 4.10: Pantallas que conforman “e-quake”.	142
Tabla 4.11: Ventajas y reconocimientos de MySQL.....	149
Tabla 4.12: Atributos y detalle de Tabla Usuario.....	151
Tabla 4.13: Atributos y Detalle de Tabla Servidor.....	153
Tabla 4.14: Atributos y Detalle de Tabla Evento.	153
Tabla 4.15: Atributos y Detalle de Tabla Quake.	156
Tabla 4.16: Requerimientos de comunicación y notificación.....	159
Tabla 4.17: Tipos de Mecanismos de Notificación.	161
Tabla 4.18: Ventajas MQTT en la Propuesta de Tesis.	165
Tabla 4.19: Conceptos dentro de MQTT.	169
Tabla 4.20: Parámetros importantes en archivo de.....	170
Tabla 4.21: Características de la notificación.	173
Tabla 4.22: Posibilidad de Conectividad en Escenario Post-evento.....	175
Tabla 4.23: Ventajas y Desventajas de rootear o hacer jailbreaking.....	180
Tabla 4.24: Características de cada Clase Bluetooth.....	181
Tabla 4.25: Smartphones necesarios en área de cobertura de un Servidor Intermedio usando Bluetooth.	182
Tabla 4.26: Smartphones necesarios en área de cobertura de un Servidor Intermedio usando WiFi Direct.	186
Tabla 5.1: Proyectos que usan smartphones en otros ámbitos.....	190
Tabla 5.2: Consumo de batería por beacons y tipo de conexión. ..	193
Tabla 5.3: Resultado de “e-quake” sobre 40 usuarios voluntarios.....	196
Tabla 5.4: Características de la señal de aceleración [E, N, Z] en el Sismo Pasto Colombia 2012/09/30.....	201
Tabla 5.5: Características de la señal de aceleración [E, N, Z] en el Sismo Quito Ecuador 2011/10/29.....	204

Tabla 5.6: Características de la señal de aceleración [E, N, Z] en el Sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.....	207
Tabla 5.7: Características de sismos sentidos en la ciudad de Quito.....	208
Tabla 5.8: Mejores Configuraciones (A, B, C, D, E).....	213
Tabla 5.9: Comparación entre Configuraciones (A, B, C, D, E) en Sismo Pasto Colombia 2012/09/30.	214
Tabla 5.10: Comparación entre Configuraciones (A, B, C, D, E) en Sismo Quito Ecuador 2011/10/29.	214
Tabla 5.11: Comparación entre Configuraciones (A, B, C, D, E) en Sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.....	214
Tabla 5.12: Variación de PKW dependiendo del número de muestras/segundo.....	216
Tabla 5.13: Comparación entre Configuraciones (A, B, C, D, E) en Sismo Pasto Colombia 2012/09/30.	219
Tabla 5.14: Comparación entre Configuraciones (A, B, C, D, E) en Sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.....	220
Tabla 5.15: Comparación entre Configuraciones (A, B, C, D, E) en Sismo Quito Ecuador 2011/10/29.	220
Tabla 5.16: Operadoras móviles en Ecuador (2015).....	224
Tabla 5.17: Crecimiento de móviles por operadora.	226
Tabla 5.18: Número de móviles con acceso Internet en Ecuador.	226
Tabla 5.19: Número de usuarios requeridos por Servidor Intermedio.	227
Tabla 5.20: Muestra Mínima para el 99% y 95% de confiabilidad.....	228
Tabla 5.21: Resultado de Retardos con Diferentes Tipos de Comunicación.	233

SIGLAS

ADT	.....	<i>Android Development Tools</i>
ANOVA:	.....	<i>Análisis de la Varianza</i>
API:	.....	<i>Application program interface</i>
CALTECH:	.....	<i>California Institute of Technology</i>
DFT:	.....	<i>Discrete Fourier Transform.</i>
ECU-911:	.....	<i>Servicio Integrado de Seguridad Ecuador-911</i>
E-QUAKE:	.....	<i>Ecuador-Quake</i>
	.....	<i>Aplicación desarrollada en la Propuesta de Tesis</i>
EEWS:	.....	<i>Earthquake Early Warning System</i>
FFT:	.....	<i>Fast Fourier Transform</i>
GPS:	.....	<i>Global Positioning System</i>
GUI:	.....	<i>Interfaz Gráfica de Usuario</i>
HW:	.....	<i>Hardware</i>
IDE:	.....	<i>Entorno de Desarrollo Integrado</i>
IEEE:	.....	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IGEPN:	<i>Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador</i>	
I_{MM}:	.....	<i>Intensidad de Mercalli Modificada</i>
JDL:	.....	<i>Joint Directors of Laboratory</i>
MEMS:	.....	<i>Microelectromechanical Systems</i>
NTP:	.....	<i>Network Time Protocol</i>
PGA:	.....	<i>Peak Ground Acceleration</i>
PGV:	.....	<i>Peak Ground Velocity</i>
SGBD:	.....	<i>Sistema Gestor de Base de Datos</i>
SQL:	.....	<i>Structured Query Language</i>
SNRE:	.....	<i>Secretaría Nacional de Riesgos en Ecuador</i>
SW:	.....	<i>Software</i>
STA/LTA:	.....	<i>Short Term Average/Long Term Average</i>
STR:	.....	<i>Sistema en Tiempo Real</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

***“Quien salva una vida,
salva al mundo entero”***

Emilie Schindler.

CONTENIDO

- 1.1 INTRODUCCIÓN
 - 1.2 MOTIVACIÓN
 - 1.3 OBJETIVOS
 - 1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS
-

1.1 Introducción

El decir que el estudio y diseño de un sistema de gestión de emergencias sísmicas es o no de primera importancia es relativo; todo depende de quién, cuándo y dónde se cite. Existen personas que afortunadamente nunca han sentido un sismo, y otras que se encuentran en un lugar con alta probabilidad sísmica y se han visto sometidos a constantes vibraciones; como aquellos países que se encuentran en el cinturón de Fuego del Pacífico, el cual incluye a gran parte de los Estados Unidos, así como Canadá, las Islas Aleutianas, algunas islas de Rusia, Japón, Taiwán, Filipinas, Indonesia, Papúa Nueva Guinea, Nueva Zelanda; además Chile que ha sufrido el más grande sismo registrado, parte de Bolivia, Perú, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala, México y por último Ecuador; país en cuyos datos sísmicos se basa gran parte de esta investigación desarrollada; y razón por la cual es motivo de este estudio.

Este primer capítulo es la justificación del porqué se ha decidido orientar este proyecto de tesis a un sistema de gestión de emergencias sísmicas, tanto para prevención como para la gestión posterior al evento; así como también, presenta las principales motivaciones que han hecho que esta investigación tenga un comienzo. Por último, el capítulo define los objetivos a cumplir para lograr el éxito de esta propuesta.

1.2 Motivación

¿Cuál es el costo de una vida? La pérdida de una vida humana es invaluable, un costo imposible de valorar; pero sin lugar a dudas mantiene un valor muy alto en la comunidad tanto en lo personal y en lo económico. Y es así, bajo esta premisa que los sistemas de alertas tempranas para sismos, o conocidos por sus siglas en inglés como *Early Earthquake Warning System (EEWS)* (**Gasparini, P.; Manfredi, G.; Zschau, J.**, 2007) nacen y mejoran día tras día con nuevos procedimientos que incluyen diferentes protocolos, análisis matemáticos, métodos de comunicación y seguridad; y además, aprovechan aquellos recursos presentes en la comunidad para ello.

Por otro lado, es cierto que es imposible dejar de nombrar las grandes pérdidas económicas que un evento sísmico puede atraer. ¿Qué pasaría si un sismo como el de China en el 2008 (**Wikipedia**, 2015) ocurriera? En la provincia de Sichuan, algo menos de 90.000 personas murieron al derrumbarse complejos habitacionales durante el sismo de 7,9 en escala de Richter (**Richter, Charles F.**, 1935), alcanzando pérdidas económicas de 93.100 millones de euros (121.000 millones de dólares). Ninguna persona o lugar puede estar exento de la posibilidad de sufrir un sismo, y debería ser prioridad soluciones de prevención ante este desastre natural (llamado desde ahora gestión “pre-evento”); sin embargo, existen países y naciones que por indistintas razones, por lo general económicas, no mantienen una gestión sísmica adecuada; y es a estas naciones a las que esta tesis se desea enfocar brindando una solución sencilla y económica; que a su vez, sea un buen asistente “post-evento” que permita volver a las operaciones normales en el menor tiempo posible.

Hasta la actualidad no existe manera alguna de asegurar cuándo, cómo, dónde o porqué se producirá un sismo; ni la magnitud, ni la intensidad, ni los daños que este podría causar, ni cuántas vidas podría costar; pero en contraste, por ejemplo, en el Tsunami de Japón (**Wikipedia**, 2015) miles de vidas pudieron ser salvadas ya que se alcanzó a prevenir del suceso sísmico con decenas de segundos de anticipación; y aunque este tiempo pueda parecer insignificante, estudios revelan que es tiempo suficiente para salir de un edificio y grandes estructuras (**Allen, R.**, 2011); y cuanto mayor sea este tiempo de aviso, una persona será capaz de tomar una mejor decisión para salvar su propia vida, la de sus hijos, padres, un niño, o cualquier desconocido; o incluso para minimizar los daños materiales y económicos, como al apagar maquinaria industrial, un tren en conducción, etc.

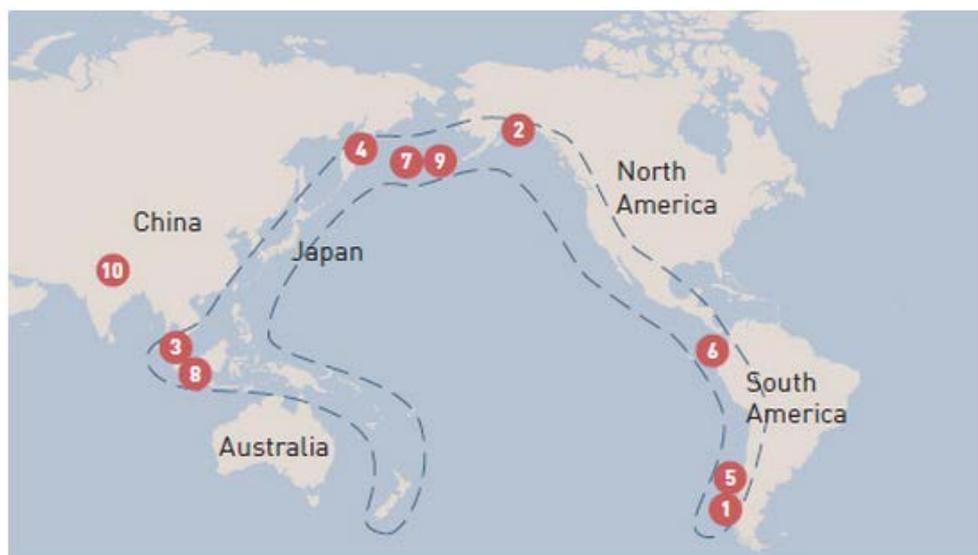
Por tanto, la motivación de la tesis es clara. Lo que nos motiva a la realización de esta investigación es contribuir en el desarrollo de una solución rápida y eficiente para la gestión “pre-evento” de emergencias sísmicas; con una implementación factible y económica capaz de brindar tiempo útil para salvar una o más vidas y mitigar en lo posible los daños producidos por un movimiento telúrico; y a su vez, obtener una gestión “post-evento” con una visión general y real del desastre, actualizada e instantánea, para organizar de

mejor manera a los diferentes cuerpos de ayuda optimizando dinero, tiempo y recurso humano.

1.2.1 Ecuador, un país en riesgo sísmico

Ecuador es un país situado en la zona noroccidental de América del Sur, limitado al norte por Colombia, al sur y al este Perú y al oeste el Océano Pacífico. Forma parte del Anillo de Fuego del Pacífico en el cual se encuentran más del 75% de los volcanes activos e inactivos del mundo; con 452 cráteres; y solamente en el Ecuador, 3 decenas de volcanes potencialmente activos (**IGEPN - Red de Observatorios Vulcanológicos (ROVIG)**, 2015). Este llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, con forma de herradura como muestra la *Figura 1.1*, une América con Asia y es donde al menos el 90% de todos los sismos suceden y donde el 80% de los sismos más grades se sitúan. Sismos como los de Ecuador en 1949; Colombia en 1999; Perú en 1970 y en 2007; en Chile 1939, 2010 y el más reciente en el 2014; dejaron más de 105.000 pérdidas humanas en segundos; siendo esto tan solo una pequeña muestra de que la actividad sísmica día tras día, hora tras hora va incrementando, tanto así, que en 2014 ha alcanzado un nuevo número record de eventos de alta magnitud alrededor el mundo; “Pronósticos de Cataclismo universal progresivo se cumplieron en 2013. 1.518 sismos de gran fuerza y 7 megaterremotos confirmaron los anticipados cálculos, formulados por los asesores científicos del Nuevo periodismo contemporáneo, y un futuro aterrador inmediato” (**Caraballo**, 2014).

Solamente por citar, el 20 de julio del 2014 un sismo de 6,6 grados en la escala de Richter ocurrió en las islas Kuriles; en menos de un mes el 12 de agosto un sismo en Ecuador de 5,1 grados; a dos días, el 14 del mismo mes, los chilenos sintieron un nuevo sismo de 5,7 grados; y a los 3 días siguientes, el 17 de agosto volvió a Ecuador otro sismo dejando pérdidas humanas y costosos daños materiales; en la semana próxima, ocurrió un sismo en Tampa, Estados Unidos; y para completar la serie, un sismo de 6,9 grados en Perú el 24 de agosto del mismo año; sin embargo, según los expertos, no existe relación alguna entre esta línea de sucesos sísmicos.



- | | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Chile, 1960: M_w 9.5 | 6 Ecuador, 1906: M_w 8.8 |
| 2 Alaska, 1964: M_w 9.2 | 7 Rat Islands, 1965: M_w 8.7 |
| 3 Sumatra, 2004: M_w 9.1-9.3 | 8 Sumatra, 2005: M_w 8.6 |
| 4 Kamchatka, 1952: M_w 9.0 | 9 Andreanof Islands, 1957: M_w 8.6 |
| 5 Chile, 2010: M_w 8.8 | 10 Tibet, 1980: M_w 8.6 |

Figura 1.1: Cinturón de fuego del pacífico. Los 10 sismos más grandes de la historia

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (*IGEPN*) (**IGEPN**, 2015), en su monitorización dentro de este último siglo ha detectado 20 sismos con intensidad de 8 grados, entre los más relevantes el del 31 de enero de 1906, considerado de los más fuertes del mundo y el más grande del país; también están sismos, en las provincias de la sierra Ecuatoriana, como el de Chimborazo en 1911; Loja en 1914; Carchi en 1923; Bahía en 1998; o el de Guayaquil en 1980; reflejando así, la vulnerabilidad sísmica del país, que dentro de los desastres naturales, los sismos y erupciones volcánicas tienen la mayor influencia como muestran la *Figura 1.2* y la *Figura 1.3* (**BID Banco Interamericano de Desarrollo**, 2010).

Para la monitorización nacional, el *IGEPN* presenta una red nacional de sismógrafos conformada por diferentes tipos de instrumentos instalados paulatinamente para el monitoreo sísmico (24 horas – 7 días a la semana). Los datos obtenidos de esta red permiten calcular distancias hipocentrales, epicentrales; magnitudes, intensidades, etc. (términos detallados en el *Capítulo 2*) con una gran precisión puesto que son equipos específicos de gran magnitud, sensibilidad y gran costo económico; por ejemplo, un sismógrafo dependiendo de sus características, entre los más sofisticados rodean los 80.000 y 100.000 euros. La red de *IGEPN* posee sismógrafos desde 3.500 a 30.000 euros, y el cubrir todo un territorio con equipos tan costosos se vuelve casi imposible para una nación, y más aún para los cuales se encuentran en proceso de desarrollo.

En Ecuador y el todo el mundo la energía se acumula a un ritmo continuo y el riesgo de un gran sismo está cada vez más cerca. Las siguientes Figuras corroboran el comportamiento histórico de los hechos sísmicos en el Ecuador (**Caraballo**, 2014).

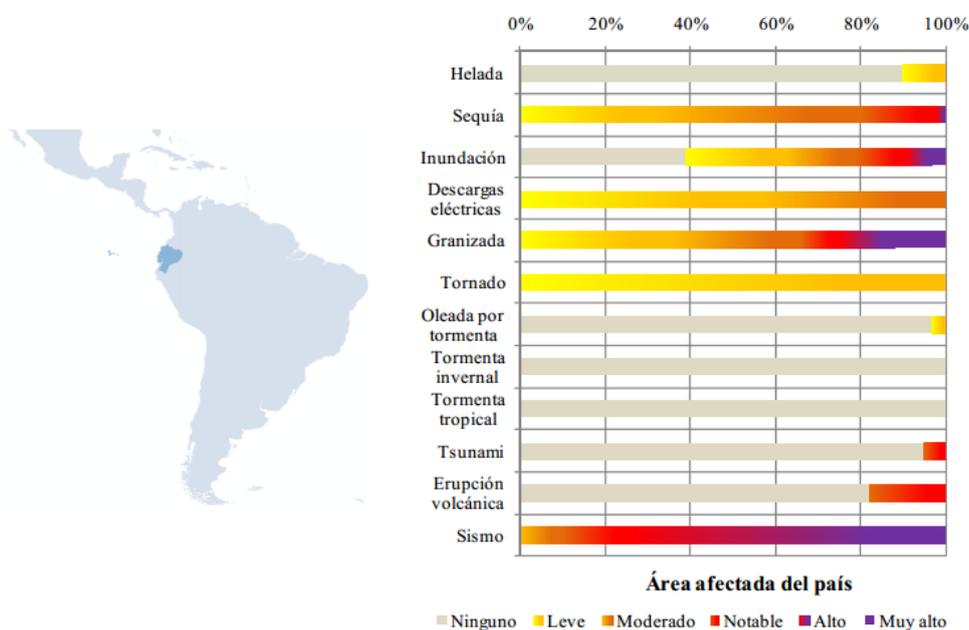


Figura 1.2: Porcentajes de área de influencia según el tipo de amenaza.

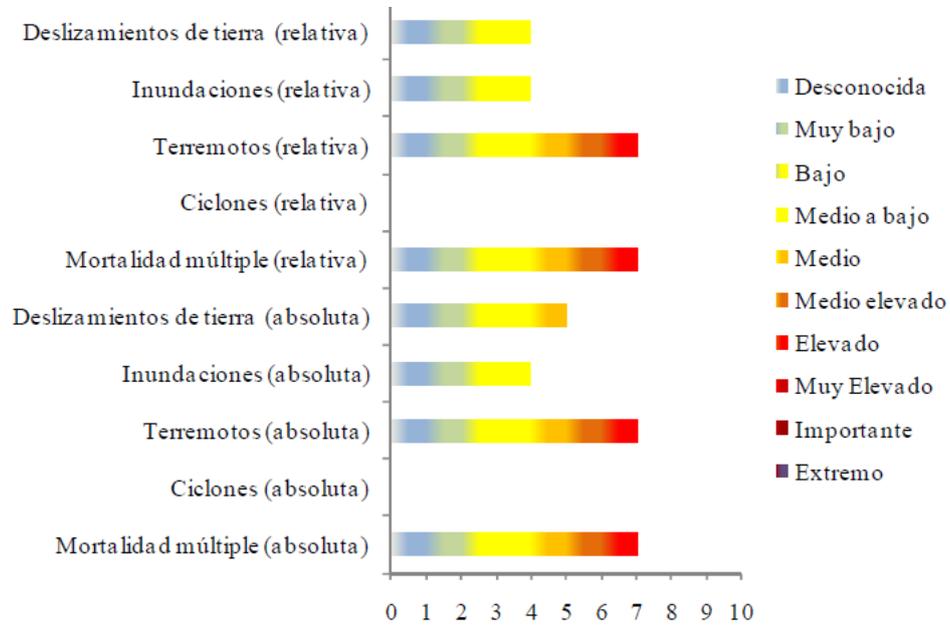


Figura 1.3: Clasificación del riesgo de mortalidad.

Todo lo anteriormente citado, simplemente es una muestra de la realidad sísmica del Ecuador y muchos otros países en la misma situación. Al mismo tiempo de convertirse en el justificativo de esta tesis, de lo importante que sería mantener un sistema de gestión sísmica de este tipo, es el reto de encontrar una solución factible y sostenible a un problema real y constante de la comunidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Muy a breves rasgos, el principal objetivo de este proyecto de tesis radica en lograr que al menos una vida (a la espera de que puedan ser muchas más) sea(n) salvada(s), mediante una gestión de emergencias rápida y eficiente. Se ha orientado esta investigación al recurso humano, el cual tiene el mayor valor en la sociedad, por tanto, la arquitectura debe ser capaz de: primero, en la gestión pre-evento que corresponde a las alertas tempranas, brindar tiempo

extra (posiblemente en el orden de los segundos) antes de la llegada del evento sísmico para la toma de una mejor decisión, tanto de la ciudadanía como de los diferentes cuerpos de ayuda; y segundo, en la gestión post-evento, logrando un panorama completo con información de cada zona con el fin de orientar de la mejor manera al usuario; con conocimiento que por sí solo el desconoce, por medio de la compartición de recursos por parte de otros usuarios.

Para poder cumplir este objetivo, se han planteado algunos objetivos específicos citados en el apartado 1.3.2.

1.3.2 Objetivos Específicos

Señalando el camino a seguir para cumplir el objetivo general de la tesis, definimos los objetivos específicos:

- Adentrarse en el ámbito de la sismología, el cual es necesario para entender, diseñar y decidir valores óptimos para lograr así, los mejores resultados en la arquitectura del sistema propuesto.
- Estudiar, analizar, diseñar y desarrollar una arquitectura capaz de cumplir los requisitos en un sistema real de alertas tempranas sísmicas eficiente y confiable.
- Aprovechar la enorme difusión de teléfonos inteligentes (*smartphones*) como dispositivos finales en una red de sensores sísmicos distribuida que proporcionen información acerca de un evento sísmico.
- Realizar una aplicación eficiente, de fácil uso y bajo consumo de batería que motive el ser parte de esta solución; capaz de brindar al usuario tiempo para una respuesta adecuada antes y después un desastre sísmico.
- Estudiar y seleccionar alternativas de medios de comunicación antes y después de un evento sísmico.

- Seleccionar e implementar algoritmos de filtración y correlación de datos.
- Estudiar y seleccionar protocolos que cumplan los requerimientos de una arquitectura en tiempo real distribuida.
- Validar la calidad de la arquitectura con información real. (Obtenida del *IGEPN*).

1.4 Estructura de la Tesis

En el segundo capítulo, se presenta una revisión bibliográfica acerca de los principales temas teóricos, definiendo así temas importantes para el correcto entendimiento de la tesis; comenzando con una introducción a la sismología, siguiendo con los sistemas en tiempo real, distribuidos y hablando sobre la gestión de emergencias sísmicas.

El tercer capítulo se centra en la descripción de la arquitectura propuesta, detallando así su estructura, agentes y funcionalidades. Se propone una arquitectura jerárquica en 3 capas: la primera capa que corresponde a una aplicación móvil diseñada para monitorización a través de sus sensores; la segunda capa correspondiente a un servidor con las capacidades necesarias tanto *software* como *hardware* para atender a los clientes de la primera capa; y por último la tercera capa, que será el lugar donde se tomen las decisiones y desde este punto poder organizar de mejor manera la gestión post-evento. Posteriormente, en el mismo capítulo, se presenta técnicas y propuestas desarrolladas por otros investigadores siendo comparadas con la presente propuesta doctoral.

El cuarto capítulo comienza con la caracterización del *software* y *hardware* necesario para el desarrollo de la arquitectura; y se procede al detalle del desarrollo de cada una de sus capas, con las respectivas ventajas que cada análisis genera. Ámbitos como el de seguridad de información y la comunicación entre capas también son parte de este capítulo.

En el quinto capítulo se presenta la validación de la arquitectura, el cual se hace mediante la evaluación de cada una de las capas y seguido, la evaluación del sistema en general; así también como la

factibilidad de la arquitectura en un ambiente real; en este caso Ecuador. Para finalizar el capítulo, se toma conciencia de las limitaciones de la evaluación y sus posibles mejoras.

El sexto y último capítulo, presenta las conclusiones y las líneas de trabajo futuro que se pueden realizar para continuar con la investigación del tema planteado de tesis.

La tesis termina con la respectiva bibliografía, anexos y publicaciones.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

“No se puede desatar un nudo sin saber cómo está hecho”

Aristóteles

CONTENIDO

- 2.1 INTRODUCCIÓN
 - 2.2 SISMOLOGÍA
 - 2.3 SISTEMAS DISTRIBUIDOS
 - 2.4 SISTEMAS DE TIEMPO REAL
 - 2.5 SISTEMAS DE GESTIÓN DE EMERGENCIAS
-

2.1 Introducción

El desempeñar una investigación que incluya la solución a un problema actual, obliga al estudio previo de dicho problema, y en el caso de esta tesis ha sido necesaria la vinculación con la Sismología; por tanto será necesario empaparse de una previa base teórica, familiarizándose con términos como intensidad sísmica, magnitudes, epicentros, hipocentros, daños, etc. Es sobre estas bases que la investigación comienza y se fundamenta, convirtiéndose en el corazón de la misma.

Este capítulo comienza con conocimientos básicos y necesarios sobre el tema sismológico; conocimientos que permitirán analizar y desarrollar una propuesta innovadora y eficiente capaz de cumplir con el objetivo planteado. De la misma manera, el desarrollo de la investigación obliga a tomar parte de diferentes ramas de las telecomunicaciones como los sistemas distribuidos, sistemas en tiempo real, protocolos, etc. términos los cuales serán estudiados para poder debatir, concluir y por último, analizar los resultados obtenidos.

Vale la pena aclarar, que lo que se detallará en el presente capítulo, tan sólo es una pequeña parte de la gran ciencia que conlleva cada uno de estos temas; sin embargo se ha intentado abarcar todos los puntos necesarios para comprender la tesis. En este tema se citan las referencias necesarias para quienes deseen indagar más en cada uno de los puntos citados.

2.2 Sismología

La superficie terrestre, el suelo en el que habitamos, se encuentra compuesto de placas tectónicas activas que fragmentan la litósfera (**Tackley**, 2000), lo que implica que estas placas están en constante movimiento y cambios produciendo la formación de nueva superficie terrestre como montañas, islas, y también fosas oceánicas, etc. (**Kious; Tilling**, 1996); que a su vez, también son responsables de la sismicidad y vulcanismo en el mundo; y es en este ámbito donde la Sismología enfoca su estudio. Así, la Sismología, es una parte de la Geofísica, la cual se encarga del estudio de la Tierra desde el punto de vista físico. Su término proviene de las palabras griegas “*seismos*”

que quiere decir agitación y la palabra “logos” cuyo significado es ciencia o tratado; dando como resultado “la ciencia de la agitación” sobreentendiendo “la ciencia de los terremotos o sismos”; ocupándose de esta manera del estudio de la generación, propagación, registro de ondas; así como la atenuación sísmica y otras derivaciones. Desde la antigüedad se ha intentado medir sismos, comenzando desde antes de los años 1800s; su historia puede encontrarse con más detalle en la siguiente referencia (**Shearer**, 1999), mientras que en los próximos apartados se citan solamente los más importantes.

2.2.1 Instrumentos de Medición Sísmica

Para conocer las características de los movimientos o agitaciones sísmicas, es necesario poder registrarlas de manera que puedan ser estudiadas y analizadas; y esto se logra a través de instrumentos de medida especializados; que son capaces de en cuestión de segundos obtener información de relevancia acerca del sismo y sus características, como el lugar donde se originó, su profundidad, cuál ha sido su fuerza, etc. Cada movimiento telúrico, sea cual fuese su intensidad, leve o brusco, debe ser medido generando registros de su paso en función del tiempo como muestra la *Figura 2.1*.

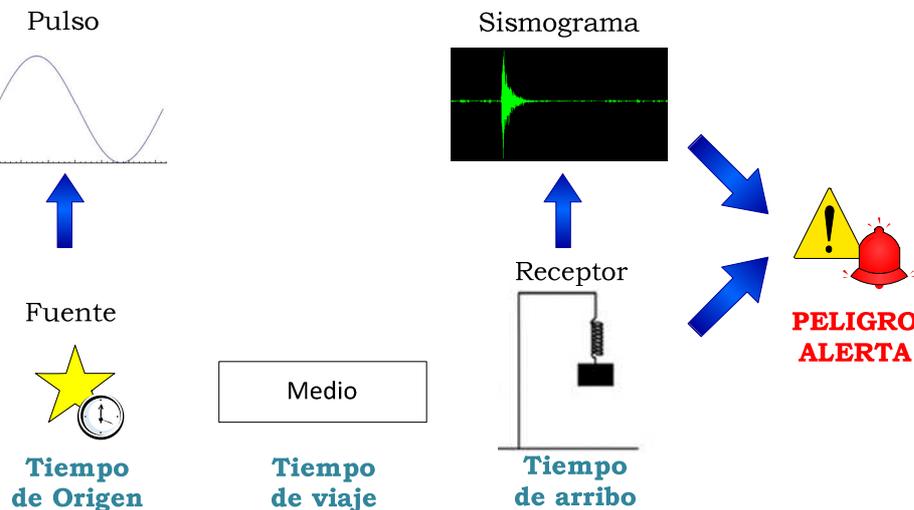


Figura 2.1: Registros sísmicos en función del tiempo.

Si bien es cierto, el instrumento más conocido y usado en el ámbito de la Sismología es el sismógrafo; sin embargo se dará más relevancia y detalle a otro instrumento, llamado acelerógrafo; ya que su estudio es parte fundamental en esta tesis.

- **Sismógrafo:**

Un sismógrafo consiste en un sensor llamado sismómetro para medir el movimiento de la tierra. Su primera aparición fue en 1842 por el escocés James David Forbes con un funcionamiento muy sencillo (**Forbes**, 1844). Consistía en una masa sostenida en un péndulo en reposo; constantemente un tambor giratorio donde una pluma registra el movimiento relativo de la tierra en función del tiempo, como se muestra en la *Figura 2.2* (**USGS**, 2015):

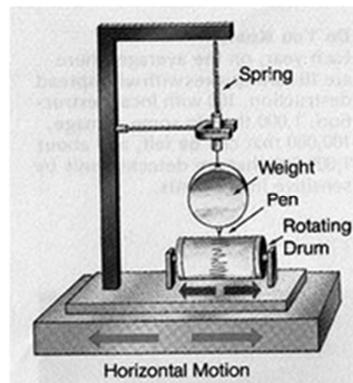


Figura 2.2: Primer sismógrafo por James Forbes.

Los sismógrafos modernos son electrónicos cambiando el tambor y el marcador, por voltajes eléctricos registrados por un ordenador. Estos dispositivos tienen la capacidad de ampliar en decenas o cientos de miles un movimiento sísmico, brindándoles una gran sensibilidad; lo que les permite medir desde sismos imperceptibles para el ser humano, hasta aquellos muy fuertes que causan pérdidas humanas y económicas. Sin embargo, cuando ocurre un gran sismo el sismógrafo no es capaz de registrar sus mediciones íntegramente produciendo saturación en su medida. Para registrar dichos movimientos, es necesario otro instrumento, también importante en esta investigación, llamado acelerógrafo.

- **Acelerógrafo:**

La aceleración se define como el cambio de velocidad en función del tiempo, y éste instrumento, como intuitivamente se entiende por su nombre, mide las aceleraciones del movimiento del suelo en función del tiempo. Presenta una gran ventaja sobre el sismógrafo, ya que este puede registrar medidas sin importar lo fuerte que sea el movimiento; e incluso estos instrumentos son capaces de registrar la gravedad terrestre, razón por la cual, sus mediciones obtenidas nunca se verán saturadas.

El acelerógrafo es referido a un acelerómetro de sismos o terremotos, o sea un acelerómetro específico a este ámbito de la ciencia. Hoy en día, los acelerógrafos miden su movimiento en 3 ejes comúnmente en ejes (x, y, z) o en $(NS; EO; Vertical\ o\ Z)$; logrado por sus 3 sensores acelerómetros que son sensibles a cada sentido. Esta tecnología ha evolucionado tanto que incluso, podemos encontrar estos dispositivos aún con una gran precisión en sensores conocidos como *MEMS*, por sus siglas en inglés (Microelectromechanical systems) incrustados en diminutos chips pudiendo ser usados en beneficio de muchos otros ámbitos, y cada vez con mayor frecuencia *Figura 2.3*, como en ingeniería, biología, industria, navegación, transporte, entretenimiento, y un sin fin de usos más.

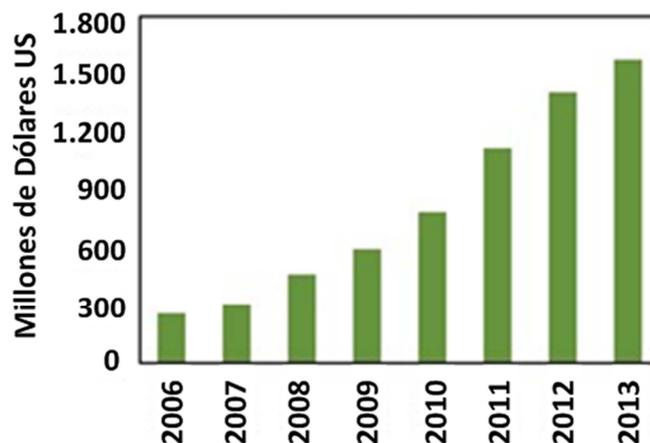


Figura 2.3: Ventas de MEMS para uso en smartphones.

Existen acelerómetros de diferentes sensibilidades o precisiones ($\pm 1g$; $\pm 2g$; $\pm 3g$; $\pm 5g$ o más), usualmente definidas en función de la constante gravitacional “ g ” que aproximadamente es $32,2 \text{ ft/s}^2$ o $9,81 \text{ m/s}^2$. Por lo general los fabricantes emplean estos términos dentro de sus especificaciones.

Un acelerómetro no presenta un sistema de registro continuo, sino a modo de disparos; así solamente cuando sobrepase una alerta (cambio brusco de aceleración) comenzará su toma de información (**Carreño, E.; Bravo, B.; Tordesillas, J.M**, 1999) ; a diferencia de un sismógrafo el cual toma información sísmica constantemente.

- **Inclinómetros:**

Su misión es medir los cambios de inclinación de una determinada superficie. Por lo general estos son usados en sismología en cráteres volcánicos, los cuales cambian su angulación previo a una erupción.

- **Magnetómetros:**

Este dispositivo es muy conocido también como brújula o compás y muestra la fuerza del campo magnético de la Tierra en un área; indica el Norte del campo magnético real con ayuda de una aguja magnetizada. Al igual que los acelerómetros, actualmente se pueden encontrar en versiones *MEMS* muy pequeñas incorporados en chips dentro de dispositivos electrónicos portables como los *smartphones* y otros.

- **Giroscopio:**

Vale la pena recalcar una gran diferencia: un acelerómetro mide la **aceleración lineal** de movimiento, mientras que un giroscopio en el otro lado mide la **velocidad de rotación angular**. En la práctica, esto significa que un acelerómetro mide el movimiento direccional de un dispositivo, pero no será capaz de resolver su orientación lateral o inclinación durante ese movimiento con precisión, a menos que un giroscopio esté ahí para llenar esa información. Gráficamente en la *Figura 2.4* (**Freescale**, 2015):

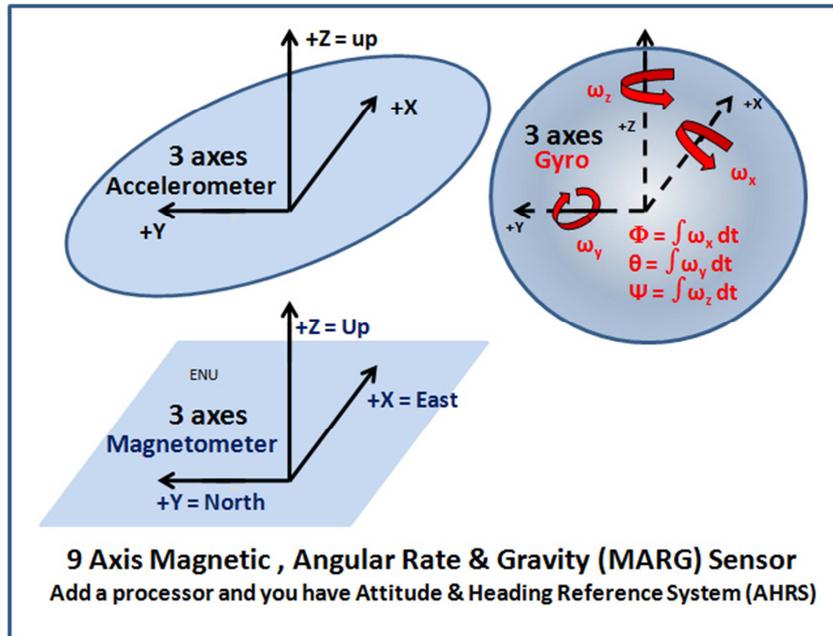


Figura 2.4: Acelerómetro y giroscopio (magnetómetro).

2.2.2 Redes de Observación Sísmica

Una red de observación sísmica se encuentra formada de dispositivos de medida como los descritos anteriormente, distribuidos uniformemente cubriendo un área determinada y cumpliendo el fin objetivo de monitorear constantemente la zona deseada, pero a su vez, sirve para que con estos registros sea posible implementar nuevas medidas de construcción, estructuras de edificios, diseños resistentes, etc. de manera particular para cada zona, dependiendo de sus características únicas.

Una red sísmica gracias a la cantidad de elementos que posee es capaz de proporcionar casi al instante el lugar y hora precisa donde fue el desastre; y entre más estaciones entren en el cálculo de detección, los resultados serán más exactos.

2.2.2.1. Red Nacional de Sismógrafos RENSIG

Con el transcurso del tiempo, y convirtiéndose en prioridad el estudio de la Sismología, las redes sismográficas han ido creciendo alrededor del mundo siendo implantadas cubriendo territorios nacionales, así por ejemplo en Ecuador, que es motivo de nuestro estudio, presenta una Red Nacional de Sismógrafos (*RENSIG*) (**Instituto Geofísico - EPN**, 2015) como muestra la *Figura 2.5*, con una monitorización permanente (24 horas – 365 días al año).

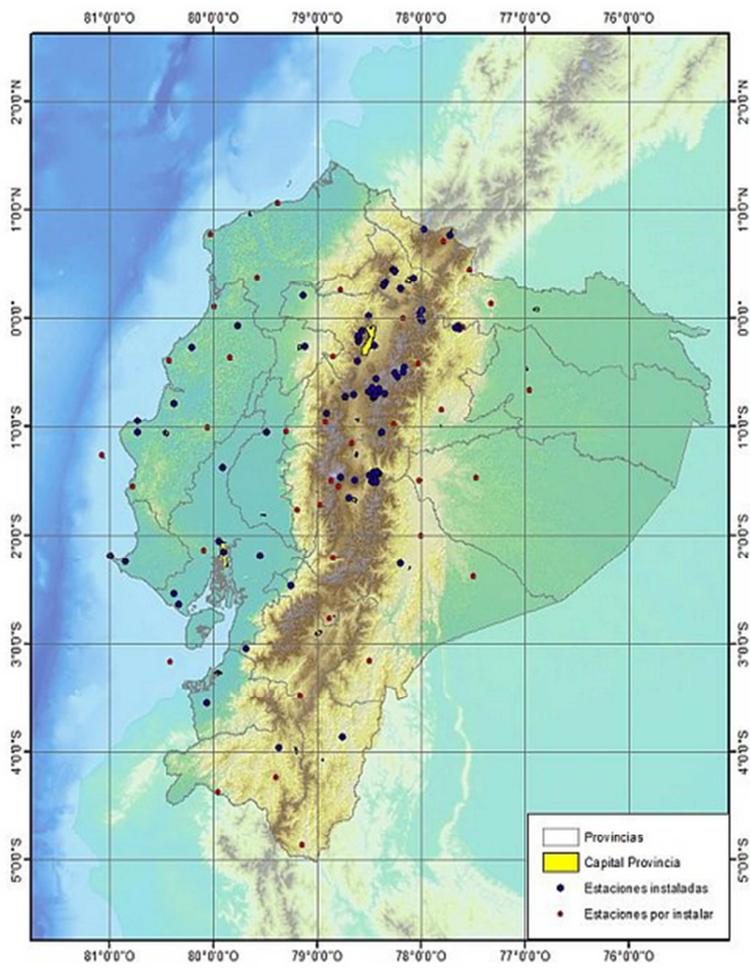


Figura 2.5: Red Nacional de Sismógrafos en Ecuador (*RENSIG*).

A través de estos dispositivos se puede obtener la caracterización de cualquier evento que suceda en el territorio ecuatoriano; o incluso en territorio vecino, como Colombia o Perú, que muchos de los eventos sísmicos sucedidos en estos países afectan al Ecuador.

RENSIG que se ha fortalecido desde 2008, por un programa de mejoramiento del *IGEPN*, se encuentra conformada por los siguientes equipos en la *Tabla 2.1*.

EQUIPO	CANTIDAD
Estaciones digitales de banda ancha	60
Sensores acelerográficos*	2
Estaciones digitales multi-paramétricas compuestas por sensores sísmicos de banda ancha, GPS y acelerógrafos	9
Estaciones digitales de banda ancha e infrasonido	3
Estaciones analógicas de período corto (1 Hz) de un solo componente	13
Estaciones con sensores de 5 segundos y de tres componentes	5
Estaciones analógicas de tres componentes de período corto (1 Hz).	4
TOTAL	96

* Forman parte de la red mundial de sismógrafos

Tabla 2.1: Equipos de medición que conforman *RENSIG* en Ecuador.

Esta red fue iniciada a finales de los 70s, y para lograr tener este tipo de equipamiento han tenido que pasar algo más de 35 años, lo cual ha sido muy complicado para un país en desarrollo; es más, la incorporación de los sensores acelerográficos a la red son recientes con pocos años de antigüedad, e incluso así, solo ha sido posible la incorporación de contados de estos elementos. El diseñar e implantar una red de este tipo representa una inversión económica muy grande.

2.2.3 El Movimiento del Suelo – Ondas P, S, L

Así como una palmada en el aire envía ondas sonoras a lugares distantes en forma de contracciones y dilataciones, donde la energía originalmente mecánica en el movimiento de las manos es transformada en vibraciones del aire; así como una piedra arrojada al agua emite ondas en forma de olas (**Bolt**, 1981); así mismo, las ondas que son provocadas por un sismo viajan (se transmiten) por tierra atenuándose hasta que llegan a desaparecer. Es por eso que el sismo también puede ser sentido en lugares más alejados del lugar donde tuvo efecto; sin embargo, entre más cerca se esté de este punto, más fuerte será su percepción, ya que las ondas sufren atenuación mientras se transmiten.

La propagación depende de la frecuencia de onda con la que cada una viaja, así las ondas con baja frecuencia se atenúan más lentamente que las ondas con alta frecuencia, como muestra la *Figura 2.6*.

Sin embargo es importante recalcar que son muchos los factores que intervienen en la manera en que la tierra se mueve, como por ejemplo: el tipo de superficie; el que las ondas no viajen de forma directa ni pareja; la dirección del movimiento; etc.

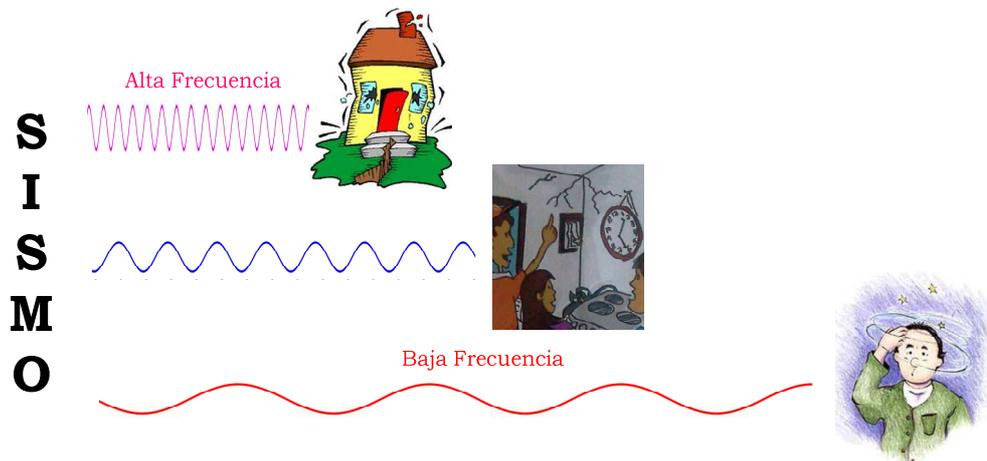


Figura 2.6: Atenuación de ondas sísmicas por frecuencia.

La teoría de la propagación de ondas en materiales sólidos se desarrolló por Cauchy, Poisson, Stokes, Rayleigh (**Shearer**, 1999); estudio en el cual se definen diferentes tipos de onda (**Bolt**, 1981):

- **Ondas Primarias (P):** Mostradas en la *Figura 2.7*, también son llamadas ondas principales u ondas de compresión. Son ondas rápidas, siendo las primeras en llegar y son las causantes de casi todo el desastre. Su vibración es en sentido del avance de la propia onda. Son ondas sonoras, capaces de viajar en roca, atravesar una montaña de granito, líquido, magma volcánico, mares, etc.

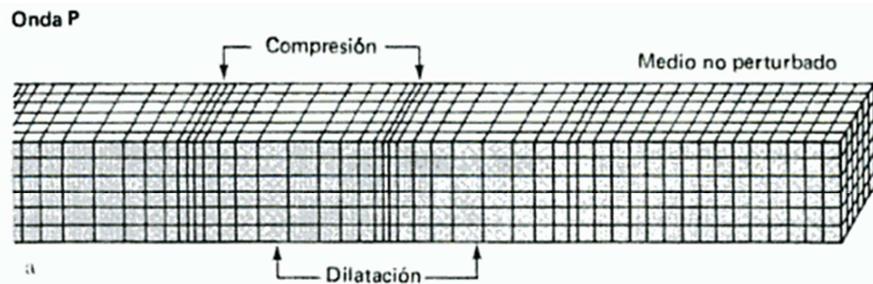


Figura 2.7: Onda primaria u de compresión.

- **Ondas Secundarias (S):** También conocidas como ondas transversales; se caracterizan por ser más lentas que las anteriormente citadas ondas (P) y con menor tamaño que las mismas. Además, su vibración es perpendicular a la propagación de la onda como se muestra en la *Figura 2.8*.

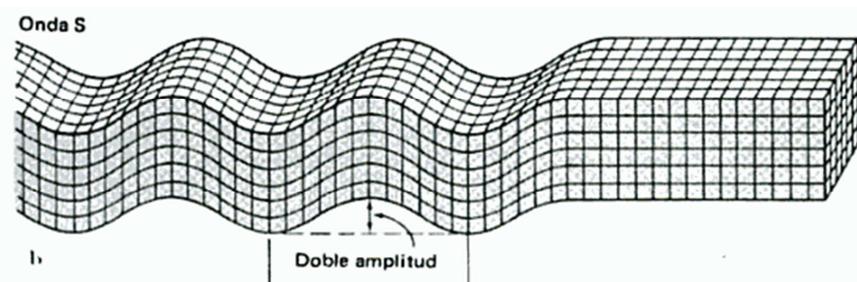


Figura 2.8: Ondas secundarias o transversales.

- **Ondas Superficiales (R y L):** Estas ondas comienzan cuando las dos ondas P y S han llegado a la superficie; de ahí su nombre ya que se limitan a la superficie del suelo. Pueden ser de dos tipos, detalladas en la *Figura 2.9*, la onda “Love” (L) que a leves rasgos se parecen a las ondas (S) que sacuden las estructuras horizontalmente causando daños; y la onda “Rayleigh” (R) las cuales recorren más lentamente que las (L).

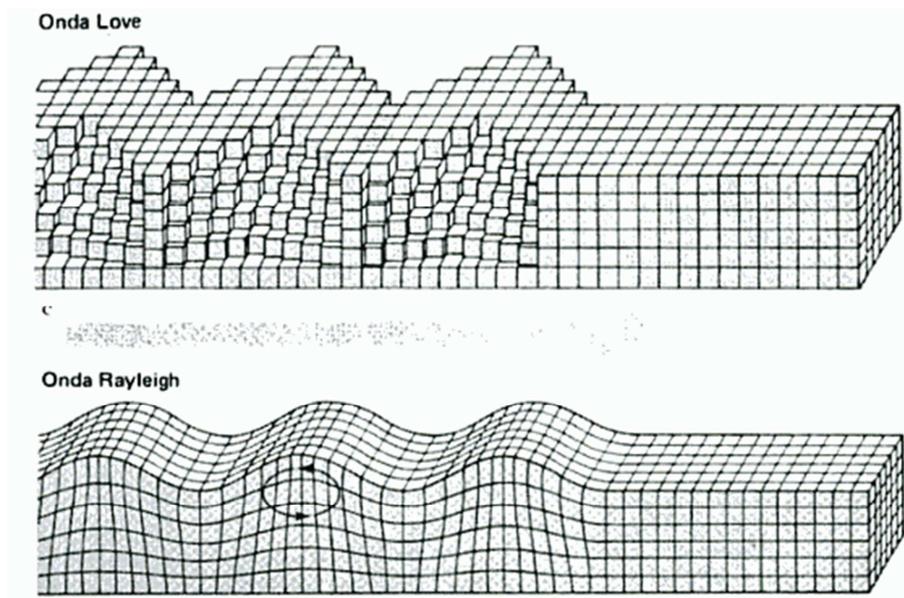


Figura 2.9: Ondas superficiales Love y Rayleigh.

2.2.4 Acelerograma

Los registros de aceleración tomados previamente por un acelerógrafo en función del tiempo, se convertirán en un acelerograma (**Carreño, E.; Bravo, B.; Tordesillas, J.M**, 1999). Sin embargo, estos registros se ven sometidos a diferentes tipos de daños (ruido) que saturan los datos; por lo que deben ser sometidos a algunas correcciones de diferentes tipos (detallados en el apartado 3.4.2.3) para obtener la información correcta.

Ya que los acelerógrafos son multi-axiales (en su mayoría), se puede obtener registros de aceleración en función del tiempo por cada uno de sus ejes, por ejemplo (*E, N, Z*) en la *Figura 2.10* que corresponden a acelerogramas de cada uno de sus ejes de un sismo ocurrido en Conocoto, provincia de Pichincha, Ecuador el día 17 de febrero del 2011. Estos datos han sido recopilados de un acelerógrafo, el cual forma parte de *RENSIG*. La *Figura 2.10* son visualizadas mediante el *software* de monitoreo sísmico “*SCREAM 4.5*” (**Guralp Systems**, 2014):

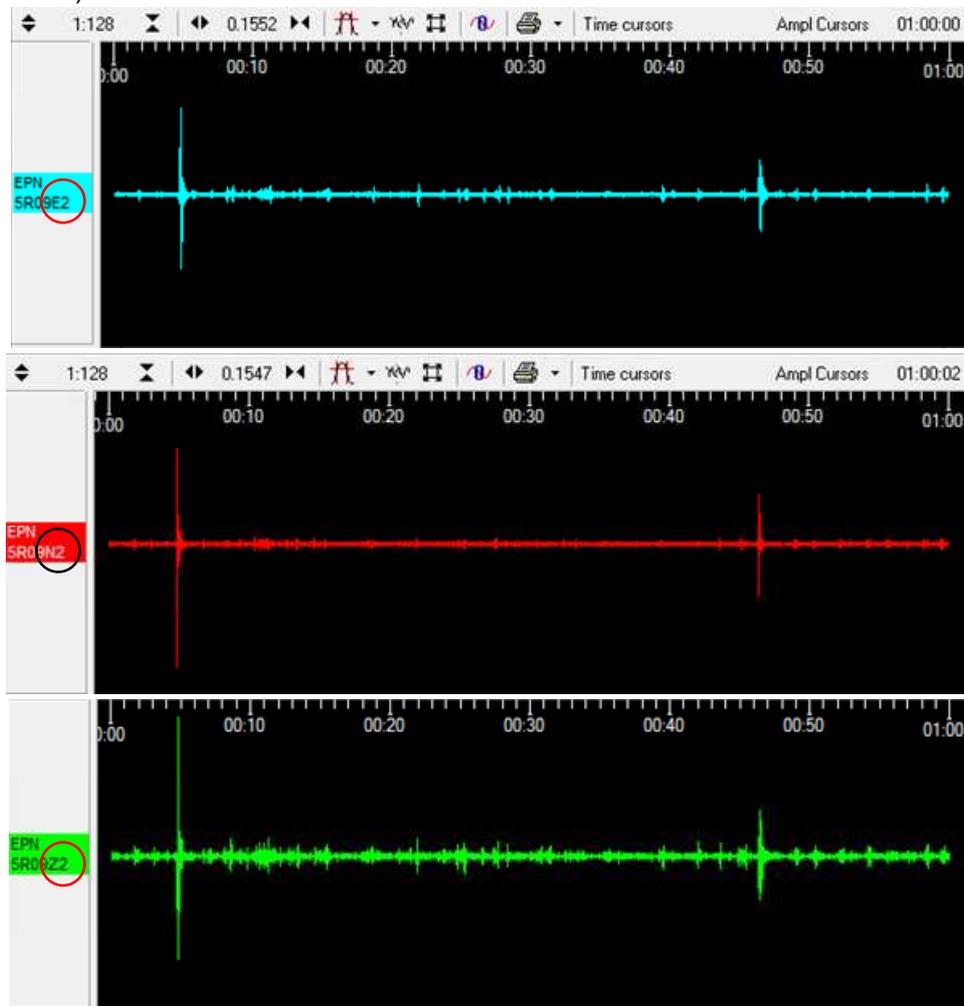


Figura 2.10: Aceleraciones *E, N, Z* en sismo Conocoto-Ecuador 17/02/2011.

Una característica importante es que a través de estos datos (aceleración *vs.* tiempo) es posible obtener tanto la velocidad de la onda como el desplazamiento, siendo sometido a un proceso de integración, o a dos respectivamente; gráficamente se muestra en la *Figura 2.11* (**Newmark, 1919**).

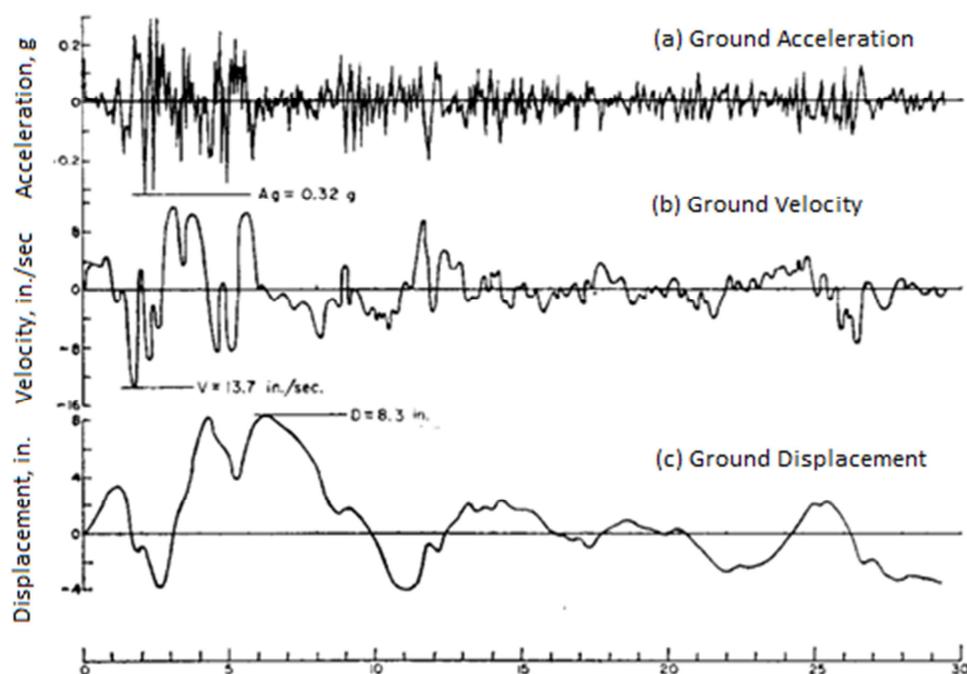


Figura 2.11: California, sismo 18/05/1940, Componente N-S.

Otra de las características relevantes a citar en un acelerograma, es la aceleración sísmica máxima o aceleración pico máxima, más conocida por sus siglas en inglés *PGA* (*Peak Ground Acceleration*), la cual se relaciona con una escala de peligrosidad. *PGA* viene a ser el valor máximo absoluto del rango de datos obtenidos de un acelerógrafo, como por ejemplo (en color rojo) en la *Figura 2.12*. Su uso práctico parece poco recomendable ya que la aceleración máxima es un parámetro muy sensible a las condiciones de registro (geología e instrumento). No está asociado a una frecuencia en particular y es difícil de predecir debido al carácter aleatorio de la complejidad de la ruptura que la genera (**Roca, A.; Goula, X.; Susagna, T, 1999**).

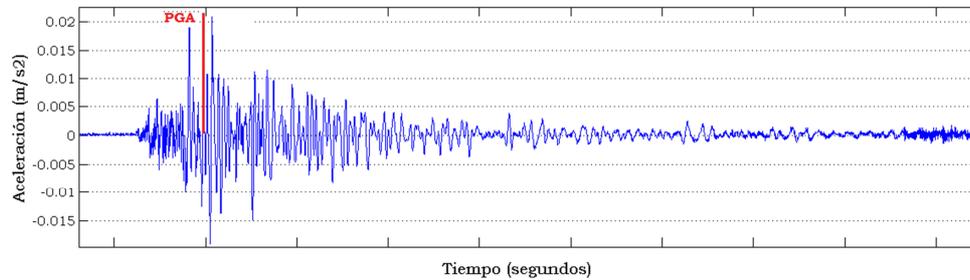


Figura 2.12: PGA en acelerograma en sismo en Conocoto – Ecuador 17/02/2011.

2.2.5 Tamaño de un Sismo

Cuando ha ocurrido un evento sísmico, la pregunta más frecuente a la que los sismólogos se ven sometidos es: ¿Cuánto ha medido el sismo? Así, en la historia, investigadores vieron la necesidad de encontrar la manera de que los sismos puedan ser medidos; para lo cual se utilizan dos términos: intensidad y magnitud. La mayoría de veces son confundidos pero en realidad son dos conceptos diferentes. La magnitud es una escala instrumental, mientras que la intensidad es una escala subjetiva.

2.2.5.1. Magnitud

La magnitud mide el sismo en términos de energía liberada en el foco del terremoto (epicentro), dejando de lado los efectos y desastre que se han producido. Fue desarrollada en 1935 por Charles Richter y Beno Gutenberg, investigadores del muy bien conocido *California Institute of Technology (CALTECH)* (Caltech, 2015), calculando en función de la amplitud y de la frecuencia de ondas sísmicas registradas en sismógrafos (Richter, Charles F., 1935). Fue desarrollada bajo una escala semi-logarítmica, así la diferencia de un sismo de magnitud 7 a uno de magnitud 6, que se pensaría linealmente solamente en 1 salto, en verdad significa un aumento de 30 en la energía que libera el sismo; y de la misma manera, con referencia a un sismo de magnitud 5, representaría una energía liberada de 900.

Dentro de esta escala, a continuación en la *Tabla 2.1* se presentan los sismos más grandes de la historia, en el cual destacamos el de Esmeraldas-Ecuador en cuarto lugar; que fue sentido tan lejos como en Cali-Colombia (a 442,37 km de distancia) hasta Maracaibo-Venezuela (a 1.394,37 km de distancia) de acuerdo a los datos del *National Earthquake Information Center* - Servicio Geológico de los Estados Unidos (*NEIC-USGS*) (**USGS**, 2015).

PAÍS	FECHA	MAGNITUD RICHTER
Chile	22/05/1960	9,5
Alaska	28/03/1964	9,2
Rusia	04/11/1952	9,0
Ecuador	21/01/1906	8,8
Alaska	09/03/1957	8,8
Islas Kuriles	06/11/1958	8,7
Alaska	04/02/1965	8,7
India	15/08/1950	8,6
Argentina	11/11/1922	8,5
Indonesia	01/02/1938	8,5

Tabla 2.2: Sismos más grandes de la historia en magnitud.

La gran contribución de Richter, en sus siguientes trabajos (**Richter, Charles F.**, 1935) (**Gutenberg, B.; Richter, R.C.**, 1936)(**Gutenberg, B.; Richter, Charles F.**, 1942), fue su investigación en las ondas sísmicas, anteriormente citadas en el apartado 2.2.3, y su relación con las magnitudes; demostrando que cuanto mayor sea la energía liberada, mayor será la amplitud del movimiento de suelo. La *Figura 2.13* presenta la manera que ideó Richter y su colega para medir la magnitud de un sismo. A leves rasgos, ya que no es propósito de este estudio, se resume que para encontrar este valor, es necesario calcular previamente el intervalo de tiempo entre la onda P y la onda S; y

además la máxima amplitud de la onda. Al trazar una línea recta entre estos dos puntos, la magnitud puede ser encontrada en el punto donde se corte el eje intermedio.

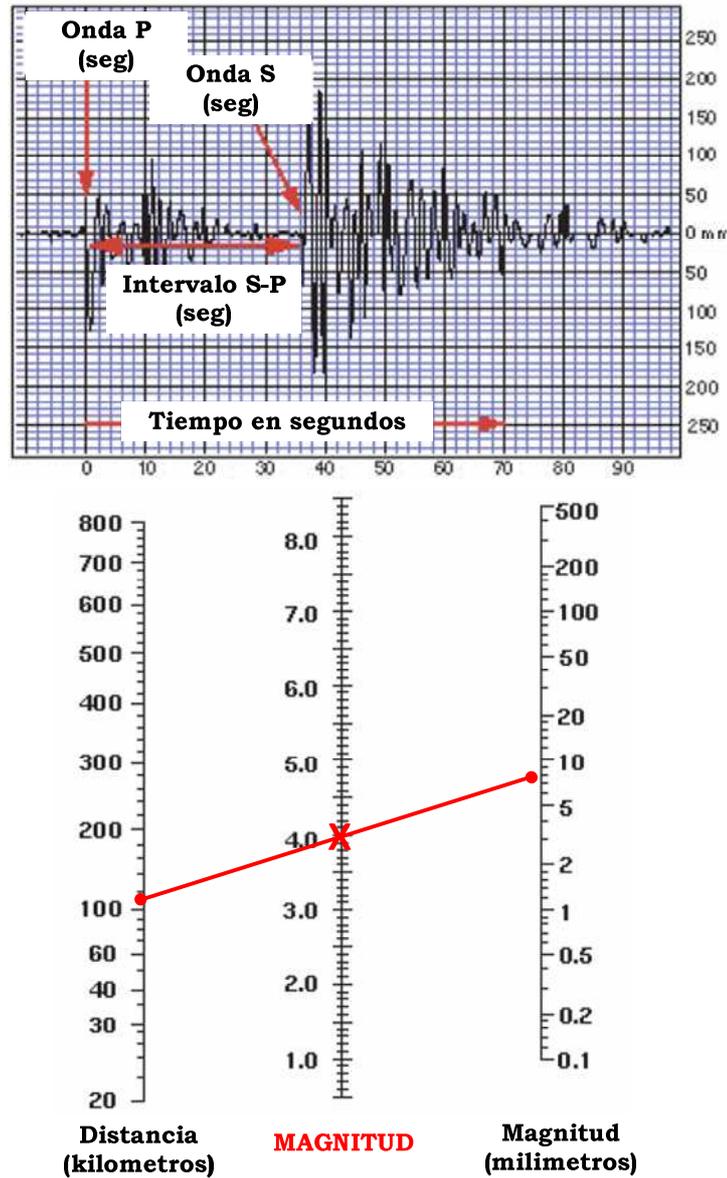


Figura 2.13: Nomograma de Richter.

2.2.5.2. Intensidad

La intensidad es más fácil de entender que la magnitud sísmica, pero más difícil de ser medida. Fuerte o suave, violento o leve, largo o corto. La intensidad sísmica en especial se encuentra ligada a los daños ocasionados tras un desastre y es medida mediante diferentes escalas, pero la más importante y renombrada es la *Intensidad de Mercalli Modificada* (I_{MM}) (**Wood, H.O.; Neumann, F.**, 1931) propuesta en 1931. Ésta es una versión “modificada” de la Intensidad de Mercalli creada en 1902 por el sismólogo Giuseppe Mercalli, la cual mantenía 10 grados de escala.

Se recalca que a partir de ahora, cuando se hable de intensidad, se entenderá como la Intensidad de Mercalli Modificada I_{MM} .

La intensidad no siempre es un número exacto, lo que cada persona sienta puede ser independiente de otras (percepción personal), dependiendo así del lugar donde cada uno se encuentre como: la altura del edificio (entre más alto, la percepción será mayor), tipo de suelo, modalidad de la construcción; y sin olvidar que un terremoto es controlado por tres factores principales: magnitud, distancia y condiciones locales del suelo; condiciones que varían de lugar a lugar.

La valoración de la intensidad sísmica es mediante una escala descriptiva, o dicho de otra manera, no depende de la medida del movimiento a través de instrumentos, sino más bien, de las observaciones reales de los efectos y daños causados a distintas estructuras. Ésta escala I_{MM} corresponde a 12 números romanos citados en la *Tabla 2.3* desde el más leve, al más fuerte. Los niveles bajos de la escala están asociados por la forma en que las personas sienten el temblor, mientras que los grados más altos se relacionan con el daño estructural observado.

Es importante tomar en cuenta que estos valores no corresponden a los mismos números de la escala de Magnitud de Richter; aunque se asemejan mucho ya que ambas escalas son incrementales en valores de 1; La magnitud medida de 1 a 10; y la intensidad medida de I a XII.

INTENSIDAD MERCALLI MODIFICADA (I_{MM})		DESCRIPCIÓN	EFFECTOS
Grado I	1	Muy Débil	Solamente sentido por sismógrafos. Para que una persona logre sentirlo se necesitan condiciones exclusivamente favorables.
Grado II	2	Débil	Percibido solamente por personas en reposo, o situadas en edificios altos, plantas superiores.
Grado III	3	Leve	Claramente sentido en las alturas de edificios. Se asemeja a la vibración proveniente del paso de un coche pesado.
Grado IV	4	Moderado	Vibración de vidrios y objetos colgantes; motocicletas se balancean claramente. Se asemeja al choque de un coche contra un edificio.
Grado V	5	Poco Fuerte	Sentido por casi todos, incluso en el exterior. Vidrios, vasijas e incluso muros se agrietan. Sufren perturbaciones en árboles, postes y objetos altos.
Grado VI	6	Fuerte	Es percibido por todas las personas con inestabilidad incluso al caminar. Objetos se quiebran y los muebles pueden cambiar de lugar o volcarse. Las personas atemorizadas usualmente corren a exteriores. Daños visibles.

Grado VII	7	Muy Fuerte	Daños de mayor consideración; Caen trozos de estucos, ladrillos, cornisas y elementos electrónicos.
Grado VIII	8	Destruyivo	Difícil el manejo de vehículos. Derrumbes. Caen chimeneas, monumentos, columnas, torres, etc. Casas de madera se desplazan totalmente de sus bases.
Grado IX	9	Ruinoso	Estructuras de madera son removidas de sus propios cimientos. Las cañerías subterráneas se fracturan.
Grado X	10	Desastroso	Se destruye gran parte de las estructuras, puentes, casas, edificios, etc. Daños en represas y malecones. Las rieles de ferrocarriles también se deforman levemente.
Grado XI	11	Muy Desastroso	Muy pocas estructuras pueden quedar en pie. Los rieles quedan muy deformados y las cañerías quedan totalmente fuera de servicio.
Grado XII	12	Catastrófico	El daño es global y casi total. Las grandes masas de rocas se desplazan. Los niveles y perfiles de construcción quedan distorsionados. Ondas visibles sobre el terreno.

Tabla 2.3: Escala de Intensidad de Mercalli Modificada.

Haciendo referencia al sismo anteriormente citado, aquel de Ecuador el 31 de enero de 1906, en el artículo (**Rudolph, E.; Szirtes, S.**, 1991), se relata versiones referentes a la intensidad sísmica como:

“Fue imposible mantenerse en pie sin apoyo”; "Todos fueron arrojados al suelo. Todo estaba en movimiento y todas las casas se mecían de un lado a otro, como un barco en mar embravecida, de tal manera que uno tenía que temer que en cualquier momento podrían desplomarse y enterrarnos bajo sus escombros. El movimiento del terreno fue tan fuerte que hacía imposible moverse del sitio Y en Guayaquil (Ecuador) hizo que las campanas de las iglesias estuvieran repicando por sí solas por más de 80 segundos”.

Y según las estimaciones de las personas ubicadas cerca de la zona de Tumaco (Colombia) y Esmeraldas (Norte de Ecuador), el terremoto tuvo una duración mayor a los 2 minutos; alrededor de unas 1.000 a 1.500 personas murieron. En La Tola, más de 23 viviendas fueron destruidas. En Esmeraldas el río se salió de su cauce inundando las zonas bajas de la población. Una vez más, se ve claramente el problema a solventar con esta tesis.

2.2.6 Origen de un Sismo

El lugar donde un sismo se origina es muy importante ya que la intensidad depende de la ubicación del mismo, la cual se expresa en coordenadas geográficas Latitud y Longitud. Para definir el lugar, se usan dos términos mostrados a muy leves rasgos en la *Figura 2.14* (**Olsacher, J**, 1934):

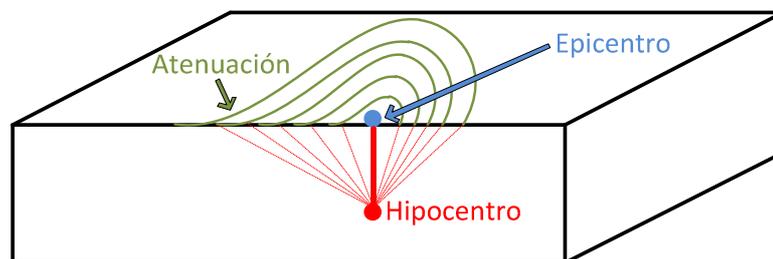


Figura 2.14: Epicentro e hipocentro.

La Figura 2.14 (Olsacher, J, 1934), es una representación visual más detallada de estos dos términos, el hipocentro y epicentro. La estación sísmica es un elemento situado en algún lugar de la superficie y cuanto más cerca esté del foco del sismo, mejor será su medición.

La introducción (entendimiento) de estos términos resulta de importancia para validaciones a realizar en la arquitectura propuesta; detallada más adelante en el apartado 2.2.6.1 y 2.2.6.2.

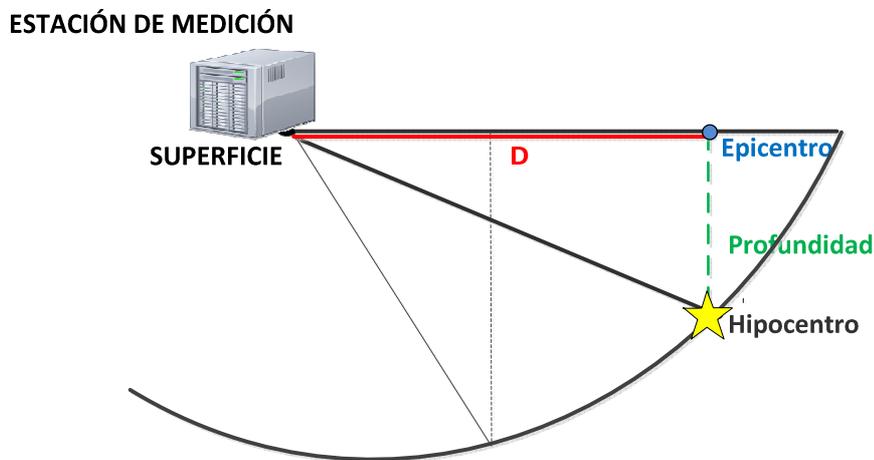


Figura 2.15: Epicentro e hipocentro en la superficie.

2.2.6.1. Hipocentro

Su nombre proviene de la unión de dos palabras griegas: *hypo* que significa “debajo” y *kéntron*, que significa “centro”. Se define como el foco de un terremoto, y como se observa en la anterior *Figura 2.15*, es el lugar preciso donde ha tenido suceso el evento sísmico, y cuanto más superficial sea este punto hipocentro, la extensión del área convulsionada será menor, pero mayor serán los efectos de destrucción del sismo; y de manera contraria, si el foco es más profundo, los daños serán menores. Es importante decir que para esta investigación, no es de nuestro interés la determinación exacta del hipocentro.

2.2.6.2. Epicentro

Igualmente, el epicentro proviene de dos palabras griegas antiguas: *epi* que significa “sobre” y *kentron* que significa “centro”. Es la proyección del hipocentro sobre la superficie de la tierra; que por lo general es el lugar donde el sismo se siente con mayor intensidad (**Agueda, J.; Anguita, F.; Araña, V.; López Ruiz, J.; Sánchez de la Torre, L.**, 1977); y a medida que nos alejamos de este punto, la ondulación se aparta, las ondas se atenúan, cada vez con menos energía disminuyendo gradualmente.

2.2.7 **Ecuaciones y Leyes Sísmicas**

La creación de relaciones sísmicas es necesaria para la cuantificación de un sismo, ya que a través de estas podemos medir y calcular diferentes parámetros como la velocidad, aceleración, distancia focal, distancia epicentral, magnitud, intensidad entre otras.

Como ya se ha definido anteriormente, el estado de sismicidad en cada región es única y los distintos materiales se comportan de diferente manera en la litósfera; por tanto la relación entre parámetros, ecuaciones, y leyes sísmicas varían de lugar a lugar, aunque obviamente, no presentan una variación extrema ya que la teoría sísmica básica es fija. Por ejemplo el que las ondas viajan de la misma manera en cualquier lugar del mundo; o que a mayor aceleración, mayor magnitud y mayor intensidad sísmica; o que a cuanto más se aleja del foco sísmico, los daños disminuyen de la misma manera que la energía.

Para lograr una mayor precisión en el análisis, se ha buscado relaciones y leyes sísmicas específicas de la zona; en nuestro caso Ecuador; sin embargo, estos parámetros pueden ser fácilmente modificados para adaptarse a otras regiones.

2.2.7.1. Leyes de Atenuación Sísmica

Las leyes de atenuación son ecuaciones semi-empíricas que relacionan parámetros de magnitud, distancia e intensidad sísmica con ace-

leraciones, velocidades y desplazamientos mediante datos existentes anteriormente almacenados sobre dichos parámetros. Tienen una estructura genérica como se muestra en la *Ecuación 2.1*, donde y puede ser la aceleración, velocidad, intensidad o desplazamiento; M es la magnitud; R es la distancia epicentral o hipocentral; y C_x son constantes obtenidas de métodos empíricos, estocásticos o teóricos:

$$\log y = C_1 + C_2 * M - C_3 * \log(R) - C_4 R + \varepsilon_a + \varepsilon_b \quad (2.1)$$

Siguiendo la estructura básica de la *Ecuación 2.1*, y visualmente en la *Figura 2.16* (**Badi**, 2012), que relaciona el nivel de energía con la distancia al foco sísmico, se puede deducir 2 puntos importantes citados a continuación:

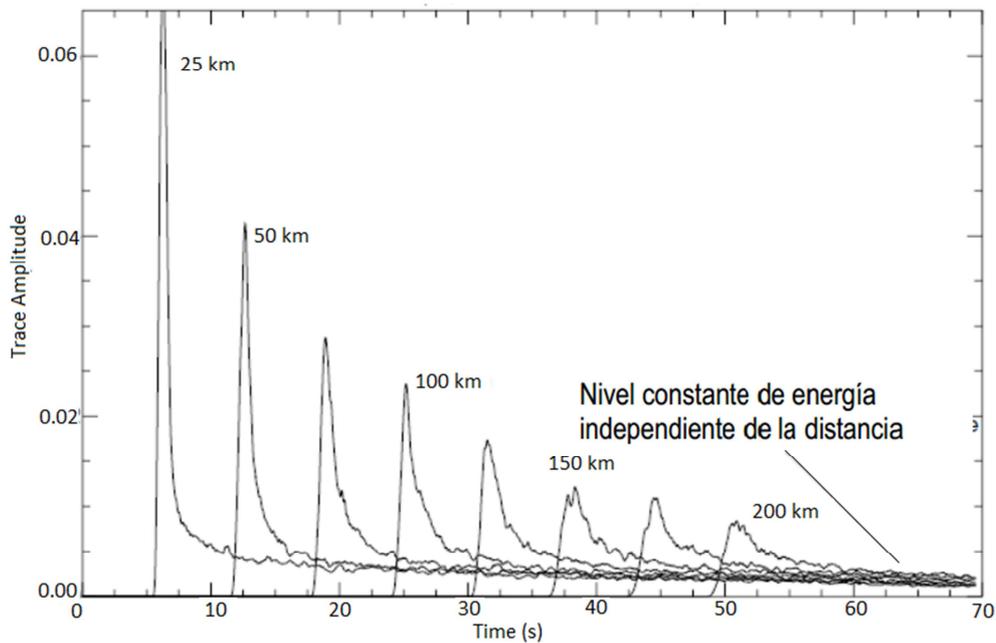


Figura 2.16: Nivel de energía vs. Tiempo vs. Distancia.

- Para un sismo de magnitud M , a una misma distancia, la intensidad será la misma. (Entendemos en esta ecuación intensidad como aceleración, velocidad o desplazamiento.)
- La intensidad varía con respecto a la distancia, entre mayor sea la distancia, la intensidad irá decreciendo; y de igual manera, cuanto menor distancia exista al foco sísmico, la intensidad será mayor.

A continuación la *Tabla 2.4* detalla diferentes leyes de atenuación en diferentes lugares dentro del “anillo de Fuego”, citados en (**Aguiar, R.**, 2008):

Donde A_{max} corresponde a la aceleración máxima; M la magnitud del sismo; y R la distancia Hipocentral.

REGIÓN	LEY DE ATENUACIÓN	AUTOR
Chile	$\ln(A_{max}) = 8,54 + 0,57M - 1,73\ln(R + 60)$	Saragoni
Perú	$\ln(A_{max}) = 8,18 + 0,68M - 1,63\ln(R + 60)$	Saragoni
Perú	$\ln(A_{max}) = 4,23 + 0,8 - \ln(R + 25)$	Casaverde
Ecuador	$\ln(A_{max}) = 3,75 + 0,47M - 0,57\ln(R + 10) \pm 0,67$	Aguiar
Venezuela	$\ln(A_{max}) = 6,98 + 0,5M - 1,25\ln(R + 25)$	Donovan
USA	$\ln(A_{max}) = 0,14I_{MM} + 0,24M - 0,68 \log(R) + \beta$ $\beta = 0,60$ - Costa Occidental USA	Goula
Japón	$\beta = 0,69$ - Japón	Goula
Europa	$\beta = 0,8$ - Europa	

Tabla 2.4: Leyes de atenuación para países dentro del anillo de fuego.

Las leyes de atenuación son usadas para estudios de peligrosidad sísmica y se convierten en un punto importante en la estructura de la arquitectura propuesta como se detallará en el próximo capítulo.

2.2.7.2. Intensidad, PGA y PGV

Ya que la intensidad es la medida que permite cuantificar los daños ocasionados, es importante relacionar este parámetro subjetivo con alguna medida instrumental, como la aceleración sísmica. En 1942, Richter y Gutember (**Báth**, 1959) dedujeron una *Ecuación 2.2* general citada a continuación llegando a ser la más utilizada, donde A corresponde a la aceleración máxima en cm/s^2 :

$$\log(A) = -\frac{1}{2} + \frac{1}{3}I_{MM} \quad (2.2)$$

A partir de esta *Ecuación 2.2*, en el transcurso de los años ha habido alguna serie de modificaciones; como en 1951 Kawasumi con la aceleración promedio (**Kawasumi, H. T.**, 1951); en 1954 Neumann (**Neumann**, 1954) para distancias epicentrales mayores a 10 km; etc. En la siguiente *Figura 2.17* (**Wald; Quitariano; Heaton; Kanamori**, 1999) se muestra la variación entre las ecuaciones encontradas más importantes:

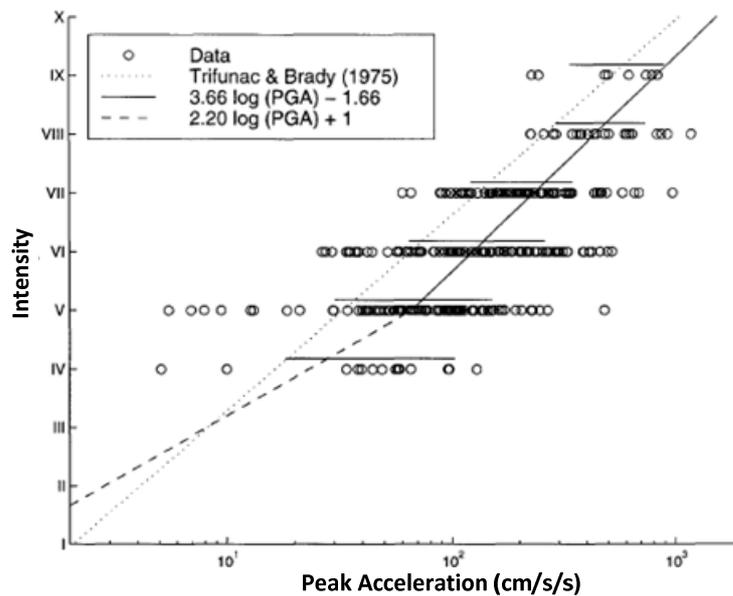


Figura 2.17: Comparación de relaciones entre intensidad vs. PGA.

A continuación, se presenta una comparación numérica acerca de las principales relaciones entre aceleración e intensidad (**Trifunac, M. D.; Brady, A. G.**, 1975) mostrada en la *Tabla 2.5*. Si se puede notar, hay relaciones que no definen la aceleración para valores de $I_{MM} = XII$, y es porque este valor solamente es un extremo, y nunca hasta la fecha ha existido uno que llegue a esta numeración. Las más relevantes relaciones corresponden a I_{MM} y Richter en la quinta columna:

I_{MM}	Ishimoto 1932 (*)	Kawasumi 1951 (*)	Herahberger 1956 (*)	Richter 1958 (*)	Neuman 1954	Medvedev 1969	Japan Me- teorological Agency 1973
I	0,1	0,5	0,3	0,7	2		<1
II	0,3	1,4	0,9	1,4	4		1-2
III	0,7	2,5	2,5	3,1	8		2-5
IV	1,5	4,5	6,6	6,6	16		5-10
V	3,6	14	17,8	14	32	12-25	10-21
VI	12	44	47,9	30	64	25-50	21-44
VII	50	89	128,8	64	130	50- 100	44-94
VIII	1.444	190	346,7	138	265	100- 200	94-202
IX	302	331	933,3	295	538	200- 400	202- 432
X	616	616	2.512	631	1.094	400- 800	
XI	1.122	1.000					
XII							

(*) Aceleración promedio

Tabla 2.5: Relación Aceleración vs. Intensidad de algunos estudios.

Igual que con la aceleración, se han realizado estudios para relacionar la I_{MM} con la velocidad / *Peak Ground Velocity (PGV)* y el desplazamiento para diferentes condiciones; como en (**Wald; Quitariano; Heaton; Kanamori**, 1999) realizado para California- Estados Unidos y mostrada en la *Figura 2.18*:

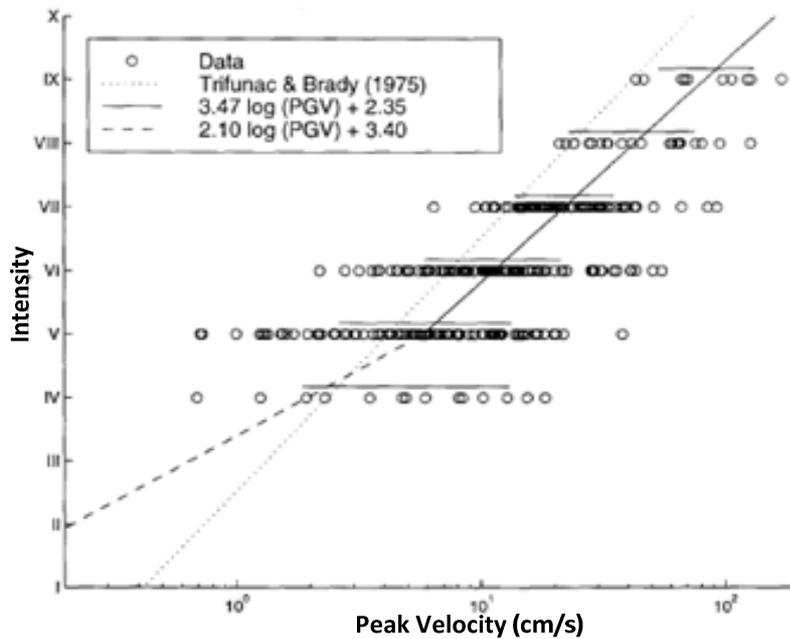


Figura 2.18: Comparación de relaciones entre intensidad vs. PGV.

2.2.7.3. Ecuaciones Sísmicas en Ecuador

Ya que las diferentes ecuaciones sísmicas son realizadas mediante información medida de sismos anteriores, estas son solamente aproximaciones y al igual que en muchos países, existen más de una ley para cada zona. En Ecuador, las ecuaciones más renombradas son las obtenidas por Aguiar y Castro en su trabajo en el año 2009 (**Aguiar, R.; Castro, C.**, 2009); y por Aguiar, García y Villamarín en el año 2010 (**Aguiar, R.; García, E.**, 2010); este último tiene como base registros que relacionan 21 sismos; la mayor parte en Ecuador y otros en el Sur de Colombia.

Estas leyes solamente son un reflejo de la gran peligrosidad sísmica a la que países como Ecuador, están sometidos. Tomando en cuenta el pequeño territorio que presenta Ecuador con relación a Colombia, Perú o Chile, el número de eventos sísmicos registrados es muy elevado. Aguiar en el 2009, a través de datos macrosísmicos del Ecuador citados en la *Figura 2.19* define una ley de atenuación de intensidades sin tomar en cuenta el tipo de sismo generado (por falla cortical o proceso de subducción); sin embargo en el 2010 definen nuevas leyes tomando en cuenta estos parámetros.

#	SISMOS	FECHA	Mw.	D (Km).								
				X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II
1	RIOBAMBA	04-02-1797	7.70	25.25	49.14	88.69	136.20	182.40	230.90	276.76	392.23	
2	OTAVALO	16-08-1868	7.17	44.79	81.23	105.31	233.45	271.51				
3	ESMERALDAS	31/01/1906	8.60		29.48	84.76	153.57	215.94	291.26			
4	PASTO CALLE	15/09/1944	5.92				34.03	38.47	45.15			
5	PELILEO	05/08/1948	6.93	11.46	14.80	20.95	28.94	37.50	53.90	77.24		
6	AMBATO	05/08/1949	6.37		77.79	93.89	143.76		334.23			
7	NAPO	11/05/1955	6.98			40.06	66.71	180.72				
8	BAHÍA	16/01/1956	7.30			32.60	53.00	107.26	214.95	326.78		
9	ESMERALDAS	10/01/1958	7.80				101.97	146.89	219.59	284.28		
10	PASA	30/07/1960	5.97				22.14	24.28	30.99	55.86	88.02	
11	ALAUÍ	08/04/1961	6.35				26.63	43.15	57.47	83.58		
12	BAHÍA	19/05/1964	6.40			44.39	58.70	85.40	109.02	176.52		
13	NABÓN	22/03/1966	6.21			44.03	49.39	76.51	92.27	174.11		
14	PASTO CALLE	06/10/1976	5.92			12.64	17.82	24.02	43.76	74.62	103.96	
15	ESMERALDAS	09/04/1976	6.31				15.96	105.61	173.95	229.08	278.52	
16	TUMACO	12/12/1979	7.70		27.49	68.94	163.99	250.60				
17	BAEZA	03/05/1987	7.00		16.61	28.70	56.78	80.47	106.85	132.32	200.64	
18	BAHIA DE CARÁQUEZ	08/04/1998	7.10			350.53	354.02	369.14	381.07	422.51	430.89	
19	MACAS	03/10/1995	6.90			160.93	202.61	222.90	247.40	257.29		
20	PUJILÍ	28/03/1996	5.72				33.57	42.07	60.69	83.82	118.03	174.42

Figura 2.19: Información macrosísmica en Ecuador (Aguiar 2009).

En esta tesis se ha decidido trabajar con la ley de atenuación obtenida por Aguiar en el 2009, la cual está definida por la *Ecuación 2.3*; donde I representa la intensidad, M_w es la magnitud de Kanamori o momento sísmico y D la distancia Hipocentral:

$$I = 3,3577 + 1,0013M_w - 0,8856\ln(D + 10) \quad (2.3)$$

A continuación, en la *Figura 2.20* y *Figura 2.21*, se observa una comparación gráfica entre las diferentes leyes de atenuación existentes para el Ecuador y seguido la justificación de la relación usada.

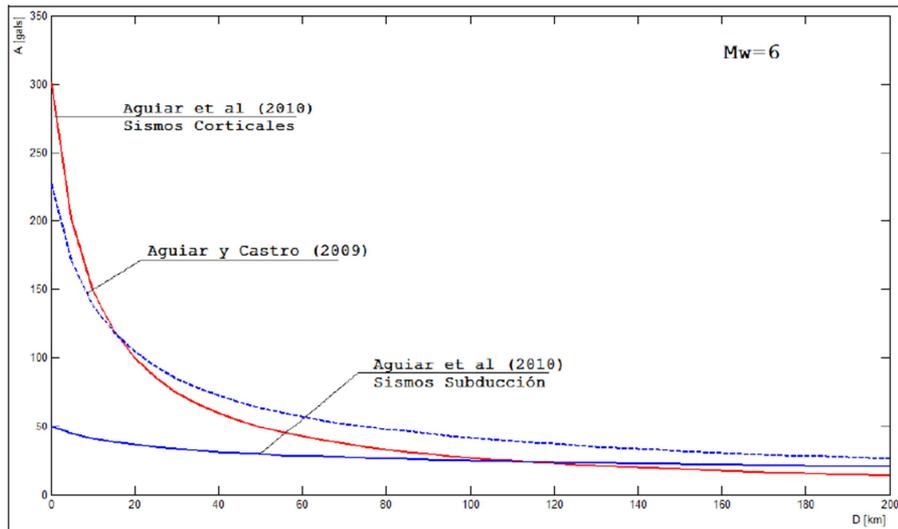


Figura 2.20: Leyes de atenuación en Ecuador para sismo de magnitud 6.

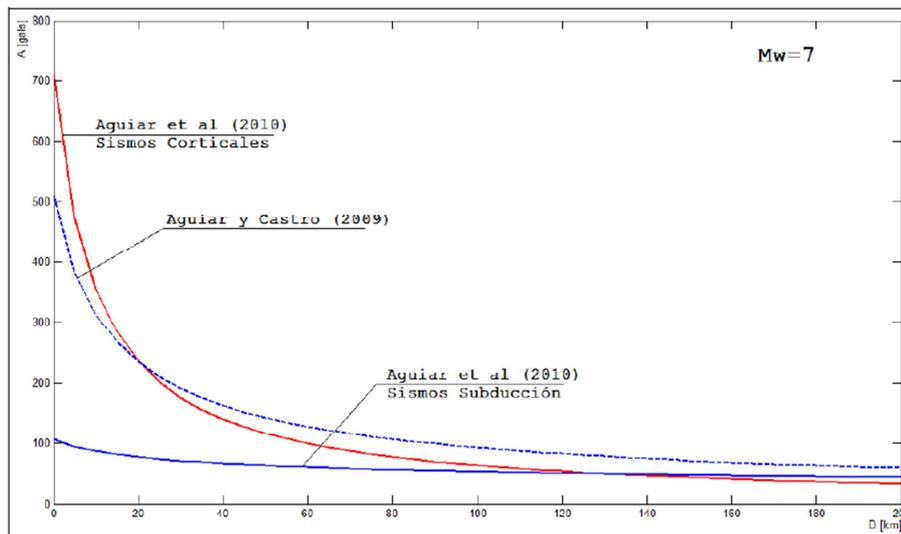


Figura 2.21: Leyes de atenuación en Ecuador para sismo de magnitud 7.

- La ley de atenuación utilizada fue realizada, con ayuda de toda la información obtenida por sismógrafos nacionales los cuales cubría todo el territorio hasta ese entonces (2009).
- La ley de atenuación utilizada ha sido empleada en muchos estudios sismológicos del Ecuador, estudiados por otros sismólogos tanto nacionales e internacionales lo que certifica la buena aproximación obtenida por Aguiar.
- Como se muestra en las anteriores *Figura 2.20* y *Figura 2.21*, mantiene una gran aproximación a las obtenidas por el mismo autor en el 2010 donde diferencia entre los 2 diferentes tipos de sismos, corticales y de subducción.

Por otro lado, para el cálculo de la relación entre *PGA* e intensidad se usan registros sísmicos detallados en (**Aguiar, R.; García, E.**, 2010) obteniendo la *Ecuación 2.4* y *Ecuación 2.5*, donde A_{max} representa la aceleración máxima e I_{MM} la intensidad sísmica de Mercalli Modificada. Gráficamente se observa en la *Figura 2.22*:

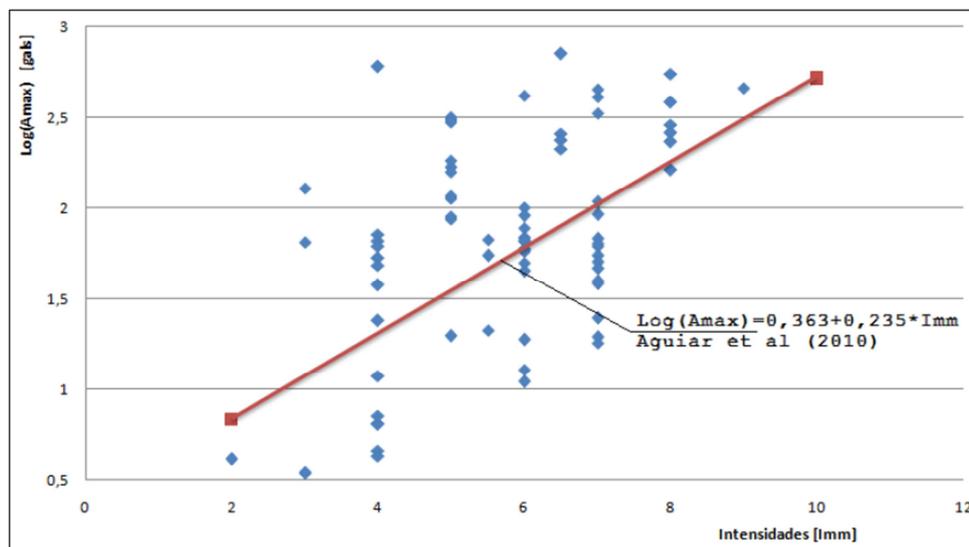


Figura 2.22: Relación entre Aceleración máx. vs. Intensidad.

$$\log(A_{max}) = 0,3629 + 0,2355I_{MM} \quad (2.4)$$

$$\log(A_{gals}) = 1,2474 + 0,3735 * M_w - 0,4383\log(D + 10) \quad (2.5)$$

Si se observa, la *Ecuación 2.4* lleva mucha similitud con la *Ecuación 2.6*, que fué obtenida en 1982 por Saragoni (**Saragoni, R.; Crempien, J.; Ayala, R.**, 1982), la cual se empleaba como ecuación general en la mayoría de estudios en diferentes zonas y países:

$$\log(A_{max}) = 0,345 + 0,222I_{MM} \quad (2.6)$$

La *Ecuación 2.4* y la *Ecuación 2.5*, serán utilizadas para validaciones de la Arquitectura Propuesta en el apartado 5.3.1.

2.3 Sistemas Distribuidos

2.3.1 Definición y Características

Sin duda alguna, la computación de hoy en día es totalmente diferente a la de hace ya decenas de años atrás; incluye nuevos componentes, intenta abastecer las necesidades actuales tomando en cuenta la seguridad, velocidad, ancho de banda, etc; intentando alcanzar hasta los lugares más remotos y escondidos; acoplándose a los recursos y necesidades de cada sistema; lo que supone un gran desafío para investigadores día tras día. Así, pasamos de un ordenador del tamaño de una habitación a miniordenadores; luego de un ordenador de escritorio a uno portátil; siguiente de una conexión alámbrica a una inalámbrica; y de un solo procesador a varios procesadores para un mismo fin; y al fin, de los sistemas centralizados a los sistemas distribuidos, que no son más que sistemas con componentes localizados dentro de una red de computadoras que se comunican y coordinan sus acciones solo por el traspaso de mensajes (**Coulouris, G.; Dollimore, J.; Kindberg, T.; Blair, G.**, 2011), lo cual engloba implícitamente características esenciales:

- **Concurrencia de componentes:** Significa que los recursos disponibles en la red puedan ser utilizados al mismo tiempo (simultáneamente) por los usuarios de la misma red. Así el trabajo de cada usuario o cliente es independiente al de otro, o en otras palabras tener aplicaciones paralelas.
- **No Reloj Global:** La coordinación para la transferencia de mensajes no tienen temporización general, está más bien distribuida en cada componente.
- **Tareas/Fallos independientes:** Significa que si un cliente tiene un fallo, este es independiente de los demás, garantizando así, el estado del sistema. El que un usuario deje de trabajar no significa que los demás dejen de hacer su trabajo, lo cual logra objetivos con mayor efectividad.

Nos encontramos envueltos en estos sistemas, incluso sin saberlo: en redes móviles, redes corporativas y empresariales, juegos en línea multi-jugador y otro sin fin de aplicaciones en Internet, como *Heathcare*, educación, ciencia, medio ambiente, como los citados en (Coulouris, G.; Dollimore, J.; Kindberg, T.; Blair, G., 2011). Los avances tecnológicos hoy en día permiten la miniaturización de ordenadores, como lo son los *smartphones*; y conjunto con las redes móviles inalámbricas, la facilidad de uso, facilidad de carga; todo ayuda al desarrollo masivo de aplicaciones de este tipo; donde los *smartphones* se conectan a un servidor para recibir una determinada respuesta. La *Figura 2.23* muestra la interconexión de diferentes dispositivos portables en un sistema distribuido:

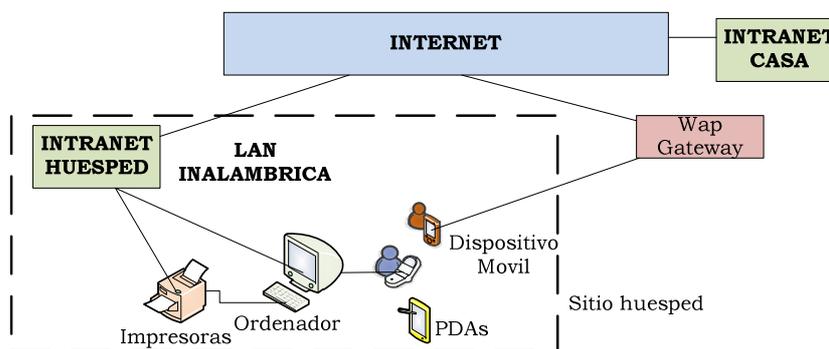


Figura 2.23: Dispositivos de mano y fijos en un ambiente distribuido.

2.3.2 Ventajas y Desafíos

Ciertamente el modelo distribuido ofrece ventajas frente a un modelo centralizado, claro está, sin desmerecer el segundo modelo que por años ha sido escogido para innumerables proyectos. El modelo distribuido, hoy por hoy, es uno de los más escogidos y utilizados por las ventajas que ofrece. Las principales ventajas de este modelo son citadas en la *Tabla 2.6*:

FACTOR	JUSTIFICACIÓN
Confiabilidad	Característica implícita de estos sistemas. Una arquitectura debe sobrevivir a los fallos independientes.
Crecimiento por incrementos	Se puede añadir poder de cómputo en pequeños incrementos al incorporar elementos de procesamiento en la red.
Escalabilidad	Poder añadir clientes a un mismo sistema sin coste adicional (Ni trabajo, ni económico)
Flexibilidad	La carga de trabajo se torna eficiente dividida entre diferentes dispositivos. Incluso varios servidores pueden funcionar con mayor eficiencia que un <i>mainframe</i> .
Economía	Para aumentar potencia de cálculo basta añadir servidores que pueden albergar mayor cantidad de clientes. Es más económico y factible el adquirir pequeños procesadores en diferentes instantes de tiempo (dependiendo de las necesidades) que el requerir un gran <i>mainframe</i> que implica un costo exagerado.
Movilidad	Con ayuda de los sistemas de comunicación, no es necesario que los clientes se encuentren físicamente con los servidores.

Tabla 2.6: Ventajas de un modelo distribuido.

A pesar de las ventajas que presenta un sistema distribuido y que motiva a su empleo; el diseño de un sistema de este tipo conlleva a tomar en cuenta algunos desafíos; desafíos importantes de contemplar y que se detallan en la *Tabla 2.7* (**Coulouris, G.; Dollimore, J.; Kindberg, T.; Blair, G.**, 2011):

FACTOR	JUSTIFICACIÓN
Heterogeneidad	Las aplicaciones y servicios deben ser capaces de abarcar a todos y cada uno de sus clientes; sin embargo no se puede asegurar que todos los clientes sean del mismo tipo: que tengan las mismas características tanto <i>hardware</i> como <i>software</i> , o que provengan del mismo fabricante, o que mantengan la misma red de conexión, y algunas más. Un sistema distribuido debe permitir la variedad y diferencia de clientes.
Confidencialidad	Seguridad: protección contra individuos que no son parte del sistema. La información debe ser accesible solamente a las personas adecuadas o autorizadas; por tanto solamente por los clientes del sistema.
Integridad	Seguridad: protección de la información. La información debe ser real y actualizada.
Disponibilidad	Seguridad: protección contra la interferencia de los procesos, siendo accesible en cualquier momento.
Concurrencia	La habilidad de recibir información de los clientes de forma simultánea.
Transparencia	Ocultar al cliente todo lo que sucede internamente.
Fiabilidad y tolerancia a fallos	Capacidad para realizar correctamente y en todo momento las funciones para las que se ha diseñado.

Tabla 2.7: Desafíos de un sistema distribuido.

2.3.3 Modelo Cliente Servidor

El modelo Cliente-Servidor es un modelo distribuido en el que, como muestra la *Figura 2.24*, un/o varios servidor(es) se reparten tareas para mejorar su rendimiento y satisfacer las peticiones de los clientes. La separación entre cliente y servidor no siempre es física, pudiendo residir ambos en un solo equipo; y tampoco se limitan a un solo programa, pudiendo existir diferentes tipos de servidores especializados en un objetivo como: servidores Web, servidores de archivos, servidores de bases de datos, servidores de correo, etc.

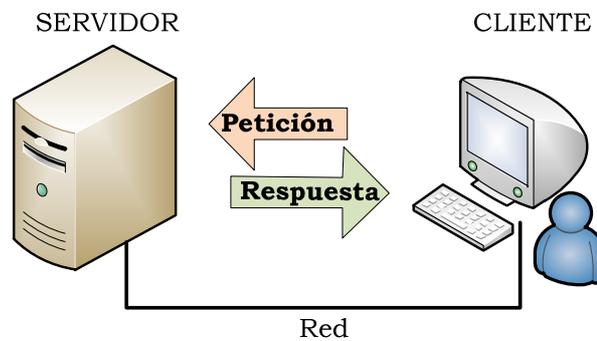


Figura 2.24: Modelo Cliente Servidor.

Las principales ventajas que atrae este modelo con respecto al procedimiento que se requería anteriormente a éste, se citan en la *Tabla 2.8*; y en la *Tabla 2.9* (**Zambrano, A.; Bonilla, J.**, 2009) se detallan las ventajas adicionales de usar el modelo:

	ANTES	DESPUÉS
Rigidez	Se limitaba a un solo equipo de procesamiento.	Un servidor puede procesar varias solicitudes de diferentes clientes. De igual manera, un cliente puede hacer peticiones a diferentes servidores.

Vinculación al sistema	Toda la información se encuentra al alcance de cualquier usuario. No existe seguridad del sistema ya que se encuentra en una sola capa.	Existe un repositorio de datos, donde éstos residen seguros. El usuario no tiene vinculación total con el sistema, solamente con su propia interfaz.
Solapamiento, duplicación y redundancia	Con la idea de que todos los usuarios tengan la información necesaria a la mano, se trabajaba con varios archivos con la misma información y diferentes cambios, provocando redundancia y duplicación.	La información se encuentra al alcance de todos los usuarios, totalmente actualizada y sin duplicidad.
Factor de tiempo crítico	Se trabaja con un único archivo compartido, incapacitando a los demás usuarios el uso de dicha información.	Los usuarios pueden hacer uso de la información de manera simultánea, de esta forma se optimiza el tiempo de trabajo.
Desmotivación del usuario/cliente	El usuario tiene un trabajo masivo, repetitivo y desmotivador.	El modelo brinda al usuario mayores beneficios como: validaciones en tiempo de ejecución.
Ordenadores costosos	Para tener mayor satisfacción en la respuesta, se requiere subir las características de cada ordenador.	Los clientes pueden tener cualquier característica; el procesamiento fuerte lo realiza el servidor.

Tabla 2.8: Soluciones que acarrea el modelo Cliente Servidor.

<p>Recursos centralizados</p>	<p>Los clientes son conectados a través de la red a un punto central llamado Servidor. Desde ahí puede administrar cualquier recurso común a los usuarios.</p>
<p>Administración</p>	<p>El punto fuerte de esta arquitectura es el Servidor, por lo cual se le entrega un mantenimiento constante; mientras que los clientes requieren una administración leve.</p>
<p>Red escalable horizontalmente</p>	<p>El número de clientes puede crecer a medida que se requiera, sólo limitada por las capacidades del servidor.</p>
<p>Inter-operatividad entre distintos <i>hardware</i> y <i>software</i></p>	<p>Ofrece la capacidad de trabajar con el equipamiento actual, y no es necesario hacer un financiamiento extra para adquirir elementos nuevos. Además de no estar atados a que toda la red tenga una misma estructura de <i>hardware</i> ni de <i>software</i>, esta arquitectura permite operar con cualquier variedad de los mismos.</p>
<p>Costos</p>	<p>Contribuye considerablemente a la reducción de costos, puesto que, brinda una gran versatilidad en fabricantes, características y costos.</p>
<p>Interacción con el usuario</p>	<p>Es muy favorable al presentar interfaces más interactivas, amigables, de fácil empleo, e intuitivas para el usuario.</p>

Tabla 2.9: Ventajas de la arquitectura Cliente Servidor.

2.4 Sistemas de Tiempo Real

Un Sistema en Tiempo Real (STR), por definición, es un sistema en el cual la exactitud del “comportamiento del sistema” no solamente depende de resultados lógicos de computación, sino también del tiempo (físico) donde el resultado se produce (**Buttazzo**, 1997), entendiéndose como “comportamiento del sistema” como la secuencia de salidas en tiempo del sistema. Los sistemas de tiempo real son distribuidos (o la gran mayoría lo son), lo que consiste en un conjunto de nodos intercomunicados en una red de comunicación de tiempo real.

Un STR debe responder ante un estímulo del ambiente como muestra la *Figura 2.25*; dentro de intervalos de tiempo dictaminados por este mismo, sea en el orden de milisegundos, segundos o minutos, etc. Comúnmente se tiende a confundir pensando que un STR solamente se relaciona a la rapidez y que los datos sean correctos, sin embargo un STR no se debe a un umbral fijo de tiempo, por lo que cada sistema, dependiendo de sus exigencias y objetivos tendrá diferentes intervalos de tiempos y umbrales variados.

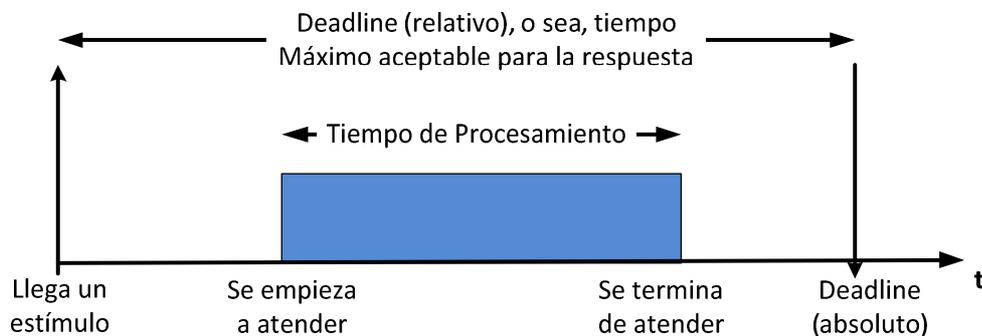


Figura 2.25: Línea temporal en un STR.

Todo esto nos conduce a dos características fundamentales de los STR que son: deterministas y predecibles. Por tanto, primero se debe garantizar la corrección del comportamiento temporal, pensando en el mejor y peor caso (nunca iguales, ligado a los requerimientos de cada sistema); y segundo, el dar una respuesta determinista y acotada en el tiempo para llegar a cumplir el objetivo (**Perez, I**, 2009).

Por lo general para lograr estos objetivos temporales, el diseñador/programador debe usar:

- Tareas concurrentes (que se ejecuten al mismo tiempo); por tanto cada proceso es una tarea diferente reduciendo significativamente el tiempo.
- Otorgar prioridades a los procesos; entre mayor prioridad posea una tarea más rápido será procesado, dejando atrás a las de menos prioridad.
- Usar semáforos, donde evita que procesos se interrumpan unos a otros.

Estos sistemas tienen que ser correctamente evaluados y diseñados, con el fin de que cada proceso sea óptimo, capaces de reducir al máximo el procesamiento de datos; y por ende, es importante validarlos mediante simulaciones y pruebas de varios tipos (dependiendo del sistema).

2.4.1 Sistema en Tiempo Real Crítico

Los *STR* pueden dividirse en dos grandes grupos: Si el resultado tiene utilidad incluso luego de pasar el intervalo máximo, que también suele llamarse *deadline* (Kopetz, H., 2011), es llamado “*soft*”, “no crítico” o “suave” (en español) y caso contrario, si el tiempo es totalmente firme, donde las consecuencias de sobrepasar este intervalo es crítico incluso catastrófico, es llamado “*hard*” o en español “crítico” o “duro”.

Ejemplos de estos tipos de sistemas existen incluso en la vida cotidiana; un claro ejemplo de un sistema “*hard*” se encuentra en la gestión de emergencias, en las alertas tempranas: así como muestra la *Figura 2.26*, en el caso de que un sismo ocurriese, la comunidad debería ser alertada inmediatamente para poder tomar una decisión (crítica); pero si la alerta es emitida con un retardo excesivo, por más que los cálculos sean exactos, la alerta pierde su sentido primordial ya que no cumple su objetivo: no existiría ayuda hacia la ciudadanía. Existen casos en los que se prefiere renunciar a un poco de exactitud (procesamiento de cálculo) que a segundos o incluso milisegundos de ganancia en una alerta. Esta tesis, es un claro ejemplo de lo citado.

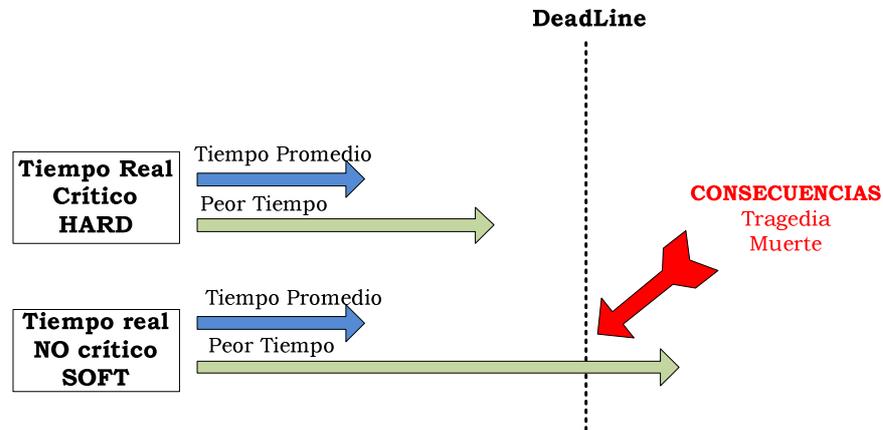


Figura 2.26: STR críticos y no críticos.

2.5 Sistemas de Gestión de Emergencias

En la literatura también se puede encontrar como Gestión de Desastres y consiste en obtener un marco referencial para reducir la vulnerabilidad a riesgos (Drabek; Hoetmer, 1991), que implica: una administración de recursos adecuada, tanto recursos físicos, económicos como humanos; y brindar las soluciones de manera eficiente en el menor tiempo posible. Una correcta planificación debe prevenir un evento de catástrofe y también desarrollar el mejor plan de acción post-evento. Por lo general se siguen variaciones del proceso cíclico que se muestra en la Figura 2.27 para lograr dichos objetivos:

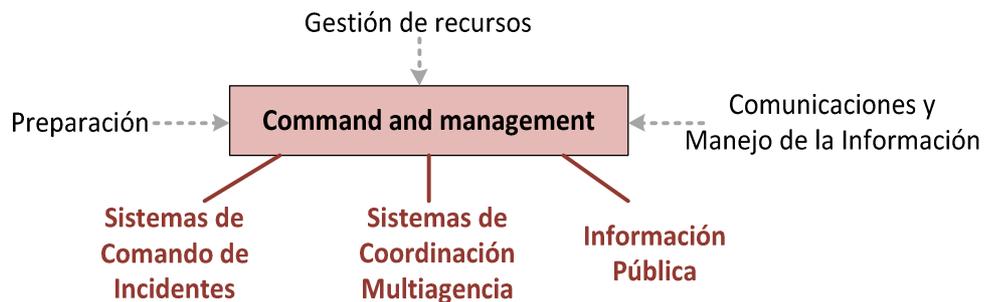


Figura 2.27: Diagrama de un sistema de gestión de emergencias.

Existen varios organismos que se dedican a regular estos planes de acción donde constan normas específicas a cumplir; así, cuando ocurra un evento, el Centro de Control (quien toma las decisiones importantes), debería ya tener un plan preparado y listo para ejecutarse que le ayude a mitigar de la mejor manera los efectos de dicha emergencia; así también, el asegurar la continuidad de negocios y operaciones que representen la menor cantidad de dinero perdido.

2.5.1 Sistemas de Gestión de Emergencias en Ecuador

Dentro de la gestión de emergencias se incluyen eventos como actos de terrorismo, sabotaje industrial y lo más común, desastres naturales como huracanes, inundaciones, corrimientos de tierra y terremotos. Depende de cada lugar, que cada evento se produzca con más o menos frecuencia; el Ecuador por su ubicación está amenazado por inundaciones, sequías, erupciones volcánicas, deslizamientos, y el 80% de la población se encuentra sujeta a desastres originados por sismos y el 35 % se halla asentada en zonas amenazadas por deslizamientos, tierras y fluidos de lodo (**Roldán, G.**, 2000). Y si comparamos el impacto de los desastres dentro de la historia Ecuatoriana, los sismos son los causantes de las consecuencias más graves, sobre todo en lo que se refiere a número de víctimas (**Demoraes, F.; D'ercole, R.**, 2011). En (**Banco Interamericano de Desarrollo**, 2010), se realiza una zonificación de las áreas más expuestas a diferentes fenómenos de origen natural para elaborar planes de prevención, mitigación y preparación ante desastres; y de la misma manera reducir la vulnerabilidad de la población potencialmente afectada.

La situación actual del Ecuador en este tema ha mejorado sustancialmente en los últimos años, ya que se ha creado incluso la Secretaría Nacional de Riegos (SNRE) (**Gobierno Nacional de la República del Ecuador**, 2014), la cual se dedica exclusivamente a articular políticas públicas con la gestión e inversión pública denominado como “El Plan del Buen Vivir” con objetivo “Mejorar la calidad de vida de la Población” en el periodo 2013 -2017 (**Secretaría de Gestión de Riesgos Ecuador**, 2014). De ésta, en el cual se puede indagar para obtener más información acerca de la organización de los planes de mitigación de riesgos, se muestra los actores que intervienen en este propósito en la *Figura 2.28*:

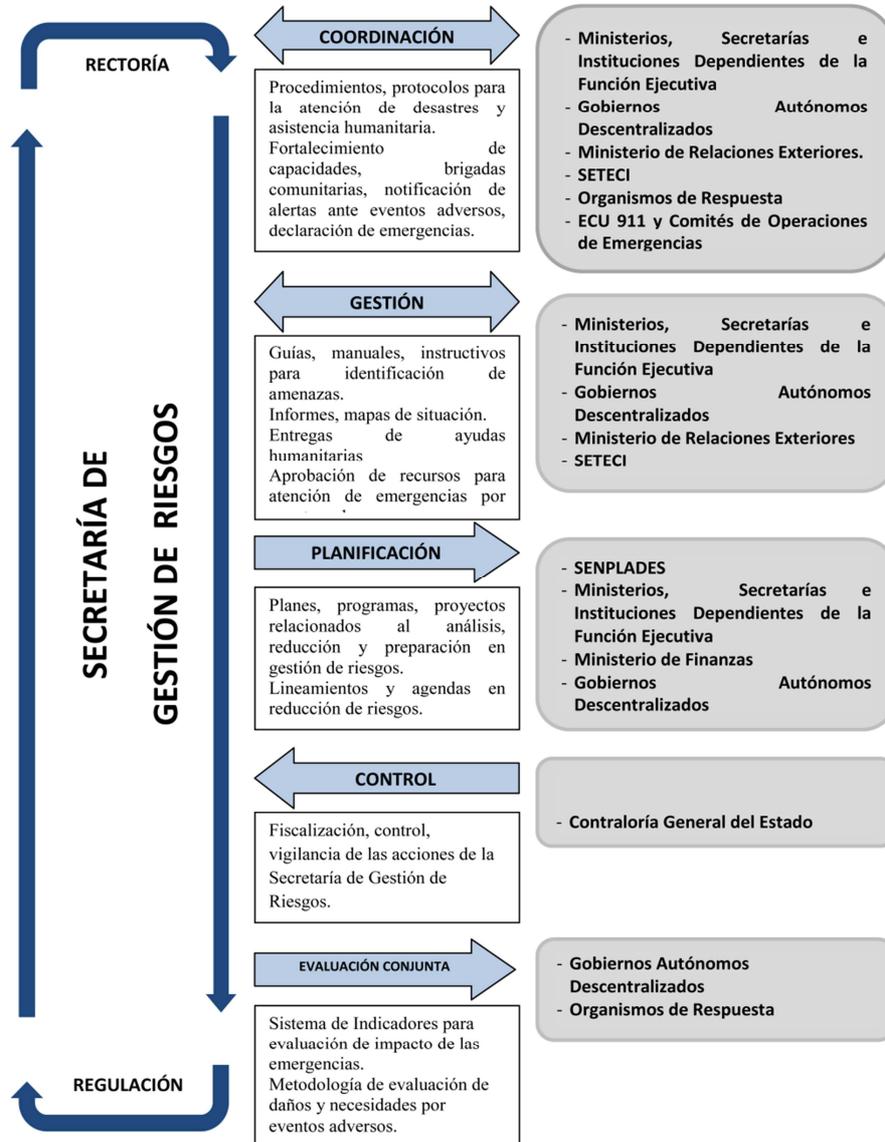


Figura 2.28: Actores dentro del “Plan de buen vivir” - Ecuador.

Cabe la pena recalcar que el objetivo de esta tesis no es realizar un plan de riesgos sísmicos, sino solamente presentar una nueva propuesta de ayuda rápida en la gestión pre-evento y post-evento sísmico.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA

ARQUITECTURA

“Aquella teoría que no encuentra aplicación práctica en la vida, es una acrobacia del pensamiento”

Swami Vivekananda

CONTENIDO

- 3.1 INTRODUCCIÓN
 - 3.2 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS
 - 3.3 ARQUITECTURA PROPUESTA
 - 3.4 PRIMERA CAPA: APLICACIÓN CLIENTE “E-QUAKE”
 - 3.5 SEGUNDA CAPA: SERVIDOR INTERMEDIO
 - 3.6 TERCERA CAPA: CENTRO DE CONTROL
 - 3.7 ANTECEDENTES E INICIATIVAS ACTUALES
 - 3.8 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LA ARQUITECTURA
-

3.1 Introducción

Esta tesis se centra en solventar un problema real y actual, convirtiendo a este trabajo en una útil herramienta para la gestión de emergencias sísmicas; que como hemos recalado ya en los dos capítulos anteriores, la amenaza y riesgo sísmico en lugares como Ecuador, es una constante preocupación tanto para autoridades y la comunidad. Y por tanto, esta tesis, supone mayores esfuerzos al sobresalir del conocimiento teórico al experimental.

Este capítulo comienza planteando el problema específico que se quiere solventar, detallando así, los requerimientos del sistema a realizar. A continuación, se dan a conocer las distintas alternativas desarrolladas por otros centros de investigación (los más relevantes) en el tema, seguidos de un análisis profundo de ventajas y desventajas que cada uno conlleva con respecto a la presente propuesta. Posteriormente, se detalla la arquitectura con su respectiva justificación en cada uno de sus capas, dando a conocer su funcionamiento básico y las obligaciones de cada una de estas.

El estudio de los sensores embebidos dentro de dispositivos electrónicos también es parte de este capítulo, ya que la arquitectura aprovecha dispositivos de la comunidad, como son los teléfonos inteligentes llamados y conocidos como “*smartphones*”.

Por último, luego de haber entendido la estructura de la arquitectura, puntualizamos las ventajas conseguidas por este diseño innovador.

3.2 Análisis de Requerimientos

Teniendo en cuenta el gran riesgo sísmico en el mundo y en el Ecuador, el cual se especificó en el Capítulo 1; este apartado se enfoca en dar a conocer el qué debe cumplir la arquitectura para alcanzar los objetivos planteados.

Se realiza un listado de requerimientos a cubrir por esta tesis, tanto para las alertas tempranas, correspondiente al pre-evento, como a la gestión post-evento. Dichos requerimientos se detallan de mejor manera en la *Tabla 3.1*:

PROBLEMA	REQUERIMIENTO
Pensando en un país en desarrollo como es Ecuador, es imposible económicamente la adquisición masiva de equipamiento sísmico que cubra todo el territorio.	ARQUITECTURA ECONÓMICA
	COBERTURA SÍSMICA NACIONAL
La falta y necesidad de un sistema de gestión de emergencias sísmicas en Ecuador.	GESTIÓN DE EMERGENCIAS SÍSMICAS
Un sistema de alertas tempranas ágil y eficiente que brinde tiempo extra a la ciudadanía para la toma de una mejor decisión	ALERTAS TEMPRANAS (PRE-EVENTO)
	SISTEMA EN TIEMPO REAL
Un mejor manejo de los cuerpos de ayuda (Bomberos, policía, guardia civil, ambulancias, etc.) luego de la catástrofe mediante el conocimiento global de la situación del país.	COMPARTIMIENTO DE RECURSOS Y ENVÍO DE INFORMACIÓN (POST-EVENTO)
	SISTEMA EN TIEMPO REAL
La necesidad de acoplar un sistema de este tipo, a las características de la zona, de la población, y de los recursos del Ecuador	ARQUITECTURA PERSONALIZABLE A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA
Un sistema que garantice tanto seguridad de datos y seguridad de la información del usuario	COMUNICACIÓN FIABLE
	AUTENTICACIÓN DE USUARIO
	TRANSPORTE DE LA INFORMACIÓN SEGURA

Tabla 3.1: Requerimientos del sistema a desarrollar.

Es importante recalcar, que los requerimientos mencionados en la *Tabla 3.1* conllevan a nuevos requerimientos que afrontar, los cuales serán expuestos y solucionados puntualmente en sus respectivos apartados.

3.3 Arquitectura Propuesta

Dados los problemas del sistema citados en el apartado 3.2, se diseña una arquitectura jerárquica en capas, mostrada muy a leves rasgos en la *Figura 3.1*, que solvete todos los requerimientos anteriormente expuestos.

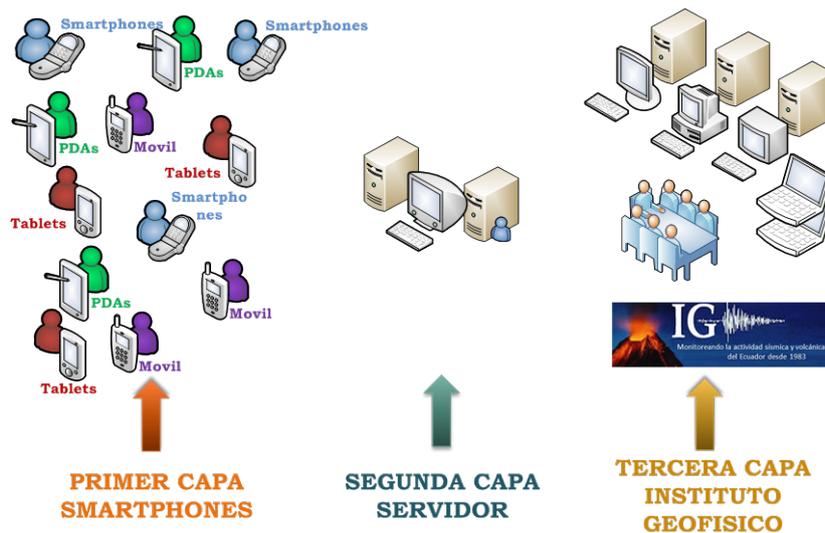


Figura 3.1: Arquitectura en 3 capas.

Una arquitectura en 3 capas donde:

- **CAPA 1:** Esta primera capa se encuentra conformada por todos los usuarios que hayan y mantengan instalado la aplicación móvil “*e-quake*”. Cada uno de estos usuarios, se convertirá en sensores de la arquitectura aprovechando sus sensores incrustados para actuar como acelerógrafos.

“*e-quake*” es una aplicación móvil diseñada e implementada para recopilar, analizar y procesar datos de aceleración, y en caso de definir la existencia de un pico (evento sísmico), emitir inmediatamente una alerta al segundo nivel. Se espera que la aplicación tenga una mejor acogida en zonas donde existe un riesgo continuo de sismos o erupciones volcánicas como es la parte central por donde cruza la cordillera de los Andes. Entre mayor sea la acogida de la aplicación “*e-quake*”, mayor número de sensores se tendrá, así como un mayor número de dispositivos sísmicos cubriendo el territorio incrementando la precisión de la arquitectura.

- **CAPA 2:** La capa intermedia corresponde a un servidor con características físicas suficientes diseñado y programado especialmente para cubrir las necesidades de la arquitectura. Su función es analizar las muestras recibidas provenientes de todos los clientes de la primera capa en un rango de cobertura determinado, y a partir de esto, definir si realmente ha existido un sismo o no. Esto se debe a que, un movimiento brusco por parte del usuario puede ser confundido con un evento sísmico, por lo que este servidor, llamado desde ahora “Servidor Intermedio”, realiza una serie de análisis juntando todas las muestras en cada determinado tiempo y de ser el caso, alertar a cada uno de sus usuarios.

Posteriormente, luego del evento, el Servidor Intermedio debe ayudar tanto a la tercera capa, como a la primera, con la compartición de recursos para obtener una visión global y total del desastre.

Éste debería ser instalado en un lugar estratégico y considerado seguro de forma que se pueda garantizar la comunicación entre capas logrando fiabilidad.

- **CAPA 3:** Es llamado Centro de Control, como muestra la *Figura 3.1*. Se prevé instalarlo en algún lugar estratégico de toma de decisiones como el *IGEPN* o al servicio integrado de seguridad *ECU911* (**Gobierno Nacional de la República del Ecuador**, 2015) en la capital Ecuatoriana, Quito. Este es el lugar estratégico donde se toman las decisiones importantes.

La comunicación entre capas es bidireccional, entendida en dos sentidos (*Up*) y (*Down*). Para entender algo mejor el envío de mensajes entre capas se presenta la *Figura 3.2* y la *Figura 3.3* respectivamente, donde se detalla la información a entregar por cada capa en cada sentido:

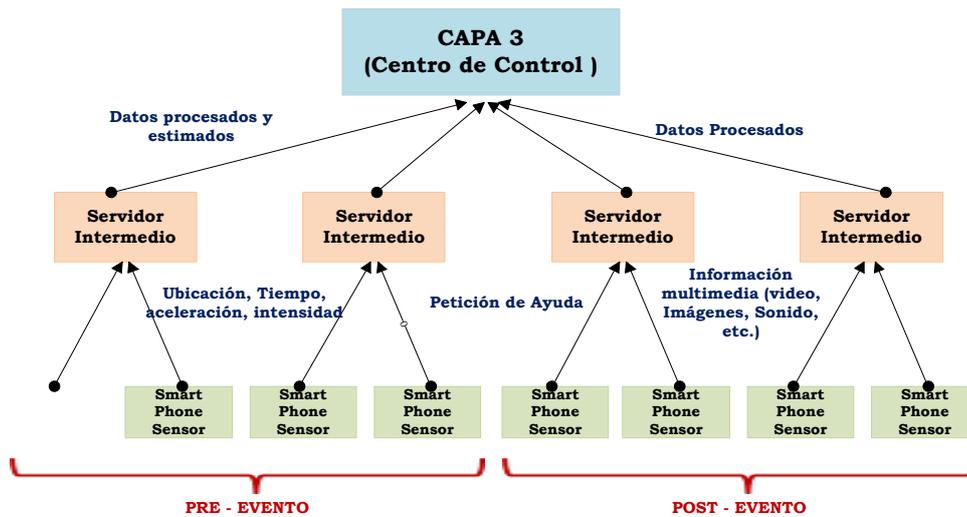


Figura 3.2: Comunicación "up" entre capas.

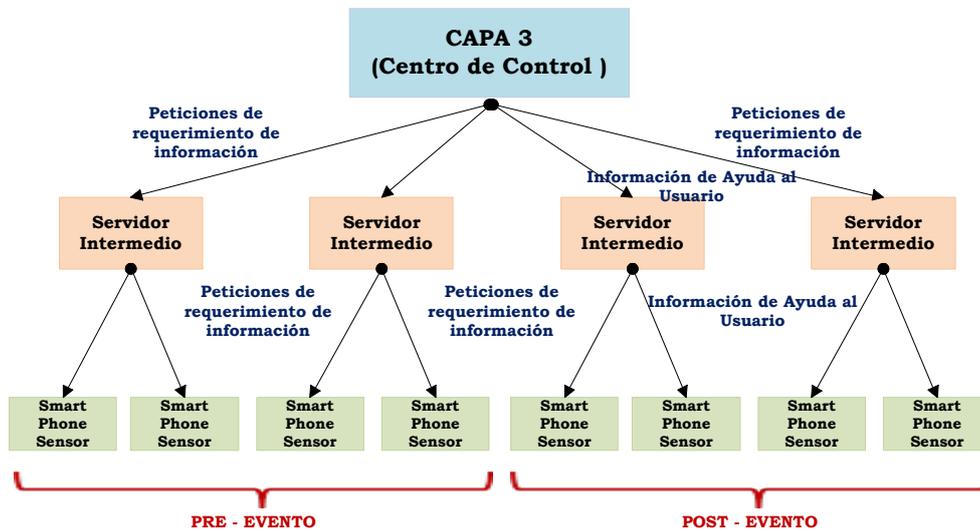


Figura 3.3: Comunicación "down" entre capas.

3.3.1 Modelo JDL (Joint Directors of Laboratory)

Es necesario combinar la información dentro de la red de sensores (primera capa) usando un proceso de integración de datos o también llamada *fusión de datos* que corresponda a un objeto real, en este caso la aceleración/intensidad, dentro de una representación consistente, precisa y útil. Esta tesis es un claro ejemplo de fusión multi-sensor, basándonos en dos premisas:

- La fusión de datos de fuentes poco fiables, (Confiabilidad < 0,5), no aporta ninguna mejora.
- La fusión de datos de fuentes muy precisas (Confiabilidad > 0,95) no aporta ninguna mejora significativa. Así si nuestros sensores son muy precisos no tiene sentido invertir tal esfuerzo. Sin embargo, si este fuera el caso, la fusión de información seguiría mejorando el resultado.

De estas dos premisas se justifica el proceso de fusión de datos en esta arquitectura, puesto que los *smartphones* aunque no asemejan ni por cerca la precisión de un sismógrafo, mantienen una precisión aceptable, como se corrobora en otros proyectos y en este mismo, en el apartado 5.2.1.1; y también, si los *smartphones* entregarían información demasiado precisa, la fusión de datos no aportaría mejora considerable. Por tanto la fusión de datos, es una mejora necesaria en la arquitectura a desarrollar agregando una serie de ventajas (Hall; Llinas; Waltz, E, 2008):

- **Robustez:** Brinda redundancia de 1 sola muestra. Además si una muestra por alguna razón no puede ser entregada, el sistema aún sigue operativo, pero tal vez con menor confiabilidad y mayor grado de error.
Notar que se entiende como muestra, a 1 mensaje “*e-quake*” enviado por un usuario en un tiempo determinado.
- **Cobertura extendida:** Puede cubrir cualquier área física, solo dependería de la capacidad de procesamiento del servidor con el cual se trabaje. La correcta fusión de los datos de los sensores distribuidos por el espacio dan una mejor resolución que uno solo de ellos.

- **Caracterización del entorno:** La información de muchos sensores permite caracterizar de mejor manera el objeto que se esté midiendo, en nuestro caso, el entorno sísmico en Ecuador, en concreto la aceleración sísmica.
- **Mayor confianza, menos incertidumbre:** La confianza aumenta a mayor número de muestras se fusionen, como detalla (Varshney, 1997) y visualmente en la *Figura 3.4*:

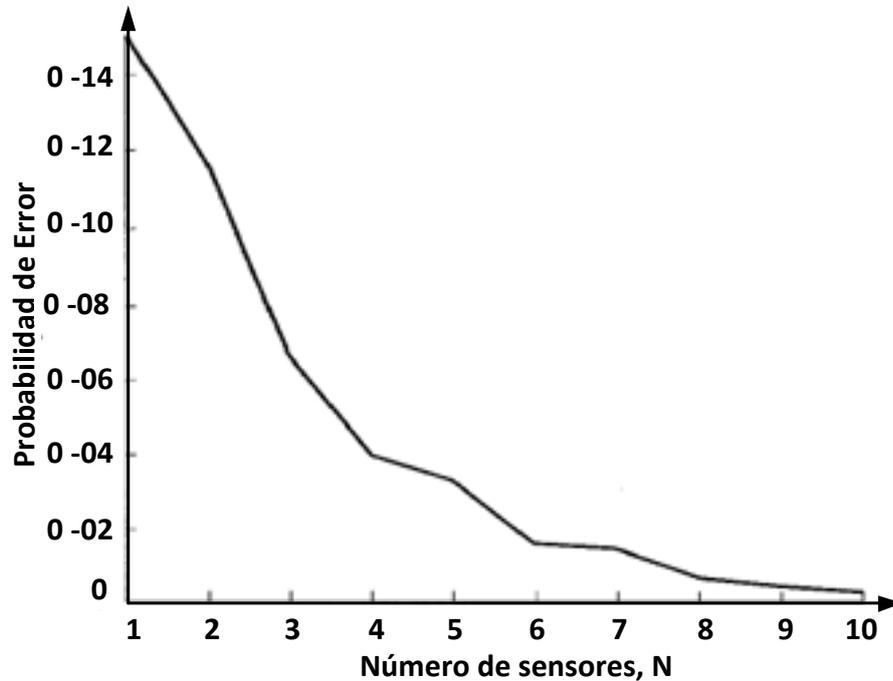


Figura 3.4: Eficiencia de decisión por medio de la fusión multi-sensor vs. Número de sensores.

JDL es un modelo dentro de la comunidad de Fusión de Datos originado por *U.S Directors of Laboratory* y el departamento de defensa americano (DoD9) en el año 1997 (Steinberg; Bowman; White, 1999). Presenta cinco niveles de procesado, conjunto con un bus de datos y un bus de conexión entre componentes.

Acoplamos a este modelo *JDL* nuestra arquitectura propuesta, citando a continuación sus componentes y procesos, Gráficamente mostrado en la *Figura 3.5*:

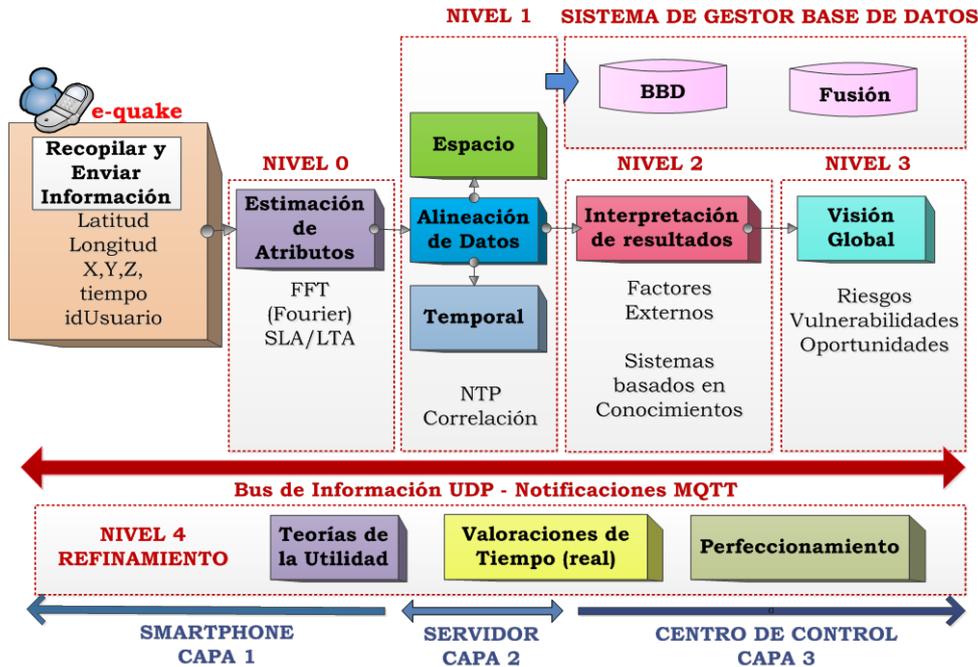


Figura 3.5: Modelo *JDL* acoplado a la arquitectura propuesta.

- **Fuentes:** Son los dispositivos que surten la información, por tanto representan cada sensor de la capa 1 de la arquitectura jerárquica; o en otras palabras, cada *smartphone* con la aplicación “*e-quake*”.
- **Interacción Persona – Sensor:** Esta corresponde a la aplicación móvil “*e-quake*”, la cual es capaz de transmitir los datos obtenidos al Servidor Intermedio de manera fácil y eficiente.
- **SGBD:** El sistema de gestor de base de datos en donde toda la información es recopilada.
- **NIVEL 0 – Nivel a Fusión de Señal:** Sirve para reducir la cantidad de datos y mantener solamente la información útil.

Este proceso corresponde al trabajo interno en “background” realizado en la Capa 1 por todos los *smartphones* de la red.

- **NIVEL 1 - Valoración de objetos:** Alineación en espacio y tiempo. Este nivel corresponde a la Capa 2 de la arquitectura y recae en una aplicación desarrollada en el Servidor Intermedio capaz de valorar la información de todos los *smartphones* y definir si ha existido o no un evento sísmico.
- **NIVEL 2 - Valoración de la Situación:** Valoración de la situación por parte de la Capa 3, el Centro de control.
- **NIVEL 3 - Valoración del Impacto:** Para identificar riesgos, vulnerabilidades y oportunidades operacionales. Valora el nivel de riesgo y amenaza de las actividades detectadas por el nivel 2. También a cargo del Centro de Control.
- **NIVEL 4 - Refinamiento del Proceso de Fusión:** Refinamiento del proceso de fusión, monitorear el rendimiento del sistema.

Es importante recalcar que el modelo *JDL* se subdivide en niveles, los cuales no tienen relación con las diferentes capas de la arquitectura. Estos dos términos, niveles y capas, no deben ser confundidos; como se puede observar en la *Figura 3.5*, las capas son capaces de abarcar más de un nivel del modelo *JDL*.

Es necesario recalcar que esta propuesta, abarca el nivel 0, 1, 2 y 3, las cuales son cubiertas por las tres capas de la arquitectura. El nivel 4, el cual está contemplado dentro de las líneas futuras dentro de este proyecto, se realizará paso a paso, refinando cada una de las capas dependiendo de los requerimientos que surjan cuando la arquitectura se encuentre implementada y obviamente en el proceso de implantación.

A continuación se presenta a manera de detalle, cada una de las capas que conforman la arquitectura haciendo énfasis en las validaciones de detección de sismos correspondientes a las alertas tempranas en el pre-evento de este sistema de gestión de emergencias.

3.4 Primera Capa: Aplicación Cliente “e-quake”

La siguiente *Figura 3.6* representa un diagrama de bloques que define el proceso del *smartphone* al comportarse como un acelerógrafo:

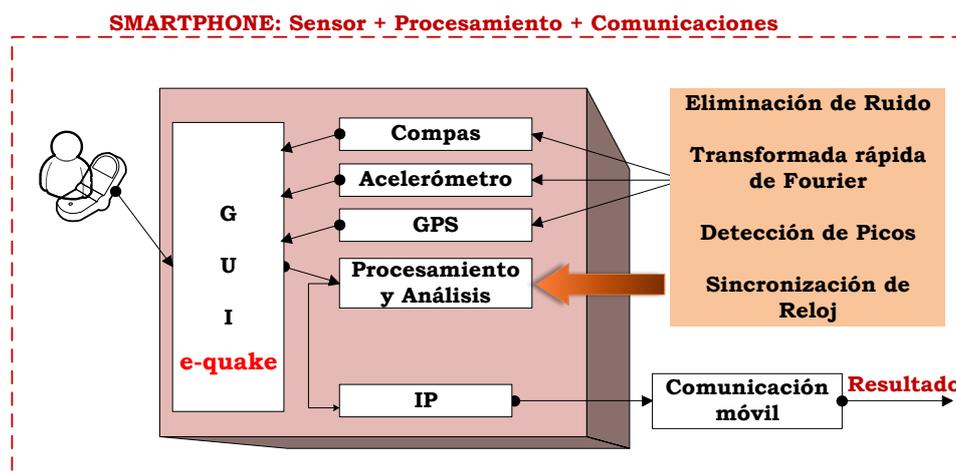


Figura 3.6: Primera capa de la arquitectura.

La aplicación realizada lleva el nombre de “e-quake” haciendo referencia a “Ecuador-quake” y consta de una Interfaz Gráfica de Usuario (*GUI*) con procesos y servicios para monitorización de sus sensores.

“e-quake” debe cumplir las siguientes características que son fundamentales en el éxito y acogida del sistema global:

- **Percepción al usuario:** Es importante que la aplicación realizada sea intuitiva, de manipulación sencilla y que sea de fácil comprensión; además cabe notar que la mayoría de procesamiento funciona en *background* sin necesitar la interacción del usuario.

La aplicación debe tener una respuesta rápida y controlar de ágil manera los fallos que puedan producirse volviendo a la ejecución de manera transparente para el usuario.

- **No interferir:** La aplicación debe ser realizada de tal manera que no interrumpa el uso diario del *smartphone*; es más, para

el usuario debe ser casi imperceptible que se tiene una nueva aplicación instalada.

- **Bajo consumo de energía:** Este punto es crítico, y ha sido uno de los más tomados en cuenta en el proceso de diseño; la aplicación ha sido perfilada pensando en solventar de la mejor manera el consumo de energía en el *smartphone*; caso contrario puede suceder el hecho de descartar “*e-quake*” por gastar indiscriminadamente recursos.
- **Gratuita:** Al ser una aplicación de ayuda y cooperación nacional, un requisito es el costo nulo de la aplicación; asegurando de alguna manera más usuarios en el sistema que incrementa a su vez, la precisión de detección.
- **Dispositivo de ayuda y consulta post-evento:** Además de ser un buen gestor pre-evento en las alertas tempranas, el *smartphone* debe ser programado para que se comporte como un gestor eficiente post-evento donde responda fácil, ágil y reciba información por medio de las demás capas para la toma de una mejor decisión conociendo el entorno global del desastre; entorno que el usuario desconocería por sí solo.

3.4.1 El Smartphone – Funcionamiento y Sensores

Como su nombre lo indica en sus dos palabras, el *smartphone* es un teléfono inteligente que no solamente sirve para lo que fue inicialmente creado, la comunicación, sino también otros propósitos que gracias a un conjunto de sensores incorporados como: acelerómetro, *compas* o brújula, giroscopio, *GPS*, micrófono, cámara, o los más actuales, barómetro e infrarrojos, permite interactuar ampliamente con el entorno que lo rodea. La unión de estos sensores, habilitan nuevas experiencias y aplicaciones; actualmente existen una gran cantidad de investigaciones en el campo de las interacciones móviles con el mundo real, pudiendo ser en cualquier dominio: la sismología, como lo es esta tesis, salud (**Klasnja, P.; Consolvo, S.; McDonald, D.W.; Landay, J.A.; Pratt, W.**, 2009), transporte (**Reddy; Mun; Burke; Estrin; Hansen; Srivastava**, 2010), etc. Además de que, gracias a los nuevos sistemas operativos móviles

como Android, iOS Apple, Windows Mobile, entre otros, es posible descargar todas estas aplicaciones de manera fácil, sencilla, y actualizarlas al alcance de un “click”; alcanzando número de usuarios inimaginables hace algunos años atrás.

El *smartphone*, a través de todas sus capacidades, es capaz de entregar toda la información fuente para el inicio de esta propuesta de gestión de emergencias sísmicas. Por tanto es necesario un estudio previo acerca de los sensores que se encontrarán involucrados en el proceso de validación y análisis: el acelerómetro, encargado de entregar cambios de aceleración lineal y el *GPS* encargado de presentar la ubicación exacta del usuario en coordenadas geográficas.

3.4.1.1 Acelerómetro MEMS en 3 Ejes.

Hoy en día el acelerómetro es uno de los dispositivos en más uso dentro de la tecnología móvil (*smartphones*, tabletas, relojes, gafas inteligentes, etc.), con una gran creciente inversión como muestra la *Figura 3.7* (EETASIA, 2010). Incluso sin saberlo podemos estar usando este sensor; la simpleza de rotar la pantalla para ver una fotografía al voltear horizontalmente un *smartphone* es solamente un pequeño ejemplo del uso de un acelerómetro; o sin duda, puede ser visto en su empleo más común, como son las aplicaciones de entretenimiento y juegos; que se puede encontrar una gran variedad dependiendo de cada gusto en la tienda respectiva de cada sistema operativo.

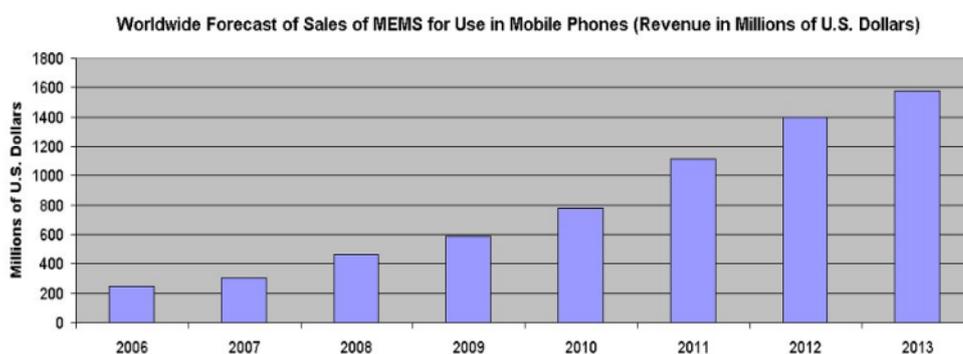


Figura 3.7: Penetración mundial de acelerómetros en teléfonos móviles.

Siguiendo las leyes de Newton (**Tipler; Mosca**, 2005) se puede decir que:

- Una aceleración relativamente grande significa que el objeto cambia rápidamente de velocidad.
- Una aceleración pequeña significa que la velocidad cambia lentamente.
- Una aceleración cero, significa que la velocidad permanece constante.

Haciendo referencia a un *smartphone*, por convención se ha determinado que si este disminuye su velocidad, entonces su aceleración tiene sentido contrario, lo cual es obvio; y si aumenta su velocidad, su aceleración presentará el mismo sentido que la velocidad.

Un acelerómetro en 3 ejes (tri-axial), los cuales son los incrustados en *smartphones*, permite obtener valores en cada dirección x , y , z ; siguiendo la convención de ejes mostrada en la *Figura 3.8* (**Gang Chen**, 2011):

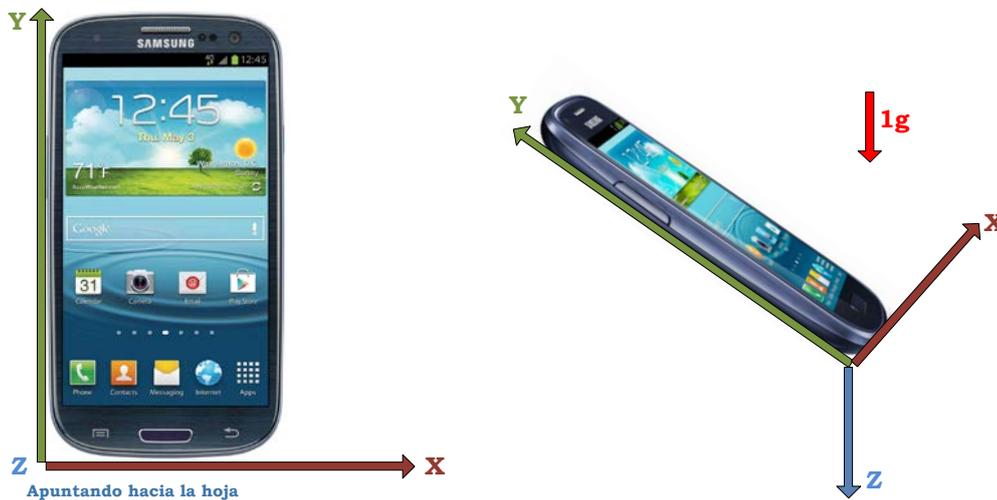


Figura 3.8: Asignación de ejes (x , y , z) en un *smartphone*.

La primera premisa que es imposible olvidar al trabajar con aceleración es el efecto de la gravedad, por tanto el acelerómetro puede medir valores entre $0g$, $1g$, $2g$ donde $g = 980 \text{ cm/s}^2$, dependiendo de su movimiento y en cada uno de sus ejes. Si el dispositivo, se encuentra en reposo sobre la tierra, indicará realmente un valor de $1g$ como en la *Figura 3.8* sobre uno de los ejes dependiendo de su posición.

La *Tabla 3.2* muestra el valor de aceleración cuando el *smartphone* se encuentra en reposo en diferentes posiciones (**STMicroelectronics**, 2010):

Posición	$x \text{ (m/s}^2\text{)}$	$y \text{ (m/s}^2\text{)}$	$z \text{ (m/s}^2\text{)}$
<p>Recto</p> 	0	9,81	0
<p>Abajo</p> 	0	-9,81	0

<p>Izquierda</p> 	9,81	0	0
<p>Derecha</p> 	-9,81	0	0
<p>Recostado arriba</p> 	0	0	9,81
<p>Recostado abajo</p> 	0	0	-9,81

Tabla 3.2: Asignación de ejes (x , y , z) dependiendo de la posición del *smartphone*.

El valor de aceleración podrá aumentar en el caso de ser acelerado mediante una fuerza externa, por ejemplo lanzar el *smartphone* o someterlo a caída libre, etc.; por ejemplo: Si el *smartphone* se encuentra en reposo sobre una superficie, la aceleración sobre el dispositivo será g ; cuando este sea empujado hacia arriba (el cielo) con una aceleración cualquiera N ; el valor neto sería $N + g$ que corres-

ponde a la aceleración del dispositivo ($+ N \text{ m/s}^2$) menos la fuerza de la gravedad ($-9,81 \text{ m/s}^2$). Para obtener la aceleración neta producida solamente por movimientos, este valor debe ser restado de la magnitud de aceleración calculada previamente mediante el Teorema de Pitágoras, tal y como muestra la *Ecuación 3.1*:

$$a = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - g \quad (3.1)$$

Donde, a es el valor absoluto de aceleración; x, y, z las componentes de aceleración; y g la aceleración de la gravedad que comúnmente se aproxima al valor de 10 m/s^2 . (Es importante tomar en cuenta las unidades en que se trabaja).

3.4.1.2 GPS (Global Positioning System)

Las necesidades de navegación que se presentaban en el pasado como, la localización propia, el encontrar el camino de ir y venir de lugares específicos, búsqueda de objetos y personas, etc.; en sí, el “posicionamiento absoluto”, ha llevado al desarrollo de instrumentos y técnicas que día a día han ido mejorando; desde dirigirse por la orientación mediante las estrellas y el sol, hasta a principios de los setentas, el GPS, un sistema de navegación basado en satélites, fue desarrollado por el Departamento de Defensa (DoD) de los Estados Unidos, aunque exclusivamente para uso militar (**Hofmann-Wellenhof; Lichtenegger; Collins**, 1993).

El GPS, nombrado oficialmente como *Navigation Timing Satellite Timing and Ranging (NAVSTAR)* proporciona la información de manera continua, rápida y precisa, tanto de tiempo como de posición, en cualquier lugar del mundo bajo cualquier circunstancia climática bajo una constelación extensa de satélites cubriendo toda la Tierra como muestra la *Figura 3.9* (**El-Rabbany**, 2002). Y estos dispositivos hoy por hoy, en un diminuto espacio físico, también forman parte de la mayoría de dispositivos móviles, como los *smartphones*.

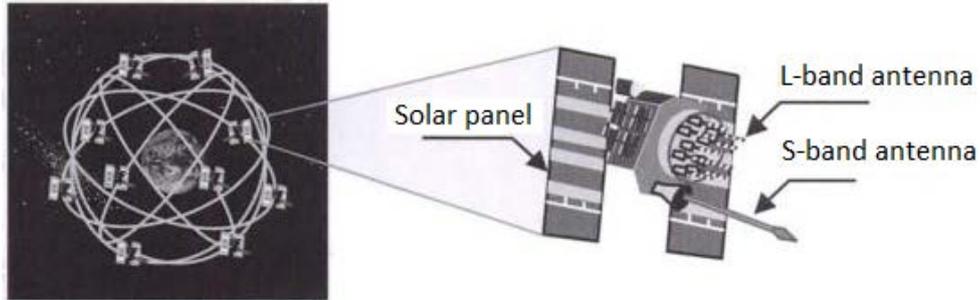


Figura 3.9: Constelación de 24 Satélites GPS.

Entre el satélite cercano y el sensor se intercambian mensajes con un determinado número de componentes, los cuales no son objeto de nuestro estudio pudiendo encontrar el detalle en (**Hofmann-Wellenhof; Lichtenegger; Collins, 1993**). Estos mensajes proveen las coordenadas de localización en función del tiempo que se ha calculado con información de los satélites, el control y relojes atómicos incrustados en cada uno de estos como muestra la *Figura 3.10*. Los datos de los satélites GPS son totalmente digitales, lo cual significa cadenas de 0s y 1s por lo que es mucho más fácil de enviar siendo incluso más fiable.

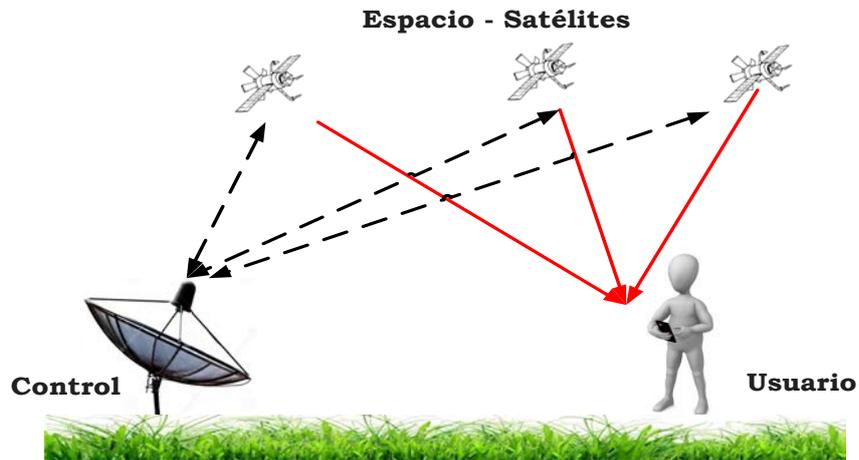


Figura 3.10: Sistema GPS.

La inquietud que todo usuario se plantea es respecto a la exactitud alcanzada por el *GPS*; y la respuesta es que depende de la precisión que el usuario necesite; por ejemplo un soldado necesitará mayor precisión que la de un caminante cualquiera, y es necesario incluso mayor precisión para topografía; por tanto para cada receptor los requerimientos varían. Hay que tomar en cuenta que la topología, estructura de edificios, árboles y demás, son responsables de un decremento significativo en la precisión de la respuesta *GPS* ya que las señales *GPS* necesitan “línea de vista” para alcanzar su objetivo; por tanto *GPS* funciona de mejor manera en áreas abierta con vistas claras al cielo.

El mantener activo este sensor en un *smartphone* representa un consumo significativo en la batería (**Ben Abdesslem; Phillips; Henderson, 2009**), pero sin embargo es imprescindible para el análisis en la Segunda Capa, citado en el apartado 3.5.2. Sin embargo, se espera que el usuario se sienta motivado a instalar y mantener la aplicación “*e-quake*” ayudando al sistema al actuar como sensor, por el beneficio de tiempo de decisión en una circunstancia de peligro y catástrofe.

Es importante recalcar, que incluso si el usuario no se comporta como sensor (al no mantener encendido su *GPS*, o no se encuentre con red o falta de batería), al mantener instalada la aplicación, será capaz de recibir la notificación de un evento sísmico por parte del Servidor Intermedio que ha interactuado con otros usuarios “*e-quake*”.

3.4.2 Proceso de Detección de Picos Sísmicos

El costo de la energía al monitorear el acelerómetro embebido dentro de un dispositivo no requiere tanta computación ni cálculos, y además se encuentra abierto sin ninguna prohibición; realmente, la única barrera en esta monitorización, es el realizar detecciones con alguna solidez y consistencia; así, es importante el tomar en cuenta por ejemplo, que la mayoría de personas lleva el móvil en el bolsillo de un pantalón al caminar; o también que por lo general al trabajar el dispositivo suele estar en reposo sobre un escritorio, o al correr suele llevarse con un artefacto sostenido en el brazo; en fin, lo importante es entender que el *smartphone* está sujeto a interferencias

ajenas al valor a encontrar (aceleración), por su misma naturaleza. Hay que recordar que un *smartphone*, por naturaleza no fue creado para sensorización, sino para comunicación. Por todo lo citado anteriormente, es necesario un proceso de detección de picos en el cual no todo movimiento brusco por parte del usuario sea reconocido como un evento sismo; un proceso que filtre toda la información para que fusionada con la información de otros usuarios se reporte con gran certeza la existencia de un sismo a la ciudadanía.

Añadiendo información al Capítulo 2 en el apartado 2.2, el poder destructivo de un sismo puede observarse básicamente en 3 factores enlistados a continuación que pueden ser medidos. A partir de estos, se justificará por qué se ha escogido la detección de valores picos como detección de sismos para esta tesis.

- **Duración del movimiento:** Es obvio que entre más permanezcan las oscilaciones del sismo, más daños serán causados; sin embargo, para un sistema de alertas tempranas como el que se requiere implementar, no es posible esperar a que el sismo termine para medir el tiempo de duración, y hacer la notificación; esto no tendría sentido en la tesis. Por tal razón se descarta este factor como posibilidad.
- **Ondas Sísmicas:** Sin duda, la medición y análisis de ondas S y ondas P, es un método muy eficiente y certero para determinar la existencia de un sismo; es más, grandes equipos y otras propuestas de investigación (detalladas posteriormente en apartado 3.7) utilizan esta técnica. Sin embargo, para que esta pueda ser utilizada, es necesario la estabilidad completa del dispositivo de medición y esta propuesta radica en notificar un evento sin restarle al usuario movilidad. Al no poder garantizar un sensor fijo y mucho menos 10, 100 o 1.000 sensores se descarta esta técnica.
- **Valores Pico:** La medición de valores picos determina grandemente el poder destructivo que tiene un sismo. Además, una ventaja que ofrece el trabajar con valores pico, es que no se determina un sismo basándose en 1 solo valor, sino en una serie (número fijo) de valores analizados en el transcurso de tiempo. Por tanto, este es el mejor método que se acopla a las características de la arquitectura propuesta.

Habiendo definido el tipo de detección, el proceso diseñado y desarrollado se muestra en la *Figura 3.11* detallado posteriormente cada uno de sus procesos:

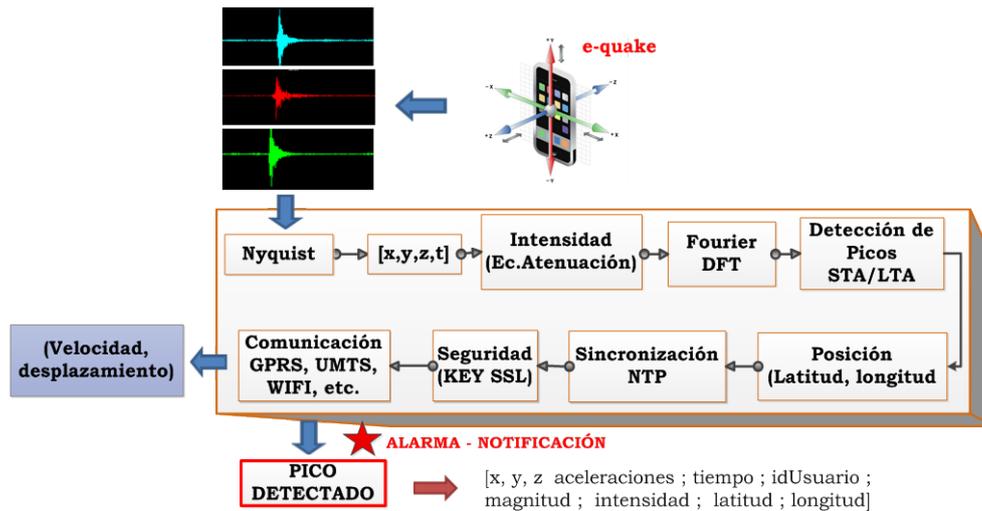


Figura 3.11: Proceso de detección de picos en un *smartphone*.

3.4.2.1 Sensorización y Muestreo

Este corresponde al primer paso del proceso de detección de picos en un *smartphone* y se centra en la obtención de los datos provenientes de un monitoreo constante de los sensores:

- **GPS:** (coordenadas Latitud y Longitud).
- **Acelerómetro:** (x, y, z) m/s^2 .

Como primera instancia, se realiza una aplicación “prueba” sencilla la cual nos permita comprobar el estado y funcionamiento de cada uno de los sensores. En la *Figura 3.12* se presenta una captura de pantalla con la siguiente información en orden de aparición mientras el *smartphone* se encuentra en reposo sobre una superficie plana: tiempo exacto cuando se toma la muestra de aceleración, aceleración x , aceleración y , aceleración z , tiempo cuando se toma

la muestra *GPS*, latitud, longitud, Identificativos únicos del usuario siendo el número móvil y el número *Universally Unique Identifier (UUID)*.

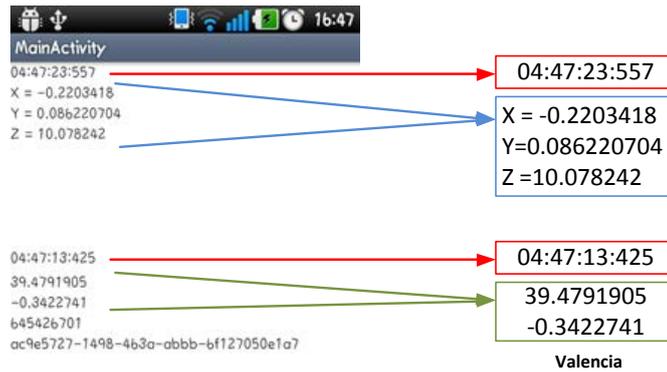


Figura 3.12: Aplicación “prueba” de monitoreo de sensores.

De la *Figura 3.12* podemos observar tres peculiaridades a tomar en cuenta y que serán de ayuda para tomar algunas decisiones:

- Calibración de aceleración:** Repasando un poco las aceleraciones medidas en el *smartphone*, podemos ver que el eje *z* se ve modificado por la presencia de la fuerza de la gravedad. Por otro lado, podemos comprobar que un acelerómetro *MEMS* de este tipo no ofrece una precisión excelente, así, incluso estando en reposo absoluto sobre una mesa, presenta valores de aceleración en todos los ejes, que aunque no parezcan una gran variación (0,08; 0,2) m/s, limita esta tesis a que el sistema no sea capaz de detectar sismos con aceleraciones iguales o inferiores a estas. Por tanto, resumiendo y siguiendo la *Tabla 2.5* que fue presentada en el apartado 2.2.7.2 donde se relaciona intensidad con aceleración sísmica máxima, enfocamos en la *Tabla 3.3* que un *smartphone* podría medir sismos a partir de una I_{MM} de IV, que para la tesis es perfecto y suficiente, pensando que no tiene sentido alertar e incomodar a la ciudadanía por sismos menores que no causan daños ni pérdidas. Se espera que la calidad y sensibilidad de los sensores vayan en mejora en corto tiempo y este valor pueda ser reducido hasta poder detectar movimientos telúricos aún menores, que aunque no se alerte, podrían servir como información geofísica extra en el *IGEPN*.

Intensidad Mercalli Modificada (I_{MM})	Aceleración sísmica (m/s^2)	Daño
I	<0,017	Ninguno
II-III	0,017 - 0,137	Ninguno
IV	0,137 – 0,383	Ninguno
V	0,383 – 0,903	Muy leve
VI	0,903 – 1,766	Leve
VII	1,766 – 3,335	Moderado

Tabla 3.3: Relación de Aceleración sísmica vs. I_{MM} .

- **Calibración GPS:** Resaltado en color verde, las pruebas realizadas entregan las coordenadas (39,48 : -0,34) las cuales corresponden a Universidad Politécnica de Valencia, en Valencia-España (UPV, 2015), pero las pruebas también demuestran una falta de precisión de metros (10 – 15) m. Se cree que esta falta de precisión no es relevante, ya que no se produce una gran variación de la intensidad por metros, sino en grandes distancias. Por tanto, la precisión entregada por el GPS incorporado en *smartphones* es suficiente para realizar esta tesis.
- **El tiempo:** Resaltados en color rojo en la *Figura 3.12*, observamos que el tiempo de la toma de la muestra de GPS y aceleración no es el mismo. El tiempo obtenido de la muestra del acelerómetro cambia constantemente con las coordenadas de aceleración. Ya que no se puede emplear estos tiempos para cálculos al no ser precisos, es importante el uso de un solo servidor *Network Time Protocol (NTP)* que garantice el tiempo global a todos los clientes de la arquitectura propuesta.

Ahora bien, definidos los datos necesarios para iniciar el proceso de detección de picos, es importante puntualizar (limitar) la frecuencia con la que es conveniente tomar dichos datos teniendo en cuenta la siguiente implicación:

- Número de muestras:** Sin duda alguna lo más óptimo para el cálculo sería conseguir el mayor número de muestras dentro del sensor *smartphone*, porque más preciso podría ser la detección sin correr el riesgo de enviar notificaciones sin un motivo real; pero por el contrario; energéticamente es imposible tomar todas las muestras y saturar los sensores con peticiones ya que implicaría una reducción considerable de energía, mayor tiempo de respuesta tanto de la aplicación como del *smartphone* (dependiendo de sus características) recayendo en la percepción del usuario. Todo esto podría acarrear la desinstalación de la aplicación. En conclusión, no es posible exigir al usuario un apoyo al 100%, quitándole los recursos completos de su dispositivo.

Teniendo conciencia de esto, se realiza una aplicación sencilla “prueba 2” que calcula el número de muestras por segundo. Resultando que un acelerómetro *MEMS* puede obtener un promedio de 35 a 40 muestras por segundo mientras que grandes dispositivos como los que tienen el *IGEPN* recopilan 100 muestras por segundo.

Para poder definir la frecuencia mínima de muestreo en esta tesis, nos guiamos del teorema de frecuencia de Nyquist (Herron; Latimer, 2011) que cita y gráficamente en la *Figura 3.13*:

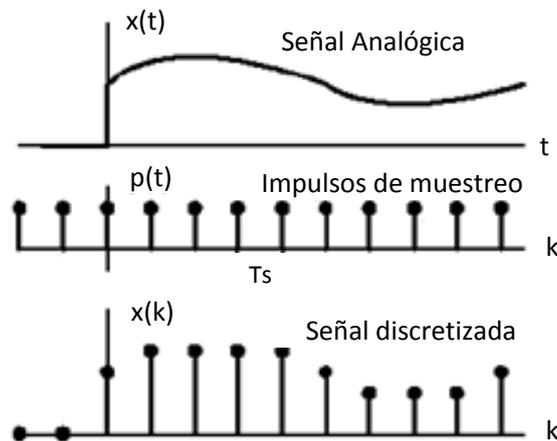


Figura 3.13: Discretización de una señal analógica.

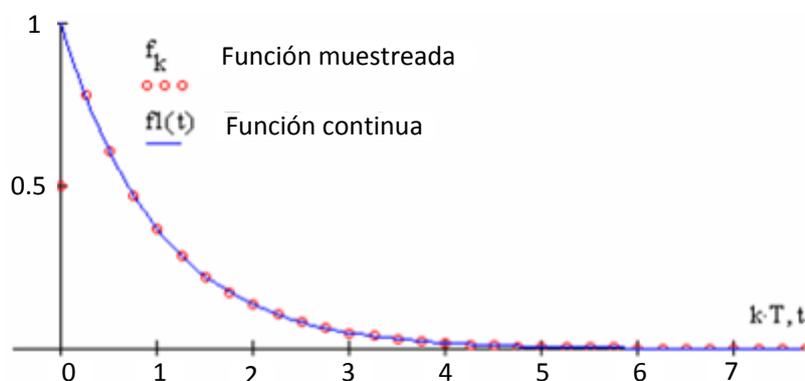


Figura 3.14: Señal muestreada siguiendo el Teorema de Nyquist.

“El teorema demuestra que la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras, es matemáticamente posible si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda.”

Por tanto, si se trabaja con señales sísmicas cuyo rango oscila entre 0,1 a 10 Hz como muestra la *Tabla 3.4* (Havskov, J.; Alguacil, G., 2002), el intervalo de muestreo mínimo debería ser 0,05 segundos; o en otras palabras 20 muestras por segundo como cita la *Ecuación 3.2*. Vale la pena recalcar que gracias a esta tasa de muestreo se logra obtener mejores resultados en lo que a consumo de energía se refiere con respecto a otros proyectos, citados en apartado 3.7.

Frecuencia (Hz)	Tipo de Movimiento
0,1-10	Ondas P y S Sismos con Magnitud > 2
10-1.000	Ondas P y S Sismos con Magnitud < 2

Tabla 3.4: Tipo de Movimiento por rango de frecuencias de ondas.

$$f = 2W = 2AB = 2 * f_{max} = 2 * 10Hz \quad (3.2)$$

$$\therefore f_{Nyquist} = 20Hz$$

$$t_{muestreo} = 0,05seg.$$

3.4.2.2 Intensidad Mínima

El parámetro importante a medir en esta tesis es la Intensidad del sismo, mas no en sí la aceleración. Usando las ecuaciones de intensidad citadas en el apartado 2.2.7, es posible obtener la Intensidad a través de los datos de aceleración recopilados. Vale la pena recalcar, que este paso puede ser acoplado a cualquier otra nación personalizando la aplicación donde se requiera implantar esta investigación con sus correspondientes leyes sísmicas. Al usar la ecuación para obtener los valores con respecto a la intensidad se consigue la *Tabla 3.5* y la *Figura 3.15*; donde demuestra que existen valores de aceleración donde la Intensidad es negativa y no tendría sentido ni siquiera procesarlos y mucho menos transmitirlos. Este punto de quiebre, donde validamos que la magnitud de la aceleración supera este valor es: **1,4375**.

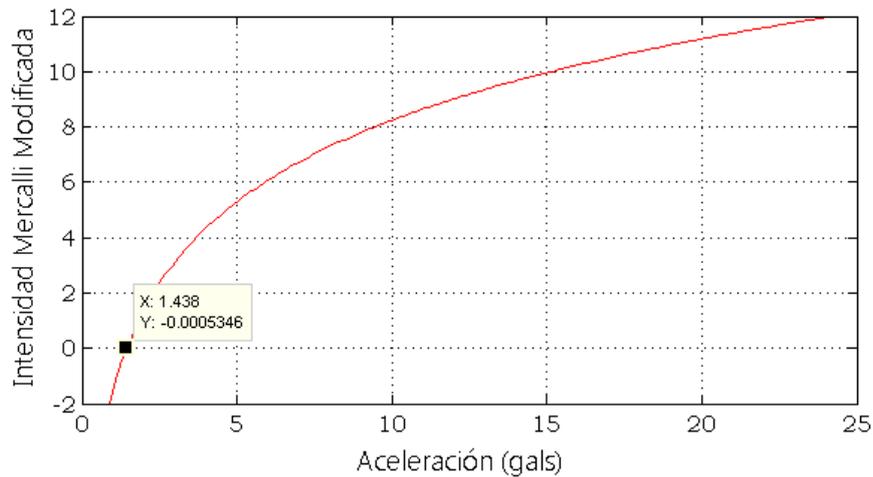


Figura 3.15: *IMM vs. Aceleración (gals) en Ecuación (Aguiar 2009).*

I_{MM}	Log(A_{max}) [gals]	A_{max} [gals]
0	0,3629	1,4375
1	0,5984	1,8192
2	0,8339	2,3023
3	1,0694	2,9136
4	1,3049	3,6873
5	1,5404	4,6665
6	1,7759	5,9056
7	2,0114	7,4738
8	2,1479	8,5668
9	2,4824	11,970
10	2,7179	15,148
11	2,9534	19,171
12	3,1889	24,262

Tabla 3.5: *I_{MM} vs. Aceleración máxima en la ecuación (Aguiar 2009)*

3.4.2.3 Correcciones sobre Acelerogramas

El acelerograma que se obtendrá como resultado de la monitorización, presentará una serie de errores que deberían ser mitigados para que su información pueda ser de utilidad. Por tanto se lista las correcciones necesarias que se aplicarían a un acelerograma normal, con el fin de recuperar de mejor manera la señal original (**Carreño, E.; Bravo, B.; Tordesillas, J.M.**, 1999):

- **Corrección Instrumental:** Consiste en la convolución del registro con la función de transferencia del instrumento. Es necesario conocer para ellos las constantes de calibración del dispositivo, como son la sensibilidad del acelerómetro, la frecuencia natural y el amortiguamiento.

Este procedimiento queda fuera de las posibilidades de la propuesta, sin embargo pensando en la tendencia de mejora en nuevos dispositivos de cada marca, se estima de igual manera una mejora de los sensores utilizados.

- **Corrección de línea base o corrección de ceros:** Se refiere a que muchas veces los acelerogramas se ven desplazados un valor respecto a la línea de cero, tal y como se pudo ver en la prueba anteriormente realizada en el apartado 3.4.1. Por lo general sucede cuando el dispositivo no se encuentra bien nivelado. Aunque este error es casi imperceptible en la aceleración, llega a ser muy importante cuando se necesita integrar las señales para obtener la velocidad y el desplazamiento; puesto que se contabiliza el área bajo la curva de aceleración. Sin embargo la velocidad y desplazamiento no son necesarios para el proceso de detección a realizar.
- **Ruido:** Es importante tomar en cuenta la repercusión de ruido el cual puede estar causado por fenómenos naturales u otros fenómenos externos. Por tanto, en realidad una acelerograma se considera como la señal real de aceleración más el ruido, como la *Ecuación 3.3*:

$$\text{Aceleración}(t) = \text{señal}(t) + \text{ruido}(t) \quad (3.3)$$

3.4.2.4 Transformada Discreta de Fourier

Teniendo en cuenta todo el ruido al que se ve expuesta la señal de aceleración en el dominio del tiempo, entendiendo como ruido a la señal que se mezcla con la señal deseada distorsionando la real, es necesario hacer un proceso de eliminación de ruido. Los dos tipos de ruido con los que nos encontraremos son los presentados en la *Figura 3.16 (Housner,, G.W., 1975)*:

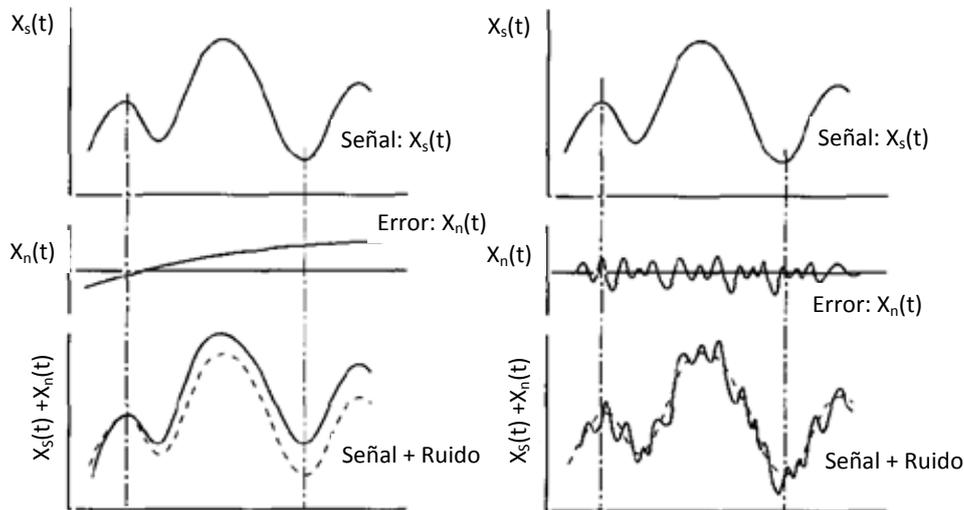


Figura 3.16: (a) Ruido de baja frecuencia; (b) Ruido de alta frecuencia.

- **Ruido de baja frecuencia:** Este se presenta debajo de la banda de frecuencias y tal como se puede observar en la primera parte de *Figura 3.16 (a)*, este afecta básicamente al área de integración perjudicando a la velocidad y desplazamiento, mas no a nuestro objetivo, que son los picos de aceleración.
- **Ruido de alta frecuencia:** Es el caso contrario del ruido a baja frecuencia, este se presenta por encima de la banda de frecuencias con la que se trabaja y afecta directamente a los picos de aceleración, pero no afecta grandemente en el proceso de integración ya que el área bajo la curva es prácticamente el mismo que para la señal corregida. Gráficamente en la *Figura 3.16 (b)*.

Dicho esto, es claro que el ruido que nos interesa eliminar es el ruido de alta frecuencia; y para lograrlo, es necesario convertir la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia empleando filtros pasa bajos, los cuales permiten el paso de las baja frecuencias eliminando las altas como en la *Figura 3.17 (Carreño, E.; Bravo, B.; Tordesillas, J.M, 1999)*:

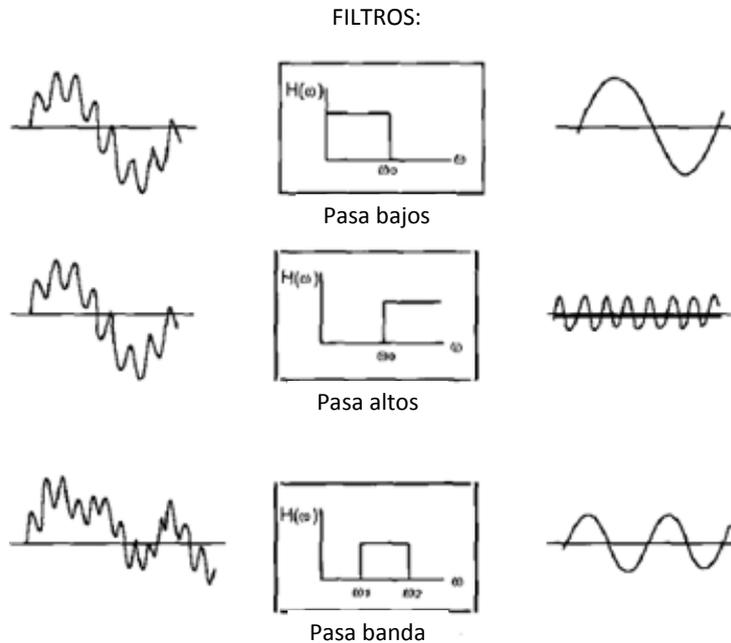


Figura 3.17: Tipos de filtros de frecuencia aplicados en acelerogramas.

Por la amplia información, por su cálculo matemático básico, la gran cantidad de aplicaciones en la que la emplean y la facilidad de código, se utiliza la transformada de Fourier para el tratamiento del acelerograma; sin embargo, otros filtros pueden ser empleados, como “box car” o “Bartlett”, el “Hanning”, el “Butterworth” o filtros Gaussianos (**Carreño, E.; Bravo, B.; Tordesillas, J.M.**, 1999). La transformada de Fourier es una herramienta matemática importante en el procesamiento de señales sísmicas que sirve para transformar la señal de un dominio al otro, del tiempo a la frecuencia.

La *Discrete Fourier Transform (DFT)* (**Sheng, X.; Zhang, Y.; Lambare, G.**, 2005) es equivalente a la transformada continua de Fourier conociendo N instantes, separados T tiempo. En efecto la *DFT* considera a una señal no periódica $x[n]$ como si fuese periódica a efecto de algoritmos de cálculo. Obviamente, entre menor sea el tiempo de muestreo, la *DFT* se parecerá más a la transformada continua de Fourier, como se puede observar en la *Figura 3.18* (**Azur, J.R.**, 2015):

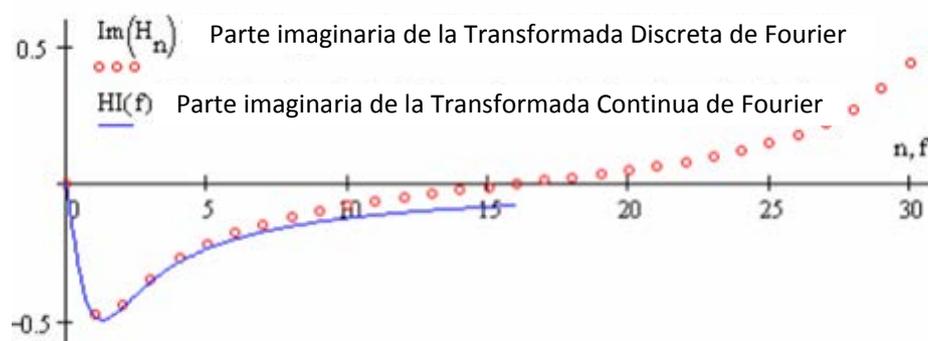


Figura 3.18: Comparación de resultados aplicando la Transformada Continua de Fourier y la Discreta de Fourier.

El tiempo que toma evaluar la *DFT* en un ordenador depende principalmente del número de iteraciones que este envuelve, pero a mediados de los setentas se desarrolló una versión más eficiente conocida como *Fast Fourier Transform (FFT)* donde sus ecuaciones pueden ser fácilmente representadas en forma matricial. La *FFT* debe su éxito al hecho que el algoritmo reduce el número de multiplicaciones y adiciones requeridas, por tanto se utiliza esta herramienta dividiendo en periodos de tiempo, tal y como se usa la *DFT* para analizar.

No se detallan las fórmulas de cada una de las transformadas, ya que existen herramientas de programación que a partir de un comando estas operaciones son fácilmente realizadas; sin embargo, para solventar cualquier duda o profundizar sobre el tema se puede guiar de las referencias citadas en cada una.

3.4.2.5 Detección de Picos Short Term Averaging/Long Term Averaging (STA/LTA)

Volviendo a citar, tanto computacionalmente, energéticamente, y en cuestión de tiempo, es imposible enviar la totalidad de los datos recopilados en un *smartphone* al Servidor Intermedio para validación, aunque toda esta información proveniente de muchos sensores entregaría mayor información al sistema, e incluso a Institutos Geofi-

sicos como el *IGEPN* para posterior análisis. Por tanto, solamente se enviará un mensaje siempre y cuando luego de su validación propia, el *smartphone* detecte un pico de aceleración que represente un posible sismo. Se dice “posible”, puesto que la detección de un solo cliente, no es suficiente para garantizar un evento y mucho menos, la posterior notificación a la ciudadanía.

Existen muchos tipos de algoritmos para detección de eventos, en nuestro caso llamados “picos sísmicos” y obviamente unos funcionan mejor que otros dependiendo del ámbito de empleo; y es necesario tomar las siguientes consideraciones para la elección correcta del algoritmo:

- **Limitaciones energéticas:** Los sensores *MEMS* mantienen un recurso limitado de batería, por lo cual es imprescindible que los cálculos consuman la menor cantidad de energía posible.
- **Precisión:** No es posible permitirse una alerta sin existir un evento, o por el contrario, no alertar un verdadero evento. Ambos tendrían repercusiones graves. Por tal razón es importante usar algoritmos que hayan ya demostrado su fortaleza y precisión en el tema.
- **Limitaciones de Procesamiento:** Obviamente la capacidad de cálculo de estos sensores, es limitada a las características de cada *smartphone*, y sin duda incomparable a las de un dispositivo específico de sismología; por tanto es necesario escoger un algoritmo que se ejecute con procedimientos que conlleven cálculos de forma sencilla, pero a su vez, eficiente.

Por los anteriores puntos citados, cumpliéndolos a cabalidad, se escoge el algoritmo (*STA/LTA*) siguiendo sus siglas en inglés *Short Term Average/Long Term Average* (**Sharma; Kumar; Murthy**, 2010). Es el algoritmo más usado en el ámbito de la Sismología, incluso grandes equipos utilizan este algoritmo por su eficiencia y precisión a la hora de detectar eventos. Además, presentan una gran versatilidad pudiendo ser empleados en muchos ámbitos, por ejemplo en (**Casamayor, E.; Miguel, M.**, 2010) con un ejemplo en misiones espaciales.

Se tienen dos grupos de muestras: unas dentro de una “ventana pequeña” (*short*) (N muestras) y otro grupo, en el cual entran las de la anterior ventana, la cual se llama “ventana grande” (*long*) (M muestras), donde $M > N$. Las ventanas son medidas en unidades de tiempo (segundos). El valor que se aproxima (media, promedio, desviación, etc.) en la “ventana corta” se compara con la aproximación (media, promedio, desviación, etc.) de la “ventana larga” y en caso de superar un valor llamado umbral se envía una alarma, que corresponde al envío de un mensaje “*e-quake*”.

Una mejora importante que se ha implementado en este punto es el de usar umbrales dinámicos, lo que quiere decir que dependiendo de la relación de los valores de ambas ventanas el umbral va cambiando; esto permite que acciones como: correr, andar, trotar o incluso brincar, que emitirían un pico de aceleración cada cierto tiempo NO sean reconocidos como picos sísmicos.

Solamente en el caso de que un “posible” pico sísmico sea detectado, sigue con el procedimiento de alerta (envío de mensaje *e-quake*), y en caso contrario, sigue su proceso de detección y repite hasta que el algoritmo detecte un nuevo evento.

En el Capítulo 5, apartado 5.3.1.1, se pone a prueba el algoritmo realizando pruebas y midiendo su eficiencia.

3.4.2.6 Sincronización de Tiempo (NTP)

Supongamos el caso de dos clientes “*e-quake*” del sistema que llamaremos *Cliente A* y *Cliente B* situados en la misma ciudad. El *Cliente A* mantiene su Fecha y Hora configurada como “automáticas”, mientras que el otro *Cliente B*, tiene una configuración manual; como ejemplo la *Tabla 3.6* siguiente:

Cliente “<i>e-quake</i>”	Configuración de Hora y Reloj	Hora de reloj
<i>Cliente A</i>	Automática	12:10:00
<i>Cliente B</i>	Manual	12:10:50

Tabla 3.6: Ejemplo de configuración de reloj y hora en dos smartphones.

Como podemos observar, la diferencia de relojes es de 50 segundos, y al parecer nada importante para aplicaciones de uso habitual.

Si existiese un evento sísmico, y cada uno es capaz de detectar este evento en el instante, según la hora que se enviaría al Servidor Intermedio para el análisis parecerían 2 diferentes eventos sísmicos, mas no el mismo evento, puesto que llevan una separación temporal de decenas de segundos.

Por otro lado, es imposible obligar al usuario a usar una única configuración de reloj. He aquí la justificación y la importancia de mantener una misma línea temporal para toda la arquitectura. Razón por la cual, en un sistema de este tipo, donde cada segundo es importante, es necesario mantener una línea temporal fija. La solución a este requerimiento, se ha solventado implementando un servidor *NTP* (**Mills**, 2010), el cual se encuentra en la cabeza de la arquitectura, en el Centro de Control - Tercera capa. La *Figura 3.19*, representa el funcionamiento de la sincronización de relojes en la arquitectura propuesta; así todos los clientes, independientemente de su ubicación (Servidor Intermedio), pedirán la sincronización del reloj antes de enviar su mensaje.

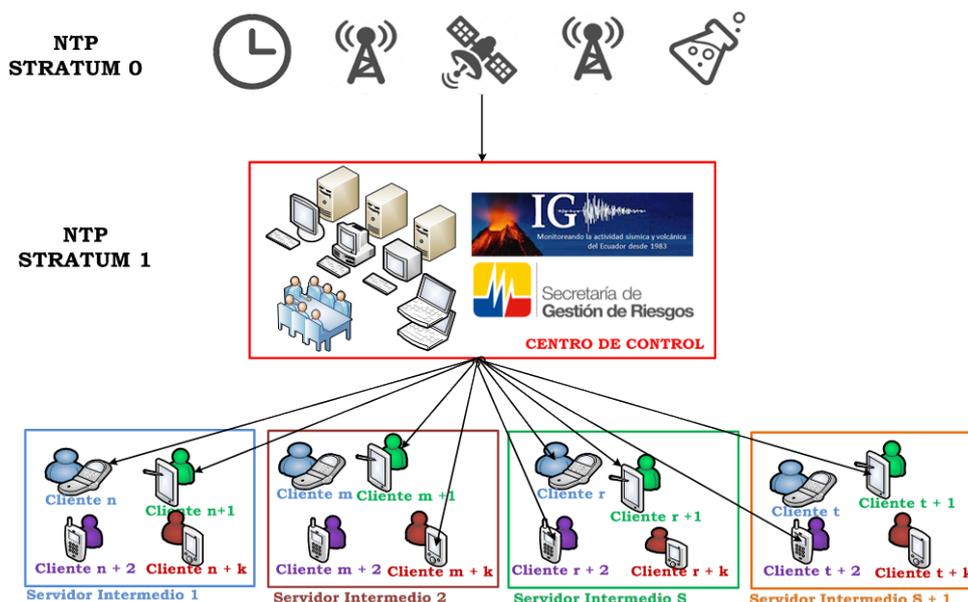


Figura 3.19: Jerarquía NTP en la arquitectura.

NTP es un protocolo diseñado por la comunidad *ARPA-Internet* para sincronización de reloj en un conjunto de servidores y clientes en un ambiente de red. *NTP* es realizado usando el protocolo *UDP* (**Postel, J.**, 1980) como transporte sin establecer conexión haciendo más rápida la comunicación.

Su funcionamiento es que cada cliente *NTP* realiza una petición a un servidor *NTP* y se mantendrá en escucha de su respuesta que será, el tiempo preciso. Este protocolo trabaja bajo una jerarquía o *Stratums*, comenzando desde el *Stratum 0* como mayor nivel.

3.4.2.7 Mensaje “e-quake”

Este es el último paso a seguir en la aplicación móvil “*e-quake*” y se construye solamente cuando el *smartphone* ha pasado todas las validaciones para deducir la presencia de un sismo. Se construye un datagrama (*UDP*) para ser enviado a través de internet con todos los datos calculados y recopilados.

El datagrama consta de los siguientes datos:

- *x, y, z* aceleraciones.
- Tiempo sincronizado *NTP*.
- Coordenadas de ubicación: latitud y longitud.
- Identificativo de Usuario: Corresponde al número de teléfono.
- Intensidad: La calculada a partir de las leyes de atenuación de la zona y la aceleración.

Por tanto, el mensaje “*e-quake*” siempre es de tamaño fijo, t consta de 88 bits de información (no incluye cabeceras de protocolos).

3.5 Segunda Capa: Servidor Intermedio

La siguiente *Figura 3.20* representa un diagrama de bloques del proceso de la segunda capa de la arquitectura, llamada Servidor Intermedio:

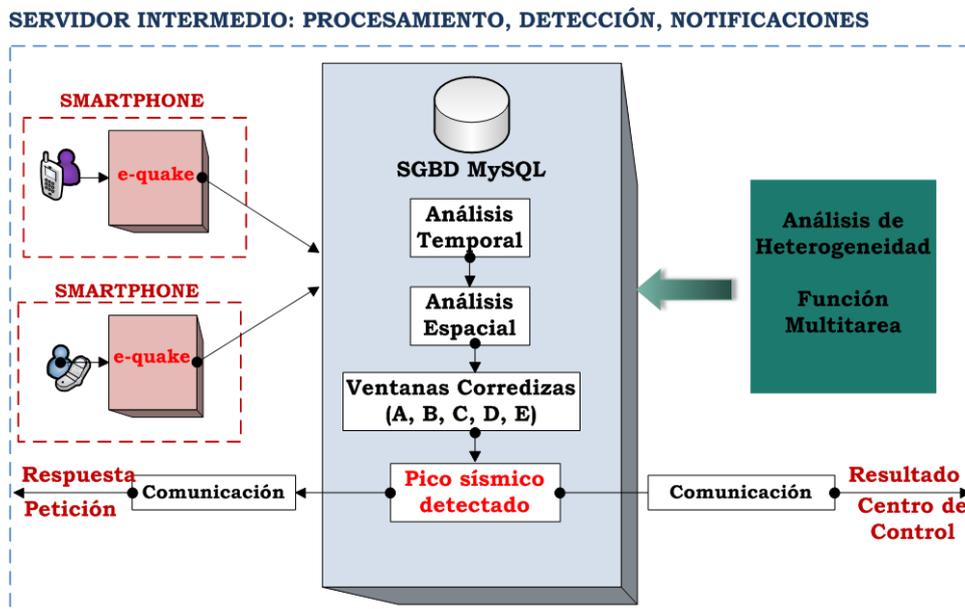


Figura 3.20: Diagrama de bloques del Servidor Intermedio.

Como se citó en el apartado 3.4.2.5, el hecho de que un sensor detecte un cambio brusco de aceleración identificándose como un pico sísmico, no siempre puede significar que realmente haya existido un evento; pero que una gran cantidad de usuarios detecte el mismo evento en un mismo (corto) rango de tiempo y en el mismo lugar, da una certeza aún mayor de que un evento sísmico ha sucedido. Por tanto, este Servidor Intermedio debe ser capaz de fusionar todas las muestras “*e-quake*” proveniente de sensores; sensores que se encuentran dentro de un determinado rango de cobertura, definir si ha existido verdaderamente un evento sísmico y notificar inmediatamente a sus clientes, y otros clientes de otros Servidores Intermedios que así lo deseen; además de enviar el mensaje a la Tercera Capa, el Centro de Control. El proceso de notificación se puede observar en el apartado 4.6.1.2.

3.5.1 Diagrama de Flujo del Servidor Intermedio

La siguiente *Figura 3.21* representa un diagrama de bloques del proceso que se ejecuta en el Servidor Intermedio para cumplir su tarea de detección. Posteriormente cada bloque es analizado a detalle.

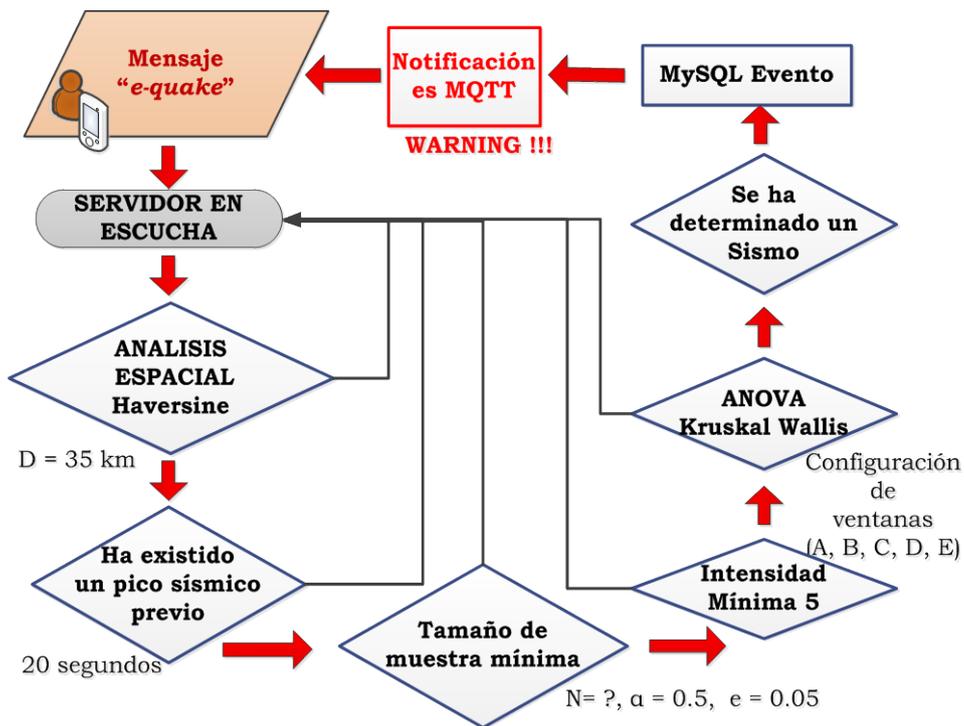


Figura 3.21: Diagrama de flujo del Servidor Intermedio.

Es importante notar que:

- No es necesario un equipo para cada Servidor Intermedio, un mismo equipo puede actuar como varios Servidores Intermedios dependiendo de sus capacidades, ya que el proceso de detección es muy simple y no ocupa demasiados recursos. Esto contribuye a cubrir un requerimiento del sistema, que es lograr una arquitectura económica.

3.5.2 Análisis Espacial – Haversine

Como se detalló en el apartado 2.2.7, la intensidad depende inversamente de la distancia al foco sísmico; a mayor distancia la intensidad reducirá siguiendo las leyes de atenuación de la zona. Por tanto, un sensor *A* en el foco medirá mayor intensidad (aceleración) que un sensor *B* a 100 kilómetros de distancia. Si se analizan la respuesta de estos dos sensores, se tendrían unas muestras tan dispersas de intensidad que no entregaría ninguna información certera; por ejemplo una intensidad de 8 y una intensidad 2. Entonces:

¿Cuál sensor ha tenido la medida correcta? ¿Si ha existido un sismo, de que intensidad es el sismo? ¿Es necesario alertar a la ciudadanía?

Así, esta prueba se torna un requerimiento del sistema. Debe existir un Servidor Intermedio que reciba las muestras de los *smartphones* más cercanos en un rango de distancia a determinar por esta prueba; mientras que los *smartphones* que se encuentren más alejados deben comunicarse con otros Servidores Intermedios que se encuentren más cerca de su ubicación.

Cada Servidor Intermedio tendrá dentro de su configuración una ubicación y un rango a cubrir para tomar o rechazar las muestras de *smartphones* garantizando así una correlación entre muestras y brindando eficiencia al proceso de la Segunda Capa de la arquitectura.

El análisis espacial se realiza usando las ecuaciones de atenuación, detallados en el apartado 2.2.7.3 y la ecuación de Haversine (**Robusto**, 1957) para encontrar el rango óptimo (radio entre el Servidor Intermedio y un cliente “*e-quake*”).

Este rango debe tener un balance entre distancia y número de muestras, ya que:

- **Si la distancia es muy pequeña:** Se corre el riesgo de que no existan muestras para el análisis.
- **Si la distancia es muy amplia:** Se perdería la correlación entre muestras pudiendo tener muestras de I_{MM} en un rango muy variado de valores, desde I hasta su máximo XII.

Para calcular este rango, se toman las 3 consideraciones necesarias para aplicar las leyes de atenuación de Ecuador citadas en el apartado 2.2.7; y mostradas en la Ecuación 2.4:

- **Intensidad I_{MM} mínima de V:** Por dos razones: (1) Las capacidades de un *smartphone* son suficientes para detectar un evento de esta intensidad, más no intensidades inferiores como se probó en el apartado 3.4.2.2 y; (2) La percepción de una persona ante un evento de I_{MM} igual a 5 empieza a ser notoria, sin embargo usualmente no suele tener daños económicos; por tanto para menores intensidades I_{MM} no tendría sentido las alertas tempranas.
- **Aceleración:** La aceleración es obtenida mediante el desglose de la Ecuación 3.4 para una Intensidad I_{MM} dada ($I_{MM} = 5$); consiguiendo una aceleración de **5,2496 [gals]**. Gráficamente se puede observar en la Figura 3.22:

$$0,2355 * I_{MM} = \text{Log}(A_{max}) - 0,3629 \quad (3.4)$$

$$\text{Log}(A_{max}) = 0,3629 - 0,2355 * 5 = 5,2496$$

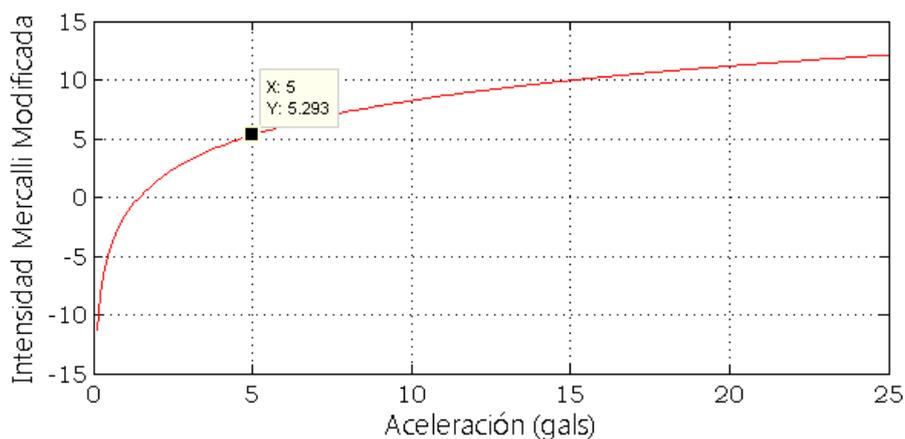


Figura 3.22: Intensidad I_{MM} vs. Aceleración.
Aceleración máxima en sismo de $I_{MM} = 5$.

- Distancia Epicentral Máxima:** Al utilizar la máxima aceleración para un sismo de intensidad dada ($I_{MM} = 5$), es posible de igual manera obtener la distancia al remplazar en la *Ecuación 3.5*. Y cómo podemos observar en la *Figura 3.23*, la máxima distancia del Hipocentro es la distancia al Epicentro, que es la que se requiere ser medida.

Hacemos esta relación entre distancia epicentral e hipocentral; ya que la mayoría de ecuaciones de atenuación llevan como variante la distancia hipocentral, mas no la epicentral. Sin embargo, los *smartphones* entregarían información sobre coordenadas sobre la tierra, limitados a encontrar profundidades. Es por esta razón, que al usar valores máximos de aceleración para un sismo dado en la *Ecuación 3.5*, se encontrará la distancia hipocentral, que a su vez, la traduciremos como la distancia epicentral.

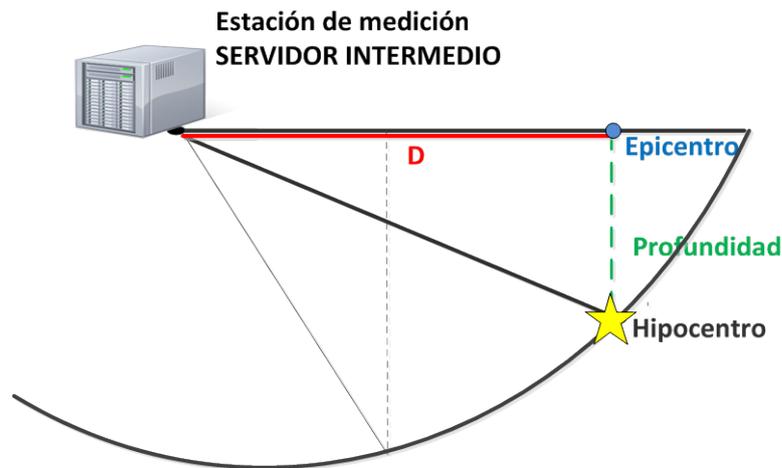


Figura 3.23: Hipocentro y epicentro en Servidor Intermedio.

$$\log(A_{gals}) = 1,2474 + 0,3735 * M_w - 0,4383 * \ln(D + 10) \quad (3.5)$$

$$\log(5,2496) = 1,2474 + 0,3735(5) - 0,4383 * \ln(D + 10)$$

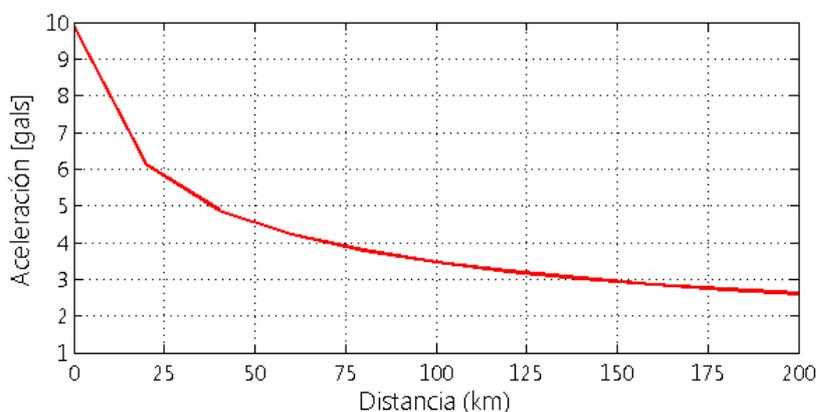


Figura 3.24: Aceleración vs. Distancia usando la ecuación de Ecuador.

Al realizar dichas operaciones obtenemos la *Tabla 3.7*, donde detalla que para una intensidad mínima de V (5), el rango de cobertura de un Servidor Intermedio debe ser de 35 kilómetros; y respectivamente para un sismo de magnitud VI (6) la distancia a cubrir será de 56 kilómetros.

Intensidad	Rango de cobertura calculado	Rango de diseño
5	34,27 km	35 km
6	56,16 km	56 km

Tabla 3.7: Rango de cobertura de un Servidor Intermedio.

Haversine es una fórmula que permite detectar la distancia exacta sobre la tierra entre dos puntos dando sus coordenadas geográficas, tomando en cuenta la circunferencia terrestre. Entonces, cada Servidor Intermedio tendrá asignada en su configuración una posición (latitud y Longitud). Por ejemplo para las pruebas en Valencia - España, se mantiene en configuración las coordenadas:

Latitud: +39,4790149

Longitud: -0,3440336

La Ecuación de Haversine es definida por la Ecuación 3.6:

$$\text{Haversine} = a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos^2(\varphi_1) * \cos^2(\varphi_2) * \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (3.6)$$

$$c = 2 * \text{atan2}(\sqrt{a}; \sqrt{1-a})$$

$$d = R * c$$

Donde φ es la latitud, λ la longitud, R el radio de la Tierra con el valor de 6.371 km.

Entonces cada muestra “*e-quake*” que llegue a un Servidor Intermedio es sometida a la prueba de Haversine: si la distancia calculada entre su localización y el Servidor Intermedio es menor a 35 kilómetros, la muestra es aceptada, caso contrario debe ser enviada a otro Servidor Intermedio más cercano a esa zona.

3.5.3 Muestra Mínima

Esta prueba (**Cochran**, 1977) sirve para determinar si el número de *smartphones* que detectan un evento sísmico es suficiente como para deducir que efectivamente ha existido alguno. Por ejemplo, si 100 personas han instalado y mantienen “*e-quake*” en su *smartphone* en una zona; y 80 detectan un movimiento significativo en un periodo pequeño de tiempo, podría decirse que si ha existido un sismo con un porcentaje de error y confiabilidad (a calcular).

Por tanto es obvio, la necesidad de determinar cuántos *smartphones* han instalado esta aplicación, y cuántos de estos efectivamente se comportan como sensores; así citando el ejemplo anterior, puede que no todos los dispositivos de los 100 se encuentren actuando como sensores en ese momento (por más que mantengan “*e-quake*” instalado). Por tanto, se define dos estados en el que un *smartphone* puede estar:

- **Estado Activo:** Son aquellos *smartphones* que se encuentran actuando como sensores en el momento de la validación.
- **Estado Inactivo:** Son aquellos que forman parte de la arquitectura (han instalado la aplicación “*e-quake*”), pero en ese

momento no están actuando como sensores. Pueden ser clientes que hayan quedado inhabilitados por falta de batería, o no mantienen una conexión constante de red, o no mantiene información de ubicación GPS.

Para poder determinar en qué estado se encuentra el móvil es necesario tanto proceso en el *smartphone* como en el Servidor Intermedio: primero, los *smartphones* envían “*beacons*” o “pulsos de vida”, y constantemente monitorean la red para reconexiones. Y segundo, los Servidores Intermedios, validan el último tiempo de conexión de cada cliente y después de un periodo de tiempo (30 minutos) de no recibir respuesta, pone al *smartphone* en estado inactivo en su respectiva base de datos.

Notar que la variación de estos parámetros, son importantes en el consumo de batería en el *smartphone*.

El número de muestras para la validación generará una detección con una mayor o menor precisión y disminuirá o aumentará respectivamente el margen de error. Si la muestra decrece tanto que no se tiene ninguna confiabilidad, lo más posible es que no haya existido un evento sísmico y dicho movimiento se deba a un movimiento brusco de pocos usuarios que coinciden en un tiempo.

La fórmula que define esta prueba se muestra en la *Ecuación 3.7*:

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{Z^2\sigma^2}} \quad (3.7)$$

Donde N corresponde a la población total; n es la porción de la población (Valor a determinar); e el máximo error permitido (1% - 0,05%); Z el nivel de confianza (95% = 1,96 sigma/errores típicos; 99% = 2,57 sigma/errores típicos); $\sigma = 0,5$.

Por tanto, se debería cumplir que el número de *smartphones* que envían un pico, o en otras palabras, el número de muestras que

recibe un Servidor Intermedio en un determinado tiempo, sea igual o mayor que la mínima población calculada para obtener el 95 % de confiabilidad y el 5 % de error. La siguiente *Tabla 3.8* representa algunos valores de n para que de una muestra total N , pueda deducirse con un grado de confiabilidad y error si la muestra es representativa. Por ejemplo, usando la *Tabla 3.8*, en un caso realmente optimista donde los usuarios (10.000.000) aceptarán la aplicación, sería necesario 1.834 muestras para garantizar un suceso sísmico con un error del 3% y una confiabilidad de 99%.

Número de usuarios (N)	$\alpha = 0,01 = 99\%$		$\alpha = 0,05 = 95\%$	
	$Z = 2,57$		$Z = 1,96$	
	$e = 0,05$	$e = 0,03$	$e = 0,05$	$e = 0,03$
100	87	95	80	92
150	122	139	108	132
300	207	258	169	234
500	285	393	217	341
1000	398	647	278	516
2000	497	957	322	696
8000	610	1.493	367	942
10000	620	1.550	370	964
12000	626	1.592	372	980
15000	633	1.635	375	996
30000	646	1.729	379	1.030
50000	652	1.770	381	1.045
80000	655	1.794	382	1.053
100000	656	1.802	383	1.056
145000	657	1.812	383	1.059
150000	658	1.813	383	1.060
2000000	660	1.833	384	1.067
10300000	660	1.834	384	1.067

Tabla 3.8: Muestra mínima con grado de confiabilidad y error dados.

En el Capítulo 5, apartado 5.4.1.2, se realizará la validación y cálculos sobre esta prueba.

3.5.4 Análisis de la Varianza (ANOVA)

Para entender y visualizar la necesidad de esta prueba, nos valdremos de un histograma, que en estadística no es más que una representación gráfica de una variable en forma de barras; en este caso, la variable a trabajar es la intensidad que se encuentra incluida en cada muestra enviada por los sensores de la primera capa de la arquitectura. Este histograma mostrará la distribución, o grado de homogeneidad en el tiempo de la variable, pudiendo analizar el conjunto de muestras como grupo más no como muestras individuales. Al ordenar las muestras por el tiempo de detección se obtiene un histograma; la *Figura 3.25* y la *Figura 3.26* son dos posibles casos que se podrían encontrar, donde x es la variable aleatoria (Intensidad).

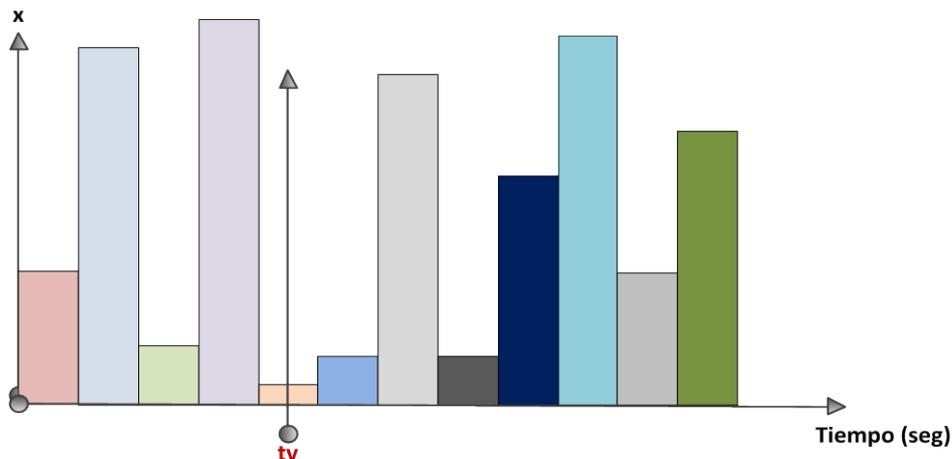


Figura 3.25: Histograma de la variable x en el tiempo. Sin correlación.

En la *Figura 3.25*: en un tiempo t_v se obtiene una intensidad de 2 y en el tiempo $(t_v + 1)$ se recopila un 9. Las muestras son totalmente dispersas contradiciendo el movimiento natural sísmico.

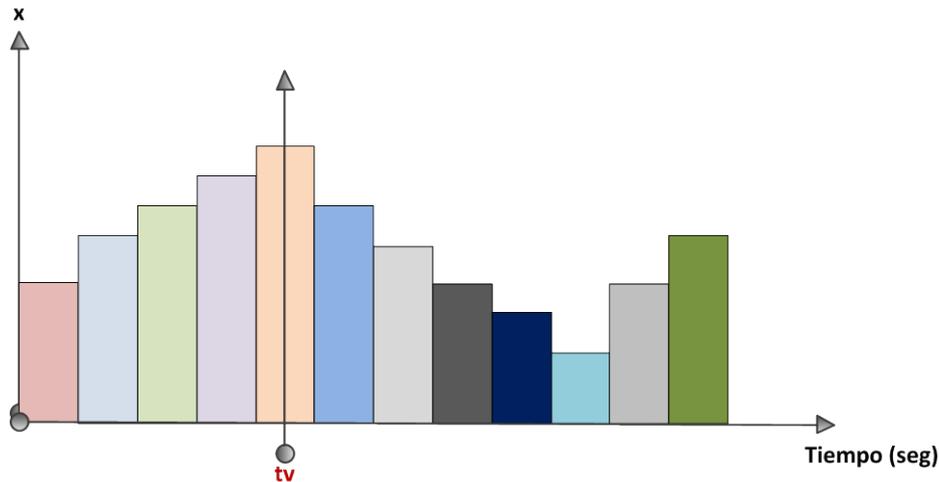


Figura 3.26: Histograma de la variable x en el tiempo. Con correlación.

En la *Figura 3.26*: En el tiempo t_v , se tiene x representa un valor de 8, y en el tiempo $(t_v + 1)$ se obtiene un 7,9. Las muestras a través del tiempo son correlacionadas, que quiere decir que mantienen una similitud.

Como se puede observar al comparar estas dos *Figuras*; la primera, no tiene ninguna relación entre una muestra, la siguiente y la posterior; esto supondría fácilmente que la muestra con el pico sísmico simplemente se debe a una caída, o a un proceso involuntario del *smartphone*. Por el contrario en la *Figura 3.26*, se observa muestras conjuntas coherentes. Da pensar que todos los usuarios que han enviado una muestra han sentido (detectado) la misma intensidad de movimiento.

Habría sido sencillo definir la intensidad real solamente haciendo un promedio o media aritmética entre todas las muestras en un instante de tiempo; sin embargo, como podemos ver en otro ejemplo, en la *Figura 3.27*, donde teniendo la misma media de valor 6 tanto en (a) como en (b); las muestras de (b) son totalmente dispersas, lo cual no entregaría al sistema mucha información; mientras que en (a) podría asegurarse casi que un sismo de intensidad I_{MM} ha sucedido.

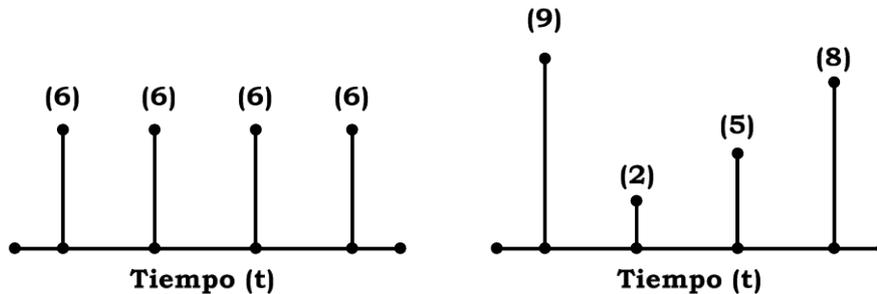


Figura 3.27: Histogramas de igual media; y diferente varianza.

Es por lo citado que un procedimiento estadístico se convierte en un nuevo requerimiento para la fiabilidad de la segunda capa de la arquitectura; un proceso que determine si las muestras se relacionan entre unas y otras aportando fiabilidad al sistema global. El análisis de la varianza (ANOVA) para muestras independientes, el cual se utilizará en esta tesis, sirve para verificar si existen diferencias estadísticamente significativas entre medias cuando se tiene más de dos muestras o grupos (Martinez, M.A.; Sanchez, A.; Toledo, E.; Faulín, J., 2014).

Como bien se entiende, la base de este proceso se enfoca en la varianza, la cual cuantifica de alguna manera la diferencia entre observaciones, como en la Figura 3.28:

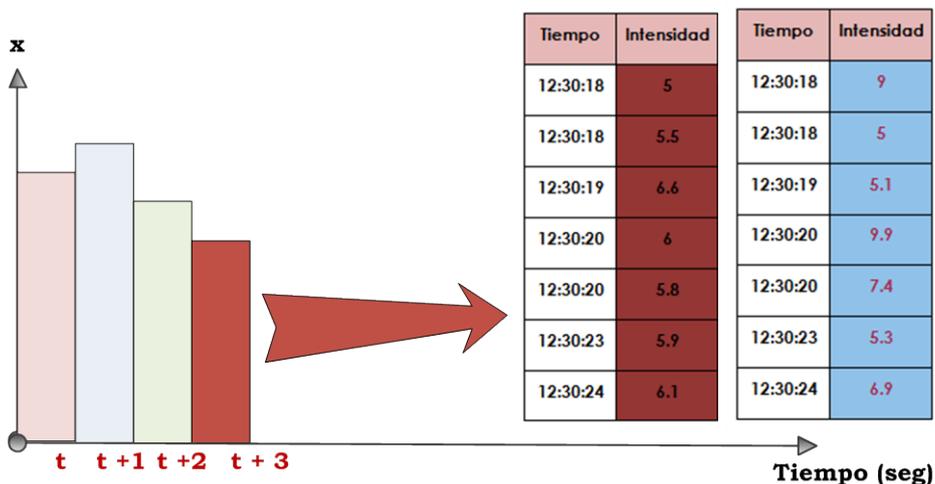


Figura 3.28: Histograma de la variable Intensidad en el tiempo.

En el segundo cuadro de valores (azul) de la *Figura 3.28*, una varianza amplia indica que existe entre las muestras una diferencia significativa (grande). Mientras que en el primer cuadro (rojo), la varianza es pequeña demostrando diferencias menores entre las observaciones.

ANOVA realiza comparaciones entre grupos de muestras, que es precisamente lo que el Servidor Intermedio debe realizar, independientemente del número de muestras en cada ventana de tiempo; por ejemplo en el tiempo t puede que se reciba 10 muestras y en el tiempo $t+1$ haber recibido 15 muestras y así sucesivamente.

Por otro lado, hasta ahora se ha realizado el análisis en grupo de muestras de 1 segundo (por facilidad de cálculo); haciendo énfasis en la *Figura 3.29*, ($\xi = \text{ventana temporal} = 1$): t ; $t + 1\xi$; $t + 2\xi$. Sin embargo es necesario pensar en los puntos siguientes:

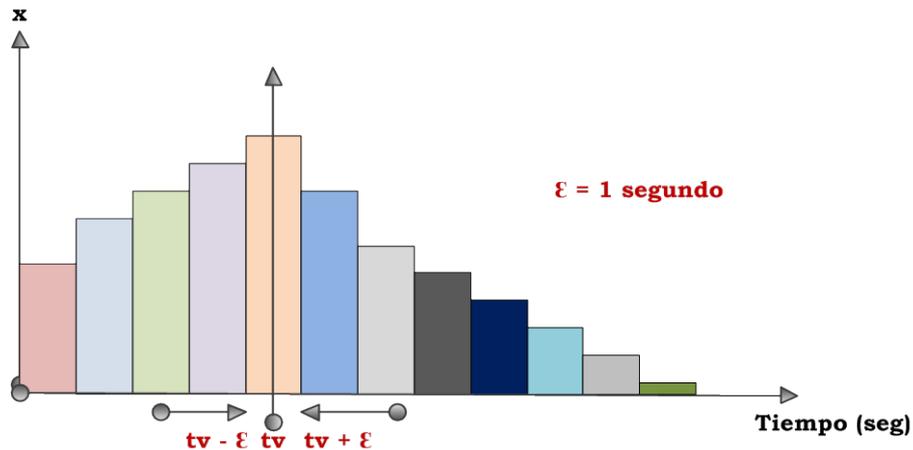


Figura 3.29: Variación de la ventana temporal t_v .

- Si ξ es muy pequeño, es muy probable que el Servidor Intermedio carezca de muestras para el análisis; teniendo muestras en una ventana y tal vez en la próxima no; llegando al mismo problema inicial: muestras sin ninguna correlación. Sin embargo, cuanto menor sea el valor de ξ , los histogramas presentarán mejor resolución.
- Cuanto mayor sea el valor de la ventana temporal ξ , se recopilarán muestras con mayores variaciones de intensidades,

perdiendo resolución. Sin embargo este garantizaría muestras en cada ventana temporal sin dejar espacios blancos de análisis.

Es necesario encontrar un balance entre las dos opciones de este valor ξ . El valor óptimo será encontrado mediante pruebas en el apartado 3.5.4.1.1. El razonamiento de ANOVA es sencillo y considera que si las medias difieren entre sí (varianza entre grupos) más de lo que se puede esperar por azar (varianza dentro de los grupos), se afirma que las muestras proceden de poblaciones distintas con distinta media (**Morales, P.**, 2012).

3.5.4.1 Probabilidad de Kruskal Wallis

Existe una gran variedad de procesos ANOVA para poder ser empleados, y es importante hacer un análisis sobre cuál de todos es el adecuado en esta tesis. Los procesos de ANOVA se dividen en dos grandes grupos: paramétricos y no paramétricos. Para utilizar un método paramétrico es necesario cumplir todas las premisas citadas en la *Tabla 3.9*, en caso de no cumplir tan solo una de ellas es necesario usar un método NO paramétrico.

Premisa Método Paramétrico	Análisis al Sistema	Cumple?
Las poblaciones de donde proceden las muestras tienen que ser normales	Las señales sísmicas no presentan una distribución bien definida.	NO
La varianza en cada grupo debe ser la misma (Homocedasticidad)	No se puede asegurar la misma varianza.	NO
Las muestras tienen que haber sido elegidas al azar, asegurándose la independencia	Las muestras recopiladas son independientes; no presentan relación entre unas y otras (entre un smartphone y otro).	SI

Tabla 3.9: Definición de ANOVA paramétrico en el proceso.

La *Tabla 3.9* analiza cada una de las premisas para esta propuesta, y como se observa, la conclusión es que este sistema en particular necesita un método NO paramétrico.

Otra pista para ser usado en esta investigación, es que la variable a analizar es una variable ordinal, sabiendo que la Intensidad (I_{MM}) presentará valores en el rango de [1 - 12]. Con esta información, y la subdivisión que presenta ANOVA dentro de los métodos no paramétricos se toma la decisión de usar el Test de Kruskal Wallis o también conocida como prueba H .

El Test de Kruskal Wallis (**Kruskal; Wallis**, 1952) no se encuentra ligado a una distribución, o en otras palabras es bien empleado para distribuciones libres; y esta tesis es un claro ejemplo para ser empleado. Kruskal Wallis rechaza o afirma una hipótesis nula H_0 (**Dennis D Boos**, 1995); y de ser cierta esta H_0 , puede afirmarse que las muestras provienen de la misma población:

- H_0 : Las muestras provienen de poblaciones con medianas iguales
- H_1 : Las muestras provienen de poblaciones con medianas que no son iguales.

Kruskal Wallis calcula un estadístico H mostrado en la *Ecuación 3.8*, el cual tiene una distribución que se puede aproximar a la distribución *Chi Cuadrado* (**Lancaster; Seneta**, 2005), con grados de libertad $k-1$; donde k es el número de muestras las cuales no son constantes entre un grupo a otro; N es el número total de muestras en todas las observaciones; R_i es la suma de rangos de la muestra; n_i es el número de observaciones de la muestra 1 (Para la muestra 2, la suma de los rangos es R_2 y el número de observaciones n_2 , y así sucesivamente).

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N-1) \quad (3.8)$$

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left(\frac{R_1^2}{n_1} + \frac{R_2^2}{n_2} + \dots + \frac{R_k^2}{n_k} \right) - 3(N+1)$$

El resultado del proceso Kruskal Wallis devuelve un valor p , llamado en esta tesis como PKW , que se ha catalogado como “*Probabilidad Kruskal Wallis*”, que al ser un valor de probabilidad, su rango de valores es entre [0-1]. Dependiendo de este valor, el Servidor Intermedio emitirá una alarma o no. Por tal razón es necesaria su correcta interpretación (**Schervish , M.J.**, 1996) y buscar un valor PKW crítico (umbral) donde si supera o no este valor a determinar, se emita o no una alarma.

Así, se dice que valores altos de PKW no rechazan H_0 , y de igual manera, valores bajos rechazan H_0 :

$PKW \approx 0$	Valor significativo	Pone en duda la hipótesis nula y sugiere que al menos una mediana difiere significativamente unas de otras. PROVIENE DE DIFERENTES POBLACIONES.
$PKW > 0$	Valor NO significativo	Hipótesis nula correcta. Las muestras presentan una buena correlación PROVIENE DE UNA MISMA POBLACIÓN

Tabla 3.10: Probabilidad Kruskal Wallis.

Aunque esto parezca un procedimiento repetitivo y costoso, realmente es muy fácil de implementar gracias a las nuevas herramientas de programación existentes; incluso en diferentes tipos de entornos de programación.

3.5.4.1.1 Elección del valor de PKW crítico

Realizando el proceso de Kruskal Wallis, se obtendrá un valor PKW por cada ventana de tiempo ξ analizada, proporcionando información de similitud (homogeneidad) de las muestras en el Servidor

Intermedio. Mediante la programación de un simulador realizado en Java, el cual elimina muestras aleatoriamente de señales de aceleración como las que le llegarán al Servidor Intermedio, se analiza la variación de esta *PKW* con el fin de evaluar el mejor valor a ser empleado.

En este proceso se han empleado muestras de sismos reales pasados obtenidos por del *IGEPN* para simular de manera eficiente la variación del umbral. La *Tabla 3.11*, inicia con un máximo de 100 muestras por segundo disminuyendo 5 muestras en cada validación. Gráficamente en la *Figura 3.30*:

Muestras /segundo	Max. PKW	Media PKW	Min. PKW	#muestras PKW > 0.5	#muestras PKW < 0.5
100	0,9670	0,3627	1E-15	68	152
95	0,9670	0,3021	0		
85	0,9965	0,2594	1E-15		
80	1	0,2535	9E-15	53	180
75	0,9834	0,2482	6,40E-14		
65	0,9948	0,2439	2,891E-12		
60	0,9769	0,2403	2,64E-11	38	201
40	1	0,2489	4,32E-08		
35	1	0,2147	2,96E-07		
30	0,9684	0,2697	2,10E-06	35	191
20	0,9438	0,3014	7,51E-06		
5	0,8272	0,1923	4,61 E-06		

Tabla 3.11: Variación de *PKW* crítico por número de muestras.

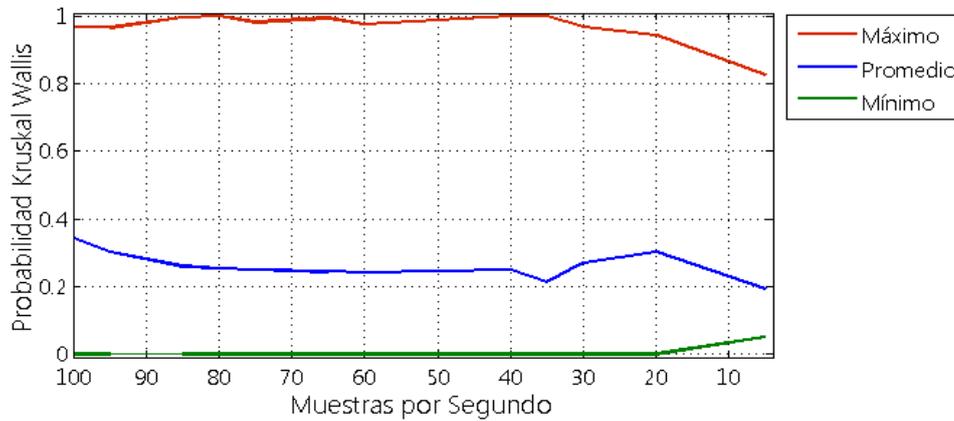


Figura 3.30: Variación de PKW dependiendo del número de muestras.

- En ninguno de los casos se llega a obtener un valor *PKW* excesivamente bajo, incluso cuando se llega a tener nada más que 5 muestras/segundo (que es lo mínimo que se requiere para el uso de ANOVA Kruskal Wallis) la *PKW* alcanza umbrales de valores cercanos al 0,90.
- Obviamente todos los casos presentan valores bajos, esto se debe a que el análisis fue realizado con señales reales cuya distribución es desconocida, donde nunca un evento sísmico se repite en todas sus condiciones. Entonces es imposible dar una certeza acerca de la variación exacta de *PKW*. El valor de 0,5, mantiene un balance donde no toda la información sea reconocida como un pico sísmico, y donde a pesar del número de muestras por segundo puede obtenerse valores máximos de 1 y 0.
- Cuanto la tasa de muestras/segundo disminuye, la *PKW* también disminuye, tal y como se demuestra en la *Figura 3.31*, que representa la diferencia entre una señal analizada con 100 y 5 muestras: Con el máximo número, existen muchos valores de *PKW* rodando el máximo valor de 1; mientras que con 5 muestras/segundo solamente presentan 3 valores que llegan a este valor; y de la misma manera para su opuesto el límite 0, donde con 5 muestras/segundo rondan altamente este valor.

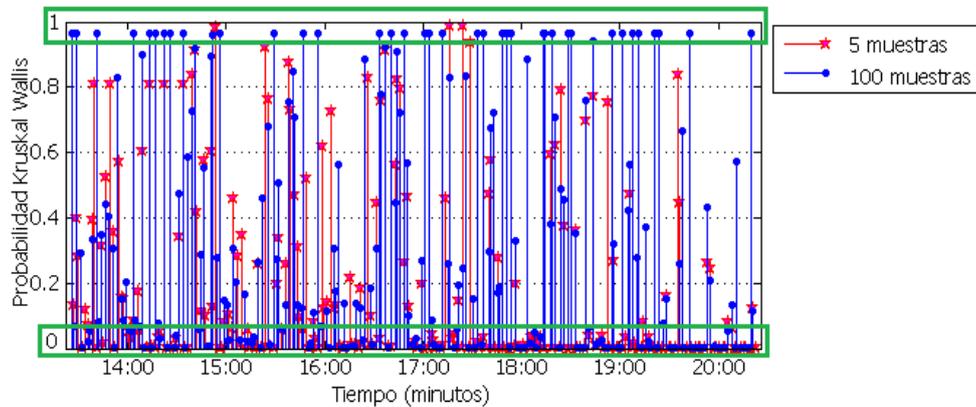


Figura 3.31: Comparación de PKW con 5 y 100 muestras.

- La PKW escogida reduce el número de falsos positivos ya que en media la máxima llega a 0,362; siendo la más alta entre las posibilidades presentes evitando así, que cualquier muestra sea detectada como pico sísmico.
- Aunque lo óptimo, a simple vista debería ser escoger una PKW mucho mayor, se debe tomar en cuenta que en el momento justo del pico sísmico de la señal, los movimientos son más bruscos donde las muestras pierden correlación.

El valor PKW debe superar un valor empírico crítico, el cual ha sido escogido por este análisis. El valor PKW crítico es definido en un valor correspondiente a 0,5. Por tanto, para que una alarma sea emitida por parte del Servidor Intermedio, es necesario que la PKW supere o al menos iguale el valor de 0,5 analizado y justificado.

3.5.4.2 Configuración de Ventanas Deslizantes

ANOVA no paramétrico Kruskal Wallis valida muestras entre un grupo de muestras; por lo que es necesario adaptar el Servidor Intermedio a este requerimiento. Para su empleo se ha diseñado un algoritmo de ventanas deslizantes mostrado en la *Figura 3.32* definiendo una configuración compuesta de 5 letras (A, B, C, D, E):

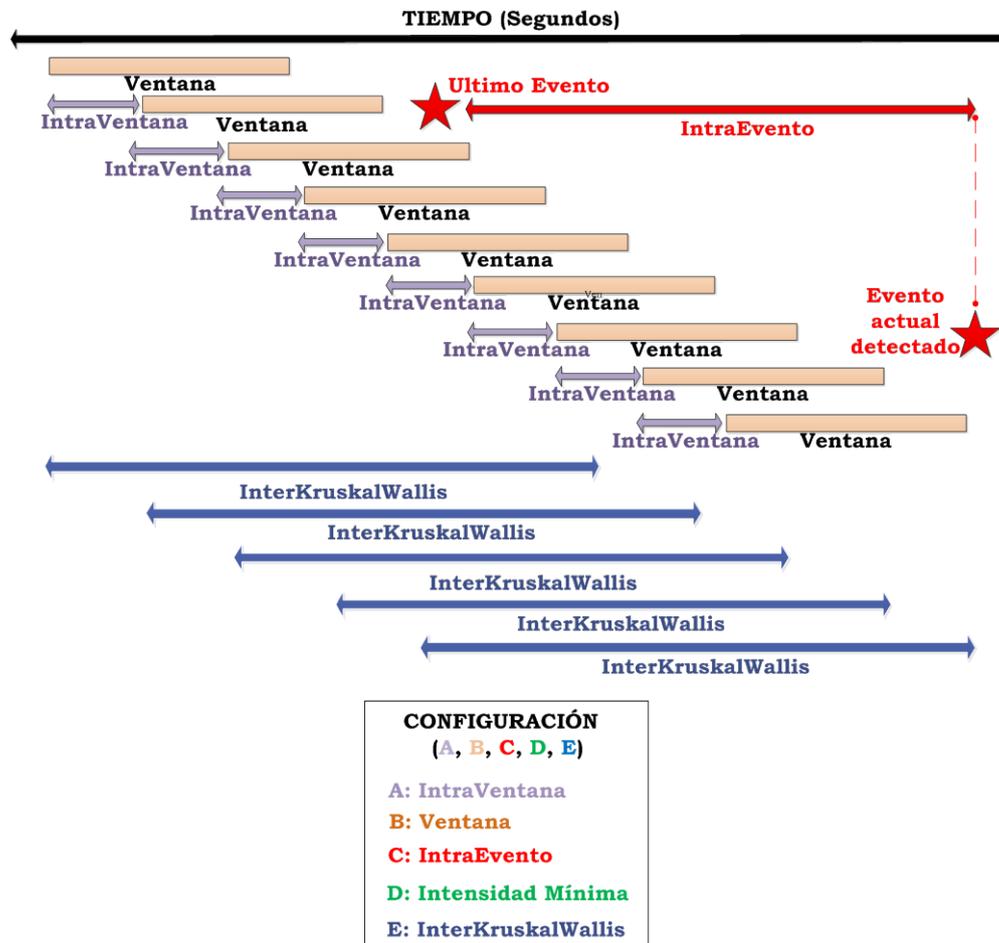


Figura 3.32: Kruskal Wallis en configuración de Ventanas Deslizantes.

- **A - IntraVentana:** Es un valor en segundos, que corresponde al espacio entre ventanas de tiempo (B).
- **B - Ventana:** Representa el tamaño de cada ventana de tiempo en segundos. Este valor correspondería a cada grupo independiente de muestras para realizar el análisis estadístico Kruskal Wallis anteriormente citado. En los ejemplos de las *Figura 3.25* y *Figura 3.26*, correspondería al valor de ξ .

- **C – IntraEvento:** Es la diferencia de tiempo (segundos) entre el último evento detectado y el actual. Su determinación es importante ya que eventos muy seguidos puede representar un mismo sismo y no valdría la pena notificar a la comunidad dos réplicas muy seguidas; y por el contrario, si es demasiado largo puede llegar el caso que no se notifique un segundo evento fuerte a la comunidad.
- **D – Intensidad Mínima:** Valor medido en (I_{MM}). Sirve como umbral mínimo para notificar solamente movimientos que superen ésta intensidad. Anteriormente ya se ha definido este valor en V (5).
- **E – InterKruskalWallis:** Medida en segundos, representa una “ventana padre” necesaria para realizar ANOVA Kruskal Wallis.

Esta configuración de ventanas (A, B, C, D, E) es la última validación que realiza el Servidor Intermedio antes de notificar a sus respectivos clientes la presencia de un sismo.

El valor que tomará cada una de estas letras de la configuración (A, B, C, D, E) será validado en el apartado 5.3.1.1, en donde se realiza un exhaustivo proceso de pruebas entre diferentes configuraciones para establecer cuál es la que entrega mejores resultados en eficiencia, precisión y obviamente, tiempo de anticipación al pico sísmico (tiempo de ganancia).

Es importante notar que este proceso ANOVA Kruskal Wallis no ha sido utilizado en el ámbito sísmológico anteriormente; sin embargo, se lo ha incluido como parte de esta propuesta puesto que teóricamente se acopla a las exigencias del sistema. Sin embargo, se comprueba que ofrece grandes resultados al comprobar que satisface los requerimientos de detección de la arquitectura, donde la *PKW* presenta un equilibrio con una buena correlación entre muestras; incluso en el preciso momento del pico sísmico al usar la configuración óptima escogida, como se puede observar más adelante en el apartado 5.3.1.1.

3.6 Tercera Capa: Centro de Control

El Centro de Control es el nodo central, cabeza y pilar de la arquitectura de esta tesis y es el encargado de manejar adecuadamente la gestión post-evento. El diagrama de bloques mostrado en la *Figura 3.33* muestra sus componentes y obligaciones:

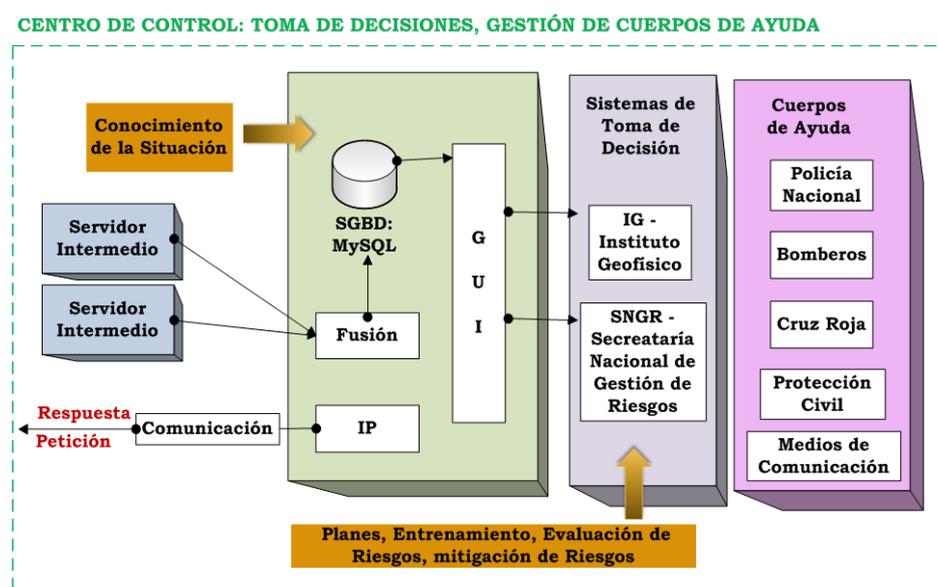


Figura 3.33: Diagrama de bloques Centro de Control.

El Centro de Control obtiene información de los Servidores Intermedios que conforman la segunda capa de la arquitectura adquiriendo conocimiento extra; conocimiento que por sí solo no puede determinar inmediatamente.

Es importante decir, que cuando se realizó la obtención de los requerimientos dentro del *IGEPN*, empleados e investigadores aducían que este proceso era necesario para mejorar la gestión post-evento, ya que hasta ese entonces (2012), para obtener información del lugar de catástrofe era necesario hacerlo individualmente vía telefónica a cada una de las agencias distribuidas en diferentes ciudades. La arquitectura propuesta permite mediante la compartición de recursos multimedia, por parte de usuarios de la primera capa, obtener una visión globalizada e inmediata del desastre en el lugar exacto.

to, solventando así, el requerimiento pedido por el *IGEPN*. Por otro lado, al recibir valores de intensidad georeferenciados se puede obtener un mapa de intensidad del sismo en tiempo real, que también fue una petición del *IGEPN*. Esta visión globalizada del desastre, no solamente puede ayudar al *IGEPN*, sino también a otros organismos como cuerpos de ayuda (policía, bomberos, cruz roja, medios de comunicación) para manejar adecuadamente el recurso monetario, humano y lo más importante, el tiempo. El Centro de Control, debe ser capaz de que con su información recopilada, ayudar a usuarios “*e-quake*” a conocer rutas seguras, y lugares de alto riesgo para que cada uno pueda tomar una mejor decisión.

3.7 Antecedentes e Iniciativas Actuales

En los últimos cientos de años, más de 300 millones de personas han muerto a causa de terremotos, y muchos millones más, han perdido sus hogares, tierras y pertenencias; economía en general. El riesgo latente de un terremoto ha motivado a los científicos e ingenieros a estudiar el tema sísmico a gran prisa.

En México, en 1995, un gran terremoto de magnitud 8,0 grados causó un gran catástrofe, sin embargo miles de vidas pudieron ser salvadas gracias a un *EEWS* (**Allen, R.**, 2011) que alertó con 50 segundos de antelación el evento.

El mayor enfoque es detectar la ocurrencia de un evento sísmico en el menor tiempo posible, esto implica comúnmente hablar en el orden de minutos y/o segundos, y a pesar de que este tiempo pueda parecer muy pequeño y a veces insignificante, existen estudios en los cuales sustentan que éste periodo de tiempo es suficiente para salvar miles de vidas; tomando en cuenta que es tiempo suficiente para poder salir de grandes edificios y estructuras (**Allen, R.**, 2011).

A continuación se presenta las propuestas más relevantes en este tema, incluso algunas de estas ya se encuentran implementadas con una buena acogida. Esta propuesta ha estudiado cada uno de los proyectos intentando abarcar puntos que no se llegan a contemplar en todas, sacando ventaja y mejoría a la gestión sísmica actual con un nuevo enfoque científico y técnico en el tema.

Dos proyectos similares, *QuakeCast* (**Chandy; A; Skjellum; Fellow; Ch; Clayton**) y *Quake-Catcher Network* (**Cochran; Lawrence; Christensen; Jakka**, 2009) usan acelerómetros *MEMS* para medir aceleraciones y mediante estas, poder analizar si ha existido un evento sísmico o no, y en el caso que lo detecte envía alarmas. Ambos proyectos se encuentran implementados por acelerómetros y un ordenador personal con grandes características que entrega una gran precisión ya que gracias a su estructura estática permite el uso del método de detección de picos por ondas P y ondas S (**Borrmann, B.; Engdahl, B.; Kind, R.**, 2012).

IShake (**Reilly; Dashti; Ervasti; Bray; Glaser; Bayen**, 2013) es un proyecto desarrollado por la Universidad de Berkeley, en California y utiliza *smartphones* y su acelerómetro incrustado, para la medición de la aceleración determinando cuando se avecina un evento sísmico. Este proyecto se encuentra realizado solamente para el sistema operativo *Apple iOS*, y a diferencia de nuestra propuesta utiliza un sensor extra, la brújula o compas, para la detección y validación de picos sísmicos.

Community Sensor Network (CSN) (**Faulkner; Olson; Chandy; Krause; Chandy; Krause**, 2011), creado por California Institute of Technology, el renombrado *Caltech* en Estados Unidos, es uno de los proyectos más sobresalientes en este tema, muy completo y eficiente en la actualidad. Este obtiene información sísmica por medio de *smartphones* e implementa un proceso de toma de decisiones distribuida sobre la nube Google, para lo cual utiliza servidores virtuales bajo la arquitectura *Google App Engine* (**Google**, 2015)

Gracias a su diseño estático, en el que los instrumentos de medida y cálculo permanecen inmóviles, *QuakeCast* y *Quake-Catcher Network* no ofrecen movilidad de sensores ni tampoco la distribución espacial que esta tesis sí contempla; por ende, estos son solamente orientados al aviso a los diferentes cuerpos de ayuda, mas no al aviso a la comunidad. Mientras que *QuakeCast* y *Quake-Catcher Network* dominan en precisión, ambos pierden en número de clientes, por tanto número de muestras y en cobertura física del terreno.

El incorporar *smartphones* a esta arquitectura envuelve un gran desafío de heterogeneidad, que implica que cualquier *smartphone*, sin importar sus características físicas (*hardware*) y versión del sistema operativo, sea capaz de formar parte del sistema si así lo desea

de manera totalmente transparente, tanto para sí mismo, como para los demás usuarios y para los demás dispositivos de cálculo y procesamiento. Un sistema escalable, que implique nuevos algoritmos de detección de picos sísmicos, pensados en contemplar un ambiente más real; como contemplar el movimiento al cual está sometido un *smartphone* al ser llevado por su dueño, o, el consumo de batería que un usuario estaría dispuesto a brindar por una ayuda global; etc.

IShake, por su parte, a pesar de usar *smartphones* pareciendo ganar muchos clientes, presenta muchas limitaciones de uso puesto que para su detección es necesario una ajustada precisión en el valor de la orientación receptada por su brújula, y esto no se ve posible si el *smartphone* se encuentra en constante movimiento; por tanto este sistema fuerza a los dispositivos a encontrarse estacionarios para su funcionamiento, lo cual no es un entorno real al limitar al usuario; y de aquí, es obvio deducir, que los resultados obtenidos de sus pruebas han sido sometiendo a *smartphones* al reposo absoluto. Por el contrario, esta tesis ha sido validada bajo condiciones reales, sin restricción alguna a los usuarios donde los clientes son capaces de utilizar su *smartphone* igual que como si la aplicación no se encuentre instalada, asegurándonos así la incorporación de un sinfín de clientes.

IShake utiliza un servidor de *U.S Geological Survey (USGS)* para la validación de muestras recogidas, y gracias a su gran capacidad, tanto *hardware* como *software* tiene una precisión casi perfecta en la definición de un sismo; sin embargo para que *IShake* alerte si ha existido un sismo o no, es necesario que se realice una doble validación, tomando tiempo extra dejando de lado características esenciales de un sistema de Tiempo Real Crítico. Sería el mismo caso en que esta arquitectura una vez determinado el evento pierda tiempo (milisegundos tal vez) y pregunte al *IGEPN* si está seguro de que ha existido un sismo, y posteriormente notificar.

Quake-Catcher Network es un proyecto conjunto, desarrollado por la Universidad de Standford y la Universidad de California; mantienen actualmente una estructura funcional y operativo con un gran número de usuarios dentro de un sistema distribuido; pero contrario a esta propuesta, *Quake-Catcher Network* realiza validaciones sin to-

mar en cuenta el tiempo de procesamiento ni el costo computacional; lo cual es implícito al hablar de un desarrollo con *smartphones*.

Es importante destacar también, que tanto *Quake-Catcher Network* y *QuakeCast*, han sido complementados por esta propuesta de tesis cubriendo ampliamente el trabajo futuro expuesto por estos dos trabajos.

¿Qué pasaría si un desastre de cualquier tipo sucediese y Google dejara de funcionar?, o de manera más realista, si un día, Google deja de funcionar por unas cuantas horas, lo cual efectivamente ha sucedido; *CSN* también dejaría de ofrecer servicio, sin tener ni idea de lo sucedido, sin tener manera de remediarlo, y sin poder asegurar cuánto tiempo durará el intermedio o cuánto dinero podrá representar el fallo. *CSN* se encuentra ligado completamente al servicio de Google lo cual implica no solamente funcionamiento sino también: estrategia, cambios de infraestructura, sometidos a posibles costes de mantenimiento e instalación, sin dejar de lado la falta de mecanismos de estandarización y migración. Esta nueva propuesta se ha desarrollado de manera que no dependa de ningún servicio, utilizando *software* libre dependiendo solamente de la conexión del *smartphone* a la red y localización *GPS*. Es importante recalcar que, dado que es un sistema de prevención (pre-evento) se ha asumido que las comunicaciones se mantienen funcionales cuando la alarma es generada.

Así mismo, dos de los logros y ventajas obtenidas respecto a otros proyectos, primero ha sido la gran mejora conseguida en el manejo de energía consumida por la aplicación móvil desarrollada; e incluso esta reducción significativa de batería consumida puede ser incrementada modificando tasas de muestreo, tiempos de reconexión y número de *beacons* como se puede observar en el apartado 5.2.2; y segundo, es el lograr incorporar características únicas de la zona, en este caso Ecuador, en el proceso de validación, donde otros proyectos se limitan a subdividir el territorio en áreas rectangulares o incluso otros no toman en cuenta el proceso como *CSN*; obteniendo así, un servidor de segundo nivel, modificable, personalizable y eficiente para cada nación o posición geográfica.

Por último, a esta propuesta se agrega un nuevo módulo no existente en otros proyectos. La tercera capa de esta arquitectura, el Centro de Control el cual permite optimizar de mejor manera el proceso post-evento dando conocimiento a los clientes de centros de ayuda cercanos a su ubicación, y a través de la información compartida por otros clientes poder encontrar la mejor ruta a estos centros; y por otro lado, ayudar a los diferentes centros de ayuda como bomberos, ambulancias, cruz roja, etc. a una distribución de recursos económicos y humanos eficiente lograda por la visión global obtenida por esta compartición masiva de información multimedia.

3.8 Características Específicas de la Arquitectura

La estructura diseñada aporta varias ventajas al sistema, muchas de estas en el transcurso del documento ya han sido citadas, sin embargo se cree conveniente dar a conocer todo lo que la arquitectura en capas representa. A continuación, la *Tabla 3.12* detalla las principales características que contribuirán en el éxito de la propuesta.

VENTAJA	JUSTIFICATIVO
Mantenimiento simple	<p>Todo el mantenimiento de los sensores que actuaran como acelerógrafos en la primera capa, es responsabilidad del usuario. El usuario debe prestar unos pocos segundos en instalar y actualizar la aplicación “<i>e-quake</i>” cuando sea necesario.</p> <p>La segunda y tercera capa, realmente no presenta necesidad de un mantenimiento exhaustivo; no requieren más que los pre-requisitos <i>software</i> para que la aplicación desarrollada pueda ser instalada y mantenga su funcionamiento sin problemas.</p>

Adaptativa y escalable	<p>La estructura jerárquica facilita para que ningún usuario de la capa 1 perciba que se ha incluido nuevos miembros en la arquitectura, pudiendo ser, más clientes (Capa 1) o nuevos servidores intermedios (Capa 2).</p> <p>La arquitectura debe ser transparente para trabajar con 1, 10, 100, 1.000 o más usuarios. Entonces, la arquitectura puede añadir nuevos servidores que ayude con peticiones, procesamiento y notificaciones a otro que se encuentre con demasiada carga.</p>
Ágil	<p>La arquitectura se desenvuelve de manera continua y rápida. Se implementa protocolos ligeros que utilicen un mínimo consumo de CPU, lo cual libera recursos en cada servidor intermedio.</p>
En tiempo real	<p>Es un requisito del sistema solventado con el uso de protocolos en tiempo real y tiempos de expiración cortos.</p>
Segura	<p>Puesto que en el traspaso del mensajes también se incluye información personal del usuario, es necesario utilizar un método de cifrado. En este caso la arquitectura permanece segura utilizando SSL (Alan Freier; Philip Karlton; Paul Kocher, 2015)</p>
Ajustes de reloj	<p>Para la sincronización de relojes en cada una de las capas, se utiliza un servidor <i>NTP</i>; ubicado en la tercera capa sirviendo de referencia en el eje del tiempo.</p>
Comunicaciones	<p>Una gran cantidad de tecnologías pueden ser empleadas (<i>WiFi, GPRS, 3G, 4G</i>) gracias a las capacidades multi-interfaz actuales, y cada día mejores de los</p>

	<i>smartphones</i> . Desde el punto de vista de la aplicación móvil “ <i>e-quake</i> ” es posible pasar de una red de comunicaciones a otra, si la conexión actual se ha perdido.
Aplicación móvil de bajo consumo de energía	Este es un requisito del sistema el cual es muy influyente en el éxito de la propuesta en términos de número de clientes, que al fin implica precisión; por tanto es necesario tomar en cuenta para evitar el alto impacto en la experiencia de usuario de la aplicación móvil y la posible deserción de los usuarios.
Precisión	Debe ser tratado con cuidado ya que un “falso-positivo” (alertar sin que exista el evento) puede provocar el caos en la ciudadanía perdiendo por ende, la credibilidad en el sistema, lo que implicaría una reducción de usuarios. El sistema total alcanza una precisión superior al 90% lo que es un logro a recalcar.
Económico	Un volumen amplio de sensores a costo nulo. Servidores con características suficientes para cubrir un rango de cobertura y un centro de control.
Personalizable	Ya que las características de la tierra son diferentes para cada lugar, el sistema ha sido desarrollado tomando en cuenta características únicas de la zona al usar ecuaciones específicas del Ecuador; garantizando de esta manera una mejor precisión en la validación.

Tabla 3.12: Ventajas de la arquitectura propuesta.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL SISTEMA

“La contemplación es un lujo, mientras que la acción es una necesidad.”

Henri Bergson

CONTENIDO

- 4.1 INTRODUCCIÓN
 - 4.2 CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE Y SOFTWARE
 - 4.3 DESARROLLO DE LA PRIMERA CAPA
 - 4.4 DESARROLLO DE LA SEGUNDA Y TERCERA CAPA
 - 4.5 REPOSITORIO DE DATOS
 - 4.6 COMUNICACIÓN PRE-EVENTO
 - 4.7 COMUNICACIÓN POST-EVENTO
-

4.1 Introducción

Tan importante como el diseño de la misma arquitectura que incluye la investigación previa, la determinación de los requerimientos del sistema y objetivos a lograr, es el desarrollo de la misma. De nada sirve una arquitectura bien diseñada si las herramientas con las cuales se construyen no son las adecuadas. Afortunadamente, hoy en día, en la actualidad, existe una gran variedad de opciones que nos permiten acoplar y personalizar a cada necesidad nuestros programas o sistemas.

Éste capítulo se centra en analizar y escoger las mejores opciones para la arquitectura, tanto *hardware* como *software* para cumplir de la manera más eficaz esta tesis. Así, el capítulo comienza definiendo los pilares principales que rigen al desarrollo de las tres capas de la arquitectura propuesta; y seguido se detalla las especificaciones de cada una de las capas justificando las herramientas a utilizar.

Se presentan además las interfaces de usuario con su explicación respectiva; en sí, un breve instructivo de usuario.

El almacenar información es un requisito no dicho hasta el momento pero también intuitivo. Un repositorio de datos es necesario en el Servidor Intermedio y la tercera capa, el Centro de Control, siendo cada uno capaz de gestionar de manera sencilla una gran cantidad de información enviada por los clientes “*e-quake*” en todo instante de tiempo (sin interrupción). Se escoge la mejor opción detallando las ventajas incorporadas al usar dicha herramienta, así como una breve comparación entre las herramientas más usadas en la actualidad.

Por último, ya que es necesaria la interacción entre capas, se definen los protocolos de comunicación que satisfagan los requerimientos de un sistema en tiempo real distribuido; y de la misma manera, para el proceso de notificaciones a muchos usuarios. Se realiza el análisis para conseguir una comunicación fiable y segura tanto para el “pre-evento” y como para el “post-evento” citando las posibles soluciones.

4.2 Características Hardware y Software

La sociedad del conocimiento ha modificado la forma que ve el mundo el proceso que vivimos entre personas, empresas y gobiernos, haciendo más eficiente la interacción entre cada uno; empresas con servicios on-line, personas que conocen personas, gobiernos con utilidades web, control de la información inmediata y actualizada, etc. Todo esto a través de *software*.

La definición de esta palabra “*software*” se encuentra en el estándar 729 de *IEEE*: “la suma total de los programas de cómputo y procedimientos, reglas, documentación y datos asociados que forman parte de las operaciones de un sistema de cómputo” (**IEEE**, 1993); otra definición a la cual nos acogemos de mejor manera normalmente es como *programática o equipamiento lógico (intangible)* (**Wikipedia**, 2015). De estas dos definiciones entendemos al *software* como un conjunto lógico que debe ser ejecutado por el *hardware* (equipamiento físico) a través de tareas diseñadas para lograr un objetivo específico.

Este apartado define el tipo de *software* que se utilizará en toda la arquitectura empleada para desarrollar cada una de las capas; sin olvidar que la primera capa requiere un desarrollo de aplicación móvil, que implícitamente atrae nuevos requerimientos no presentes en las otras dos, las cuales corresponden a aplicaciones netamente de escritorio. Por tal razón es necesario considerar dichos nuevos requerimientos para un correcto y eficiente desarrollo.

Para realizar un programa o aplicación (*software*) existen muchas posibilidades, tanto en lenguajes de programación como en costo, libres o propietarios. Es muy normal que usuarios confundan dos de estos términos, libre y gratuito, sin embargo son dos clasificaciones diferentes dentro de la teoría de *software*, donde una no implica a la otra, por ejemplo: un programa puede ser gratuito y al mismo tiempo no ser libre, como *Microsoft Internet Explorer*.

A continuación la *Tabla 4.1* presenta los tipos de *software* y sus definiciones (**Culebro, M.; Gomez, W.G.; Torres, S.**, 2006):

SOFTWARE	DEFINICIÓN
LIBRE	Respalda la libertad de las personas que lo adquieren a modificarlo, usarlo, estudiarlo e incluso redistribuirlo libremente. También suele conocerse por el término de “ <i>software</i> de código abierto” o en inglés “ <i>open source</i> ”.
PROPIETARIO	Es un antónimo al <i>software</i> Libre; y analógicamente se refiere a <i>software</i> el cual no es libre o semi-libre; el cual prohíbe toda modificación, uso, redistribución o requiere expresamente un permiso del propietario.
COMERCIAL	Es sostenido por la industria a través de su producción, distribución o soporte. Significa en otros términos que mantiene un costo económico. Este término es independiente de ser libre o propietario.
GRATUITO	Significa que para su uso no tiene costo alguno. Usualmente pueden descargarse mediante internet. Este término es independiente de ser libre o propietario.

Tabla 4.1: Tipos de software y definiciones.

Es posible encontrar tanto *software* libre como propietario no solamente en sistemas operativos; sino en muchos otros de tipos de aplicaciones más como: reproductores de video, editores de texto, navegadores, entre otros. La siguiente *Tabla 4.2* nos permite dar un repaso a la gran oferta que tiene cada parte; por medio del ejemplo más representativo de cada uno.

	Software Libre	Software Propietario
Sistema operativo	Linux	Microsoft Windows
Editor de Texto	Open Office	Microsoft Office
Reproductor de video	VLC	Windows Media Player
Reproductor de sonido	Amarox	iTunes
Navegador	Mozilla Firefox	Safari
Editor de imágenes	GIMP	PhotoShop
Editor de video	Open Movie Editor	Windows Movie Maker
Compresor de archivos	7-Zip	WinZip

Tabla 4.2: Ejemplos de aplicaciones de software Libre y propietario.

De la *Tabla 4.1*, definimos utilizar un sistema operativo del tipo “software gratuito y libre” para todas las capas de la arquitectura; donde se presentará diferentes requerimientos escogiendo el lenguaje de programación adecuado para cada una de ellas. Las ventajas entregadas a la arquitectura propuesta son (**Gomez Rafael**, 2004):

- Aunque no es parte de nuestros requerimientos ni objetivos el modificar un sistema operativo, siempre será una ventaja el emplear un sistema operativo de distribución libre al no estar ligado a uno que obligue a posibles cambios.
- El utilizar un sistema operativo gratuito no genera ningún costo en ninguna fase: diseño, desarrollo e implementación; pudiendo asumir que existirán más usuarios conformando la arquitectura (haciendo referencia a la primera capa).

- El mantener *software* gratuito también implica que no se menguarán las aspiraciones de crecimiento y mejoramiento de las aplicaciones por costos o incrementos por parte del propietario.
- La libertad de uso y redistribución al usar *software* libre implica el poder incrementar y mejorar el proceso de desarrollo al poder instalar tantas veces y cuantos equipos sean necesarios.
- La gran acogida de usar código abierto brinda una gran ventaja al momento del desarrollo ya que existe mucha información en línea y foros de ayuda conjunta para solventar de mejor manera dificultades encontradas.
- Gracias al apoyo de la comunidad al modificarlo y mejorarlo ha proporcionado cada vez *software* más robusto y seguro; equiparando en algunos casos al *software* comercial propietario.

Se hace notar que no se ha realizado una definición *hardware* del sistema, ya que posteriormente se define lo básico necesario para la implementación en cada capa de la arquitectura.

4.3 Desarrollo de la Primera Capa

El desarrollo de la primera capa, la aplicación “*e-quake*” con la cual los usuarios se involucran como parte de esta tesis, necesita de sumo cuidado puesto que tiene requerimientos específicos al mantener recursos limitados de energía y procesamiento; además de ser indispensable una *GUI* rápida e intuitiva con la cual el usuario se sienta cómodo. Así el usuario verá la aplicación “*e-quake*” como un gestor de ayuda, más no como un proceso que solamente consume batería y recursos de su *smartphone*. Se espera que la aplicación tenga una gran acogida, y con el pasar del tiempo y mejora continua de la misma, llegar a obtener mayor cantidad de usuarios sirviendo a la comunidad al actuar como sensores sísmicos en un sistema de gestión de emergencias para salvar vidas.

4.3.1 Equipamiento Hardware

Sin duda existen muchos más parámetros a tomar en cuenta entre realizar una aplicación móvil a una aplicación de escritorio; si los algoritmos de detección de picos planteados en el apartado 3.4.2.5 se ejecutaran sobre un ordenador en la Tierra, con una gran cantidad de memoria RAM, con varios servidores disponibles a procesar, sin olvidar la capacidad de almacenamiento y memoria; no habría que tener en cuenta parámetros como el recurso primordial desde el punto de vista del usuario en un *smartphone*: la batería, o tal vez el hecho de acoplar el *GUI* a una pantalla de 4.8 pulgadas o incluso menos. Por tanto con un análisis astuto de recursos se escoge el *hardware* y *software* adecuado para “*e-quake*”.

La aplicación “*e-quake*” realmente no requiere atributos *hardware* excepcionales, pero no puede prescindir de unos básicos:

- **Acelerómetro:** Es el corazón de toda la arquitectura comportándose como sensor “acelerógrafo” al medir los cambios de aceleración.
- **Sensor GPS:** Necesario para localizar al usuario y definir el Servidor Intermedio más cercano que analizará sus muestras.
- **Comunicaciones (WiFi- 2G – 3G – 4G):** Sin importar el tipo de comunicación es necesario alguna de estas para transmitir la información necesaria que defina un pico sísmico.
- **Cámara:** No es un requerimiento, pero ayudaría mucho al envío multimedia en la gestión post-evento.

Actualmente casi todos los *smartphones*, incluso los más básicos y accesibles a la comunidad, mantienen este equipamiento *hardware* necesario para el análisis y diseño planteado. Obviamente, la calidad de cada sensor contribuirá a la precisión del sistema.

La aplicación podrá ser instalada en cualquier *smartphone* acoplándose a las características particulares de cada uno, como el tamaño de la pantalla, entre otros. Sin embargo es necesario citar que para el desarrollo de la aplicación “*e-quake*” se realiza un análisis de

smartphones de gama media y alta para escoger dispositivos adecuados. La aplicación se ha diseñado y desarrollado sobre los dispositivos presentados en la *Tabla 4.3*, con diferente *hardware* y diferente versión de sistema operativo, con el fin de comprobar su diseño y eficiencia en la mayor cantidad de dispositivos y solucionar problemas que se hallen de versión a versión:

CAPA	Tipo	Num.	Dispositivo	Sistema Operativo (Versión)
Capa 1	Sensor	2	Samsung Galaxy Ace II	Android (2.3.6)
Capa 1	Sensor	2	Samsung Galaxy S3	Android (4.1.2)
Capa 1	Sensor	3	HTC Desire	Android (2.3.5)
Capa 1	Sensor	2	LG Optimus P700 (L7)	Android (4.0.3)
Capa 1	Sensor	1	LG Optimus P470 (L5)	Android (2.2.0)
Capa 1	Sensor	2	Sony Xperia X8	Android (2.3.7)

Tabla 4.3: Lista de dispositivos usados.

Es necesario tomar en cuenta que, por tanto los resultados de la evaluación, (Capítulo 5 apartado 5.2.2 y 5.2.3) podrían variar dependiendo de cada modelo empleado.

4.3.2 Definición del Sistema Operativo Móvil

Haciendo referencia a las distintas posibilidades actuales, la *Tabla 4.4* representa las últimas versiones de los fabricantes más relevantes actualmente; y son estos sistemas operativos con los cuales se realizará los análisis.

	iPhone iOS	Android	Blackberry	Windows Phone
Última Versión	i.O.S 6.0	“Kit Kat” 4.4.4	O.S. 7	Windows Phone 8.1 “Blue”
Propietario	Apple	Google	Research in Motion Limited	Microsoft
Último dispositivo	iPhone 6	Samsung Galaxy Alfa	Blackberry Passport	Nokia Lumia 900

Tabla 4.4: Principales sistemas operativos móviles.

Cada uno de estos con el transcurso del tiempo ha ido escalando; y al realizar una investigación, búsqueda y comparaciones entre estos diferentes sistemas operativos móviles se decide usar **Android** como plataforma para la aplicación móvil a desarrollar.

Se ha decidido centrar el foco en acotar las ventajas presentes al usar Android como sistema operativo para el desarrollo de “*e-quake*”; sin embargo, puede detallarse más las diferencias entre cada sistema operativo en (**TechTarget**, 2013) (**WhatPhone**, 2012) haciendo énfasis en simplicidad, confiabilidad, flexibilidad, dispositivos, seguridad, etc.

Android es un *software* móvil que basa su funcionamiento en Linux versión 2.6, y fue adquirida por *Google* en el año 2005, sin embargo no fue hasta luego de 3 años que empezó a ser tomado en cuenta como competidor móvil (**Gadhavi, B.; Shah, K.**, 2010) (**Baez Manuel; Borrego Alvaro; Cordero Jorge**, 2015); y ya para el año 2010 llega a ser de los más utilizados, incluso acercándose al majestuoso iPhone. Android presenta grandes ventajas colaborando la decisión de diseño:

- Actualmente es un sistema firme en el mercado.
- Opciones multitarea, que se convierte en indispensable al mantener servicios y procesos que se ejecuten en *background*.

- La confianza que les otorga Google es innegable teniendo en cuenta que diariamente se usa servicios Google y ninguno, o mejor dicho, casi ninguno presenta problemas.
- Android basa sus mapas en el conocido *Google Maps* dando una gran versatilidad de uso.
- La navegación por internet es fiable.
- La gran acogida en el mercado de Android hizo que grandes marcas como *LG*, *Samsung* o *Motorola* lo utilicen; además de que los costos promedio son más económicos que *iPhone* y *Blackberry*

Es importante también notar que aunque la aplicación desarrollada se realice inicialmente en Android, posteriormente se realizará un proceso de migración a otros sistemas operativos, primeramente con *iOS* Apple y siguiente con *Windows Phone* que como se puede ver en el apartado siguiente, son (aunque de muy lejos) los competidores de Android.

Por otro lado, este sistema operativo no solamente se puede encontrar en *smartphones*, sino también en relojes, tabletas, libros electrónicos, reproductores de música e incluso en ordenadores; todo esto aumenta la probabilidad en el número de usuarios dentro de esta gestión de emergencias sísmicas.

4.3.2.1 Análisis de Mercado Actual

Google anunció en noviembre del 2007 la entrada en el mercado de un nuevo sistema operativo llamado Android y desde entonces no ha parado de crecer. Como muestra la *Figura 4.1* y la *Tabla 4.5*; donde muestra un amplio e innegable crecimiento desde el primer cuatrimestre del 2011 al segundo cuatrimestre del 2014 llegando a un 84,7% (**IDC**, 2014) (**IDC**, 2014), mientras que sus competidores han ido decreciendo gradualmente en el transcurso del tiempo:

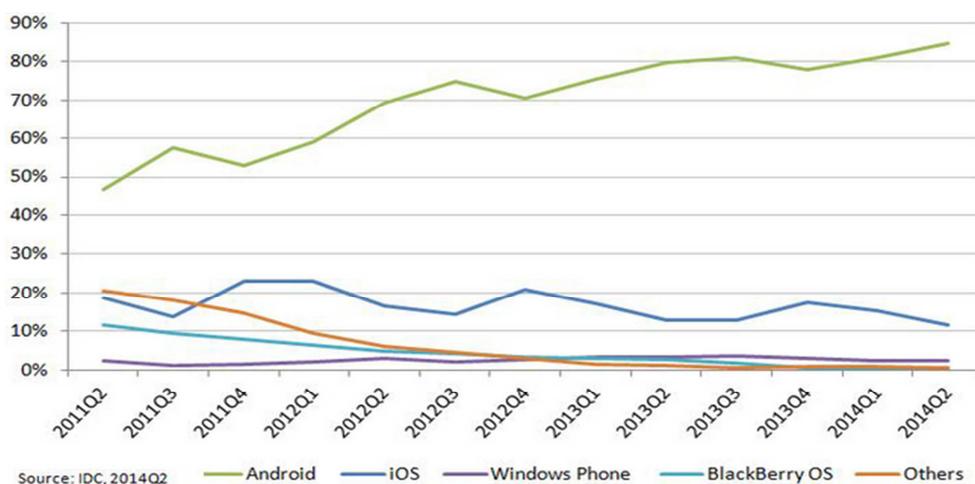


Figura 4.1: Comparativa de acogida entre sistemas operativos móviles.

Periodo	Android (%)	iOS (%)	Windows Phone (%)	BlackBerry OS (%)	Otros (%)
2Q/2011	36,1	18,3	1,2	13,6	
2Q/2012	69,3	16,6	3,1	4,9	6,1
2Q/2013	79,6	13,0	3,4	2,8	1,2
2Q/2014	84,7	11,7	2,5	0,5	0,7

Tabla 4.5: Comparativa numérica entre sistemas operativos móviles.

Unidades vendidas	2013 (millones)	2014 (millones)	Crecimiento
Android	191,5	255,3	33,3
iOS	31,2	35,2	12,7
Windows Phone	8,2	7,4	-9,4
BlackBerry	6,7	1,5	-78
Otros	2,9	1,9	-32,2
TOTAL	240,5	301,3	25,3

Tabla 4.6: Unidades vendidas por sistema operativo.

Como se puede observar tanto en la *Figura 4.1* como en la *Tabla 4.5* y *Tabla 4.6*, los sistemas operativos Android y *Apple iOS* abarcan el 97% de los usuarios actualmente, dejando muy poca opción para el resto de sistemas operativos. Android lidera ampliamente el mercado con 255 millones de unidades vendidas en el 2014 y el 33% de crecimiento con tendencia creciente. Su seguidor *Apple iOS* ha conseguido menos de la mitad de ventas entre el 2013 -2014.

Esto solamente se convierte en una razón más para que Android haya sido escogido como sistema operativo, puesto que al tener más posibilidad de número de usuarios en el sistema, a costo nulo; se prevé una mejor acogida que con otros sistemas operativos del mercado.

4.3.2.2 *Plataforma de desarrollo*

Un sistema operativo siempre se encuentra en constante mantenimiento, y Android desde su inicio con la versión 1.0 para el *smartphone Querty HTC G1* ha pasado por diferentes versiones hasta la más actual 5.0 (**Baez Manuel; Borrego Alvaro; Cordero Jorge**, 2015) (**Android Sitio Oficial**, 2015) mostradas en la *Tabla 4.7*:

 “Dado que estos dispositivos hacen nuestra vida tan dulce” Cada versión de Android presenta el nombre de un postre Cada versión hace que algo nuevo sea posible				
Num	API	Versión	Reseña Android	Características
1.6	4	Donut	¡La información del mundo a tu alcance! Buscar en la web, obtener direcciones de conducción o simplemente visualizar cualquier video.	<ul style="list-style-type: none"> • Widgets. • Teclado Querty virtual. • Copiar y pegar. • Captura de videos para subirlos en Youtube.

2.0	7	Eclair	¡Modifique su pantalla de inicio a su gusto! Organizar aplicaciones y <i>widjets</i> a través de múltiples pantallas y carpetas.	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoras en <i>Google Maps</i>. • Salvapantallas animado. • Incluye zoom digital para cámara.
2.2	8	Froyo	Permite introducir texto con acciones de voz para controlar el móvil.	<ul style="list-style-type: none"> • Incluye <i>hostpot</i> WiFi. • Mejora la memoria, más veloz. • Microsoft Exchange. • Video Llamada. • Trabajo con sensores.
2.3	10	Gingerbread	Nuevos sensores que hacen que el móvil sirva para algo más. Tocar, girar, inclinar, y reproducir.	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoras en el consumo de batería. • Soporte de video online y teclado virtual. • Soporte con pagos NFC.
3.0	12/ 13	Honeycomb	Optimizado para tabletas. Abre nuevos horizontes.	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte Flash y Divs. • Integra Dolphin.
4.0	15	Ice Cream Sandwich	Con un nuevo diseño, refinado, simple, hermoso y más allá, inteligente.	<ul style="list-style-type: none"> • Multiplataforma. • Barras de estado. • Pantalla principal con soporte para 3D. • Soporte USB para teclados.

				<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento facial. • Controles para PS3.
4.1	16/ 17	Jelly Bean	Rápido y sin problemas con gráficos. <i>Google Now</i> proporciona la información correcta al instante.	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte inteligente <i>Bluetooth</i> (Relojes inteligentes). • Marcación inteligente. • Soporte de lenguaje Hebreo y Árabe. • Perfiles personalizados para Tablet.
4.4	19	Kit Kat	Elegante y sencillo y solamente tuyo. Un diseño pulido, con mejor rendimiento y nuevas características.	<ul style="list-style-type: none"> • Solo dí "Ok Google" • Un trabajo de arte mientras el móvil permanece bloqueado. • Mejoramiento multitarea. • Mejoramiento en llamadas.
5.0	21	Lollipop	Inteligencia en pantallas grandes y pequeñas e información correcta en el momento adecuado.	<ul style="list-style-type: none"> • Android TV, mucho más que un <i>smartphone</i>. • Diseño de material resistente al líquido. • Mejor seguridad. • Mejora en consumo de batería.

Tabla 4.7: Versiones del sistema operativo Android.

Un Interfaz de Programación de Aplicaciones (*API*) representa a un conjunto de herramientas para que el desarrollador pueda realizar aplicaciones y servicios sobre un producto. Sería óptimo el desarrollar la aplicación con la última Interfaz de Programación de Aplicaciones (*API*) en el mercado; obviamente este presenta mejores prestaciones, ha superado grandemente el consumo de batería, y añade parches a errores de versiones anteriores; por tanto pensando muy a leves rasgos esta sería la mejor opción. Sin embargo, es necesario pensar en las premisas para escoger la mejor versión de sistema operativo o en otras palabras, el escoger el nivel de *API* a partir el cual un *smartphone* puede ser parte de esta tesis siguiendo las siguientes premisas:

- **Mercado:** Podría decirse que cuanto más reciente sea una versión, menos dispositivos estarán usando esa versión; y cuanto más antigua sea la versión presentará más usuarios. La *Figura 4.2* y *Figura 4.3* y *Tabla 4.8* muestran que el *API* mayormente usado es Gingerbread (actualizado 2012) (**Android Developer**, 2015):

Número	Versión	API	Distribución (%)
1.5	Cupcake	3	0,1
1.6	Donut	4	0,4
2.1	Eclair	7	3,4
2.2	Froyo	8	12,9
2.3 - 2.3.2	Gingerbread	9	0,3
2.3.3 - 2.3.7		10	55,5
3.1	Honeycomb	12	0,4
3.2		13	1,5
4.0.3 - 4.0.4	IcreCream Sandwich	15	23,7
4.1	Jelly Bean	16	1,8
			100 %

Tabla 4.8: Porcentaje de aceptación por versión Android.

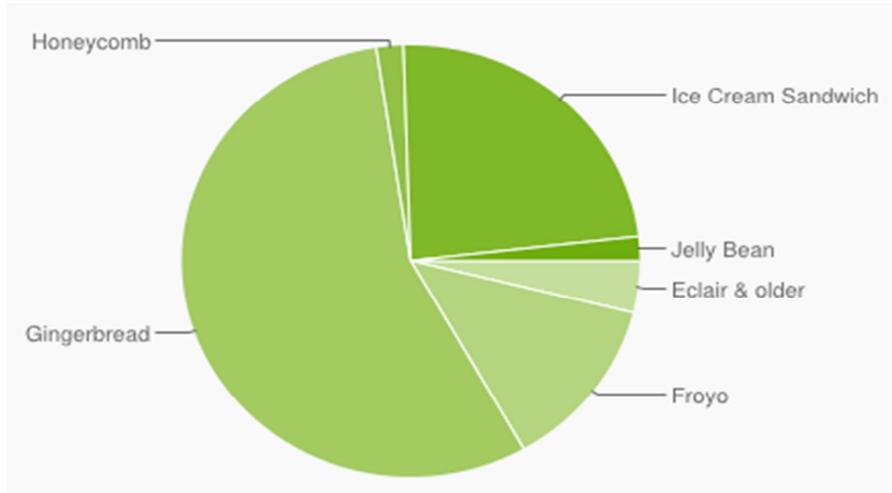


Figura 4.2: Diagrama de pastel por versión en Android.

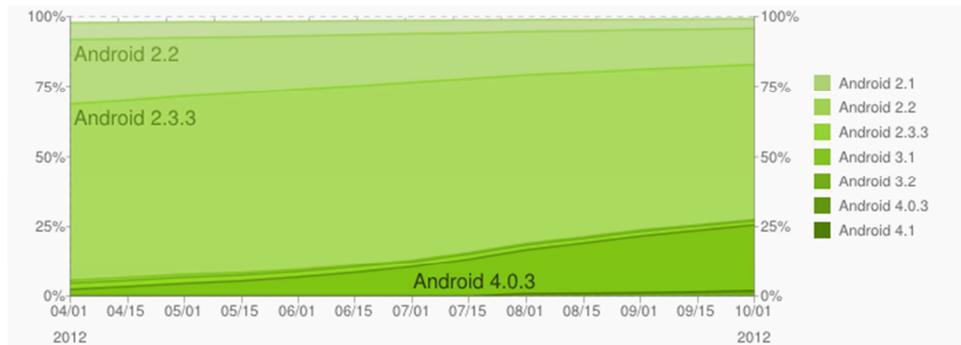


Figura 4.3: Aceptación por versión por cuatrimestre.

- Compatibilidad:** Las versiones de Android son compatibles de arriba hacia abajo, pero no en sentido contrario (no necesariamente); lo que quiere decir que una versión nace de su anterior, donde la “versión madre” no mantiene las funcionalidades y atributos de su “versión hija”; por ejemplo: La versión Gingerbread – Android 2.3 es compatible con las posteriores versiones hasta Lollipop – Android 5.0. Pero la versión Lollipop – Android 5 no es compatible con una versión Gingerbread – Android 2.3.

- Declarar el mínimo nivel API:** La primera versión no presenta las mismas funcionalidades que la última, y una nueva versión acarrea más funcionalidades para brindar mejor comodidad y seguridad al usuario. Por tanto es necesario saber el mínimo API desde el cual cumple con las funcionalidades que se necesita; en este caso en particular es necesario: el uso de sensores, GPS, comunicaciones, cámara (de preferencia). La *Tabla 4.9* asocia el nivel de API con la manipulación de sensores (**Android Developers**, 2015):

Sensor	API 14 Android 4.0	API 9 Android 2.3	API 8 Android 2.2	API 3 Android 1.5
Acelerómetro	✓	✓	✓	✓
Ambiente Temperatura	✓	✗	✗	✗
Gravedad	✓	✓	✗	✗
Giroscopio	✓	✓	✓✗	✓✗
Luz	✓	✓	✓	✓
Aceleración lineal	✓	✓	✗	✗
Magnetómetro	✓	✓	✓	✓
Orientación	✓	✓	✓	✓
Presión	✓	✓	✓✗	✓✗
Proximidad	✓	✓	✓	✓
Humedad relativa	✓	✗	✗	✗
Rotación	✓	✓	✗	✗

Tabla 4.9: Tipos de sensores en diferentes versiones de Android.

El símbolo $\checkmark X$ significa que aunque se contemplaba el sensor, solamente pudo usarse y manipularse a partir de API 2.3.

De estas premisas, si se opta por desarrollar la aplicación a partir del nivel 9 de la API, será compatible con los dispositivos que cuenten con la versión de Android 2.3 y superior; lo que significa hacer posible el uso para el **83,2 %** de los usuarios en este sistema operativo. Y por otro lado, este API mantiene todo lo necesario para la manipulación de sensores, localización y comunicaciones. Es importante citar que a esta estadística falta de sumar los usuarios de Android 5.0 los cuales (en ese entonces) no están contemplados.

4.3.2.3 *Desarrollo Android*

Las aplicaciones se desarrollan habitualmente en el lenguaje Java con Android *Software Development Kit (SDK)* *Figura 4.4*, sin embargo puede realizarse el desarrollo bajo otras extensiones como C o C++, dependiendo de las facilidades y facultades del desarrollador.

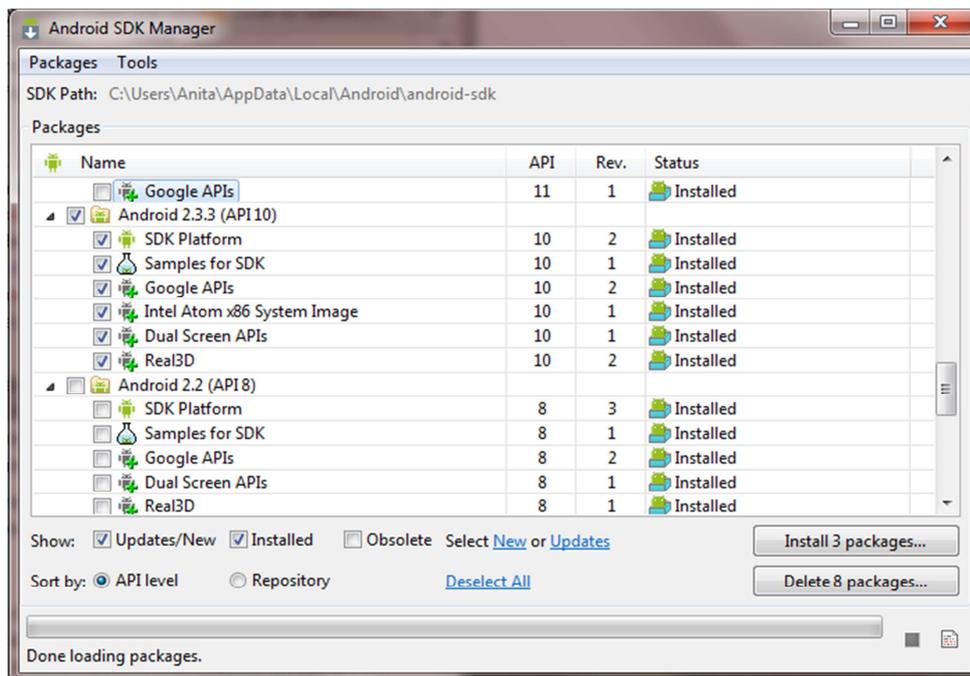


Figura 4.4: SDK Android usado.

Java es un lenguaje de programación concurrente, orientado a objetos y muy sencillo en su desarrollo (**Oracle**, 2015), por tal manera la programación Android resulta básicamente lo mismo; además de que el SDK permite incluir librerías solamente a través de un “click” que facilita grandemente el desarrollo.

Como entorno de desarrollo se ha decidido usar Eclipse Indigo SR2 3.7.2 (**Eclipse**, 2015) al proporcionar las facilidades de uso básicas. Eclipse es un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) para Java, originalmente creado por IBM fomentando el código abierto *Figura 4.5*.

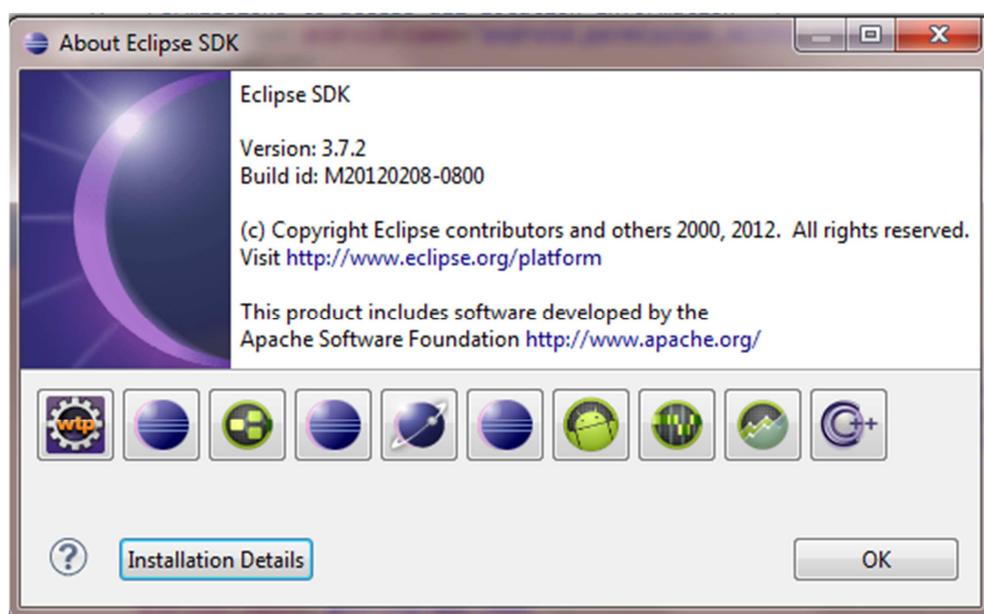


Figura 4.5: SDK Eclipse para desarrollo Android.

Luego de instalar Eclipse y sus requerimientos, para que este se pueda acoplar a las necesidades de Android es necesario la instalación de un “plug-in Android” llamada y muy conocido como *Android Development Tools (ADT)*. Este software desarrollado por Google, instala sobre el IDE de Eclipse los complementos para adaptarse al desarrollo Android.

Una aplicación móvil requiere ejecutarla constantemente en el ambiente de desarrollo y pruebas para lo cual se necesita de un emulador o un dispositivo real. En esta tesis, por simplicidad en la manipulación de sensores, y además la visualización exacta de la aplicación se ha desarrollado sobre dispositivos reales *Figura 4.6* (*smartphones* de la *Tabla 4.3*) asegurando que la aplicación “*e-quake*” se acople de manera correcta a las características particulares diseñadas, en especial al tamaño de la pantalla, que es la primera impresión que tiene un usuario sobre una aplicación.

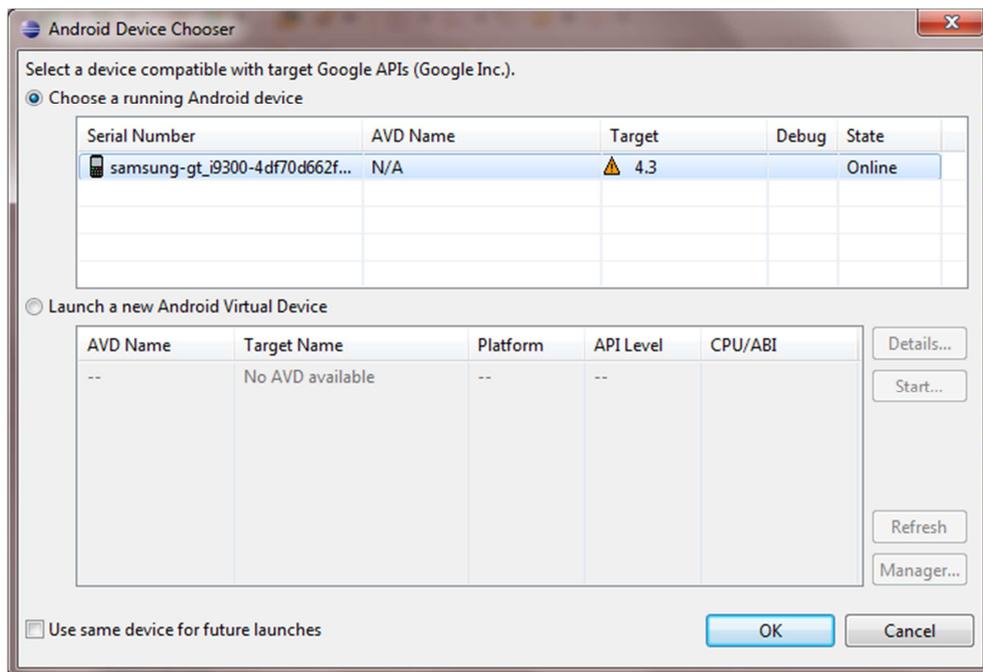
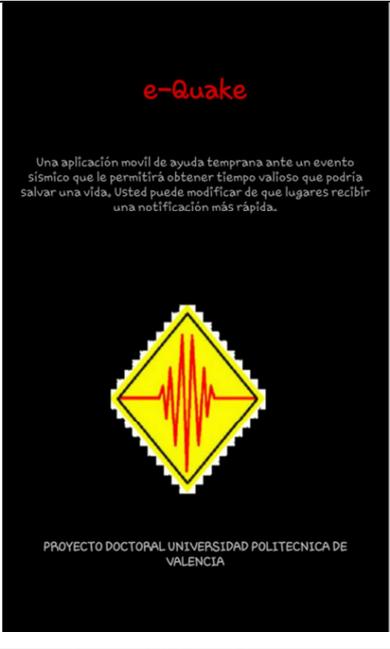


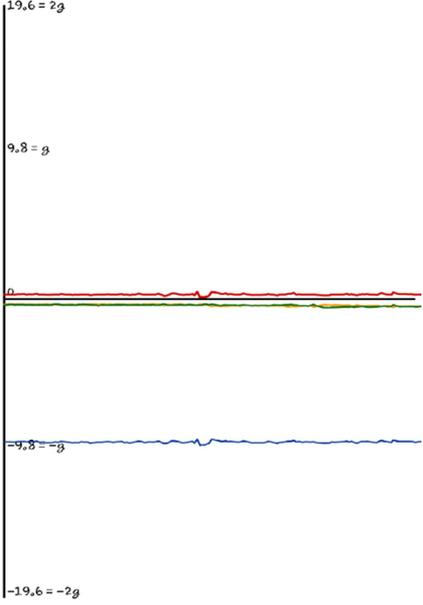
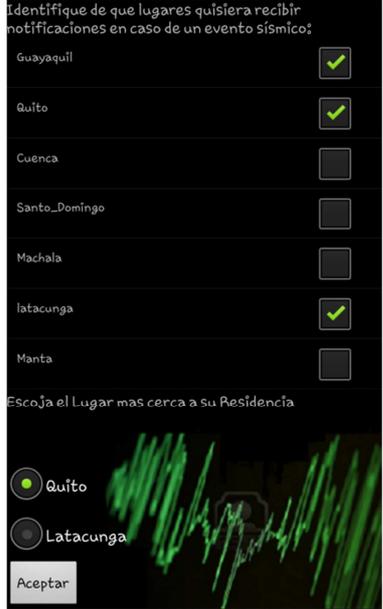
Figura 4.6: Emulador por dispositivos reales o AVD.

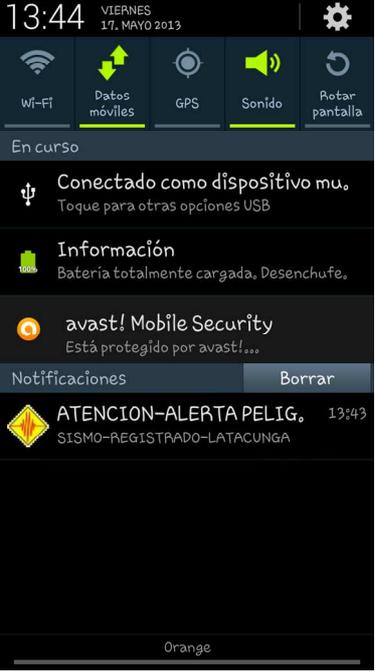
4.3.3 Interfaz de Usuario (GUI) y Funcionamiento

La aplicación “*e-quake*” se conforma por una serie de pantallas analizadas para cumplir un requerimiento específico.

A continuación en la *Tabla 4.10*, se presenta un pequeño detalle de cada pantalla que presenta la aplicación “*e-quake*”:

Pantalla “e-quake”	Detalle
	<p>Es una pantalla informativa acerca de “e-quake” que cita:</p> <p>“Una aplicación móvil de ayuda temprana ante un evento sísmico que le permitirá obtener tiempo valioso que podría salvar una vida. Usted podrá modificar de que lugares recibir una notificación rápida.</p> <p>PROYECTO DOCTORAL UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA”</p>
	<p>La primera pantalla muestra la ubicación GPS (latitud y longitud) del usuario.</p> <p>Se usa <i>Google Maps</i>, que resulta muy intuitivo de utilizar y brinda todos sus atributos y funcionalidades, como: navegación; zoom (acercar o alejar).</p> <p>Importante tener acceso internet (WiFi o Datos).</p> <p>Importante mantener el sensor GPS activado, caso contrario no podrá encontrar la ubicación mostrando la última detectada.</p>

 <p>El gráfico muestra cuatro líneas de datos que representan la aceleración en los ejes x, y, z y a. El eje vertical está etiquetado con valores de gravedad: 19,6 = 2g (parte superior), 9,8 = g (parte superior), 0 (línea central), -9,8 = -g (parte inferior), y -19,6 = -2g (parte inferior). Las líneas de color rojo (a) y verde (x) están cerca de 0, la línea amarilla (y) está cerca de -9,8, y la línea azul (z) está cerca de -19,6.</p>	<p>Es una representación de la monitorización constante del acelerómetro. Cada eje se diferencia por cada color y como se puede observar en el eje (z) se percibe la fuerza de gravedad en $-9,8 \text{ m/s}^2$.</p> <p>x: verde y: amarillo z: azul a: rojo</p>
 <p>La pantalla muestra una lista de ciudades con casillas de verificación para recibir notificaciones: Guayaquil (✓), Quito (✓), Cuenca (□), Santo_Domingo (□), Machala (□), Iatacunga (✓), y Manta (□). Debajo, se pide elegir el lugar más cercano a la residencia entre Quito y Iatacunga, con Quito seleccionado. Hay un botón 'Aceptar' y un mapa de fondo.</p>	<p>Una pantalla de configuración de notificaciones.</p> <p>El Usuario puede escoger las ciudades de las cuales quiere recibir una notificación de alerta temprana en el caso de un evento sísmico en esa ciudad. Esto puede deberse a tener algún interés, por ejemplo familiar, y necesite saber esta información.</p> <p>La pantalla presenta las principales ciudades del Ecuador, cada una representada con un Servidor Intermedio.</p> <p>(Este proceso se explicará a detalle en el apartado 4.6.1.2)</p>

 <p>citymgtt.txt</p> <p>1/1 e/Santo_Domingo e/Machala quake/latacunga</p>	<p>Archivo transparente para el usuario.</p> <p>Guarda las configuraciones de notificaciones.</p> <p>Cambia cada vez que el cliente modifica las ciudades en la pantalla anterior.</p>
 <p>13:44 VIERNES 17, MAYO 2013</p> <p>Wi-Fi Datos móviles GPS Sonido Rotar pantalla</p> <p>En curso</p> <p>Conectado como dispositivo mu... Toque para otras opciones USB</p> <p>Información Batería totalmente cargada, Desenchufe.</p> <p>avast! Mobile Security Está protegido por avast!...</p> <p>Notificaciones Borrar</p> <p>ATENCION-ALERTA PELIG. 13:43 SISMO-REGISTRADO-LATACUNGA</p> <p>Orange</p>	<p>Esta pantalla muestra la notificación enviada desde un Servidor Intermedio en una ciudad. En la Figura: “Latacunga” - Provincia de El Cotopaxi.</p> <p>El alarma es enviada para alertar al usuario usando:</p> <ul style="list-style-type: none">• Sonido.• Luz parpadeante.• Vibración.



Una pantalla informativa que recuerda al usuario el permanecer en calma.

Presenta algunos *tips* para tomar una mejor decisión en caso de catástrofe.

Es la primera pantalla que muestra cuando la notificación ha llegado al *smartphone*.



Es una pantalla preventiva.

Se encuentra al alcance en cualquier momento recordando que hacer antes, durante y después de un evento sísmico.

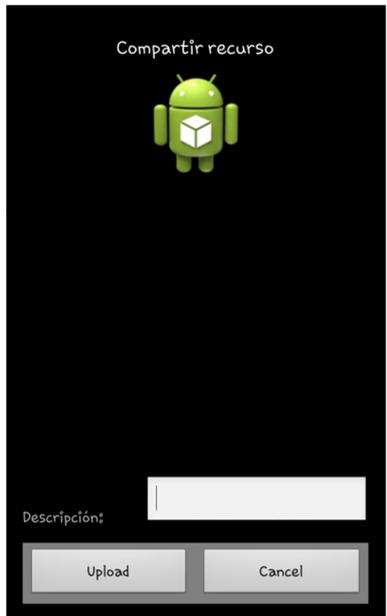
	<p>Esta pantalla se habilita siempre y cuando haya llegado una notificación al <i>smartphone</i>.</p> <p>Es parte del proceso post-evento; permite compartir un recurso multimedia conjunto con un comentario al Centro de Control para notificar el estado de catástrofe en algún lugar.</p>
--	---

Tabla 4.10: Pantallas que conforman “e-quake”.

La aplicación “e-quake”, es intuitiva y de fácil manejo pudiendo pasar entre ventanas con menús dinámicos que aparecen dependiendo de lo que solicite el usuario.

Por último, teniendo la aplicación desarrollada podrá ser gratuitamente descargada de “Play Store” (Google, 2015), que se encuentra instalada en los dispositivos Android y permite a los usuarios instalar aplicaciones dependiendo de sus intereses. Sin embargo para asunto de pruebas y validaciones la aplicación ha sido instalada manualmente en los dispositivos mediante su respectivo instalador.

4.4 Desarrollo de la Segunda Capa y Tercera Capa

La segunda capa de la arquitectura introduce parámetros claves en el proceso de detección, por tanto es necesario encontrar las herramientas adecuadas para alcanzar el beneficio esperado.

El realizar aplicaciones de escritorio ofrece muchas más libertades pudiendo aprovechar al completo sus características *hardware*. Además Java funciona bien con las principales plataformas y sistemas operativos, brindando independencia de la plataforma a usar; en tal caso, las pruebas de ambas capas han sido realizadas sobre el sistema “*Windows 7 Professional SP 1*”.

Hasta el momento ambas aplicaciones no presentan una *GUI*, (puede ser contemplado en el Trabajo Futuro, apartado 6.3), sin embargo hasta el momento, y para el requerimiento que ambos deben cumplir no es necesario esta incorporación *software*. Primero, el Servidor Intermedio solamente necesita una pequeña información previa para comenzar su proceso, y por otro lado la tercera capa, el Centro de Control, no necesita ningún parámetro previo para su funcionamiento.

El Centro de Control depende mucho de una persona o grupo de personas que tomen decisiones, por tanto es la única capa que requiere de un “comandante en jefe”, término utilizado en la Gestión de Emergencias.

Tanto el Servidor Intermedio como el Centro de Control, necesitan permanecer en escucha de información de sus capas inferiores; aunque en etapas diferentes de la gestión de emergencias; sin embargo, es imposible asegurar que todos los mensajes lleguen en orden sin chocar unos con otros; por lo cual, es necesario iniciar el desarrollo de ambas capas con una programación de hilos concurrentes, más conocidos en inglés como “*Threads*” (Lea, 1999). La concurrencia se convierte en concepto clave permitiendo solapar tareas al mismo tiempo; otra manera de entenderlo es como “tareas paralelas”. Así, el Servidor Intermedio es capaz de mantener su proceso de detección de picos, permanecer en escucha de mensajes “*equake*”, y enviar, al mismo tiempo, las notificaciones correspondientes.

Es necesario garantizar que las aplicaciones se mantengan en ejecución por lo que un cuidado en el control de errores y excepciones en toda la arquitectura es imprescindible. Todas las aplicaciones deben seguir su proceso y mantenerse en ejecución a menos que el usuario, o persona al mando pare manualmente la aplicación.

4.4.1 Lenguaje de Programación

Para el desarrollo de ambas capas, al igual que en la primera, se decide utilizar Java; un lenguaje de programación y una plataforma informática que nació en 1995 por *Sun Microsystem*, y quien define el lenguaje como “simple, orientado a objetos, distribuido, interpretado, robusto, seguro, de arquitectura neutra, portable, de altas prestaciones, multitarea y dinámico” (**Oracle**, 2015).

Java ofrece muchas ventajas (**Oracle**, 2014), como las citadas, razón por la cual ha sido escogido para esta tesis (incluyendo la primera capa):

- Java es fácil de aprender, siguiendo una programación orientada a objetos que incluye todos sus beneficios.
- Java es la plataforma más popular utilizada, lo cual ofrece una gran comunidad de desarrolladores en ayuda, libros, foros, etc.
- Java permite cubrir todos los requerimientos de velocidad, concurrencias y simplicidad de desarrollo que es buscada principalmente.
- Java funciona con las principales plataformas *hardware* y *software* y sistemas operativos.
- Java ofrece un gran trabajo con memoria, procesos múltiples, gestión de errores y excepciones; habilitando un desarrollo eficaz.
- Java ofrece un entorno avanzado de seguridad ideal para aplicaciones en red.

Para el proceso de programación, al igual que Android en la primera capa, utilizamos Eclipse en un entorno Java.

4.4.2 Funcionamiento

El Servidor Intermedio, como se señaló anteriormente, para su funcionamiento necesita de ciertos parámetros de entrada que deben definirse, los cuales deben ser ingresados solamente una vez al arrancar la aplicación. Mediante un par de líneas de comando podría colocarse valores fijos a estas variables, sin embargo se ha creído mejor brindar una sencilla y ágil modificación para encontrar los valores adecuados a cada situación.

La aplicación del Servidor Intermedio corresponde a una aplicación de consola como muestra la *Figura 4.7*, donde en sí los valores a ingresar corresponden al algoritmo de configuración de ventanas (A, B, C, D, E) definido en el apartado 3.5.4.2:

CONFIGURACIÓN
(A, B, C, D, E)

Muestra mínima e = 0.99; Z = 0.95

```

QuoteServer [Java Application] C:\Program Files\Java\jre7\bin\javaw.exe (30/10/2014 16:39:52)
Tamano de la muestra: Error permitido de 1%, Nivel de Confianza de 0.95%
y desviación típica de 0.5
El programa requiere la siguiente información:
El intervalo entre ventanas (seg):
0,3
Ventanas Configurables de valor (seg):
1
Tiempo entre eventos:
20
Intensidad mínima para alertar a los usuarios:
5
Intervalo largo para realizar correlacion de varianzas - Ventana Padre (seg):
1
Servidor Segundo Nivel a la escucha en el puerto : 11111
  
```

A: IntraVentana

B: Ventana

C: IntraEvento

D: Intensidad Mínima

E: InterKruskalWallis

Figura 4.7: Aplicación de escritorio del Servidor Intermedio. Ingreso de valores de inicio.

La tercera capa, el Centro de Control no presenta gran dificultad, es más, es la más sencilla de las capas; presenta un repositorio de datos en un ordenador de características *hardware* suficientes para recibir información multimedia (imágenes, video y comentarios).

Esta información dependiendo de la ubicación de donde se haya enviado, se irá almacenando en diferentes carpetas, para tener la información ya pre-seleccionada para cuando el(los) encargado(s), comandantes en jefe, empiecen a analizar la información conseguida.

4.5 Repositorio de Datos

Un repositorio es un banco ordenado de datos mejor conocido como una base de datos, permitiendo realizar mucho más que solamente almacenar información necesaria para utilizarla en el futuro, sino que un repositorio de datos permite también mantener el sistema actualizado, presenta diferentes tipos de datos, elementos, entidades, usuarios, las relaciones entre tablas, etc. (**Kendall, K.; Kendall, J.**, 2011).

Un Sistema de Gestión de Base de Datos (*SGBD*) se convierte en un requerimiento esencial para la segunda capa de la arquitectura, el Servidor Intermedio; ya que como se definió en el apartado 3.5.4.2 realiza su detección de picos dentro de ventanas de tiempo usando el algoritmo de Ventanas Deslizantes, o en otras palabras lo que quiere decir es que trabaja con muestras pasadas dentro del tamaño de esta ventana. Entonces cuando el Servidor Intermedio trabaja dentro de una ventana, todas sus muestras deben estar correctamente almacenadas y ordenadas por tiempo de detección.

Por otro lado, la información almacenada puede servir para ser manejada por el Centro de Control, en concreto con el *IGEPN* para observar comportamientos de la tierra previo a un sismo.

Al igual que cualquier tipo de *software*, existe una gran variedad de programas para almacenar y gestionar información. En (**Zambrano, A.; Bonilla, J.**, 2009) se puede obtener una buena comparativa entre todos estos *SGBD*, sin embargo el más usado es el modelo de datos Entidad Relación (E-R). Entidad-Relación es un modelo maduro, de alto nivel y potente que conceptualiza problemas del mundo real; es realmente útil para hacer corresponder los significados e iteraciones con “entidades” y “relaciones” (**Silberschatz; Korth; Sudarshan**, 2006).

El modelo (E-R) ofrece ventajas relevantes como: tipo de datos sencillos, un lenguaje de consulta potente y bien estructurado, o protección elevada; pero su dos mayores ventajas son que, primero, puede traducirse directamente a una base de datos, y segundo que mantienen un apoyo extensivo de *Structured Query Language (SQL)*; un lenguaje maduro y muy bien aceptado encontrando cualquier cantidad de información, ayuda en páginas oficiales y foros en la red.

Por otro lado, su desventaja sale a la luz cuando su lógica se sale con los datos del negocio, como por ejemplo: imágenes, multimedia, o información geográfica; por ejemplo con los tipos de datos que se maneja en la tercera capa. En este proyecto hemos usado este tipo de base de datos, en concreto *MySQL*, que cumple a cabalidad los requisitos del sistema.

4.5.1 *MySQL*

MySQL es un *SGBD* relacional en un ambiente Cliente-Servidor. Es un servidor de base de datos con múltiples clientes, que en esta tesis, estos clientes son todos y cada uno de los *smartphones* con la aplicación “*e-quake*” instalada.

MySQL soporta el lenguaje estructural, muy bien conocido, *SQL*, llegando a ser el *SGBD* más popular del mundo siendo instalado en más de 6 millones de servidores en el mundo (Quigley; Gargenta, 2006). *MySQL* es de código abierto y gratuito, por lo que su fácil descarga, instalación y desarrollo está al alcance de todos mediante su página oficial (MySQL, 2015).

En la página oficial de *Oracle*, justifican el uso de *MySQL*, citando además los mejores reconocimientos obtenidos por este lenguaje orientado a base de datos. Por estas y otras ventajas éste *SGBD* ha sido escogido para solventar el almacenamiento de información en la tesis.

A continuación en la *Tabla 4.11* se detallan las principales ventajas y reconocimientos alcanzados por este lenguaje (MySQL, 2015) que aportan a esta arquitectura:

Ventaja	Descripción
Facilidad de uso	De fácil instalación y desarrollo en menos de 15 minutos. Ayuda en el diseño y desarrollo de la tesis
Bajo coste total de propiedad	Es un ahorro significativo comparado con herramientas propietarias como <i>Microsoft SQL Server</i> . Permite un coste de diseño, mantenimiento, desarrollo e implementación nulo; tal y como se requiere en la arquitectura.
Capacidad de ampliación y rendimiento	Capacidad de ampliación y rendimiento de los sitios web con más tráfico y las aplicaciones más exigentes. Dependiendo de los requerimientos del sistema, es posible seguir creciendo sin perjudicar rendimiento
Soporte de producción	<i>Oracle Premier Support</i> ofrece una gran ayuda incluso con el riesgo de contar con las soluciones propias <i>MySQL</i> . Por su gran despliegue, es posible encontrar diferentes tipos de soporte, tanto oficial como no oficial
Reconocimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Votada como la “Mejor gestión de datos” en la edición 2011 de los <i>Impact Awards</i> de <i>phparchitect</i>. • Votada como la “Mejor Base de Datos” por <i>Linux Journal Reader’s Choice Awards 2011</i>.

	<ul style="list-style-type: none"> • Nombrada uno de los 10 mejores productos de código abierto 2011. • Nombrada una de las 10 principales aplicaciones destacadas de código abierto por InfoWord. • Las principales propiedades de la Web se amplían perfectamente con MySQL. • Las empresas modernas de los sectores de las comunicaciones y la Web despliegan aplicaciones de alta disponibilidad en MySQL Cluster.
Rápido, fácil y confiable	<p>Fue desarrollado para mantener un gran volumen de datos de manera rápida equiparando a cualquier <i>software</i> propietario o no propietario gracias a su agilidad de consultas y transacciones.</p> <p>Requisitos de un sistema de gestión de emergencias donde la fiabilidad y la rapidez es una necesidad.</p>
Multihilo	<p>Permite realizar tareas concurrentes, lo cual es necesario para la tesis.</p> <p>Es necesario poder manipular la información a la vez de ingresar registros.</p>
Conexión con cualquier plataforma	<p>Los clientes pueden contactar con el servidor <i>MySQL</i> mediante cualquier plataforma solamente empleando sockets <i>TCP/IP</i>.</p> <p>Los datos viajan por la red enviados desde un sistema móvil Android sin ningún contratiempo.</p>

Tabla 4.11: Ventajas y reconocimientos de *MySQL*.

Un modelo relacional como el que emplea *MySQL* se compone de tablas, registros, campos y relaciones de una a otras, o incluso a varias que definen alguna característica en común y es así, como definimos la estructura de la base de datos del Servidor Intermedio en el apartado siguiente. Para introducirse más sobre este *software* se puede indagar en (Suehring, 2002) (Quigley; Gargenta, 2006).

4.5.2 Estructura de la Base de Datos

En la *Figura 4.8* se muestra el modelo de base de datos con el que funcionará el Servidor Intermedio:

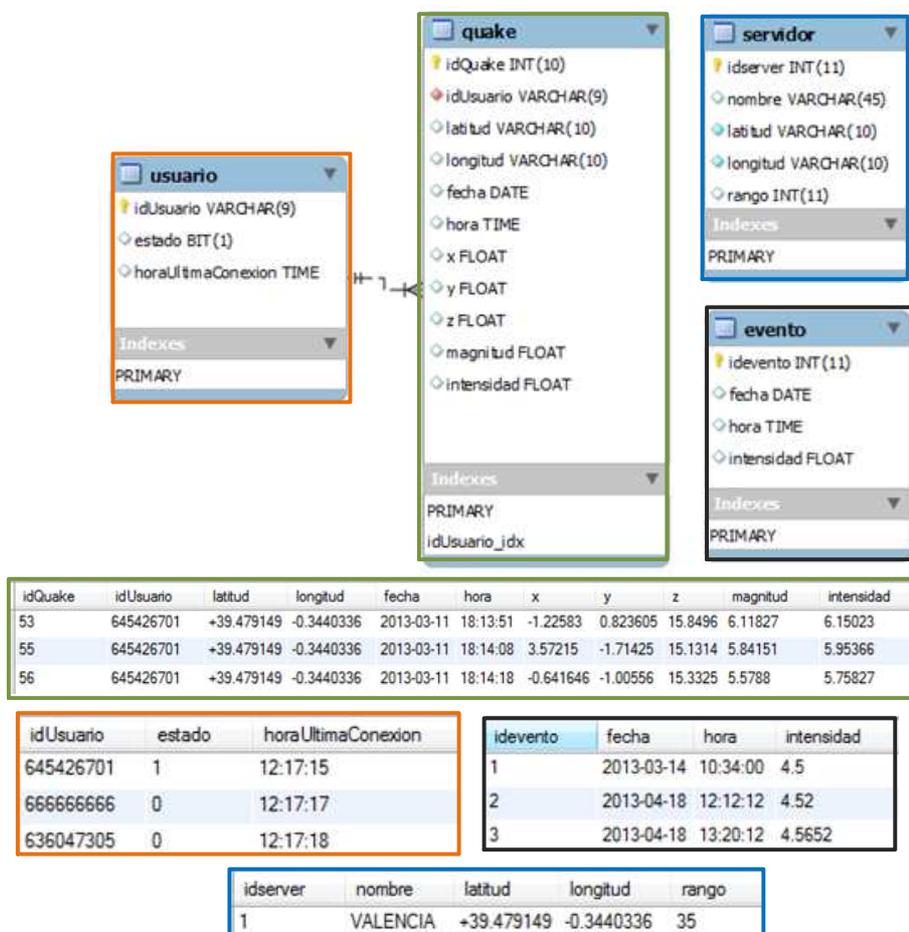


Figura 4.8: Estructura de base de datos del Servidor Intermedio

El esquema de la base de datos de esta tesis, aunque sencilla, cumple todos los requerimientos propuestos; su verdadera dificultad se puntualizó en las consultas “*queries*” a realizar para la validación de picos sísmicos. En la *Tabla 4.12*, *Tabla 4.13*, *Tabla 4.14* y *Tabla 4.15* se detalla cada una de sus tablas y atributos.

TABLA: Usuario		
Atributo	Tipo de Dato	Descripción
 idUsuario	VARCHAR(9)	Clave Primaria de la Tabla Usuario. Número de identificación único. Representa en número móvil del sensor que ha recopilado la muestra. EJEMPLO: 645426701
estado	BIT(1)	Representa si el móvil se encuentra ACTIVO (1) o INACTIVO (0). Necesario para validación de Muestra Mínima detallado en el apartado 3.5.3. EJEMPLO 1: Activo 0: Inactivo
horaUltimaConexion	TIME	Necesario para la validación de Muestra Mínima. Cambiar de estado, de activo a inactivo y viceversa. No es un valor fijo, cambia dependiendo del resultado de las muestras realizadas por la primera y segunda capa de la arquitectura. EJEMPLO 12:17:15

Tabla 4.12: Atributos y detalle de tabla Usuario.

TABLA: Servidor		
Atributo	Tipo de Dato	Descripción
 idServer	INT(11)	Clave Primaria de la Tabla Servidor. Es un número auto-incrementable. EJEMPLO 1
nombre	VARCHAR(45)	Es el nombre que lleva un Servidor Intermedio. Puede ser un nombre significativo a la ciudad que está cubriendo. EJEMPLO Valencia Quito
latitud	VARCHAR(10)	Representa la coordenada latitud de ubicación del Servidor Intermedio. Valor colocado a un inicio de la implementación. Así varios Servidores Intermedios, pueden actuar desde un mismo equipo. EJEMPLO +39,479149
longitud	VARCHAR(10)	Representa la coordenada longitud de ubicación del Servidor Intermedio. Valor colocado a un inicio de la implementación. Así varios Servidores Intermedios, pueden actuar desde un mismo equipo. EJEMPLO -0,3440336

rango	INT(11)	<p>Es un valor inicial que corresponde al rango de cobertura de ese Servidor Intermedio.</p> <p>Valor definido en kilómetros.</p> <p>Necesario para el análisis de Haversine definido en el apartado 3.5.2.</p> <p>EJEMPLO 35 km (Sismo de magnitud 6).</p>
-------	---------	--

Tabla 4.13: Atributos y detalle de tabla Servidor.

TABLA: Evento		
Atributo	Tipo de Dato	Descripción
 idEvento	INT(11)	<p>Clave Primaria de la Tabla Evento. Número auto-incremental.</p> <p>Esta tabla recopila los registros que realmente han pasado todas las pruebas para ser reconocido como un pico sísmico.</p> <p>EJEMPLO 1</p>
fecha	DATE	<p>Representa la fecha en que se detectó el evento.</p> <p>EJEMPLO 2014-11-03</p>
hora	TIME	<p>Representa la hora en la que se detectó el evento.</p> <p>EJEMPLO 10:34:00</p>
intensidad	FLOAT	<p>Representa la intensidad del sismo registrado.</p> <p>EJEMPLO 6,8</p>

Tabla 4.14: Atributos y detalle de tabla Evento.

TABLA: Quake		
Atributo	Tipo de Dato	Descripción
 idQuake	INT(10)	Clave primaria de la tabla Quake. Valor auto-incremental. Es una tabla extensa porque recopila todos los registros de los sensores. Por tanto cada semana, si no se ha detectado un evento, los registros de la tabla son eliminados. EJEMPLO 500
idUsuario	VARCHAR(9)	Es una clave foránea proveniente de la tabla Usuario. Es necesario tener el número de móvil del usuario para comenzar a detectar picos. EJEMPLO 645426701
latitud	VARCHAR(10)	Representa la coordenada latitud de la ubicación del usuario. Necesario para validación Haversine definido en apartado 3.5.2. EJEMPLO +39,478878
fecha	DATE	Representa la fecha en la que se ha detectado el (posible) pico sísmico. EJEMPLO 2013-03-12

hora	TIME	Representa la hora en la que se ha detectado el (posible) pico sísmico. EJEMPLO 10:03:37
x	FLOAT	Representa la coordenada x de la aceleración medida por el <i>smartphone</i> . Este valor puede ser utilizado como información extra para el <i>IGEPN</i> . EJEMPLO 16,6445
y	FLOAT	Representa la coordenada y de la aceleración medida por el <i>smartphone</i> . Este valor puede ser utilizado como información extra para el <i>IGEPN</i> . EJEMPLO -4,96079
z	FLOAT	Representa la coordenada z de la aceleración medida por el <i>smartphone</i> . Este valor puede ser utilizado como información extra para el <i>IGEPN</i> . EJEMPLO 3,80199
magnitud	FLOAT	No representa en si la magnitud del sismo; sino la magnitud de la aceleración (sin contar la gravedad).

		Es importante citar que este valor puede tener valores tanto pequeños como grandes hasta $2g$ (sensibilidad de los <i>smartphones</i>). EJEMPLO 7,9793
intensidad	FLOAT	La I_{MM} Intensidad Mercalli Modificada. Valor que realmente interesa analizar. EJEMPLO 7,2779

Tabla 4.15: Atributos y detalle de tabla Quake.

Una particularidad que se debe citar es que, a pesar de que milésimas de segundo son de real importancia en un sistema de gestión de emergencias como el de la tesis; los registros de **HORA**, en cada una de las Tablas de la Base de Datos presentada; llegan a una definición máxima de segundos, más no más como la que realmente permite tanto el *smartphone* como el Servidor Intermedio; esto se debe a que:

- Entre más dígitos, mayor procesamiento, mayor tamaño del paquete de envío (por mínima que fuese la diferencia).
- La diferencia entre milésimas de segundos o menos, no interfiere en la validación de picos (algoritmo de ventanas deslizantes – Kruskal Wallis); puesto que el análisis se desarrolla con ventanas de tamaño 1 segundo ($A = 1$) en la configuración de ventanas como se analizó en el apartado 3.5.4. Es necesario recordar que una ventana demasiado pequeña representaría que el Servidor Intermedio quedaría sin muestras que analizar.

4.6 Comunicación Pre-evento

La comunicación entre capas de la arquitectura es bidireccional; las capas inferiores deben tener comunicación con su nivel superior y el nivel superior con sus inferiores. Ambas no tienen los mismos requerimientos por tanto se utilizan diferentes protocolos de comunicación.

Siguiendo el esquema presentado en la *Figura 4.9* que corresponde a la comunicación “up” mostrada en la *Figura 3.2*; donde un *smartphone* se comunica con un Servidor Intermedio para mandar un mensaje “e-quake” se utiliza el protocolo (*UDP*) (**Postel, J.**, 1980) con la sentencia *SQL* que ingresa directamente sobre una base de datos *MySQL*.

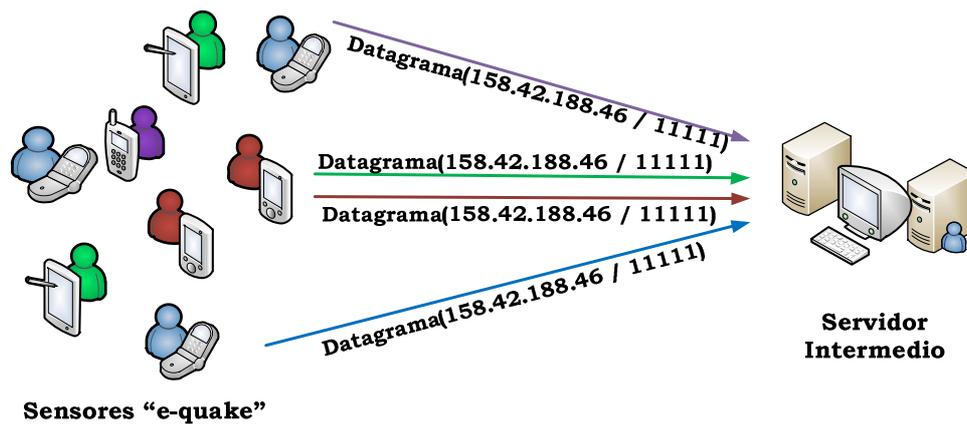


Figura 4.9: Comunicación “up” de capas inferiores a superiores.

UDP es un protocolo de nivel transporte en la capa *OSI* que al no requerir establecimiento de la comunicación es un protocolo considerado como rápido, o claro, más que su competidor *TCP* sí; y además no mantiene un control de flujo siendo un protocolo menos fiable, sin embargo gana en velocidad (**Papadimitriou; Tsaoussidis**, 2005). No realiza retransmisiones de información, por lo que se acopla perfectamente a la arquitectura ya que no tendría sentido el re transmitir muestras que se encuentren fuera de rango de tiempo.

La comunicación resulta muy sencilla, y puede ser alcanzada desde cualquier dispositivo con acceso a red, independientemente del tipo de conexión WiFi o datos (2.5G, 3G, 4G) ya que el Servidor Intermedio mantiene una dirección IP Pública y un puerto que no sea definido por algún otro protocolo.

Por otro lado, su implementación resulta muy sencilla ya que al ser un protocolo tan usado, y maduro, existen cientos o tal vez miles de ejemplos a un “click” de descarga en red, en diferentes plataformas y lenguajes.

Aunque *UDP* es un protocolo que por años ha sido dedicado para sistemas como este, con similares requerimientos; hoy en día existen nuevos protocolos que ayudan grandemente a solventar los requerimientos de la nueva era, la era móvil.

En la comunicación “up” antes detallada, se torna sencillo ya que se conoce la dirección IP de destino (Servidor Intermedio), sin embargo, del lado contrario es diferente y se torna algo más complicado. La segunda comunicación, la comunicación “down” *Figura 4.10* mostrada en la *Figura 3.3*, apartado 3.3, hace referencia a la notificación que el usuario recibe al detectar un evento sísmico en el Servidor Intermedio. La *Tabla 4.16* define los requerimientos y consideraciones extras a tomar en cuenta:

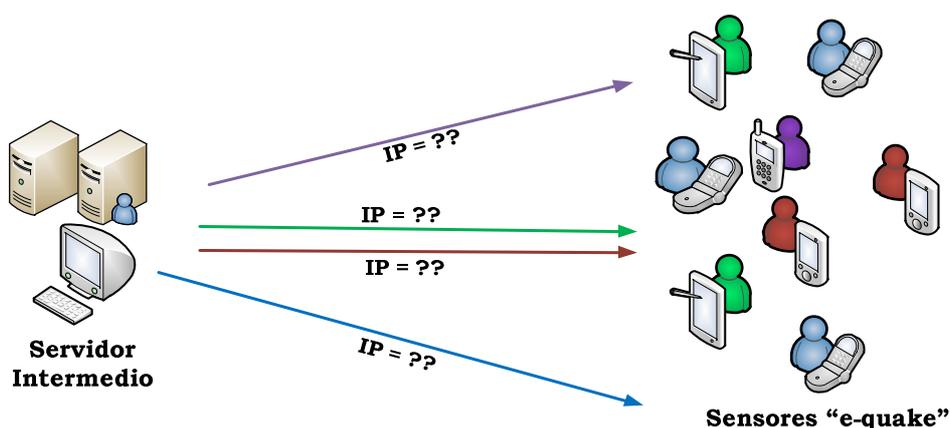


Figura 4.10: Comunicación “down” de capa superiores a inferiores.

Requerimiento	Descripción
Periodo de recepción del mensaje	Es necesario una comunicación tan rápida que alcance a cubrir el objetivo del sistema. La notificación debe ser enviada en tiempo real.
Direccionamiento	Independientemente del tipo de comunicación, es necesario que cada Servidor Intermedio, alcance a través de la red a todos y cada uno de sus clientes.
Ágil y eficiente	Debe ser ágil para no bloquear ni interferir con algún proceso que mantenga el <i>smartphone</i> en ejecución.
Consumo de Batería	Debe ser un protocolo ligero que aporte en el NO consumo de batería.
Precio del Servicio	Es posible enviar las notificaciones mediante un mensaje de texto, sin embargo esto conllevaría un gasto considerable a pagar por la compañía de teléfono (poco probable conseguirlo). Sería preferible evitarlo ya que se requiere una aplicación gratuita en totalidad.
Dependencia de servicio a terceros.	Esto limita el fin del proyecto o sería necesario vivir sujetos a los cambios, exigencias y costos de un tercer agente.
Heterogeneidad	El Servidor Intermedio debe ser capaz de alcanzar cualquier terminal con el sistema operativo Android; sin importar sus capacidades de <i>hardware</i> y características particulares. Incluso cualquier sistema operativo pensando en complementar el Trabajo Futuro propuesto.
Notificación por todos los sentidos	La notificación debe intentar garantizar que toda persona se percate de la misma.

Tabla 4.16: *Requerimientos de comunicación y notificación.*

Teniendo en cuenta los requerimientos que necesita cumplir esta tesis, planteamos las posibilidades de notificar a un cliente *smartphone* en la siguiente *Tabla 4.17*:

Mecanismo de Notificación	Descripción
SMS	Conlleva un coste adicional para las compañías notificadoras, pero la recepción de la notificación se realiza en tiempo real. Es un mecanismo que utiliza pocos recursos. El usuario puede o no verlo, ya que es necesario tiempo para abrirlo.
Mecanismos PULL	El cliente es el que pide la comunicación al servidor. Se utiliza cuando el tiempo real NO es un requisito indispensable. Se basa en realizar consultas periódicas al servidor en busca de novedades, en este caso (un sismo detectado). Tiene un mayor número de consultas al servidor, por tanto se aduce mayor consumo de batería.
Conexiones Persistentes	Se refiere a dejar un canal de comunicación siempre disponible "abierto", con la gran ventaja permitiendo una comunicación en tiempo real. Este tipo de notificaciones se tornaría inviable puesto que como sistema operativo móvil, Android tras un tiempo sin ninguna conexión corta el canal de comunicación.

	Obviamente el mantener un canal exclusivo consume mayores recursos en el Servidor; puesto que no es un cliente, son n clientes bajo diferentes canales.
Mecanismos PUSH	La comunicación inicia el servidor y no el cliente; en el instante que el Servidor necesita notificar, este inicia una comunicación mientras que los clientes siempre están en escucha de un mensaje proveniente del mismo. Por lo general se basan en preferencias de información a medida; o en otras palabras, un modelo publicación/suscripción.

Tabla 4.17: Tipos de mecanismos de notificación.

Comparando entre estos diferentes tipos se decide usar el mecanismo de notificaciones PUSH (**Martin-Flatin**, 1999) (**Bozdog; Mesbah; van Deursen**, 2007) porque se ajusta a los requerimientos de la arquitectura. En el próximo apartado se detallan sus ventajas del protocolo escogido.

4.6.1 Internet de las Cosas – Un planeta inteligente

El concepto de un planeta inteligente lo incorporó IBM y se conforma por tres pilares como se muestra en la *Figura 4.11* (**Lampkin, V.; Leong, W.; Olivera, L.; Rawat, S.**, 2012).

Un planeta inteligente se refiere a optimizar la telemetría, sensores remotos y *smartphones*; que incluyen mucho más que el poder de comunicación; con el fin de ganar en decisiones inteligentes basados en eventos remotos del mundo. Además toma en cuenta el manejo de recursos remotamente, movimientos, sociedad y localizaciones (**Sjöstrand, H.**, 2013).

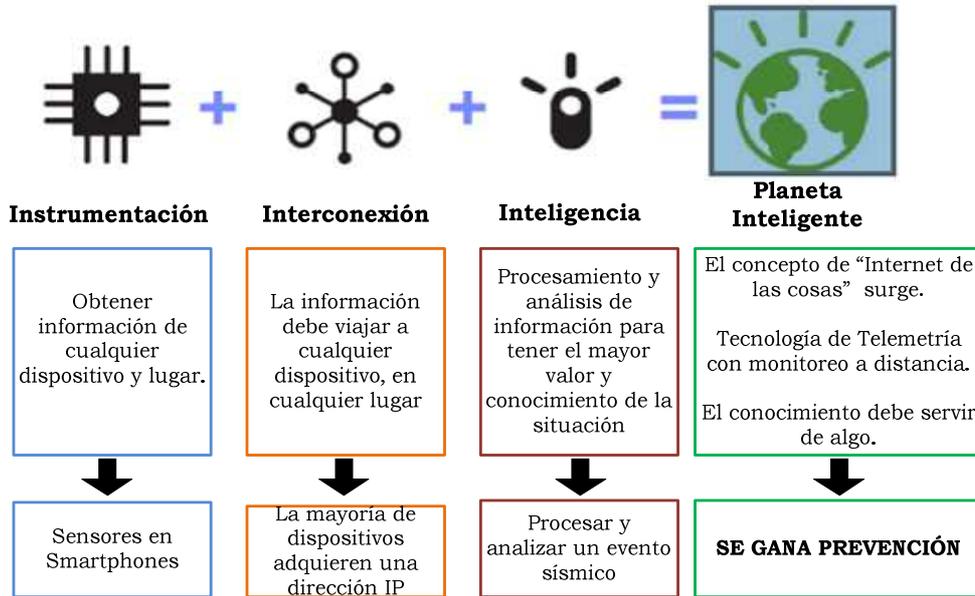


Figura 4.11: Pilares para conformar un planeta inteligente.

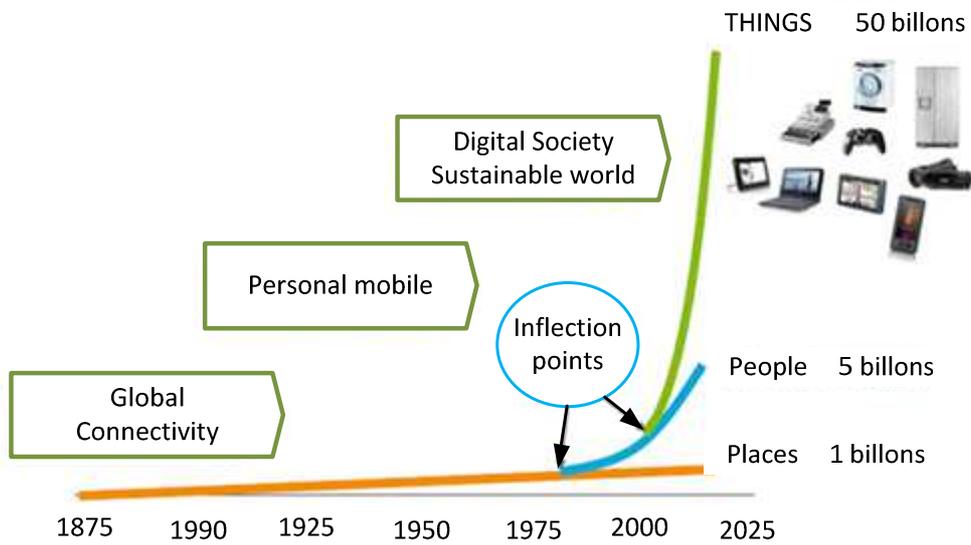


Figura 4.12: Evolución en "Internet of Things".

Implícitamente nos involucramos en un nuevo término, el de “Internet de las Cosas” mejor conocido por sus siglas en inglés “*The Internet of Things*”. Este concepto es un requisito esencial en el que nace la visión de un planeta más inteligente. Además, brinda nuevos enfoques en la telemetría que permiten conectar todo tipo de dispositivos, donde quiera que estén a la Internet (**Lampkin, V.; Leong, W.; Olivera, L.; Rawat, S.**, 2012); así en el 2020 se espera que el número de dispositivos inter conectados llegue a los 50 billones como muestra la *Figura 4.12* (**Ericsson AB**, 2010), impulsado también por el tráfico inalámbrico en aumento.

Afortunadamente, la ciencia y tecnología van en auge alcanzando desafíos con nuevos protocolos de comunicación de manera fiable, segura y rápida, y con menos consumo de recursos. Uno de estos avances es el protocolo *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)* presentado a continuación y el cual ha sido escogido para ser parte de la comunicación en esta tesis.

4.6.1.1 *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)*

*"Uno de los problemas que tuvimos en Facebook Messenger fue la gran latencia al enviar un mensaje. El método que utilizábamos para enviar era confiable, pero lento, y por tanto limitaciones en cuánto podríamos mejorarla. Con sólo un par de semanas para el lanzamiento, terminamos la construcción de un nuevo mecanismo que mantiene una persistente conexión a nuestros servidores. Para hacer esto sin consumir la vida de la batería, se utilizó un protocolo llamado **MQTT** que se había experimentado con Beluga. **MQTT** es diseñado específicamente para aplicaciones como el envío de datos de telemetría desde y hacia sondas espaciales, por lo que está diseñado para optimizar el ancho de banda y usar las baterías moderadamente. Por el mantenimiento de una conexión MQTT y el enrutamiento de mensajes a través del chat, hemos sido capaces de alcanzar a menudo la entrega de teléfono a teléfono en cientos de milisegundos, en lugar de varios segundos".*

Ingeniera de Facebook Messenger, la aplicación oficial de Facebook para mensajería, cita en (**Zhang, L.**, 2011) (traducido al español).

Uno de estos avances dentro del “Internet de las cosas” es el protocolo de publicación/suscripción de mensajería *MQTT*, que fue desarrollado por IBM y Eurotech en 1999 (**MQTT ORG**, 2015). Este presenta ventajas que haciendo relación a las necesidades de esta propuesta colabora y justifica la decisión de usarlo como protocolo de comunicación. Esta relación de *MQTT* con el proyecto se presenta en la *Tabla 4.18*:

MQTT	Propuesta de Tesis
Extremadamente ligero y simple	Que los protocolos representen un menor costo de procesamiento y almacenamiento es una gran ventaja que contribuye al sistema.
Arquitectura “publish/subscribe”	Su diseño es de fácil implementación y también facilita grandemente la comunicación de 1 a muchos receptores.
Bajo consumo de batería	Característica esencial; trabaja muy bien con dispositivos como <i>smarphones</i> donde presentan limitadas capacidades de procesamiento y memoria.
Conectividad entre sensores y dispositivos remotos	Capaz de alcanzar cualquier cantidad de clientes remotos desde un solo servidor independientemente de su dirección IP.
Escalabilidad	Es un requerimiento, el poder tener comunicación con los clientes; sean 10, 100, 1.000 o incluso más, con la misma fiabilidad. Con <i>MQTT</i> , 240.000 clientes concurrentes funcionan con menos del 5% de CPU en un mismo servidor (Sjöstrand, H. , 2013).
Mínimo uso de ancho de banda y recursos de los dispositivos	Es un requerimiento implícito al incluir <i>smartphones</i> como parte de la arquitectura.

De código abierto y gratis	Económico sin estar sujeto a reglas de propietarios o terceros.
Ideal para redes con restricciones	En esta propuesta nos enfrentamos a una comunicación con cualquier tipo de red y diferentes características. <i>MQTT</i> solventa la comunicación con redes con problemas y restricciones (bajo ancho de banda, alta latencia, límite de data, conexiones frágiles). <i>MQTT</i> trabaja con cabeceras tan pequeñas como sea posible.
Múltiples niveles de servicio	<i>MQTT</i> ofrece 3 tipos de calidades de servicios que se detallarán más adelante. Lo cual permite, dependiendo de la aplicación, acoplarse de mejor manera a los requerimientos de cada una
Seguro	Es capaz de dar diversos tipos de seguridad: Autenticación, autorización y seguridad de información.
Fácil de implementar	Aunque es transparente para el usuario final; es una gran ventaja para el desarrollador. Es muy intuitivo con comandos como: <i>Connect</i> : Conectar <i>Publish</i> : Publicar <i>Subscribe</i> : Suscribirse a un tópico <i>Disconnect</i> : Desconectar
Aceptación	Incluso <i>Google Talk</i> , <i>WhatsApp</i> , <i>Line</i> , entre otros; mantienen notificaciones en tiempo real a través de este protocolo. Así comprobamos que el protocolo tiene una gran acogida por sus amplias ventajas.
Optimización en la toma de decisiones	PRINCIPAL VENTAJA: Proporciona información actualizada para la toma de decisiones inteligentes.

Tabla 4.18: Ventajas *MQTT* en la tesis.

Por todas estas razones, *MQTT* fue escogido como protocolo de notificaciones en la comunicación “*down*” de la arquitectura.

4.6.1.1.1 Calidad de Servicio en MQTT

MQTT puede acoplarse a los requerimientos de cualquier aplicación al ofrecer 3 tipos de calidades de servicios:

- **QoS Nivel 2 - (Persistente):** El mensaje es enviado exactamente una vez, sin posibilidad que este llegue duplicado; por lo que requiere de una respuesta del cliente que garantice que ha llegado el mensaje o no. Prácticamente se comporta como un protocolo *TCP/IP*. Aunque es un fiable, cuesta más trabajo y tiempo de procesamiento.
- **QoS Nivel 1 - (Persistente, con posibilidad de duplicidad):** Realiza la entrega al menos una vez a sus destinatarios. Si un cliente envía una respuesta en la cual aduzca que no ha recibido el mensaje, el servidor repetirá el proceso anterior sin diferenciar clientes; por lo que algunos recibirán una o más veces el mismo mensaje.
- **QoS Nivel 0 - (No persistente):** El servidor publica y no le importa si la notificación (mensaje) llega o no a sus destinatarios; así puede llegar como no llegar a su destinatario. Sin embargo la gran ventaja que lleva consigo es la rapidez con la que llegan los mensajes, y es esta la razón por la que es usada en esta tesis; además menos proceso, menos responsabilidad, más ágil. Por otro lado, si pensamos más detenidamente, no tiene sentido el enviar la notificación luego de ya ocurrido el desastre, dejaría de cumplir los requerimientos de tiempo de un sistema de tiempo real crítico. La notificación debe ser enviada tan pronto como el Servidor Intermedio haya detectado un pico sísmico para que tenga algún sentido.

4.6.1.1.2 Conceptos y agentes básicos de MQTT

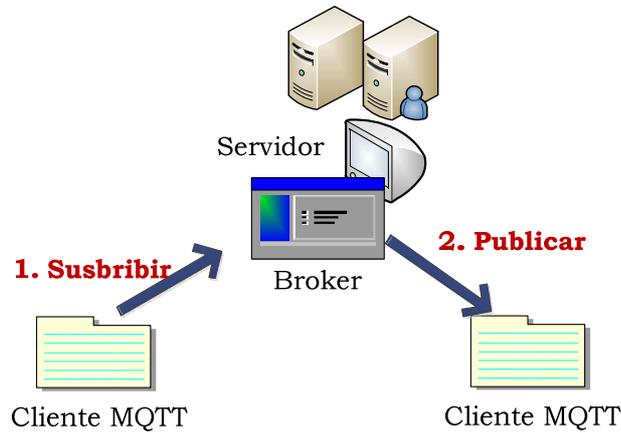


Figura 4.13: Diagrama básico de un modelo MQTT.

MQTT basa su funcionamiento en varios conceptos necesarios de definir con el fin de posteriormente entender el escenario de notificaciones planteado en el apartado 4.6.1.2. En la *Figura 4.13* se puede observar los agentes que intervienen en una comunicación MQTT:

Concepto	Definición	Relación con la tesis
Tópico	Son “grupos” a los que un cliente se suscribe para recibir notificaciones.	No a todos los usuarios de un país (nación) les interesa recibir las notificaciones de un evento sísmico que no sentirán. Cada ciudad estará representada por un tópico diferente; y solamente el usuario suscrito a dicho tópico recibirá las notificaciones.

<p>Payload</p>	<p>Es la información en sí, de lo que se mostrará en cada cliente producto de una publicación.</p>	<p>En el caso de que exista un evento sísmico, el Servidor Intermedio, que es un cliente <i>MQTT</i>, publicará una notificación en el correspondiente tópico que representa una ciudad.</p>
<p>Seguridad</p>	<p>Permite autenticación mediante prefijos.</p>	<p>Este empleo es utilizado para que solamente usuarios oficiales, descargados de la respectiva tienda puedan recibir notificaciones. Se usa autenticación mediante prefijos donde dicho prefijo es secreto; solamente es conocido por el desarrollador o por el administrador.</p>
<p>Suscribir</p>	<p>Es el primer proceso que un usuario realiza, diciéndole a un <i>Broker</i> (Agente <i>MQTT</i>), su deseo de recibir notificaciones de un determinado tópico.</p>	<p>En el momento de que el usuario descargue la aplicación, esta automáticamente suscribirá al tópico de la ciudad donde se encuentre o la más cercana (por su localización <i>GPS</i> con posibilidad de escoger). Sin embargo, esto puede ser modificado por el cliente cuantas veces requiera.</p>

Publicar	Publicar significa emitir un mensaje en un t3pico. As3 cualquier cliente que se encuentre suscrito a dicho t3pico recibir3 el mensaje publicado por el Servidor correspondiente.	Solamente el Servidor, cliente <i>MQTT</i> , tiene la capacidad de publicar en un t3pico.
Cliente	Representan que clientes est3n autorizados a recibir una notificaci3n.	Cada Cliente <i>MQTT</i> hace menci3n a cada cliente “ <i>e-quake</i> ” de la arquitectura. Por lo tanto cada <i>smartphone</i> parte de la arquitectura se convertir3 en un Cliente <i>MQTT</i> .
Broker (parte del Servidor)	Es un agente intermedio siendo el encargado de conseguir paquetes (mensajes) desde/hacia los clientes.	El <i>Broker</i> ser3 instalado como parte de un Servidor Intermedio.

Tabla 4.19: Conceptos dentro de *MQTT*.

Existe una gran variedad de *brokers*, y entre los m3s representativos se cuenta con *WebSphere* o *RSBM* de *IBM* (*Brokers* propietarios). Y entre los de *software* libre destacan *Mosquitto*, *Mosquette* o *ActiveMQ* de *Apache*.

Una muy buena comparativa entre los mismos puede ser encontrada en (**Lampkin, V.; Leong, W.; Olivera, L.; Rawat, S.**, 2012). Por simplicidad y siguiendo con el *software* libre en toda la arquitectura se decide utilizar *Mosquitto*, el cual se detalla a continuaci3n.

4.6.1.1.3 Broker Mosquitto

Mosquitto (**Mosquitto Org**, 2015) es un *software* de código abierto. Es un broker *MQTT* que emplea la última versión del protocolo V 3.1 y 3.1.1. Es muy fácil de implementarlo ya que solamente depende de un archivo de configuración **mosquitto.conf** donde se detalla todo su comportamiento; y las condiciones más relevantes las consideramos en la *Tabla 4.20* ajustándolo a las características de la arquitectura:

MQTT-HOST (Ip del Servidor)	158.42.188.46
MQTT-PUERTO	1883 – Sin seguridad. 8883 – seguridad SSL.
INTERVAL_KEEP_ALIVE	Cada este intervalo de tiempo detecta si está arriba la comunicación o no. Valor colocado en 15 minutos.
PREFIX	“quake/” (secreto)
QoS – Calidad de Servicio	Seteado en nivel 0. Lo más rápido posible y consumo energético casi nulo.
INITIAL_RETRY_INTERVAL	Intervalo cada cuanto quiere reconectar el servicio <i>MQTT</i> si pierde la conexión. Valor colocado en 10 segundos.
MAXIMUM_RETRY_INTERVAL	Intenta reconectarse hasta este intervalo de tiempo, caso contrario deja de intentarlo. Es demasiado consumo de batería para el usuario. Valor colocado en 30 minutos.

Tabla 4.20: Parámetros importantes en archivo de configuración *mosquitto.conf*

4.6.1.2 *Escenario de notificaciones*

El escenario que se viene planteando hasta este punto, y que se mantendrá, es el que cada Servidor Intermedio, que representa una ciudad y un tópico, en caso de detectar un evento sísmico notifica solamente a sus respectivos clientes que se encuentren bajo la zona de cobertura. Así la *Figura 4.14* muestra el escenario básico de notificación para 4 ciudades Ecuatorianas como un ejemplo:

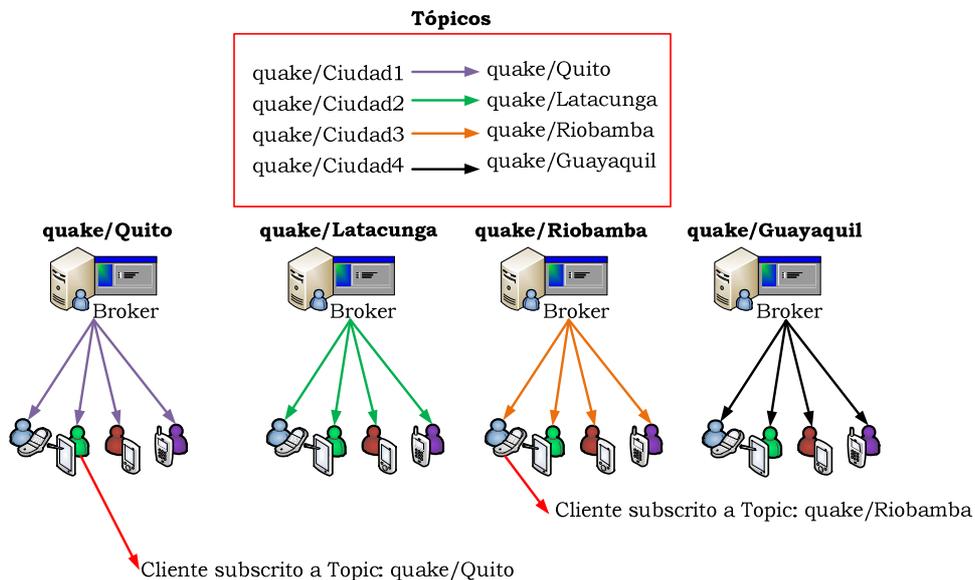


Figura 4.14: Escenario básico de notificaciones.

Sin embargo, existen casos en los que por algún motivo, para los clientes es de interés recibir notificaciones de otras ciudades; por ejemplo, solamente por citar el más práctico: el caso de un padre que sale a trabajar en otra ciudad y deja su familia. Por tal razón, “e-quake” presenta una pantalla en la cual permite al usuario suscribirse y des-suscribirse de una ciudad (La pantalla puede ser vista en el apartado 4.3.3). Siendo así, el nuevo escenario mostrado en la *Figura 4.15*, donde un usuario lejano puede recibir notificaciones tan rápido como otro usuario que se encuentre en la zona de sismo.

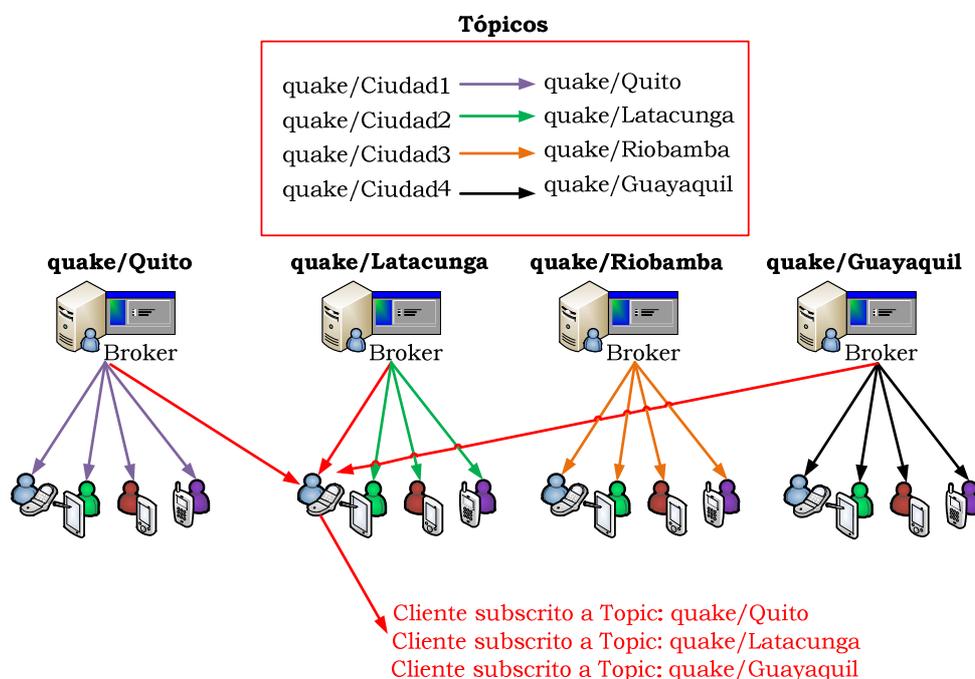


Figura 4.15: Escenario completo de notificaciones.

4.6.1.3 Notificaciones

Tan importante como prevenir a tiempo un sismo, es la forma de notificar a los usuarios, puesto que si la notificación es demasiado simple pasa desapercibida, no cumplirá su función y todo el proceso no habrá servido. Por tanto, este mensaje en particular debe ser notorio, jugando con la percepción del usuario con el fin de garantizar que la notificación despierte algún sentido por parte del usuario.

Para cumplir este requerimiento, y aprovechándonos de las ventajas en programación que ofrece el sistema operativo Android, intentamos llamar la atención de los usuarios utilizando las siguientes banderas mostradas en la *Tabla 4.21*:

FLAG_SHOW_LIGHT	La notificación enciende las luces del teléfono.
FLAG_ONLY_ALERT_ONCE	Notifica una sola vez. Sin duplicidad.
FLAG_INSTANT	La notificación hace reproducir un audio de “alarma”. El audio será repetido hasta que sea cancelado por el usuario en la ventana de notificaciones.
FLAG_AUTO_CANCEL	Cuando revise la notificación deja de notificar.
PRIORITY_HIGH	Pone la primera prioridad en el árbol de hilos sin importar la cola de procesamiento.
VIBRATE	Produce vibración del móvil siguiendo un patrón determinado y el tiempo de vibración. Se escoge un patrón repetitivo y muy molesto para que sea percibido de manera inmediata, hasta que el usuario manualmente la cancele.

Tabla 4.21: Características de la notificación.

4.7 Comunicación Post-evento

Existe una gran diferencia entre la comunicación pre-evento y la comunicación post-evento; en la primera suponemos que el canal de comunicaciones y todos los equipos que intervienen en ello se encuentran funcionales, ya que en un caso normal no existiría motivo para que estas dejen su funcionamiento; y la segunda, la comunicación post-evento que corresponde a la comunicación posterior a un evento sísmico, y es tan posible como no posible, la caída imprevista de las redes de comunicaciones (enlaces, equipos, antenas, interferencias, etc.).

En caso de que el evento sísmico, no haya dañado las redes de comunicaciones, todas las capas pueden seguir normalmente comunicadas:

- El usuario ayuda y colabora con el proceso de gestión global de la tercera capa, el Centro de Control, mediante contenido multimedia (fotos, videos y comentarios) acerca del entorno a través de la propia aplicación. La pantalla respectiva se detalló en el apartado 4.3.3. De esta manera cada usuario da a conocer al Centro de Control, que a su vez podría reenviar esa información a centros de ayuda y rescate (Bomberos, ambulancias, seguridad, etc.), información relevante como: corrimientos de tierras, carreteras, vías no hábiles, personas en peligro, daños estructurales, etc., gestionando así, los recursos humanos, monetarios y de tiempo de manera eficiente, segura y mucho más ágil.
- A través de la información que recopile el Centro de Control, éste puede ayudar a los usuarios de la primera capa, en forma de notificaciones (a los mismos tópicos anteriormente detallados “*equake/quito*”, “*equake/Machala*”, etc.), a tomar una decisión más inteligente gracias a la información que por sí solo no conoce:
 - Conocer el desastre de su entorno más cercano, para encontrar mejores rutas que se encuentren fuera de peligro.
 - Poder encontrar sitios de ayuda y refugio de manera rápida y eficiente.
 - Poder brindar ayuda a otras personas que necesiten ayuda más urgente.

Y en el caso de que el evento sísmico si haya causado repercusiones graves sobre la red de telecomunicaciones invalidando la comunicación entre capas de la arquitectura, es necesario contemplar nuevas posibilidades. El impacto que tendría es más profundo que no llegar a comunicarse las capas, las consecuencias podrían llegar a la interrupción de las actividades de socorro como:

- Búsqueda de víctimas.
- Encontrar incidentes, desconocimiento de áreas afectadas.
- Retraso en las operaciones de rescate.
- Tiempo, dinero, vidas, etc.

Por tanto, la comunicación post-evento se torna más complicada que la primera, además de tomar en cuenta las limitaciones presentes en los *smartphones* actualmente.

Todas las redes radio quedarían deshabilitadas, por lo que la solución quedaría limitada; es necesario tomar en cuenta permisos de administrador, consumo de batería, etc. La *Tabla 4.22* muestra las comunicaciones existentes:

TIPO DE CONECTIVIDAD	FACTIBILIDAD POST-EVENTO
LMDS	Suponemos que todas las redes radio frecuencia caen en un fallo por la catástrofe.
PLC	Suponemos que las líneas eléctricas caen. Además de que esta tecnología para móviles aún se encuentra inexistente.
Conexiones inalámbricas (GSM, GPRS, UMTS, HSDPA)	Suponemos que todas las redes celulares caen en un fallo producido por la catástrofe.
Satélite	Tal vez a futuro los <i>smartphones</i> adquieran la posibilidad con conexión satélite. Por el momento no es factible.
Redes Inalámbricas WIMAX	Tal vez a futuro los <i>smartphones</i> adquieran la posibilidad de esta conexión. Por el momento no es factible.
Redes inalámbricas Bluetooth	APLICABLE A ANALIZAR
Redes inalámbricas WiFi	APLICABLE A ANALIZAR

Tabla 4.22: Posibilidad de conectividad en escenario post-evento.

4.7.1 Análisis de Soluciones

A continuación se plantean posibles soluciones para solventar la comunicación post-evento y todo lo que involucra cuando un evento sísmico deshabilita la red de comunicaciones (destrucción de repetidores, antenas, distorsión de señal, etc.) y no solamente involucrando a la red inalámbrica sino también la cableada como las centrales telefónicas, cableado estructurado, etc. Como se analiza y detalla más adelante, algunas de estas posibilidades, aunque obvias a simple vista, son imposibles de aplicar en el ámbito de esta tesis.

4.7.1.1 Mobile Ad-Hoc Network (MANET)

En una red de comunicaciones existen dos componentes básicos: el *backbone*, el cual consiste en los equipos de interconexión como *switches*, *routers* y los diferentes enlaces (físicos o virtuales); y los clientes, que en este caso serían representados por *smartphones* quienes reciben y generan la información.

Una *Wireless Ad-Hoc Network* (**Lewis**, 2004), o en español una Red Ad-Hoc Inalámbrica es aquella donde su *backbone* no es necesario, y por el contrario cada cliente es el encargado de gestionar envío y reenvío de datos hacia otros clientes. Esta tecnología ya ha venido siendo usada por más de una década en el ámbito de la monitorización de desastres naturales, puesto que la conexión en el campo de análisis no siempre es posible y ofrece ventajas como bajo coste, respuesta rápida y flexibilidad (**Chen; Liu; Wang; Dou; Chen; Li**, 2013). Un claro ejemplo empleando sensores de bajo coste se presenta en (**Chen; Liu; Wang; Dou; Chen; Li**, 2013).

Ahora bien, ya que los clientes son *smartphones*, nos enfrentamos a una red del mismo tipo pero móvil, denominada *MANET* por sus siglas inglés (*Mobile Ad-Hoc Network*) (**Corson; Macker**, 1999); por tanto el cliente tiene que hacer el trabajo tanto de cliente como el de un equipo de *backbone*. El *smartphone* en la *MANET* debe tener la libertad de desplazarse independientemente en cualquier dirección y eso hace que las condiciones de los enlaces cambien dinámicamente.

De los retos más grandes en diseñar e implementar una *MANET* es lograr que cada dispositivo mantenga la información para enrutar (direccionar) hacia otros clientes que se encuentren dentro de su conexión. En este tipo de red, la topología cambia constantemente puesto que los usuarios se mueven de igual forma, lo que genera una gran inestabilidad lo cual no sucede con una *Wireless Ad-Hoc Network*. Supongamos, la red de la *Figura 4.16*, donde todos los nodos se comunican; cuando uno de estos se desvía y sale de la red, la red debe cambiar dinámicamente su estructura, topología, direccionamiento, etc.; como expresa la *Figura 4.17*:

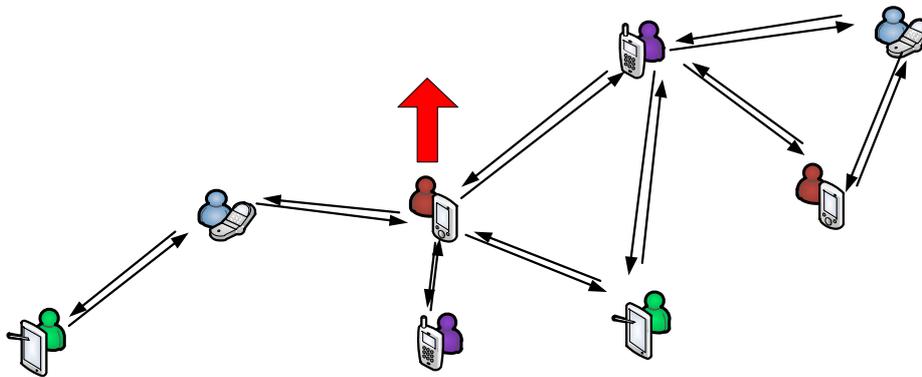


Figura 4.16: *Wireless Ad-Hoc Network (sensores).*

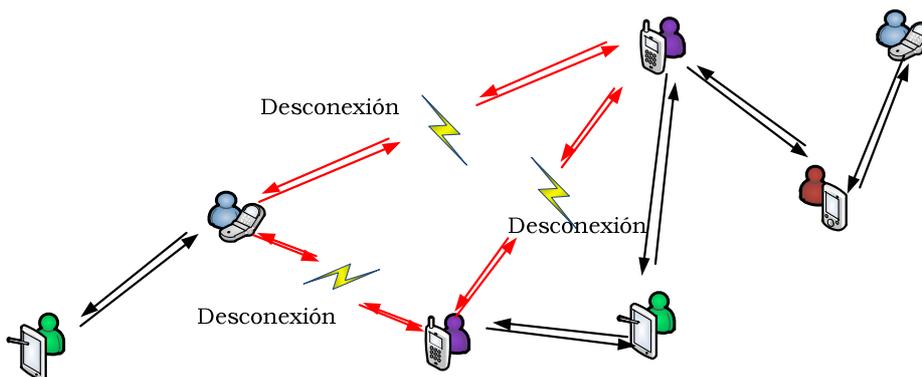


Figura 4.17: *Wireless Ad-Hoc Network si un usuario sale de la conexión.*

Actualmente (julio del 2014), desafortunadamente, ningún *smartphone*, de fábrica (sin someterse a ninguna modificación), soporta esta versión de comunicación, sin embargo hay desafíos envueltos en programas de *smartphones* para acoplarse y solventar este problema (**Brownlee; Liang, 2011**), (**Flanagan, D.**), (**Sicard, L.; Markovics, M.; Manthios, G., 2010**).

Al adentrarse en una *MANET*, es imprescindible dejar de hablar de los inconvenientes los cuales serían necesarios enfrentar para su funcionamiento. Estos problemas son los citados a continuación:

- **“Paquet-sniffing”**: Es la capacidad de los clientes de escuchar todo el tráfico de la red. Esto significa que es capaz de oír incluso paquetes que no sean dirigidos a él; pero es necesario para poder retransmitir ese paquete.
- **“IP-Injection”**: Es la creación de nuevos paquetes. Necesario para retransmitir paquetes a los correctos destinatarios, o al sato siguiente más próximo al destinatario.
- **“IP-Spoofing”**: La creación de paquetes personalizados los cuales la IP no coincida con la dirección IP origen inicial. El cliente debe ser capaz de interceptar los paquetes y reenviarlos modificando las cabeceras del mensaje enviado.
- **“ARP-Spoofing”**: Es la capacidad de comportarse como un equipo de *backbone*, realizando falsas alarmas *ARP*.
- **Privilegios**: Dependiendo de cada perfil de usuario, más o menos privilegios en sus acciones tendrá. Por tanto existen privilegios diferenciados en los sistemas operativos móviles; así, un usuario normal se encuentra inhabilitado de realizar diferentes acciones, como por ejemplo el tener acceso a áreas del sistema. Obviamente los propietarios de grandes marcas, lo emplean a manera de seguridad.

¿Qué es *root* o *jailbreaking*? *Root* se refiere a un término en Linux, y por ende Android, el cual es un usuario que tiene TODOS los privilegios y permisos; llamado también Superusuario. El otro término se refiere a un super usuario en iOS.

Este usuario puede modificar puntos incluso del sistema operativo que un usuario común no.

El desarrollador puede forzar a cambiar los permisos de una determinada aplicación (**Android Developer**, 2015), sin embargo, para que pueda ser *root* dentro del *smartphone*, hace falta mucho más que una simple línea de código.

Para resolver los problemas anteriormente citados, el desarrollador debe tener acceso a la *API* que le permita la creación de paquetes personalizados y modificables “*paquete-injection*” e “*IP-Spoofing*”; estos términos se convierten en un nuevo requerimiento. Y para poder implementar todos y cada uno de estos requerimientos, es necesario que la tarjeta de red se comporte en “modo promiscuo”; que significa que pueda ser capaz de capturar todo el tráfico que circula por su red, independientemente de si es el destinatario o no. Y por ende, implica que requiere obligatoriamente tener permisos elevados de *root*; y de la misma manera para realizar “*paquet-sniffing*”, “*ARP-Spoofing*” que existen algunas indicaciones que incluso aducen que no es posible (**Seclists.org**, 2015). Los sistemas operativos más conocidos, *iOS*, *Android*, *Windows Mobile* y *Blackberry*, son incapaces de generar paquetes personalizados byte a byte; la determinación de las direcciones IP que cada *smartphone* debe colocar es tarea difícil, pero en algunos sistemas operativos, como *iOS*, se permite este proceso adjuntando una librería *LIBPCAP* que logra poner la tarjeta de red en modo promiscuo, permitiendo acceder a la información contenida dentro de los pequeños paquetes que no son para sí mismo y que de otra manera serían descartados. Sin embargo no está claro si esta librería puede ser usada sobre Android (**Brownlee; Liang**, 2011)

4.7.1.1.1 Ventajas y Desventajas de “rootear” un Smartphone

“*Rootear*” es un término empleado para definir el proceso de convertir a un usuario común, en un super-usuario; por tanto brindarle mayores privilegios y permisos siendo *root* sobre su dispositivo móvil.

Las ventajas y desventajas de realizar este proceso se presentan en la *Tabla 4.23*:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Permite ampliar sus posibilidades.	Se pierde seguridad, los virus pueden actuar abiertamente.
En algunos lugares es legal.	La garantía de todo móvil es anulada.
El rendimiento mejora substancialmente.	Es peligroso. Si algo llega a fallar el móvil queda totalmente inactivo.
Se puede actualizar el sistema operativo sin depender del operador y el fabricante.	Inestabilidad.
Se puede instalar aplicaciones más avanzadas que usualmente no permite.	En Android es mucho más fácil que en iPhone, sin embargo es posible para los dos sistemas operativos.
Se puede quitar aplicaciones preinstaladas.	Actualizaciones oficiales pueden quedar fuera.
	Pérdida de Soporte técnico.

Tabla 4.23: Ventajas y desventajas de rootear o hacer jailbreaking.

Ciertamente existen desventajas, unas menos importantes que otras dependiendo del punto de vista del usuario y del desarrollador; incluso muchas personas *rootean* su *smartphone* con el fin de desinstalar aplicaciones por defecto y sacarle mayor provecho a su equipo; pero en caso de esta tesis, enmarcando que la implantación requiere un apoyo masivo, es imposible obligar al usuario a realizar este procedimiento, en especial por la pérdida de garantía y servicio técnico que es esencial. Por tanto, la opción de realizar una *MANET* entre teléfonos para este propósito es inviable, pero como se detalló existen investigaciones en este campo que realizan la red sin problemas (rooteo implícito).

4.7.1.2 Bluetooth

“With more than three billion Bluetooth devices in the world today and all major mobile OS players (Apple, Android, Microsoft and Blackberry), Bluetooth connects to almost anything.”

Bluetooth (Bluetooth, 2015)

Es una especificación para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz o datos entre diferentes dispositivos en un enlace de radio frecuencia en la banda de los 2.4 Gz. Es un protocolo que fue diseñado para dispositivos de bajo consumo, razón por la cual casi en la totalidad de teléfonos móviles se encuentra presente, permitiendo comunicarse entre ellos cuando se encuentren dentro de su **alcance**; y es este término precisamente que es el limitante de esta tecnología en la tesis.

Los dispositivos que conllevan esta tecnología se dividen en 3 clases, cada uno con una potencia de transmisión acorde con el alcance máximo (metros) y al consumo de energía como muestra en la *Tabla 4.24*. A mayor potencia, mayor alcance, y mayor consumo de energía.

Clase	Potencia máxima permitida	Potencia máxima permitida	Alcance (aproximado)
Clase 1	100 mW	20 dBm	~30 metros
Clase 2	2,5 mW	4 dBm	~10-5 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metro

Tabla 4.24: Características de cada clase Bluetooth.

Notar que los *smartphones* son dispositivos *Bluetooth* de clase 2.

Al analizar esta tecnología como posible solución, es necesario tomar en cuenta que la comunicación a considerar es “*outdoor*”; por lo que realizar una red de este tipo implicaría un gran número de usuarios en cortísimas áreas, de alrededor de 10 metros. La *Tabla 4.25* demostraría un número cercano:

	Bluetooth	
Distancia (m)	25	10
	Teórico	Real - Práctico
Área cubierta por un smartphone (m²)	1.963	314
# smartphones en un Servidor Intermedio (I_{MM} = 5.5) 35 km²	17.825	111.464
# smartphones en un Servidor Intermedio (I_{MM} = 6) 56 km²	28.527	178.343

Tabla 4.25: Smartphones necesarios en área de cobertura de un Servidor Intermedio usando Bluetooth.

Comparándolo con el número de usuarios que necesita el Servidor Intermedio para tener una buena fiabilidad y un porcentaje de error, se podría decir que se torna imposible. Además esta corta distancia involucraría así, mayores problemas que la solución misma.

- Una constante conexión y desconexión de la red.
- Un mayor número de *smartphones* para cubrir el área.
- Un mayor número de saltos para encontrar un dispositivo que entregue internet.
- La habilitación de esta tecnología también contribuye en el consumo de energía del móvil.

4.7.1.3 Radio Bases Móviles

Estas bases, ya han sido usadas en muchos aspectos y siguen siendo usadas como solución; como las que se instalan para dar mejor y mayor cobertura en eventos de gran masa como conciertos, desfiles, protestas, etc. puesto que las bases fijas implantadas no abastecen ese exceso de tráfico. Así se instalan repetidores para tener mayor cobertura y mejor operatividad obteniendo enlaces que satisfacen el tráfico demandado, especialmente en coordinación de situaciones de emergencia (**Repetto, G.**, 2001). Estas radio bases son fácilmente montables y desmontables, pudiendo ser instaladas en cuestión de horas. Muchos operadores móviles realizan este método de ayuda a sus redes.

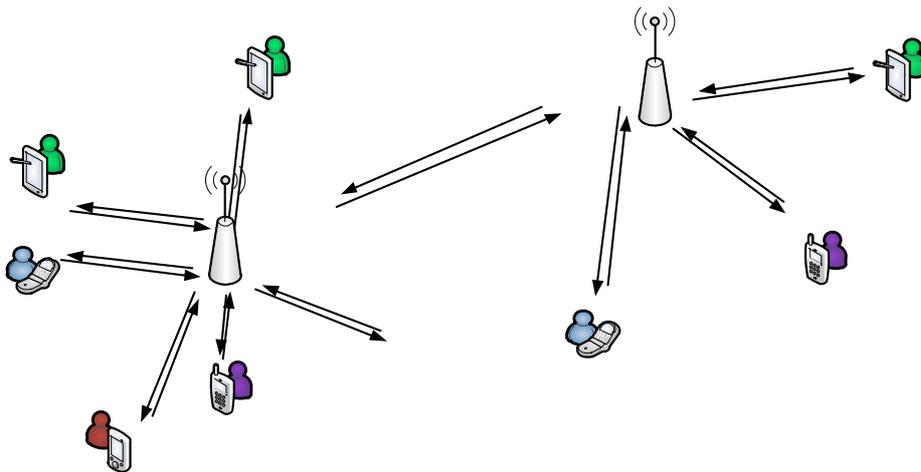


Figura 4.18: Ayuda de radio bases móviles en una red.

Otra alternativa similar, es la de que un vehículo proporcione enlaces periódicos para que los usuarios puedan emitir y recibir esporádicamente información. En un caso muy empleado de ejemplo, como la Cruz Roja o militar en la *Figura 4.19* (**Repetto, G.**, 2001) y gráficamente en la *Figura 4.20*:



Figura 4.19: Radio bases de la Cruz Roja.

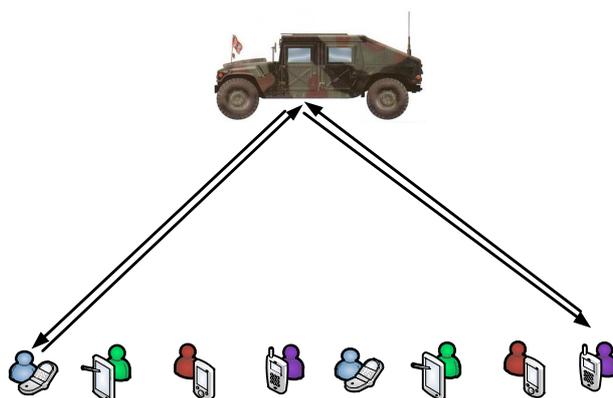


Figura 4.20: Radio bases móviles vehiculares.

4.7.1.4 WiFi Direct

WiFi (**Kioskea**, 2015) es una tecnología muy usada actualmente pudiendo conectar ordenadores, portátiles, equipos, *smartphones*, tabletas, etc. La mayoría de familias presentan un punto de acceso inalámbrico en sus hogares. WiFi es una especificación internacional 802.11 de *IEEE* donde define características de una red inalámbrica.

WiFi Direct (**Broadcom**, 2010) es una certificación en la cual dispositivos WiFi puedan comunicarse directamente de una manera simple y conveniente para compartir recursos, sincronizar, jugar o imprimir. Entre las ventajas más importantes que WiFi presenta se encuentran las citadas a continuación:

- **Puede funcionar en cualquier lugar, en cualquier momento:** Lo que significa que solamente con dos dispositivos hábiles, la conexión ya es posible pudiendo realizar la compartición de recursos entre *smartphones* incluso en un evento de catástrofe y post-catástrofe.
- **Utilidad Inmediata:** Es capaz de empezar su funcionamiento al instante siguiente en que el usuario acepte la conexión.
- **Seguro:** El usuario recibe una invitación de aceptación, así uno puede decidir aceptar o no la conexión WiFi Direct. Y por otro lado, la complementa usando WPA2, el último estándar y el mejor actualmente.
- **Fácil de usar:** A partir de Android 2.2 (*Froyo*) los *smartphones* vienen incorporados esta posibilidad sin ninguna configuración ni aplicación extra.

Se puede encontrar la opción generalmente en (Ajustes – WiFi – WiFi Direct donde se encuentra la posibilidad de buscar dispositivos, conexión múltiple, etc.

- **Conexión múltiple:** Es posible hacer conexiones uno a uno; o incluso de uno a muchos con una conexión múltiple. Lo único requerido es aceptar a todos y cada uno de los usuarios se apetezca.

La mayor desventaja en el uso de esta tecnología sería que ya que el usuario puede aceptar o denegar las conexiones, la conexión ya quedaría en manos de un usuario; y situándonos en el momento de crisis post-evento, suponemos que la mayoría de personas no querrá gastar recursos de su *smartphone*. Sin embargo se cree que se debería organizar la concienciación de la comunidad a auxiliar y socorrer a personas que lo necesiten.

También es importante tomar en cuenta, que el número de dispositivos, aunque menos que con *Bluetooth*, visto en el apartado 4.7.1.2, será también un número representativamente grande, como la *Tabla 4.26* lo demuestra:

	Wi-Fi Direct		
Distancia (m)	200	90	100
	Teórico	Real - Práctico	
Área cubierta por un smartphone (m²)	125.664	25.447	31.417
# smartphones en un Servidor Intermedio (I_{MM} = 5.5) 35 km²	279	1.375	1.114
# smartphones en un Servidor Intermedio (I_{MM} = 6) 56 km²	446	2.201	1.783

Tabla 4.26: Smartphones necesarios en área de cobertura de un Servidor Intermedio usando WiFi Direct.

CAPÍTULO 5

VALIDACIÓN DE LA

ARQUITECTURA

***“La verdadera grandeza de la ciencia acaba
valorándose por su utilidad”***

Gregorio Marañón

CONTENIDO

- 5.1 INTRODUCCIÓN
 - 5.2 EVALUACIÓN DE LA PRIMERA CAPA
 - 5.3 EVALUACIÓN DE LA SEGUNDA CAPA
 - 5.4 EVALUACIÓN DEL SISTEMA
 - 5.5 LIMITACIONES DE EVALUACIÓN
-

5.1 Introducción

Los anteriores capítulos hicieron referencia al diseño y desarrollo de una arquitectura que ha surgido del estudio y análisis de varias posibilidades planteadas, siendo la escogida la más adecuada a la realidad de una zona, Ecuador; y que además cubre los objetivos a un inicio programados.

La importancia de validar cualquier arquitectura es imprescindible para asegurar y garantizar el soporte de requerimientos y necesidades; en este caso las necesidades de una población sin una gestión de emergencias sísmicas adecuada, incluso viviendo día tras día en un suelo con alta peligrosidad sísmica; y también los requerimientos de un sistema distribuido en tiempo real crítico.

Esta evaluación no tiene por objetivo decir que la propuesta ha llegado a un nivel de perfección. Como se observa en los resultados obtenidos, existen muchos campos en los cuales mejorar, los cuales los contemplaremos en las líneas futuras citadas en el Capítulo 6 apartado 6.3.

Este capítulo se centra en validar la arquitectura mostrando que es una propuesta viable y eficiente en cada una de sus capas; de esta manera se justifican las decisiones tomadas para el diseño y desarrollo de la misma. Se procede a la validación de la arquitectura siguiendo dos métodos: el primero en base a señales sísmicas pasadas, ayudándonos de la historia sísmica Ecuatoriana; y segundo, probando día tras día durante un periodo de tiempo la eficiencia del sistema.

Por último, al trabajar con un evento tan difícil de ser medido, ya que todo evento sísmico es totalmente impredecible tanto en lugar, tiempo e intensidad, presentamos las limitantes a las que nos hemos visto enfrentados en esta tesis.

5.2 Evaluación de la Primera Capa

Antes de empezar este apartado, es importante citar que parte de la validación de la primera capa, la aplicación “*e-quake*”, se ha realizado usando *smartphones* como: Samsung Galaxy Ace II, Samsung Galaxy S3, HTC Desire, LG Optimus P700 y LG Optimus P470, de-

tallados en el apartado 4.3.2; con lo cual en algunas pruebas el resultado podría variar dependiendo del modelo usado. Sin embargo, otra parte de la validación se realiza con la aplicación instalada en otros modelos con diferentes características y versionamiento *software*, brindando los mismos resultados que con los de desarrollo, tanto en de eficiencia e interfaz de usuario.

5.2.1 El Smartphone como Sensor

Este proyecto es un claro ejemplo de los beneficios que puede resultar el llevar un *smartphone* en nuestras manos. Después de un largo número de pruebas, se ha encontrado que acelerómetros *MEMS* tienen la suficiente capacidad para esta investigación, y además, extendiendo su potencial más allá de la sismología, justificando otros proyectos que usan *smartphones* como sensores en otros campos de la comunidad como:

Campo de estudio	Proyectos relacionados
Redes sociales	Dartmouth CenceMe (Miluzzo; Lane; Fodor; Peterson; Lu; Musolesi; Eisenman; Zheng; Campbell, 2008): investiga el uso de sensores para automáticamente clasificar eventos de la vida de las personas y publicarlo en alguna red social como Twitter, Facebook, MySpace.
Rastreo	CompAcc (Constandache, I.; Choudhury, R. R.; Rhee, I., 2010): utilizando el acelerómetro y compas de un <i>smartphone</i> permite determinar la ubicación.
Transporte	MIT VTrack (Thiagarajan; Ravindranath; LaCurts; Madden; Balakrishnan; Toledo; Eriksson, 2009): envían información de tráfico preciso mediante la ayuda de una gran cantidad de datos enviados por otros <i>smartphones</i> . Mejora la planificación de viaje.

Monitoreo ambiental	PEIR (Mun; Reddy; Shilton; Yau; Burke; Estrin; Hansen; Howard; West; Boda, 2009): usa sensores para construir un sistema que permita personalizar reportes del impacto ambiental, acen- tuando en como las acciones individuales contribuyen en los problemas de emisio- nes de gas de carbono.
Monitoreo médico	The UbiFit Garden (Consolvo; McDo- nald; Toscos; Chen; Froehlich; Harri- son; Klasnja; LaMarca; LeGrand; Libby; Smith; Landay, 2008): captura los nive- les de actividad física y detalla el reporte del logro personal alcanzado por el usua- rio.
Educación	iPhysicsLabs (Vogt, P.; Kuhn, J., 2012): permite analizar el efecto de caída libre y realizar mejores laboratorios, en este ca- so de Física.
Juegos multimedia	Gymkhanas (Robles; Gonzales- Barahona; Fernandez-Gonzales, 2011): es un juego que consiste en superar desafíos para ir obteniendo nuevos nive- les. Es usado como aprendizaje multime- dia para aprender y mejorar competen- cias.
Música y arte	Music Performance (Essl; Rohs, 2009): es un proyecto que convierte <i>smartpho- nes</i> en instrumentos musicales; donde a través de movimientos gestuales se emi- ten sonidos de instrumentos musicales.
Realidad aumentada	Fligth simulator (Mendez; Alejandro, 2014): un simulador de vuelo para futu- ros pilotos; funciona monitoreando sen- sores como acelerómetro, y giroscopio.

Tabla 5.1: Proyectos que usan smartphones en diferentes ámbitos.

Así mediante éste y otros muchos proyectos, los *smartphones* quedan totalmente justificados para realizar monitorización de sensores; que implica un balance entre la demanda de recursos, el monitoreo constante de los sensores, la eficiencia de la aplicación y en consecuencia, la posibilidad de tomar mejores decisiones en cortos periodos de tiempo.

5.2.1.1. El Acelerómetro como Acelerógrafo

Esta representará la primera validación realizada sobre los *smartphones*. Se realiza a través de una mesa de agitación en la que los *smartphones* se encuentran en reposo, tal y como en el proyecto (**Suzuki; Saruwatari; Kurata; Morikawa, 2007**). La idea principal es que por medio de la aplicación “*e-quake*”, previamente instalada en cada uno de los dispositivos, medir aceleraciones para demostrar que a pesar de que los acelerómetros incrustados dentro de *smartphones* no mantengan la misma capacidad de un sismógrafo de miles de euros usados en sismología, estos sensores *MEMS* logran percibir incluso simples movimientos como la vibración de un mensaje de texto *SMS*. En la primera *Figura 5.1* la aplicación “*e-quake*” representa el reposo de un dispositivo en diferentes posiciones, mostrando así la aceleración de la gravedad en cada uno de sus ejes:

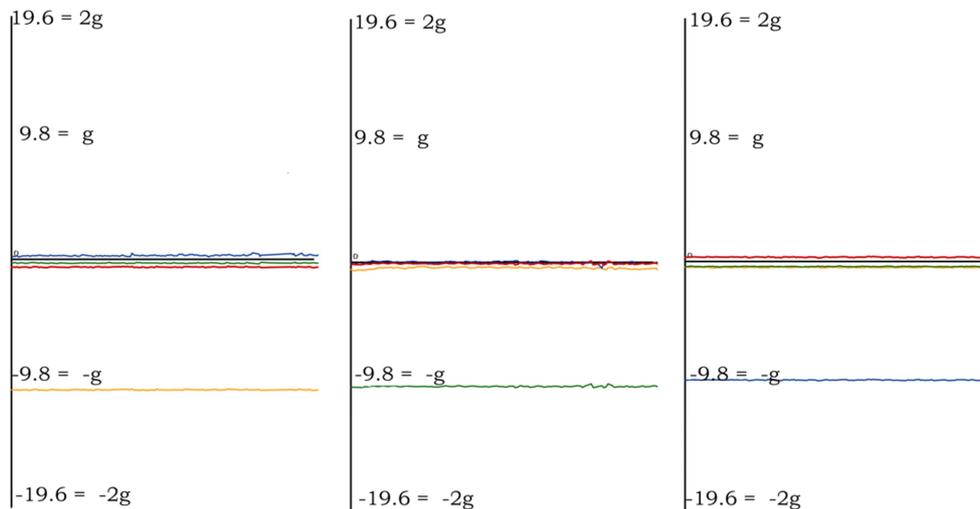


Figura 5.1: Pantalla “*e-quake*”. Aceleración $[x, y, z]$ medida por el *smartphone* en reposo, en diferentes posiciones.

Por otro lado en la *Figura 5.2*, muestra la vibración (cambio de aceleración) debida a la llegada de una notificación, por ejemplo (un mensaje de texto, una llamada perdida, etc.) estando el *smartphone* en diferentes posiciones:

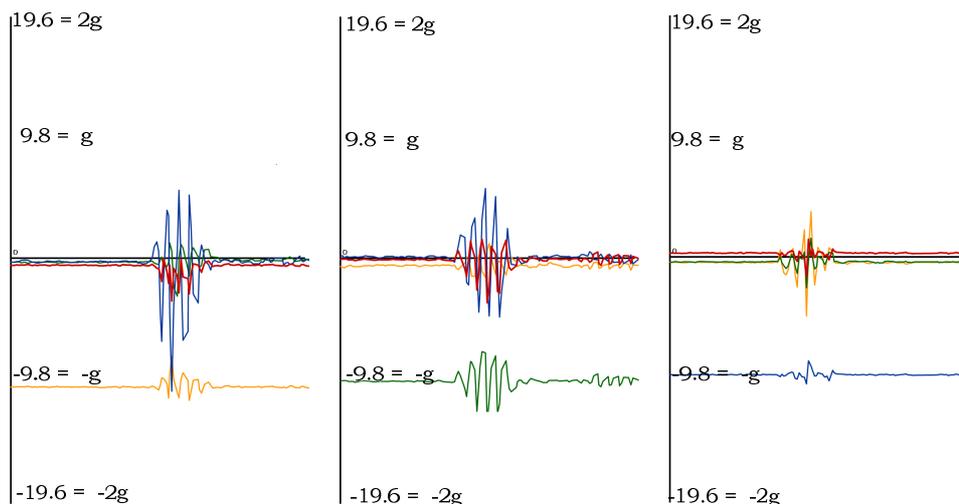


Figura 5.2: Pantalla “e-quake”. Aceleración $[x, y, z]$ medida por el *smartphone* debido a una notificación o SMS.

Tal y como lo justifican otros proyectos, como los citados en el apartado 5.2.1, se demuestra que un *smartphone* tiene la suficiente capacidad para comportarse como un acelerógrafo en esta investigación, percibiendo vibraciones pequeñas e incluso rápidas.

5.2.2 Consumo de Batería

El éxito de esta investigación depende en gran medida de la densidad de *smartphones* en la red de sensores. Es por esta razón por la cual mantener en alto la satisfacción de los usuarios es de importancia para el despliegue del sistema; y es el consumo de batería, según estudios (**Heikkinen; Nurminen; Smura; Hämmälén**, 2012), que no solamente interfiere en el impacto del comportamiento del usuario, sino también perjudica grandemente a la popularidad de la misma; que a la larga se traduce con menos usuarios en el sistema.

Por tanto, uno de los enfoques ha sido la mejora en consumo de energía con respecto a trabajos anteriores en el mismo campo como los que fueron citados en el apartado 3.7.

La aplicación “*e-quake*” logra un avance en este ámbito y según las pruebas realizadas, en media, un *smartphone* dura 42 horas sin carga alguna lo cual representaría un incremento del **68%** con respecto a *Community Sensor Network CSN* el cual anuncia en su trabajo una duración de 25 horas. Esta ganancia se ve reflejada también sobre otros proyectos, y se debe a la frecuencia de muestreo utilizada, detallado en el apartado 3.4.2.1, siendo la cuarta parte de lo que emplea *IShake* para su proceso (100 Hz); y lo que *CSN* utiliza (citando en su trabajo un rango de 50 Hz a 100 Hz) que implica una reducción de esta frecuencia del **50%** o **75%**.

También es importante citar que esta ganancia energética puede variar al modificar: la tasa de muestreo y el tiempo entre *beacons*. Así de igual manera, se somete a pruebas para ver el consumo de batería variando el número de *beacons* enviado desde un *smartphone* utilizando dos tecnologías de comunicación: WiFi y datos móviles 3G obteniendo la *Tabla 5.2*:

#beacons	5 minutos		15 minutos	
Comunicación	3G	WiFi	3G	WiFi
Batería/Hora	0,2553	0,0245	0,0021	0,00037

Tabla 5.2: Consumo de batería por beacons y tipo de conexión.

Con un simple vistazo a la *Tabla 5.2*, se puede deducir que obviamente el consumo de batería va ligado al tipo de conexión que el *smartphone* se encuentre utilizando; así, si usa 3G, estará utilizando mayor cantidad de recursos por el costo computacional que este requiere haciendo que el consumo de batería aumente mucho más rápido. Sin embargo, esto quedaría al margen de la aplicación desarrollada ya que el usuario debe tener en cuenta esta repercusión.

Por otro lado, la aplicación “*e-quake*” debe competir no solamente con sus competidores directos, sino también con muchas más aplicaciones de uso común en los usuarios. Primero, la *Figura 5.3* compara “*e-quake*” en almacenamiento, mientras que la *Figura 5.4*, realiza un comparativo en el consumo de batería con diferentes

aplicaciones en un periodo de 2 meses. Estas aplicaciones fueron las encontradas, las más comunes, en los *smartphones* de los usuarios voluntarios donde se realizaron las pruebas.

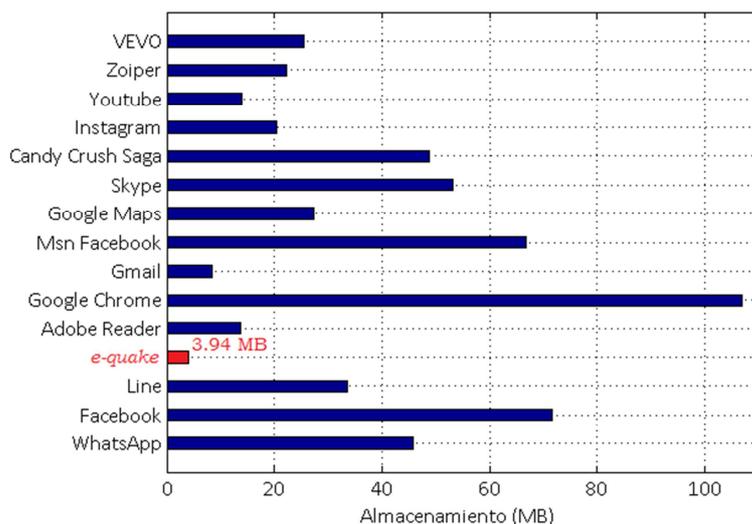


Figura 5.3: Comparación en almacenamiento entre “e-quake” y algunas aplicaciones comúnmente instaladas en smartphones.

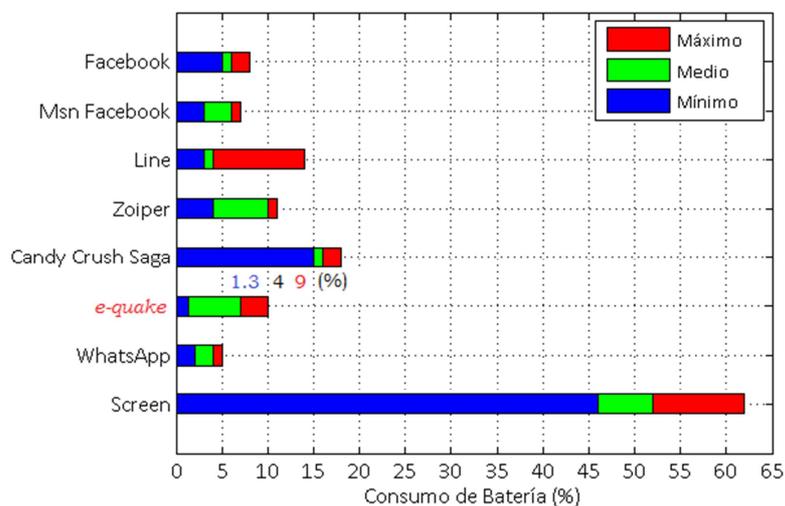


Figura 5.4: Comparación de consumo de batería (%) entre “e-quake” y algunas aplicaciones comúnmente instaladas en smartphones.

Por último, “*e-quake*” monitorea constantemente el estado de batería, y en el caso en que se detecte un nivel bajo de batería (10%), el *smartphone* deja de actuar como un acelerógrafo, pero sigue siendo aún parte del sistema de notificaciones (cliente *MQTT*); así, si perdemos un *smartphone* como sensor, es posible aún salvar una vida al mantener un *smartphone* funcional.

5.2.3 Desempeño “*e-quake*”

Este apartado se refiere a evaluar la eficiencia del proceso de detección de picos diseñado para el *smartphone* que incluye: la monitorización de sensores, transformada de Fourier, algoritmo *STA/LTA*, ecuaciones y leyes de atenuación, etc.; detallados en el apartado 3.4.

Se realiza validando el proceso de detección de picos en dos partes:

- Primero, evaluando al *smartphone* en reposo o estacionario, lo cual ocurre muchas horas al día en la vida de un *smartphone*; como por ejemplo cuando su dueño duerme o descansa (alrededor de 8/10 horas al día), o en trabajos de escritorio (implicando 8 horas más), o se mantiene enchufado para cargar su batería, o escuchando música, etc.
- Y segundo, el cual corresponde cuando el *smartphone* no se encuentra en reposo; sometiéndolos a actividades cotidianas que realizan los usuarios como: caminar, trotar, correr, jugar, etc.

La aplicación “*e-quake*” fue instalada en 40 usuarios voluntarios durante dos meses, y obviamente esto representa estar sometidos a movimientos que en sí, un acelerógrafo sísmico no presentaría, movimientos como: posibles caídas o que el usuario mueva bruscamente el dispositivo, hablar por el móvil, en sí, no estacionario. Es por eso que aunque se obtenga buen desempeño en la prueba, resultados mostrados en la *Tabla 5.3*, no se puede garantizar el 100 % de fiabilidad en esta capa; y es por esta razón que la segunda capa, el Servidor Intermedio, es indispensable en la arquitectura.

	TOTAL DE SMARTPHONES:		40 dispositivos	
	Sismo Simulación		No sismo	
ACTIVIDAD	Movimiento	Reposo	Movimiento	Reposo
Número (#) smartphones	33 - 35	39	2 - 3	0
Porcentaje (%) smartphones	82,5 - 87,5	97,5	5 - 7	0
Porcentaje (%) Precisión	85	-	96	-
Porcentaje (%) Precisión	-	97,5	-	100
	PORCENTAJE EN MOVIMIENTO		90,5 (%)	
	PORCENTAJE EN REPOSO		98,75 (%)	
	PORCENTAJE FALSO POSITIVO		8,75 (%)	
	PORCENTAJE FALSO NEGATIVO		3,25 (%)	

Tabla 5.3: Resultado de “e-quake” sobre 40 usuarios voluntarios.

En la *Tabla 5.3*, se presenta los valores promedios de la prueba.

Falso Negativo: Representa el error de no alertar un sismo existente.

Falso Positivo: Representa el error de alertar un sismo inexistente.

Haciendo una pequeña deducción de la *Tabla 5.3* obtenida, podemos observar que cuando el *smartphone* se encuentra en reposo, se obtiene una gran precisión, incluso superando el **98 %** de fiabilidad; y esto se debe obviamente a que no tiene que distinguir entre otros movimientos. Pero, sin embargo cuando los *smartphones* están sometidos a un proceso como el de caminar, correr u otro movimiento se obtienen también resultados alentadores superando el **90 %**. El 10% restante debe ser analizado por el Servidor Intermedio.

Otro análisis importante al que se podría llegar tomando en cuenta estos resultados es que se logra un bajo porcentaje de error, tanto para un Falso - Positivo, como para un Falso - Negativo. Es importante la reducción de ambos errores, ya que los dos podrían acarrear repercusiones graves; y en el caso de un Falso-Negativo, la credibilidad del sistema en su totalidad se vería gravemente afectada.

En la *Figura 5.5*, se muestra las pantallas “*e-quake*” cuando el *smartphone* se encuentra sometido a diferentes actividades cotidianas como caminar, correr y durante un evento de sacudida del usuario (que obviamente detecta un pico).

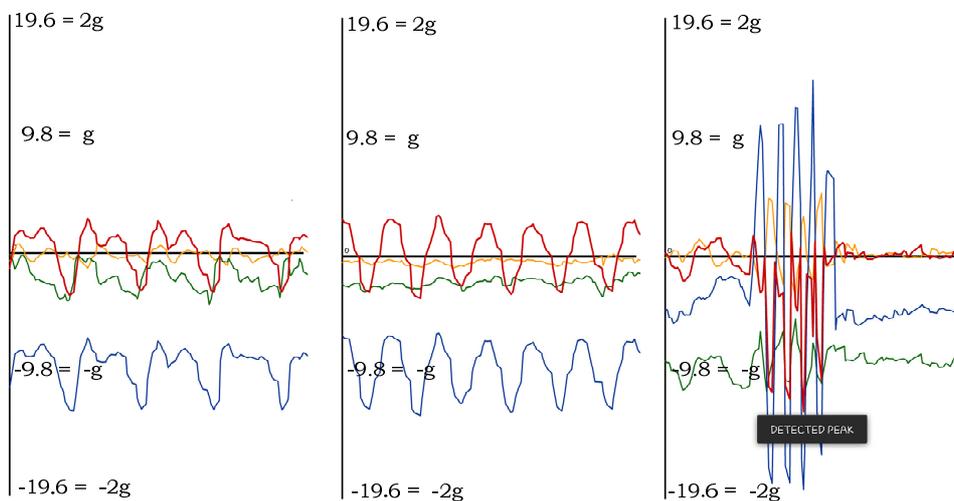


Figura 5.5: Pantallas “*e-quake*”. (a) Usuario caminando. (b) Usuario corriendo. (c) Movimiento brusco (Pico detectado).

Como podemos observar en la *Figura 5.5*, cuando un usuario camina o corre (movimiento repetitivo constante) aunque existe picos de aceleración, la aplicación no determina estos incrementos de aceleración como un pico; aquí se demuestra la eficiencia de usar un umbral dinámico en el algoritmo *STA/LTA*. Sin embargo, en la última parte de la *Figura 5.5*, detecta un pico sísmico, incluso cuando no se quería simular uno; de igual manera, al no poder determinar esta diferencia de movimiento, el Servidor Intermedio, conjunto con las muestras de otros usuarios debe ser capaz de determinar si realmente ha existido un evento sísmico.

5.3 Evaluación de la Segunda Capa

Con el fin de realizar una mejor validación, el *IGEPN* facilitó información sísmica recopilada de dos acelerógrafos situados en la capital Ecuatoriana, Quito. Es importante tomar esto en cuenta ya que las señales proporcionadas, no llegarán al valor de intensidad que fue el sismo sentido en el epicentro; sino que, la señal presentará la intensidad sentida a una distancia determinada en la ciudad de Quito donde se encuentran los acelerógrafos (obviamente menor que la intensidad sufrida).

Se han proporcionado acelerogramas de diferentes magnitudes para evaluar la eficiencia en cada caso y poder llegar a una conclusión.

Ecuador presenta solamente acelerómetros desde hace unos 5 años atrás, por lo cual no se tiene demasiada información de aceleración de los sismos más representativos en el Ecuador ocurridos previo a estas fechas.

El diseño de detección de picos en el Servidor Intermedio se valida mediante 3 de los sismos más representativos y citados a continuación:

- **PASTO – COLOMBIA (2012/09/30):**

El sismo se produjo a las 11:31 hora local (16:31 GMT) y el epicentro fue localizado a 150 kilómetros de profundidad, a 61 kilómetros al sur de la ciudad colombiana de Popayán y a 345 kilómetros al norte de Quito - Ecuador, donde se sintió con mayor fuerza en edificios altos causando alarma, pero sobre todo por

su duración. El fenómeno duró 5 segundos y alcanzó una magnitud de 7,4 grados en magnitud.

Un sismo de intensidad similar no se presentaba en Colombia desde el 2004, cuando sucedió un evento de 7,2 grados de magnitud en un poblado del departamento de Valle del Cauca. El sismo dejó 15 familias y decenas de viviendas damnificadas en diferentes sectores de Colombia. Fue percibido en gran parte del centro de Colombia y en ciudades tan distantes como Cali, Popayán o San Juan de Pasto e incluso en Quito-Ecuador.

En la capital ecuatoriana, el temblor se sintió durante unos 30 segundos, especialmente en los edificios altos.

El terremoto de 7,4 grados en la escala abierta de Richter que, según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), sacudió el sur de Colombia, se sintió en al menos cinco provincias de Ecuador (Carchi, Imbabura, Pichincha, Guayas y Manabí) provincias del norte Ecuatoriano, informó el IGEPN.

La *Figura 5.6*, *Figura 5.7* y *Figura 5.8* muestran las aceleraciones correspondientes a este sismo, en cada uno de sus ejes:

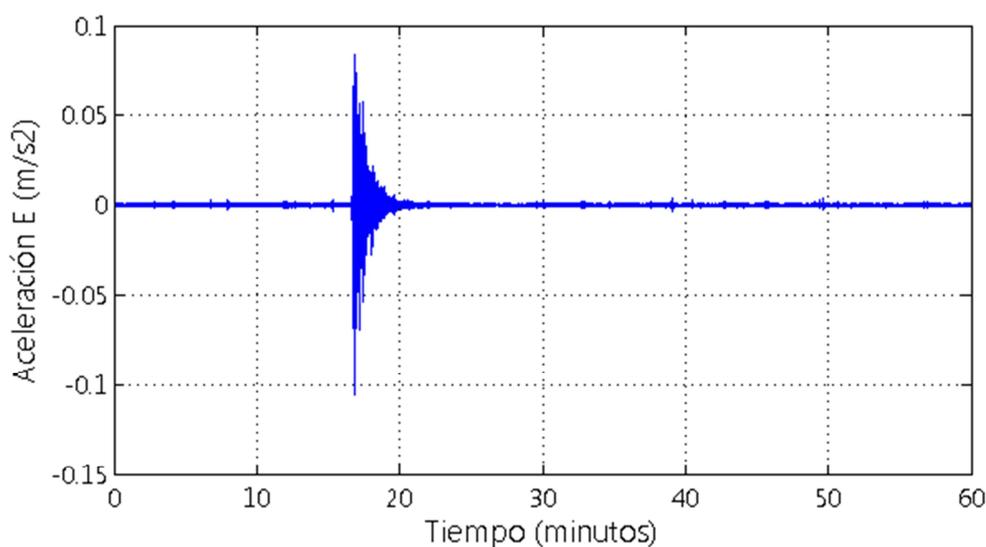


Figura 5.6: Aceleración eje E en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

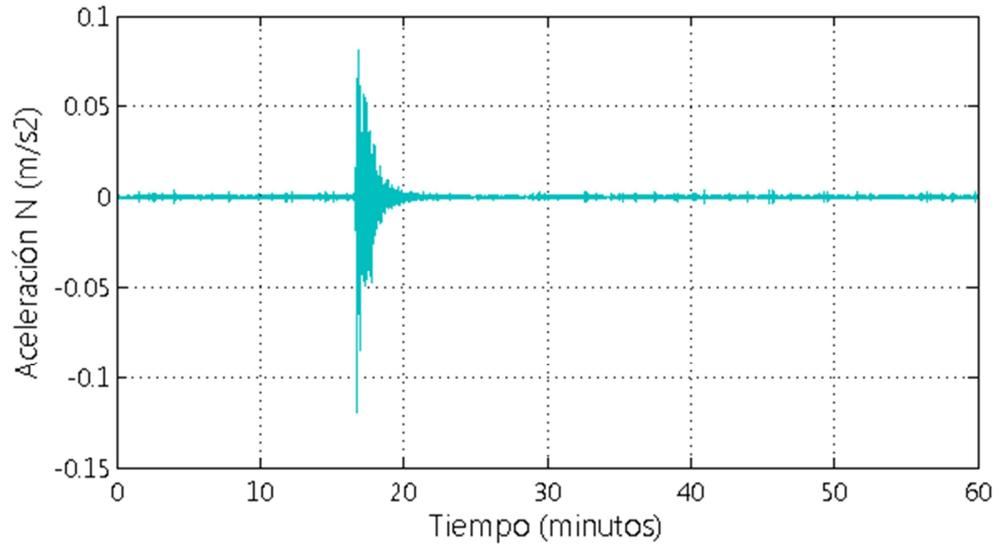


Figura 5.7: Aceleración eje N en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

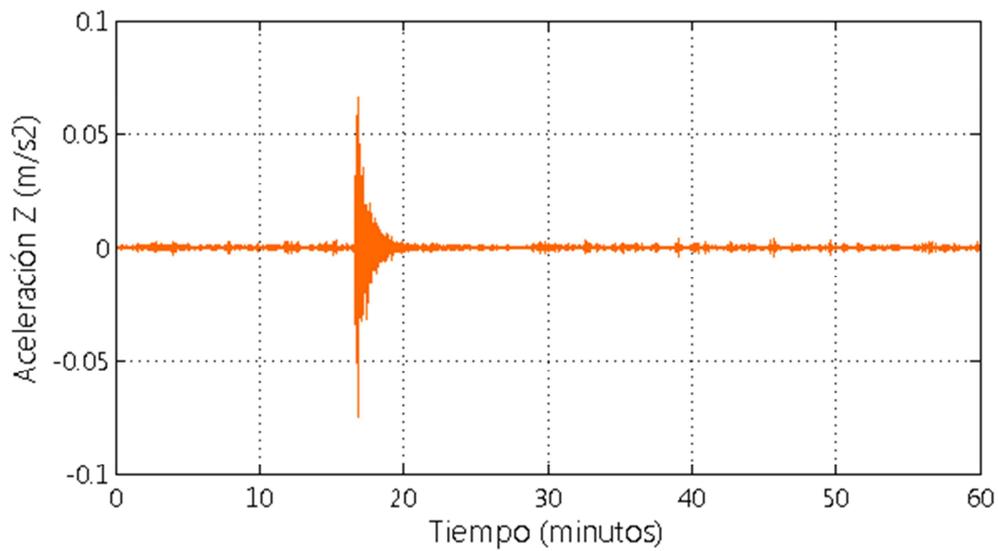


Figura 5.8: Aceleración eje Z en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

A continuación, en la *Tabla 5.4*, se detallan las características de estas señales de aceleración, haciendo énfasis en el módulo de la aceleración (A) que es lo que se intenta medir:

	Eje E	Eje N	Eje Z	A
# Datos	360.301 muestras	360.401 muestras	359.800 muestras	360.000 muestras
	3.603 segundos	3.604 segundos	3.598 segundos	3.600 segundos
Acel. Máx. (m/s²)	0,0837	0,0816	0,0662	0,1233
Acel. Mín. (m/s²)	-0,1061	-0,1198	-0,0748	0

Tabla 5.4: Características de la señal de aceleración [E, N, Z] en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

A partir de estas señales es posible calcular su módulo Aceleración y gráficamente se puede observar en la *Figura 5.9*:

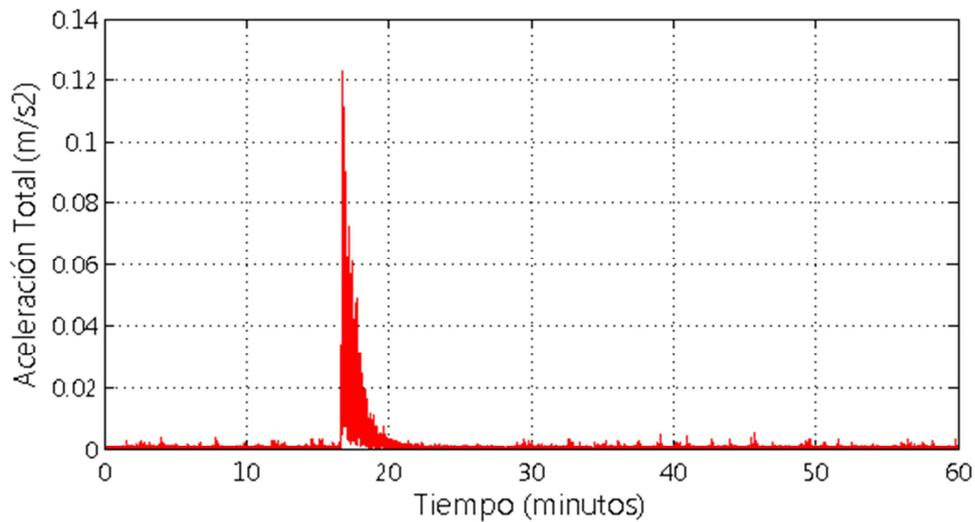


Figura 5.9: Módulo de aceleración en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

- **QUITO – ECUADOR (2011/10/29):**

Se recalca que la señal de aceleración proporcionada por el *IGEPN*, en este caso, al ser medida en el lugar del epicentro, si entrega valores máximos de intensidad producidos por este sismo.

Se produce en las coordenadas (-0,310, 78,3870) correspondiente al norte de Quito, a las 13:50 GMT, (08:50 local) con una intensidad de 4,5 I_{MM} y a una profundidad de 16,90 kilómetros.

El sismo se siente en la ciudad de Quito con una duración de entre 5 y 10 segundos. El movimiento se sintió muy fuerte en la ciudad capital debido a la cercanía de ésta con el epicentro y porque la capital se encuentra asentada sobre una falla geológica.

La *Figura 5.10*, *Figura 5.11* y *Figura 5.12* muestra las aceleraciones correspondientes a este sismo, en cada eje:

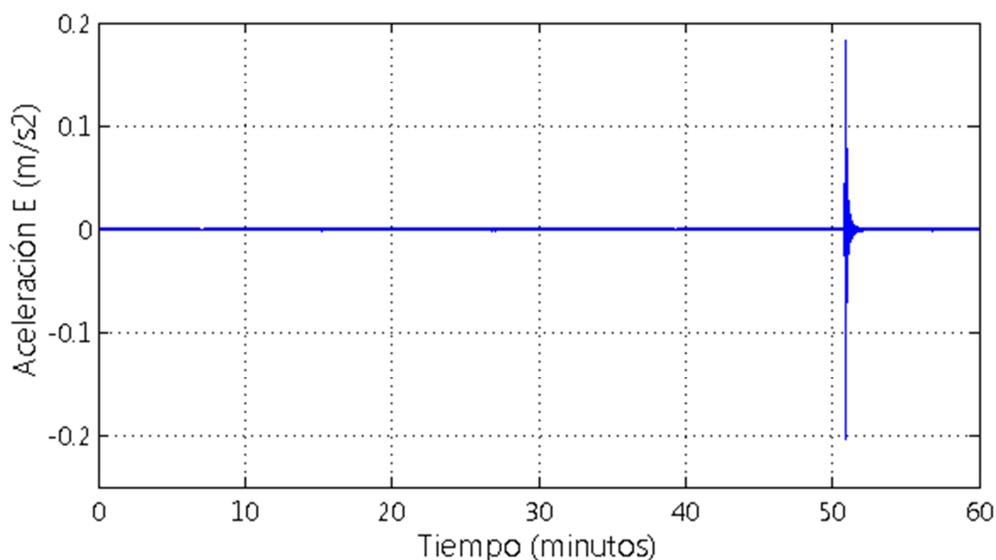


Figura 5.10: Aceleración eje E en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

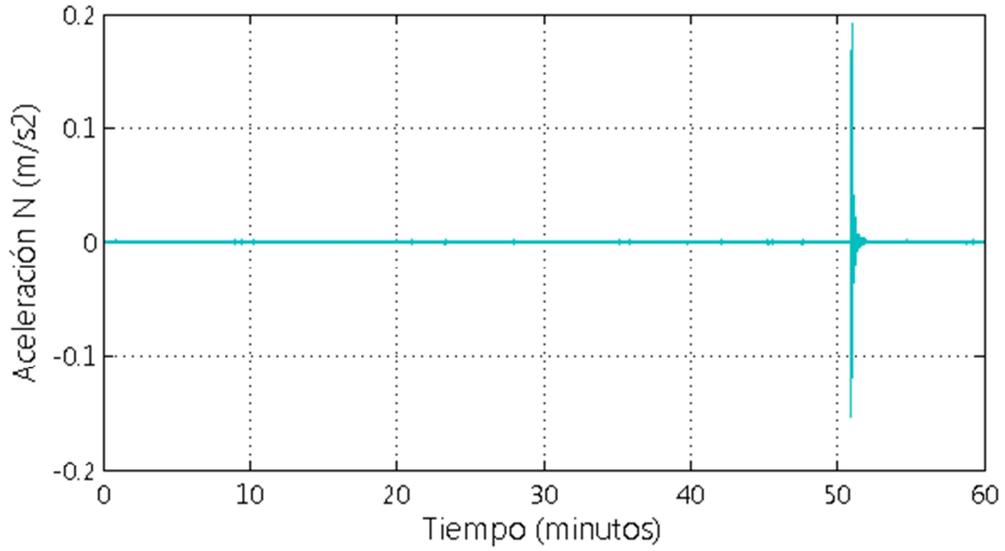


Figura 5.11: Aceleración eje N en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

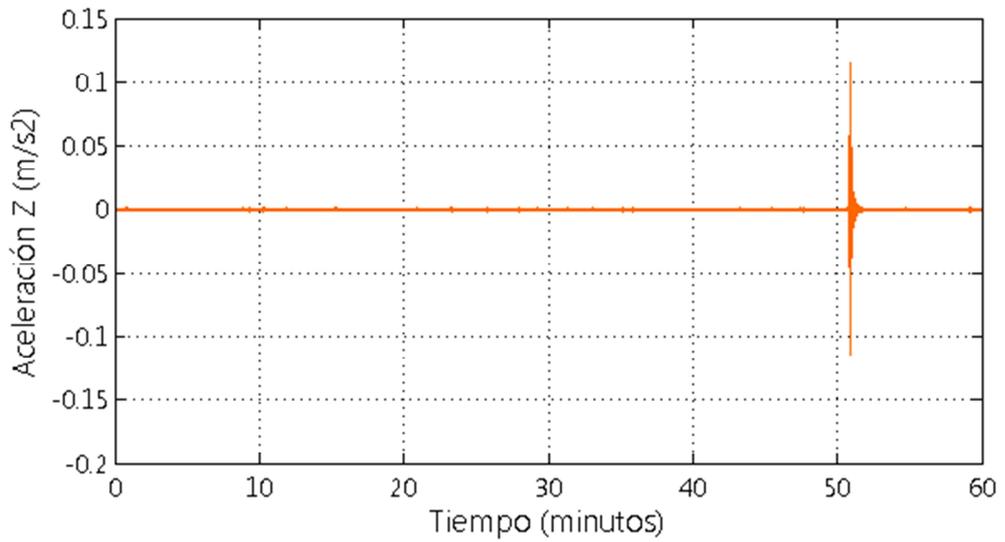


Figura 5.12: Aceleración eje Z en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

A continuación, en la *Tabla 5.5*, se detallan las características de estas señales de aceleración, haciendo énfasis en el módulo de la aceleración (A) que es lo que se intenta medir:

	Eje E	Eje N	Eje Z	A
# Datos	360.202 muestras	360.002 muestras	359.802 muestras	360.000 muestras
	3.602 segundos	3.600 segundos	3.598 segundos	3600 segundos
Acel. Máx. (m/s²)	0,1829	0,1925	0,1154	0,2108
Acel. Mín. (m/s²)	-0,2036	-0,1527	-0,1138	0

Tabla 5.5: Características de la señal de aceleración [E, N, Z] en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

A partir de estas señales es posible calcular su módulo Aceleración y gráficamente se puede observar en la *Figura 5.13*:

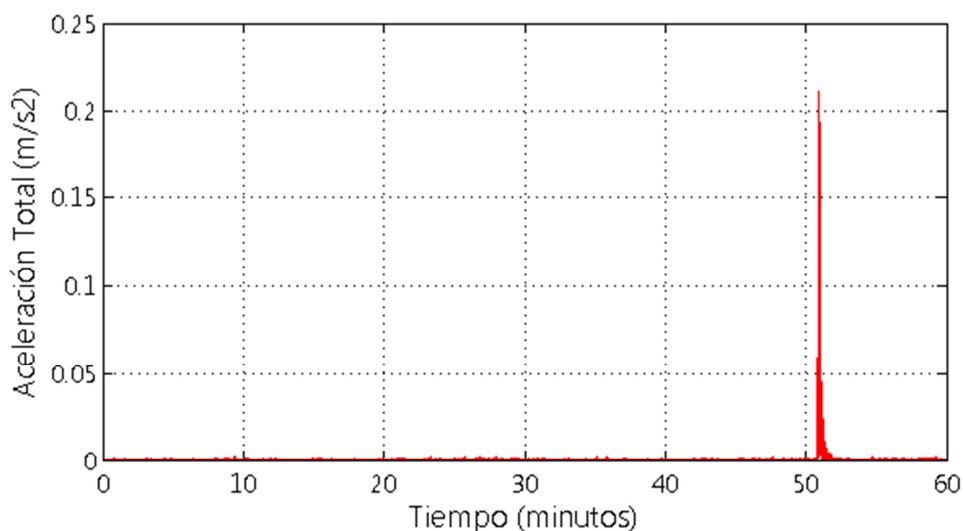


Figura 5.13: Módulo de Aceleración en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

- **ESMERALDAS – ECUADOR (2012/02/08):**

A las 05:54 (tiempo local) del 08 de febrero de 2012 se registró un sismo de magnitud 5,6 con epicentro en $0,68^{\circ}$ N y $79,41^{\circ}$ O a 40 Km al sur-este de la ciudad de Esmeraldas, capital de la provincia del mismo nombre y a 41 km al nor-este de la ciudad de Quinindé.

El foco de este sismo se caracterizó por tener una profundidad intermedia, de alrededor de 40 km. En Quito se sintió con una intensidad de aproximadamente 3 I_{MM} .

De los tres sismos presentados, este es el de menor intensidad sentida en la ciudad capital de Quito.

La *Figura 5.14*, *Figura 5.15* y *Figura 5.16* muestra las aceleraciones correspondientes a este sismo, en cada eje:

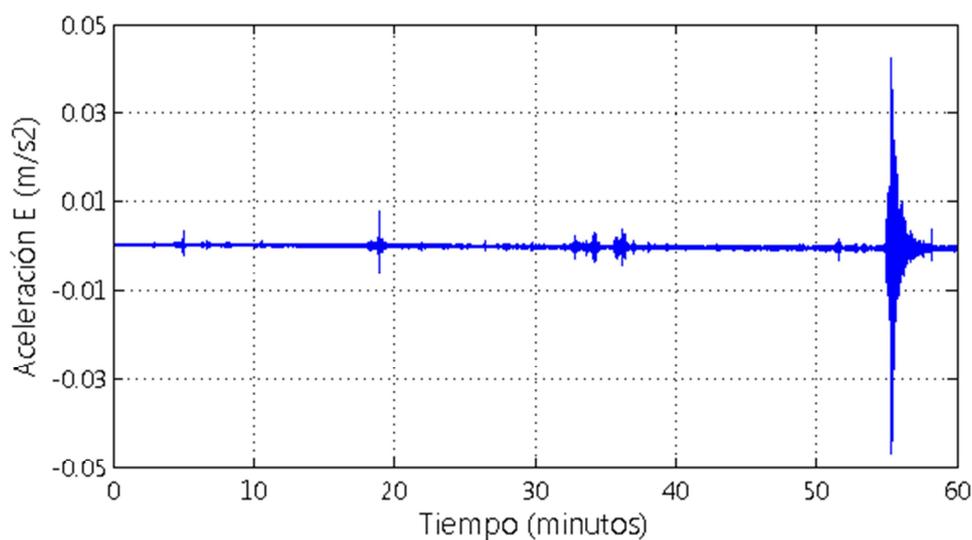


Figura 5.14: Aceleración eje E en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.

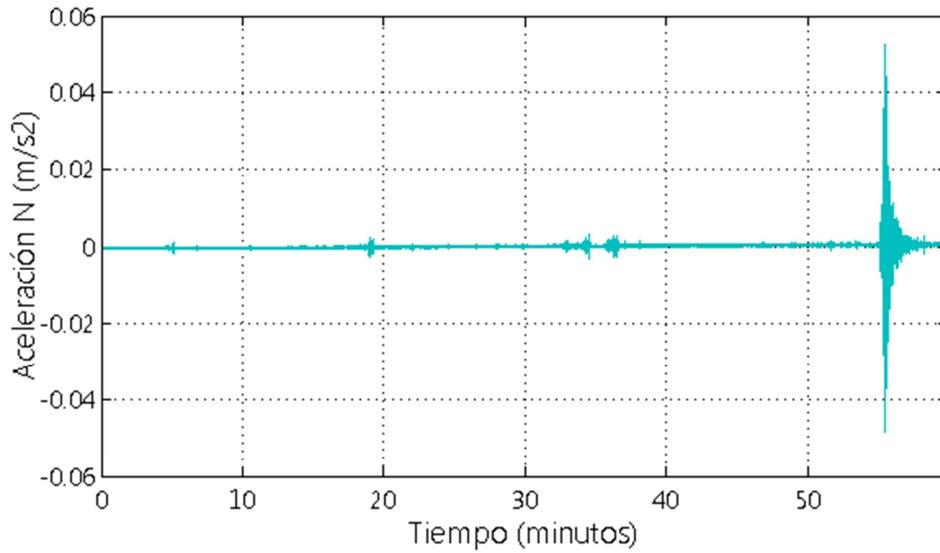


Figura 5.15: Aceleración eje N en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.

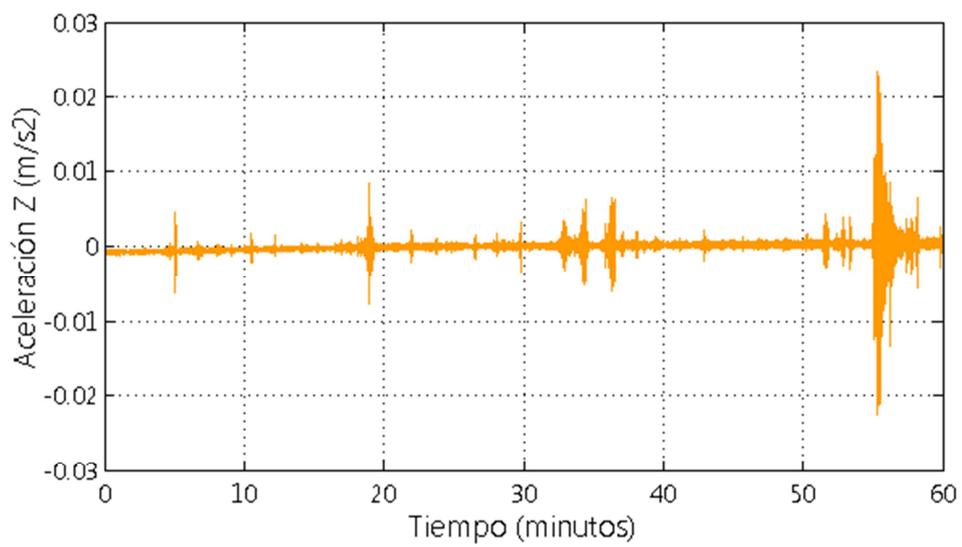


Figura 5.16: Aceleración eje Z en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.

A continuación, en la *Tabla 5.6*, se detallan las características de estas señales de aceleración, haciendo énfasis en el módulo de la aceleración (A) que es lo que se intenta medir:

	Eje E	Eje N	Eje Z	A
# Datos	359.400 muestras	359.900 muestras	359.700 muestras	360.000 muestras
	3.594 segundos	3.599 segundos	3.597 segundos	3.600 segundos
Acel. Máx. (m/s²)	0,067	0,0572	0,01203	0,054
Acel. Mín. (m/s²)	-0,319	-0,2879	-0,21713	0

Tabla 5.6: Características de la señal de aceleración [E, N, Z] en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.

A partir de estas señales es posible calcular su módulo Aceleración y gráficamente se obtiene en la *Figura 5.17*:

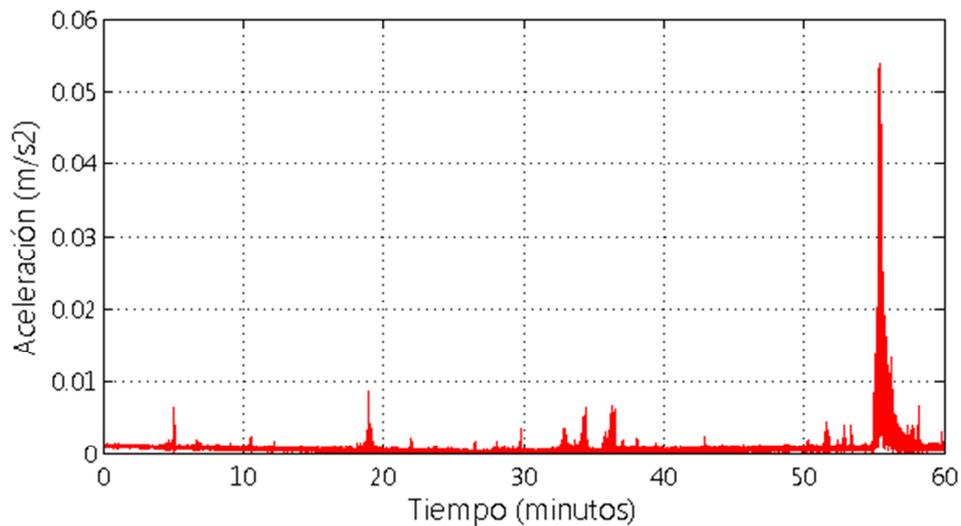


Figura 5.17: Módulo de aceleración en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.

En manera de resumen, la siguiente *Tabla 5.7*, representa los sismos con los que se realizará las validaciones:

Localización	Fecha	Aceleración máxima [gals]	I_{MM} en Epicentro	I_{MM} en Quito
Pasto Colombia	2013/02/09	12,33	7,4	3,77
Esmeraldas Ecuador	2012/02/08	5,48	5,2	2,69
Quito Ecuador	2011/10/29	21,02	4,57	4,57

Tabla 5.7: Características de sismos sentidos en la ciudad de Quito.

5.3.1 Desempeño en el Servidor Intermedio

Esta validación se realiza comparando diferentes valores del algoritmo de configuración de ventanas (A, B, C, D, E), definida en el apartado 3.5.4.2. A través de este análisis se determina cuál de este conjunto de valores desempeña el mejor el trabajo de detección de picos sísmicos analizando la señal de un sismo real pasado.

Ya que el análisis se muestra muy extenso, se detalla el análisis completo para el primer sismo Pasto – Colombia; pero al final del apartado se presentan los valores obtenidos y conclusiones aplicadas a los demás sismos.

5.3.1.1. Probabilidad Kruskal Wallis (PKW) – Ventanas Deslizantes

En el Capítulo 3 se definió el algoritmo de Ventanas Deslizantes conjunto con la *Probabilidad Kruskal Wallis (PKW)*, y es en este apartado donde se requiere encontrar el mejor conjunto de valores (A, B, C, D, E) con el cual se obtenga un Servidor Intermedio lo más óptimo posible.

Para esto se analizan diferentes conjuntos (configuraciones) de pruebas tomando dos consideraciones importantes:

- **El parámetro C - (Valor correspondiente al tiempo entre sismos detectados):** En todos los conjuntos de ventanas de prueba, este valor corresponderá a 1 segundo. Esto se ha realizado así para que cada una de las configuraciones pueda demostrar el mayor número de picos detectados, lo que demuestra cuantas veces sobrepasa el nivel de correlación entre muestras Kruskal Wallis.
Sin embargo el valor de **C**, en la configuración real tomará un valor de 20 segundos; así evitamos que réplicas emitan una nueva notificación causando el caos; y no es un valor demasiado grande como para dejar de notificar otro posible evento.
- **El parámetro D (Valor correspondiente a la intensidad mínima I_{MM} a notificar):** Al igual que la primera consideración, este valor tomará un valor de 2 I_{MM} con el fin de determinar si la configuración puede detectar incluso sismos de menor intensidad; así no se notifique, son valores e información muy útil para el *IGEPN*. **(Este requerimiento lo pide IGEPN en una reunión en Quito).**
Este valor en la configuración real tomará el valor de 5 I_{MM} , porque según esta escala, como se definió en el Capítulo 2, apartado 2.2.5.2, presenta un potencial de daño leve y una percepción moderada.

A continuación se presentan las Figuras que resultan de ingresar la señal de aceleración al Servidor Intermedio. Este proceso entrega valores de *PKW* a un archivo de texto que permite graficar y obtener valores como máximos, mínimos y medias del valor de *PKW*; dando información relevante para escoger la mejor configuración de ventanas para esta tesis; que en otras palabras implica el mejor Servidor Intermedio.

En el sismo Pasto – Colombia, sismo con el cual se detalla este proceso, la señal entera tiene una duración de 60 minutos, asegurándonos que el pico sísmico, que es el pico de aceleración *PGA* (el cual debe ser el notificado) se encuentre dentro de la señal en el rango analizado.

- **CONFIGURACIÓN (2, 1, 1, 2, 6)**

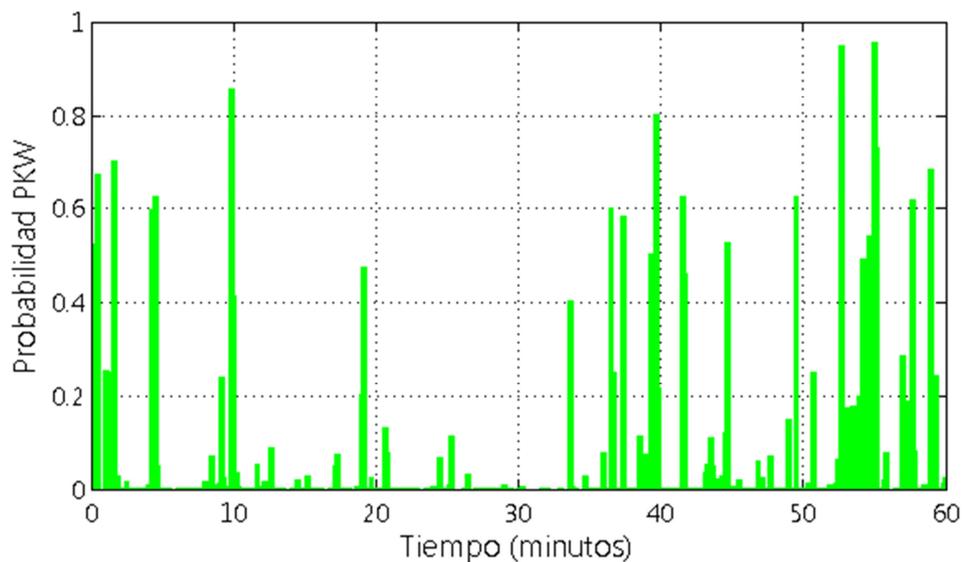


Figura 5.18: PKW (2, 1, 1, 2, 6) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

- **CONFIGURACIÓN (1, 1, 1, 2, 2)**

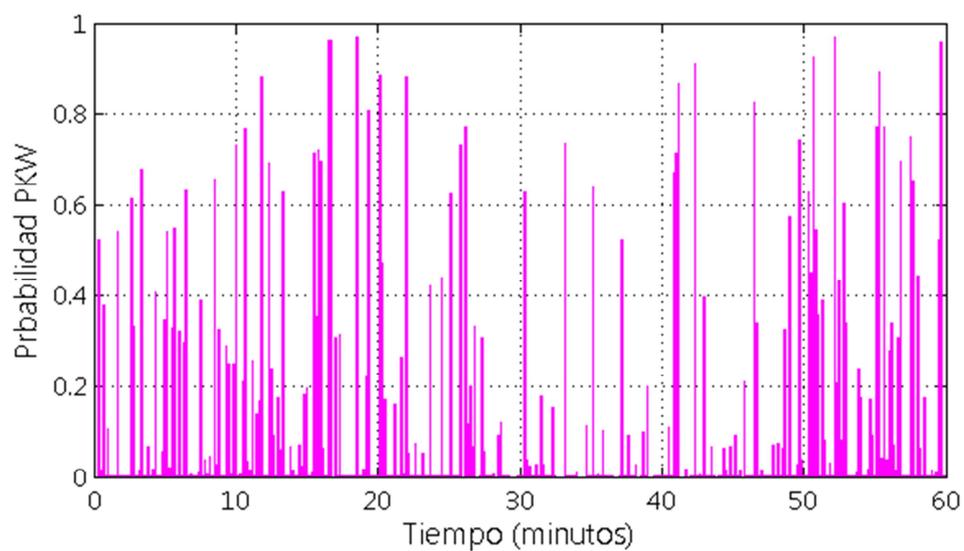


Figura 5.19: PKW (1, 1, 1, 2, 2) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

- **CONFIGURACIÓN (0.5, 1, 1, 2, 1)**

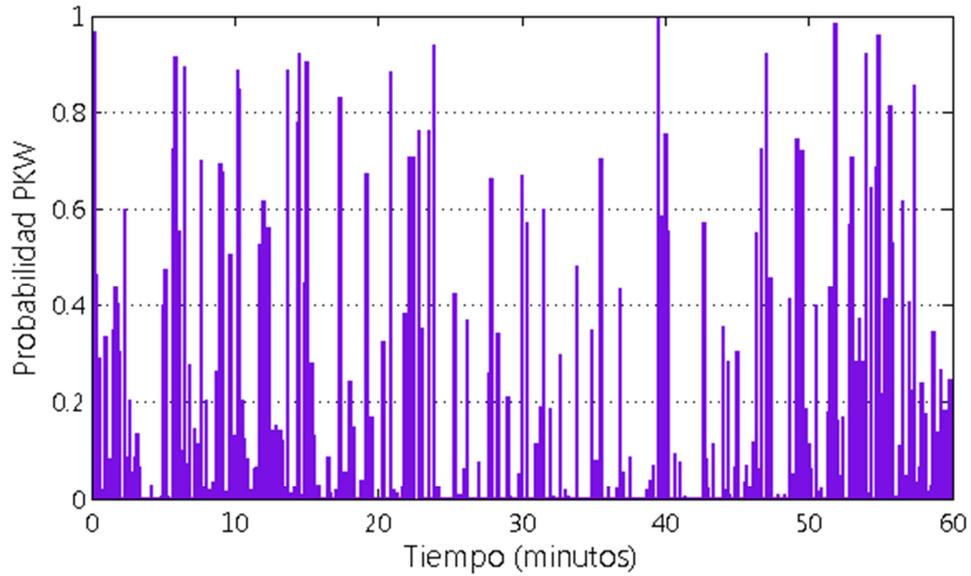


Figura 5.20: PKW (0.5, 1, 1, 2, 1) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

- **CONFIGURACIÓN (0.3, 1, 1, 2, 1)**

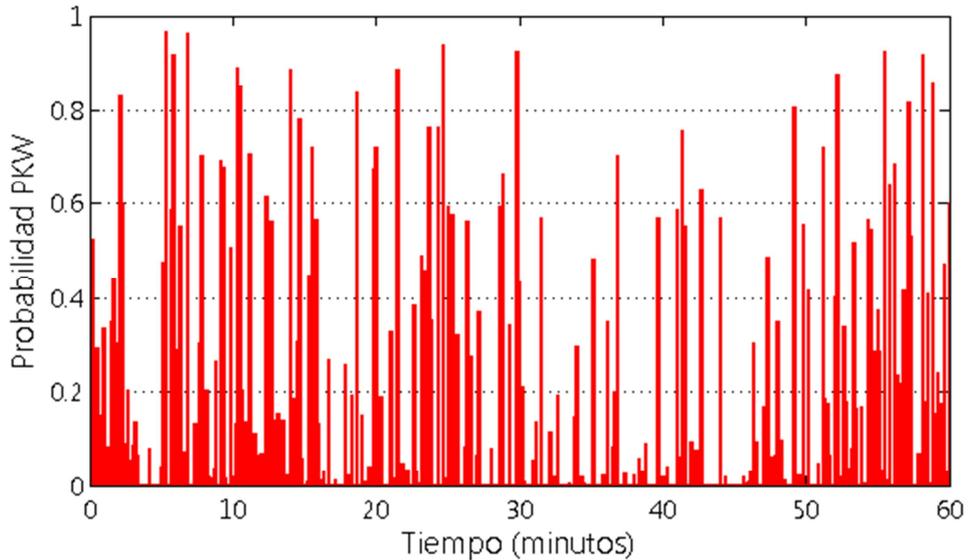


Figura 5.21: PKW (0.3, 1, 1, 2, 1) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

- **CONFIGURACIÓN (0.3, 2, 1, 2, 1)**

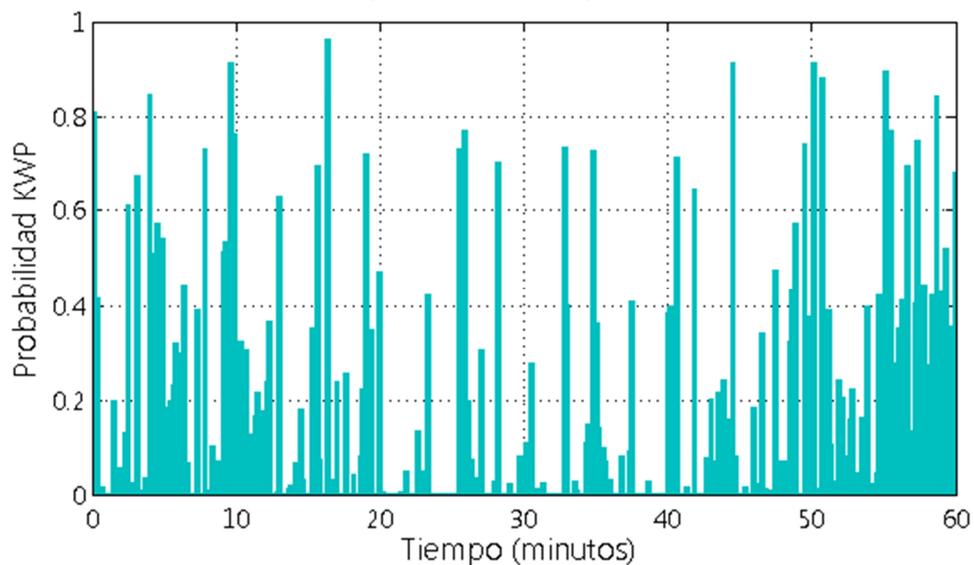


Figura 5.22: PKW (0.3, 2, 1, 2, 1) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

- **CONFIGURACIÓN (0.5, 0.5, 1, 2, 1)**

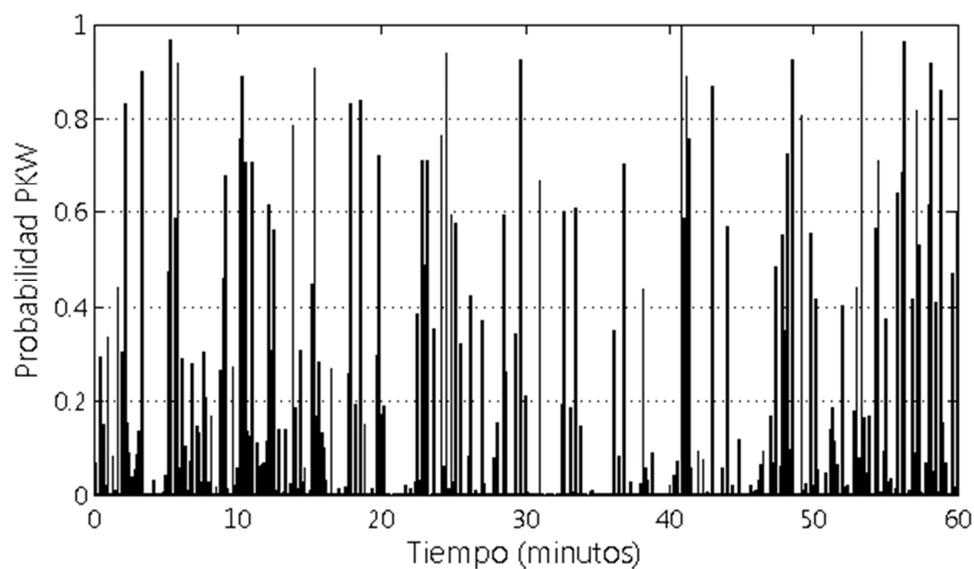


Figura 5.23: PKW (0.5, 0.5, 1, 2, 1) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

De esto se escoge las 4 configuraciones de prueba con la que se analizará cada señal para poder deducir la configuración óptima. Detallados en la siguiente *Tabla 5.8*:

A	B	C	D	E	(A, B, C, D, E)
1	1	1	2	2	(1, 1, 1, 2, 1)
0.5	1	1	2	1	(0.5, 1, 1, 2, 1)
0.3	1	1	2	1	(0.3, 1, 1, 2, 1)
0.5	0.5	1	2	1	(0.5, 0.5, 1, 2, 1)

Tabla 5.8: Mejores configuraciones (A, B, C, D, E).

Con las configuraciones escogidas, se realiza una comparación profunda, tanto gráficamente en la *Figura 5.24* y analíticamente en la *Tabla 5.9*:

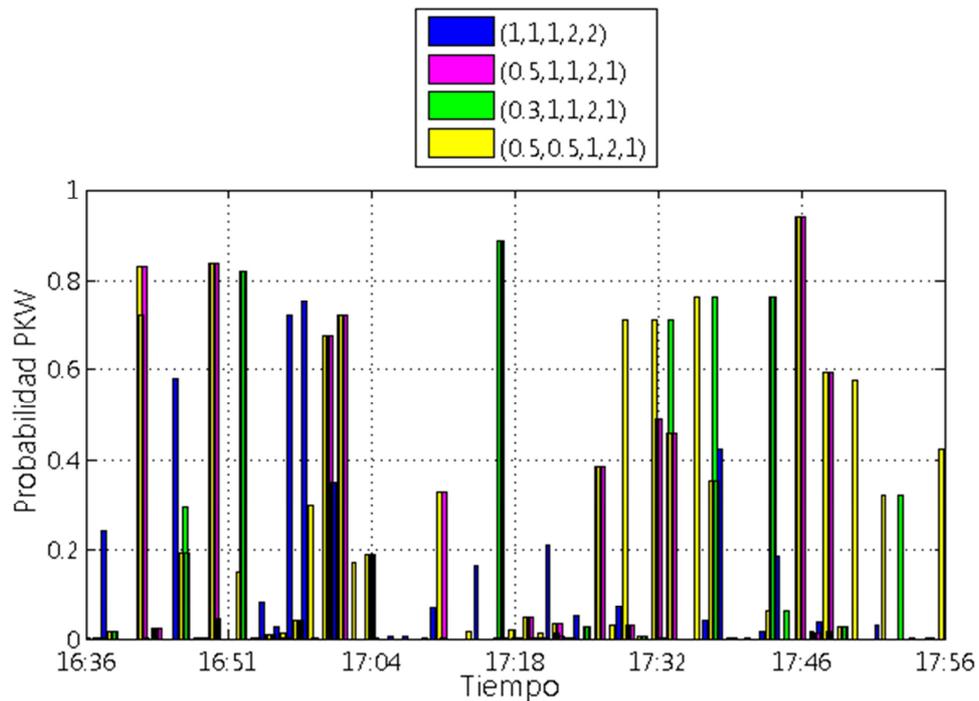


Figura 5.24: Comparación PKW entre configuraciones (A, B, C, D, E) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

	Máx I_{MM}	PKW media	# de Picos detectados
(1, 1, 1, 2, 2)	2,5752	0,18	8
(0.5, 1, 1, 2, 1)	2,5752	0,21	10
(0.3, 1, 1, 2, 1)	2,5752	0,37	11
(0.5, 0.5, 1, 2, 1)	2,5752	0,2	10

Tabla 5.9: Comparación entre configuraciones (A, B, C, D, E) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

El mismo análisis se aplica a las señales de aceleración restantes generando la *Tabla 5.10* para Quito - Ecuador, y la *Tabla 5.11* para Esmeraldas – Ecuador:

	Máx I_{MM}	PKW media	# de Picos detectados
(1, 1, 1, 2, 2)	3,0330	0,16	3
(0.5, 1, 1, 2, 1)	3,0330	0,30	5
(0.3, 1, 1, 2, 1)	3,0847	0,54	6
(0.5, 0.5, 1, 2, 1)	3,0330	0,28	6

Tabla 5.10: Comparación entre Configuraciones (A, B, C, D, E) en sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

	Máx I_{MM}	PKW media	# de Picos detectados
(1, 1, 1, 2, 2)	1,3011	0,08	3
(0.5, 1, 1, 2, 1)	1,7675	0,25	5
(0.3, 1, 1, 2, 1)	1,5720	0,31	9
(0.5, 0.5, 1, 2, 1)	1,7675	0,29	8

Tabla 5.11: Comparación entre Configuraciones (A, B, C, D, E) en sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.

De toda esta información y un simple análisis se puede deducir algunas conclusiones:

- Cuanto mayor sea el tamaño de la ventana (A) y el tamaño del grupo padre Kruskal Wallis (E), las muestras presentan una mayor variación generando una menor correlación. Por ejemplo, como se observa claramente en la *Figura 5.18 (2, 1, 1, 2, 6)*, donde se analiza ventanas de 2 segundos de duración (A = 2) y una ventana padre de 6 segundos (E = 6), la diferencia es muy notoria con cualquiera de las otras gráficas; la *PKW* es mucho menor.
- Todas y cada una de las configuraciones muestran en la *Tabla 5.9, Tabla 5.10 y Tabla 5.11*, que el Servidor Intermedio será capaz de detectar valores de intensidades; incluso, muchas las cuales no serán consideradas para notificaciones pero engrandecen la información sísmica del territorio al poseer data para el *IGEPN*.
- Por la misma razón anterior, donde las muestras cuanto más grande sean las ventanas de análisis pierden correlación, y por consecuencia la *PKW* decrece; y el número de picos detectados (vistos en las *Tabla 5.9, Tabla 5.10 y Tabla 5.11*) se ven perjudicados. Así la configuración **(0.3, 1, 1, 2, 1)** entrega el mayor número de eventos a notificar.
- En cada una de las Tablas analizadas, muestra que la configuración **(0.3, 1, 1, 2, 1)**, es capaz de relacionar mejor las muestras entregando una *PKW* media mayor que las otras configuraciones.

5.3.1.2. Justificación de Umbral de Correlación *PKW*.

Siguiendo la evaluación del algoritmo Kruskal Wallis, es importante la validación del umbral de detección. Con ayuda de un simulador realizado en Java, se prueba la correlación *PKW* que mantienen las muestras mientras menos número se analicen. La *Tabla 5.12* muestra los resultados:

Muestras/ Segundo	PKW_A > 0.5	PKW_B < 0.5	KWP retornadas (PKW_A + PKW_B)
100	68	152	220
60	53	180	233
35	38	201	239
5	35	217	252

Tabla 5.12: Variación de PKW dependiendo del número de muestras/segundo.

Sería lógico pensar que al usar la configuración óptima se debería tener 300 muestras (100 muestras por segundo = 3 veces por segundo correspondientes a los valores de A y B del set configuración); sin embargo, existen diferentes valores retornados por el Servidor Intermedio como se observa en la *Tabla 5.12*; esto se debe al tiempo que el servidor necesita para procesar las muestras y/o retardos de procesamiento. Es obvio también que entre más muestras el servidor analiza, toma más tiempo, y por tanto, el número de valores PKW obtenidos es menor.

Este análisis, muestra el número de muestras que superan o no el umbral definido en 0,5; dando un balance adecuado y observando también que a menor número de muestras se complica la definición de un pico sísmico; así con tan solo 100 muestras es posible dar un buen balance.

5.3.1.3. Tiempo de anticipación y ganancia

Al igual que en el apartado anterior 5.2, se detallará el proceso para uno de los sismos, ahora se detallará el análisis con el sismo Quito-Ecuador, y al final se presentan los valores y conclusiones obtenidas de los otros dos sismos, exactamente con el mismo procedimiento. En este caso, lo que se valida es la intensidad detectada mínima, el tiempo máximo que anticipa el pico máximo de aceleración y el número de picos detectados.

DETALLE DE LAS FIGURAS:

- Cada + representa una muestra a una intensidad I_{MM} en un determinado tiempo (mm:ss)
 - Cada + representa la media obtenida del grupo de muestras analizadas en esa ventana de tiempo.
 - Cada + representa todas las muestras de las cuales el Servidor Intermedio ha detectado un pico sísmico.
 - Cada + representa la media de las muestras de las cuales el Servidor Intermedio ha detectado un evento.
- **CONFIGURACIÓN (1, 1, 1, 2, 2)**

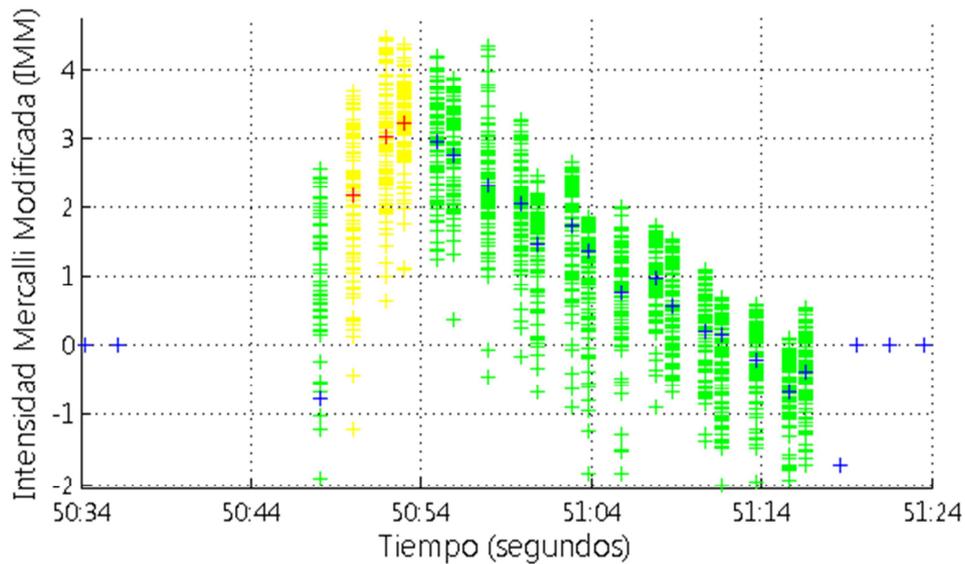


Figura 5.25: Servidor Intermedio con la configuración (1, 1, 1, 2, 2) en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

• **CONFIGURACIÓN (0.5, 1, 1, 2, 1)**

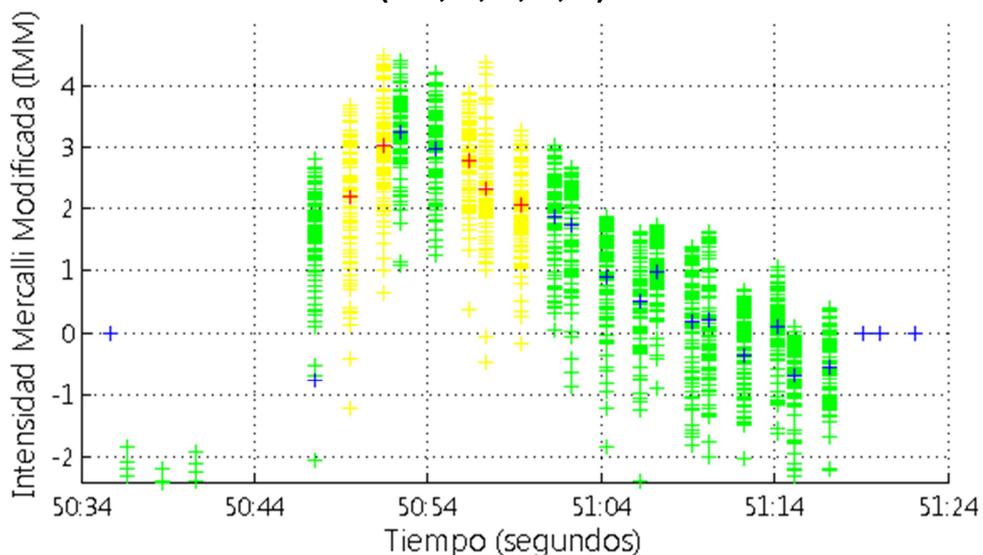


Figura 5.26: Servidor Intermedio con la configuración (0.5, 1, 1, 2, 1) en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

• **CONFIGURACIÓN (0.3, 1, 1, 2, 1)**

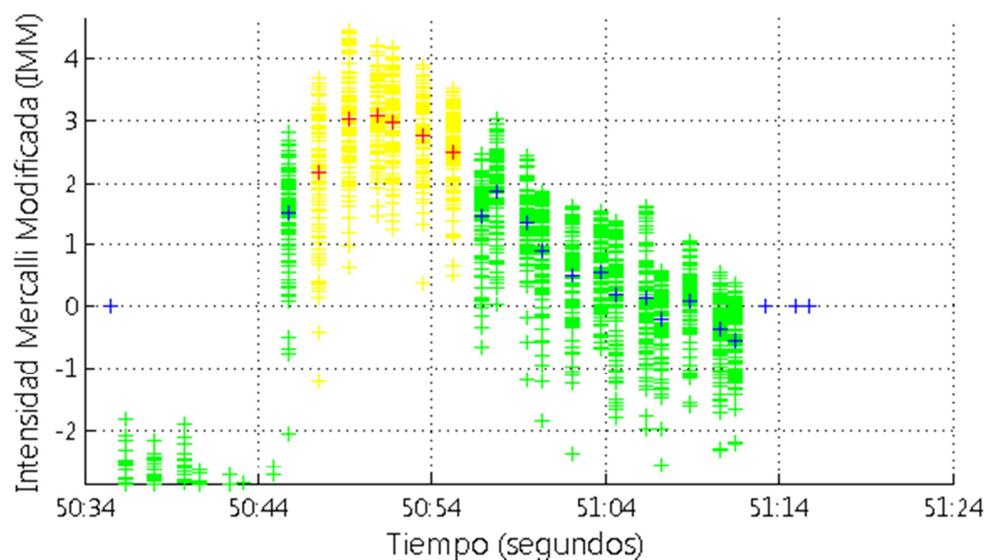


Figura 5.27: Servidor Intermedio con la configuración (0.3, 1, 1, 2, 1) en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

- **CONFIGURACIÓN (0.5, 0.5, 1, 2, 1)**

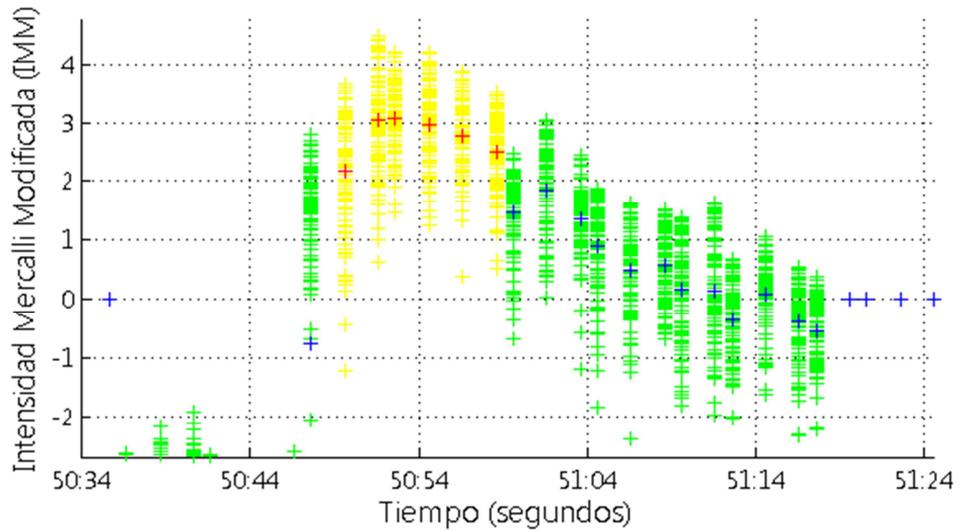


Figura 5.28: Servidor Intermedio con la configuración (0.5, 0.5, 1, 2, 1) en el sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

La Tabla 5.13, Tabla 5.14 y Tabla 5.15 son referentes a una comparativa en los sismos Pasto – Colombia, Esmeraldas – Ecuador, y Quito – Ecuador respectivamente.

Intensidad del pico de aceleración máximo: 3,57 I_{MM}				
Tiempo del pico de aceleración máximo (mm:ss): 16:47				
Configuración	# Picos	Mín I_{MM}	Tiempo primer pico (mm:ss)	Tiempo que anticipa el pico (seg)
(1, 1, 1, 2, 2)	8	2,1802	16:46	1
(0.5, 1, 1, 2, 1)	10	2,1186	16:44	3
(0.3, 1, 1, 2, 1)	11	2,0697	16:43	4
(0.5, 0.5, 1, 2, 1)	10	2,1186	16:44	3

Tabla 5.13: Comparación entre configuraciones (A, B, C, D, E) en sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

Intensidad del pico de aceleración máximo: 2,69 I_{MM}				
Tiempo del pico de aceleración máximo (mm:ss): 55:27				
Configuración	# Picos	Mín I_{MM}	Tiempo primer pico (mm:ss)	Tiempo que anticipa el pico (seg)
(1, 1, 1, 2, 2)	3	2,1803	55:16	11
(0.5, 1, 1, 2, 1)	5	2,1186	55:16	11
(0.3, 1, 1, 2, 1)	9	2,0496	55:15	12
(0.5, 0.5, 1, 2, 1)	8	2,0491	55:16	11

Tabla 5.14: Comparación entre configuraciones (A, B, C, D, E) en sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.

Intensidad del pico de aceleración máximo: 4,57 I_{MM}				
Tiempo del pico de aceleración máximo (mm:ss): 50:53				
Configuración	# Picos	Mín I_{MM}	Tiempo primer pico (mm:ss)	Tiempo que anticipa el pico (seg)
(1, 1, 1, 2, 2)	3	2,1803	50:52	1
(0.5, 1, 1, 2, 1)	5	2,1186	50:50	3
(0.3, 1, 1, 2, 1)	6	2,0496	50:49	4
(0.5, 0.5, 1, 2, 1)	6	2,0491	50:50	3

Tabla 5.15: Comparación entre Configuraciones (A, B, C, D, E) en sismo Quito Ecuador 2011/10/29.

Al someter las 2 señales de aceleración provenientes de los sismos Esmeraldas – Ecuador y Pasto – Colombia a la configuración (de prueba) escogida se obtienen, como demostraron la *Tabla 5.14*, y la

Tabla 5.15, los mejores resultados. Gráficamente en la Figura 5.29 y la Figura 5.30:

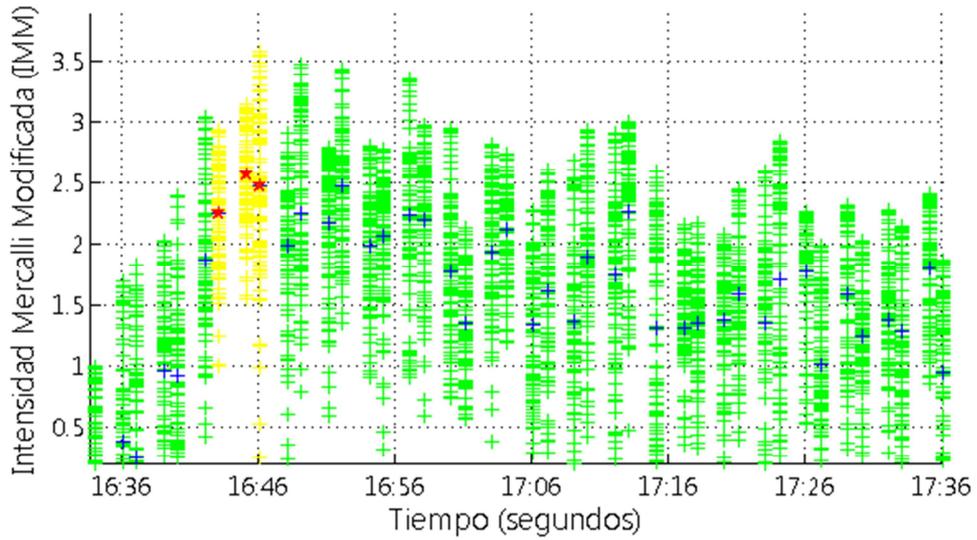


Figura 5.29: Servidor Intermedio con la configuración (0.3, 1, 1, 2, 1) en el sismo Pasto Colombia 2012/09/30.

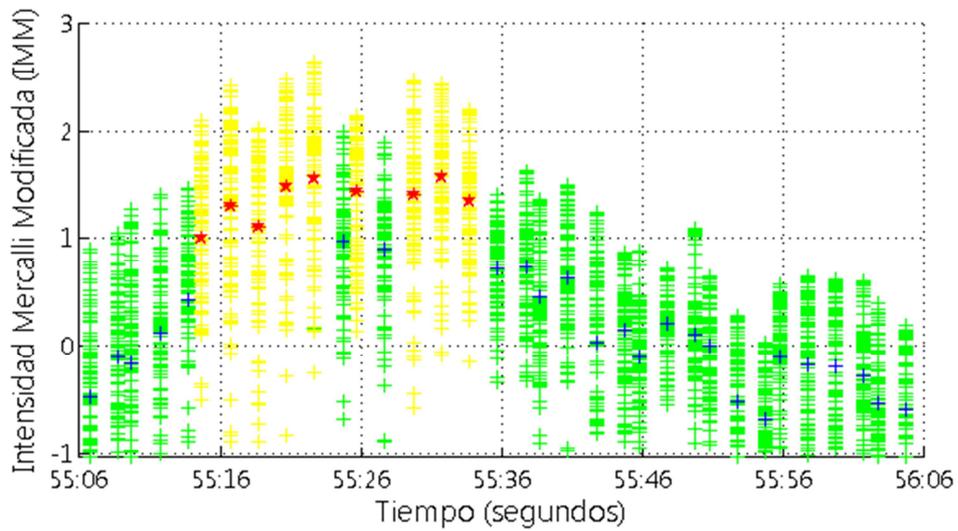


Figura 5.30: Servidor Intermedio con la configuración (0.3, 1, 1, 2, 1) en el sismo Esmeraldas Ecuador 2012/02/08.

De toda esta información recopilada, se decide que la Configuración de Ventanas que más se acopla, sujetándose mejor al requerimiento del proyecto es: **(0.3, 1, 1, 2, 1)**

Además de las conclusiones obtenidas anteriormente con respecto a la misma configuración, esta ha sido escogida ya que como se observa en cada una de las señales, es la que puede detectar mayor número de picos, o en otras palabras que la *PKW* supera el valor de umbral de 0,5. Por otro lado, podemos aducir que esta configuración reduce el número de falsos positivos porque la *PKW* media, por ejemplo en Pasto-Colombia, llega a 0,362 lo cual evita que toda muestra sea reconocida como un pico sísmico ya que la notificación de un sismo inexistente genera desconfianza en la aplicación y el posible caos en la ciudadanía. Un importante punto a citar es que la configuración escogida, tal y como presentan las Figuras y las Tablas anteriores, en el preciso momento del pico sísmico, cuando la aceleración crece y se produce el mayor movimiento (la mayoría de veces), el Servidor Intermedio logra una buena correlación entre muestras pudiendo detectar el pico, e incluso, puede ser detectado segundos antes.

La conclusión más importante a destacar es el tiempo de ganancia o tiempo de anticipación máximo que se ha podido conseguir. Éste es de 12 segundos en el sismo de Quito - Ecuador, que en sí, mide cuan eficiente es el proyecto en su totalidad. Este logro sobrepasa proyectos anteriores en la misma área. Este parámetro va más allá pudiendo significar: 12 Segundos para correr fuera de un edificio antes de desplomarse; 12 Segundos para apagar ascensores, trenes y maquinaria industrial que disminuya el coste económico perdido;

En conclusión: **12 segundos para la toma de una mejor decisión.**

Por último es importante recordar las dos consideraciones iniciales, citado en apartado 5.3.1, donde la configuración (0.3, 1, **1, 2**, 1) los valores de C y D fueron modificados. Por tanto, la configuración óptima a usar del Servidor Intermedio es **(0.3, 1, 20, 5, 1)** que ofrecería exactamente los mismos resultados que la configuración de prueba; pero no notifica eventos seguidos (demasiado seguidas) y notifica siempre y cuando las muestras demuestren una intensidad mínima de V.

5.4 Evaluación del Sistema

5.4.1 Factibilidad del Sistema

Factibilidad según el *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española* (RAE, 2014) se define como “Cualidad o condición de factible”; de ahí podemos decir que se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos y metas planteados en un inicio. Y en esta propuesta los recursos necesarios son representados por los sensores, por tanto los *smartphones*.

Lo que quiere demostrar este apartado, es que tan fácil o difícil según números (en Ecuador), es realizar y mantener este proyecto de tesis; si el número de muestras que necesita el Servidor Intermedio para ser eficiente puede ser cubierto por la realidad del país. Razón por la cual es necesario dar un breve repaso a la situación de telefonía móvil en el país.

5.4.1.1. La Telefonía Móvil en el Ecuador

El organismo de regir las Telecomunicaciones en el Ecuador es la Superintendencia de Telecomunicaciones SUPERTEL (SUPERTEL, 2015); y es a través de su trabajo entregado más reciente (2014) acerca de las estadísticas sobre servicios de telecomunicaciones, citado a continuación, que basamos éste análisis: “**Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones – Telefonía fija y móvil (2009 - 2013)**” (Supertel, 2014).

La telefonía móvil, ahora llamada Servicio Móvil Avanzado incluye la red y los terminales (teléfonos móviles) que efectúan y reciben llamadas (Supertel Revista, 2014).

En Ecuador existen 3 operadoras detalladas en la *Tabla 5.16* (Supertel Revista, 2014) que brindan este servicio; y seguido, la *Figura 5.31* que muestra la distribución del mercado en Ecuador:

OPERADOR	CONECEL		OTECCEL		CNT*	
Marca	Claro		Movistar		Cnt (Alegro)	
Logo						
Distribución del mercado de telefonía móvil	63,80 (%)		32,77 (%)		3,43 (%)	
Autorización	26/08/2008		30/11/2008		3/05/2003	
Duración de la Concesión	15 años		15 años		15 años	
Fecha de Caducidad	26/08/2023		30/11/2023		3/05/2018	
Tecnologías usadas	2G	GSM	2G	GSM	2G	CDMA
		WCDMA		CDMA		CDMA EVDO
	3G	HSDPA	3G	WCD-MA	3G	HSPA +
		HSPA +		HSPA		
HSPA +	HSPA +					
Servicios	<ul style="list-style-type: none"> • Telefonía móvil y video llamada y SMS. • Internet Móvil • Acceso a WAP (Wireless Application Protocol) Servicio de Internet en el terminal móvil. • Puntos de venta de móviles y remotos, acceso móvil a redes corporativas, localización vehicular y administración de flotas, telemetría. • Transmisión de datos. • Apertura remota de vehículos mediante mensaje de texto, entre otros. 					

Tabla 5.16: Operadoras móviles en Ecuador (2015).

La evolución de las líneas telefónicas en el Ecuador ha ido creciendo constantemente año tras año, como muestra la *Tabla 5.17* y gráficamente en la *Figura 5.31*:

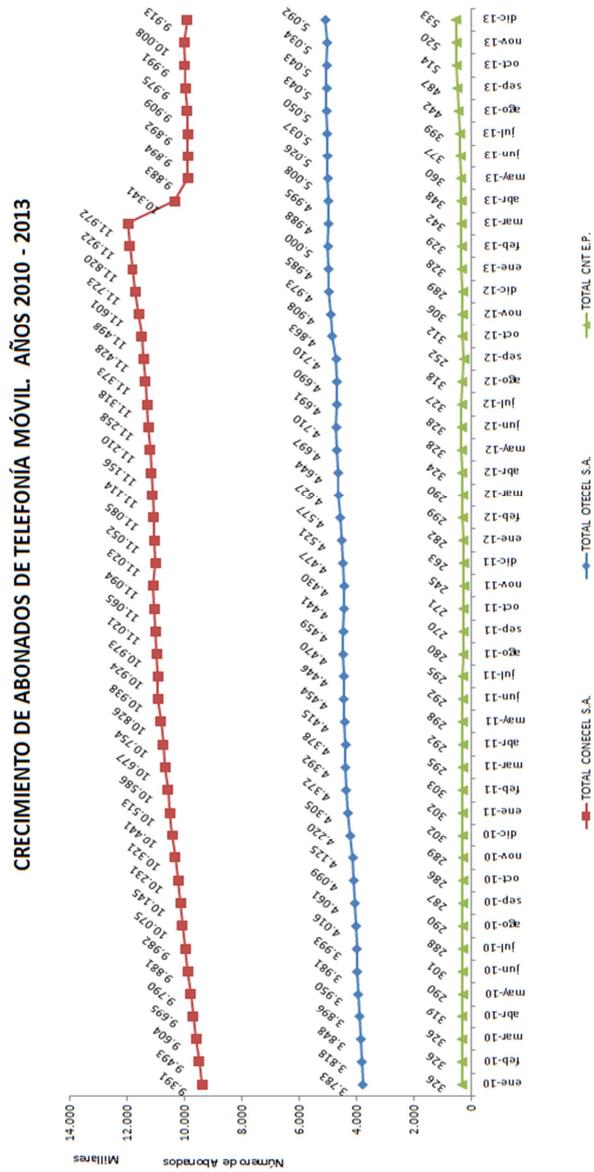


Figura 5.31: Crecimiento de abonados de telefonía móvil.

FECHA	CNT ALEGRO	OTECEL MOVISTAR	CONOCEL CLARO	TOTAL
DIC 2009	325.608	3.721.761	9.268.814	13.316.183
DIC 2010	301.576	4.219.819	10.441.46	14.962.856
DIC 2011	263.165	4.477.473	11.022.57	15.763.212
DIC 2012	288.568	4.972.826	11.722.90	16.984.298
DIC 2013	533.101	5.091.702	9.912.755	15.537.558

Tabla 5.17: Crecimiento de móviles por operadora.

Sin embargo hay que tomar en cuenta que no todos estos móviles podrían ser parte de esta tesis, puesto que no solamente se requiere el dispositivo, sino que éste dispositivo, se encuentre con una conexión a internet; por lo que es necesario encontrar el número de móviles con conexión a internet en Ecuador. Hasta septiembre del 2013 este número superaba los 3.700.000; con más detalle en la *Tabla 5.18*:

Operadora	# Móviles / Internet
CNT ALEGRO	131.371
OTECEL MOVISTAR	1.379.360
CONOCEL CLARO	2.264.264
TOTAL	3.774995

Tabla 5.18: Número de móviles con acceso a internet en Ecuador.

Además, a la cuenta anterior, es necesario sumar el volumen de usuarios que acceden a internet a través de cuentas conmutadas o dedicadas. Según las últimas estadísticas anuales hasta finales del 2013 este número ascendió a **6.585.283** móviles; y a más tomando en cuenta:

- Una tendencia creciente por año. Del 2012 al 2013, en el país se tuvo un crecimiento del 60%.
- Una tendencia a contratar servicios de datos (internet) es mayor año tras año.

5.4.1.2. Porcentaje Mínimo de Aceptación Requerido

Para determinar el número de clientes que este proyecto necesita para notificar eventos sísmicos con una determinada confiabilidad, se supone que todos los usuarios se encuentran distribuidos uniformemente en la superficie ecuatoriana, la cual corresponde a 283.520 km². Así, recordando el análisis de Haversine, en el apartado 3.5.2, el número de usuarios sería:

Intensidad Sismo (I_{MM})	Radio de Cobertura (km)	Servidor Intermedio necesarios	Usuarios por Servidor Intermedio
5.5	35	70 ISs	145.000
6	56	28 ISs	367.857

Tabla 5.19: Número de usuarios requeridos por Servidor Intermedio.

Para determinar el porcentaje de usuarios que requiere este sistema manteniendo un grado de confiabilidad y un mínimo error, se emplea la prueba de Muestra Mínima, citado en el apartado 3.5.3. Siguiendo el análisis, y tomando en cuenta que la muestra total N será el número encontrado de usuarios (**6.585.283**) que realmente pueden ser parte del sistema.

Usando la *Ecuación 5.1* y despejando el error que representaría tener n muestras tenemos:

$$e = \sqrt{\frac{N Z^2 \sigma^2 - n \sigma^2 Z^2}{n(N-1)}} \quad (5.1)$$

$N = 6.585.283$

$n =$ Porción de la población. (A DETERMINAR).

$e =$ porcentaje de Error (1% - 5%)

$Z =$ nivel de confianza (95% = 1,96) (99% = 2,57).

$\sigma = 0.5$.

		$\alpha = 0,01 = 99 \%$		$\alpha = 0,05 = 95 \%$	
		$Z = 2,57$		$Z = 1,96$	
		N	error (%)	N	error(%)
145000		100	12,85%	100	9,80%
		150	10,49%	150	8,00%
		300	7,41%	300	5,65%
		383	6,56%	383	5,00%
		500	5,74%	500	4,38%
		657	5,00%	657	3,81%
		1.000	4,05%	1.000	3,09%
		2.000	2,85%	2.000	2,18%
		10.000	1,24%	10.000	0,95%
		15.000	0,99%	15.000	0,76%
		30.000	0,66%	30.000	0,50%
		50.000	0,47%	50.000	0,35%
		80.000	0,30%	80.000	0,23%
		100.000	0,23%	100.000	0,17%
		145.000	0,00%	145.000	0,00%

Tabla 5.20: Muestra mínima para el 99% y 95% de confiabilidad.

Así, para un caso totalmente optimista, y que no se puede suponer, donde todos los posibles usuarios sean parte de la arquitectura, se obtendría un 0.00% de error con 145.000 muestras (usuarios); en

otras palabras sería una certeza la detección de un sismo. (Ver apartado 3.5.3).

Como se puede observar en la *Figura 5.32*, hay un punto en el cual por más que el número de usuarios siga incrementando (para un mismo error y confiabilidad) el número de muestra necesario n , deja de incrementar manteniendo el valor.

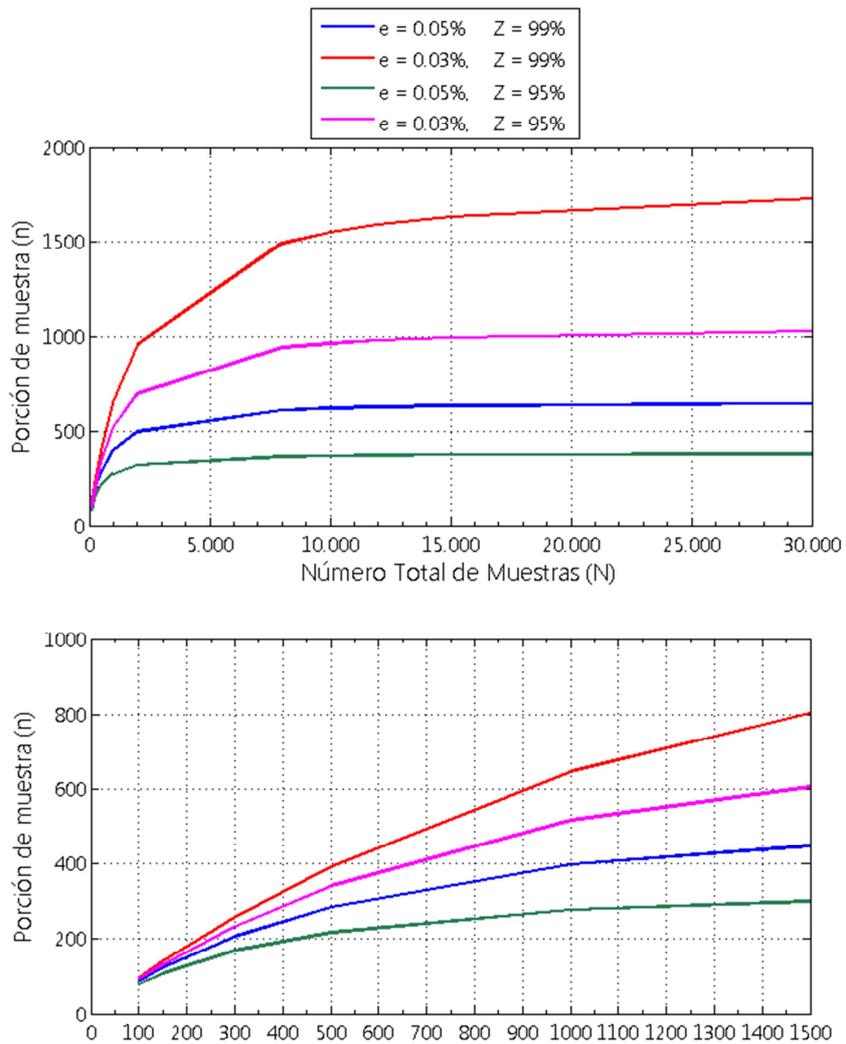


Figura 5.32: Muestra mínima con N total de muestras.

Siguiendo la *Figura 5.33*, para obtener un 99% de confiabilidad y un 5% de error se requiere 657 usuarios; y de la misma manera para un 95% de confiabilidad y el mismo porcentaje de error es necesario 383 usuarios; o más específico 383 muestras de análisis en el Servidor Intermedio en una ventana de análisis.

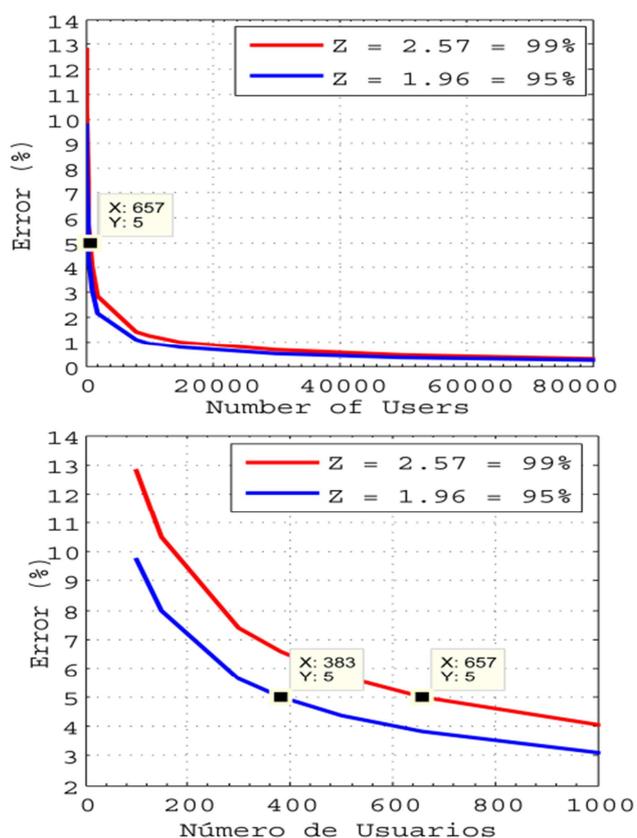


Figura 5.33: Número de usuarios por porcentaje de error.

En conclusión se demuestra que para poder detectar con un **95%** de confiabilidad es necesario solamente el **0,38%** de la población que tiene un *smartphone* (con acceso a internet); y de igual manera para conseguir un **99%** de confiabilidad es necesario solamente el **0,65%** de aporte y acogida por parte de esta población (por ventana de análisis). Con esto se corrobora que con un mínimo apoyo de la ciudadanía es suficiente para que el sistema opere con una alta eficiencia.

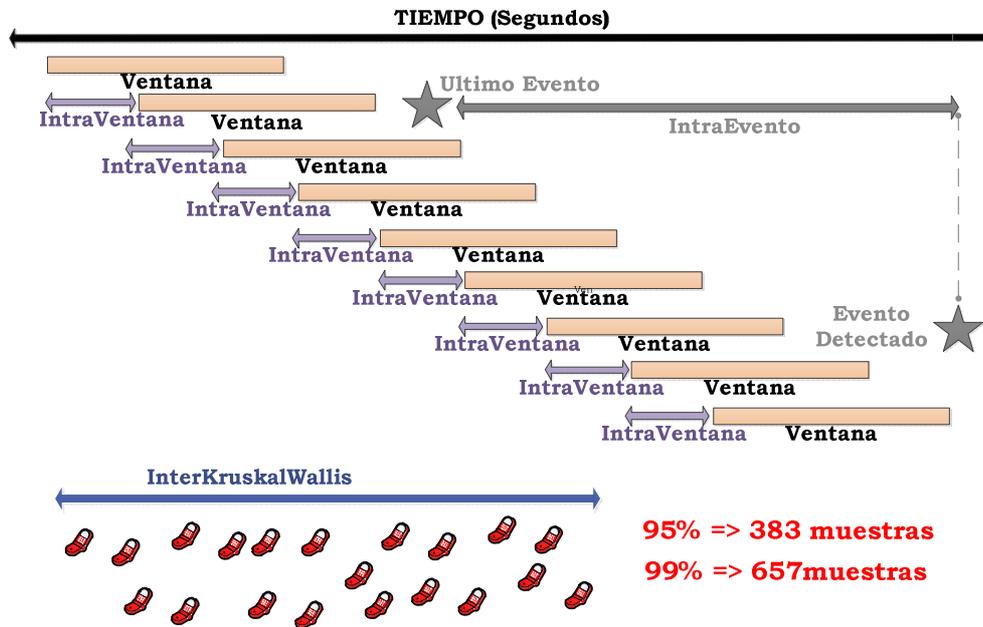


Figura 5.34: Número de usuarios en algoritmo de Ventanas Deslizantes.

5.4.2 Retardos de comunicación.

Primeramente, es importante recalcar el gran beneficio en tiempo alcanzado; 12 segundos de prevención y notificación donde una milésima de segundo puede hacer la diferencia, por lo cual los retardos dentro de la red también han sido analizados.

Los retardos y tiempos de transferencia presentan diferentes características dependiendo de *hardware* y *software* utilizado; el tipo de retardo al que se encuentra sometido los mensajes intercambiados son: aleatorios, donde cada transmisión es independiente de otra; el retardo del paquete, proveniente del *smartphone 1*, es totalmente independiente del retardo de otro paquete proveniente de otro *smartphone 2*, que presenta otro *hardware*, otro *software* y por una red independiente (red móvil, red WiFi, operadores, costos, localización, etc.), y además el *retardo 1*, no interfiere en el *retardo 2*; tal y como se muestra en la *Figura 5.35*:

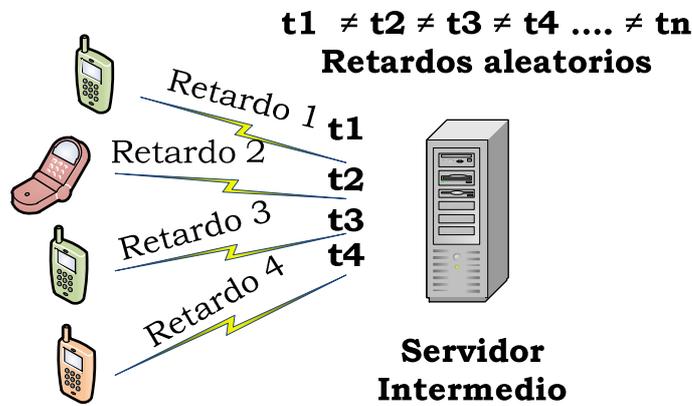


Figura 5.35: Escenario de retardos en el ambiente planteado.

Se desea comprobar cuál es el retardo máximo al que se vería sometido un paquete; para lo cual se toman las siguientes consideraciones y los resultados se muestran en la *Tabla 5.21*:

- Paquetes de tamaño fijo.
- 500 pruebas en cada escenario.
- Se toma valores máximos, mínimos y promedios.
- Se tomará el mayor valor de retardo, para asimilar el caso en el peor de las situaciones.

Ahora, recordando la configuración escogida como óptima (0.3, 1, 1, 20, 5), donde el tamaño de la ventana es de 1 segundo ($B = 1$); los mensajes que lleguen al Servidor Intermedio dentro de un rango de tiempo de 1 segundo serán analizados en una misma ventana, y en el caso de superar este lapso de tiempo, la muestra será analizada por la ventana siguiente; este cambio de ventana en la configuración de ventanas deslizantes Kruskal Wallis, cambiará la *PKW* lo cual puede ser una variación crítica o no, brindando menos o más confiabilidad dependiendo del número de muestras analizadas.

Tipo de Comunicación	# de paquetes	Mínimo (mseg)	Máximo (mseg)	Promedio (mseg)
WIFI	100	1,841	110,633	11,497
	150	1,684	146,095	18,437
	200	2,218	151,113	20,626
	250	2,235	96,687	17,668
	300	2,858	111,391	21,202
	350	2,270	131,269	13,128
	400	1,835	109,551	16,458
	450	1,895	149,506	16,626
	500	2,036	144,731	18,308
MEDIA		2,0968	127,886	17,105
Tipo de Comunicación	# de paquetes	Mínimo (mseg)	Máximo (mseg)	Promedio (mseg)
3G Datos Móviles	100	62,980	1.452,626	182,537
	150	62,606	1.719,824	185,936
	200	70,083	1.865,827	297,470
	250	64,896	8.328,786	240,076
	300	63,936	2.011,592	436,964
	350	78,856	4.679,411	210,031
	400	91,736	1.805,844	814,790
	450	83,076	3.969,956	599,044
	500	80,950	4.842,737	257,292
MEDIA		81,033	2.453,193	385,514

Tabla 5.21: Resultado de retardos con diferentes tipos de comunicación.

De la *Tabla 5.21* obtenida, se deduce que en un ambiente WiFi un paquete en ida demoraría un máximo de 63,943 mseg. Y en un ambiente de datos por red 3G demoraría un máximo de 1.226,59 mseg. Del retardo obtenido, con ambiente WiFi la posibilidad de que las muestras lleguen a tiempo para el análisis, casi sería una certeza; mientras que con ambiente 3G, con obvias desventajas mediante la conexión WiFi, se obtiene un resultado promedio muy prometedor, pero también, las pruebas de retardo máximo muestran que existen mensajes que llegarían a destiempo.

Las muestras que sobrepasen dos tamaños de ventanas (2 segundos), serán descartadas por el Servidor Intermedio, ya que, el que una muestra pasada de cualquier intensidad, ingrese dentro del proceso de una ventana que no le corresponde en tiempo, significaría estropear el proceso de detección. No siempre una muestra en desfase implicaría una reducción de la *PKW*, también podría ser que, por décimas supere el valor de umbral de detección y sin ser un evento sísmico notificar al usuario; por tal razón, es mejor perder una muestra que dañar todo el proceso de detección con muestras con un retardo no admitido.

Por último, ambos, tanto Cliente como Servidor Intermedio son testeados como un solo sistema, donde uno y muchos usuarios (diferentes escenarios) son notificados dentro de un retardo menor a 1 segundo desde que el Servidor Intermedio detecta un evento sísmico en ambiente 3G y WiFi gracias a las ventajas proporcionadas por *MQTT*. Luego de un gran número de análisis, puede ratificarse la notificación en tiempo real, al menos en el lugar del epicentro; y mientras esta distancia se incrementa, el beneficio temporal también crecerá.

5.5 Limitaciones de la Evaluación

El presente trabajo es una tesis que busca la solución al problema real de un país, a mitigar los daños y pérdidas debidas al riesgo sísmico constante en la que se envuelve la comunidad Ecuatoriana. Sin embargo, como ya se ha dado a conocer, un sismo es totalmente impredecible, en lugar, localización, hora y magnitud; nunca un evento es idéntico a otro; por tanto este proyecto no ha podido ser validado en el lugar de análisis en el preciso momento de un evento

sísmico (se espera poder implementarse); pero tal y como se ha comprobado en el transcurso de este Capítulo, mediante diferentes tipos de pruebas en condiciones de reposo, sometidos a una vida cotidiana, y simulando eventos sísmicos; se ha obtenido grandes resultados en eficiencia y precisión.

En ciertos países, se cuenta con una gran estructura para simulador de sismos, claramente es mucho más precisa la simulación pero obviamente también mucho más costosa. El incrementar y mejorar la técnica de validación de la arquitectura cuenta dentro de las líneas futuras a seguir de esta tesis.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y

LÍNEAS DE

TRABAJO FUTURO

***“Dicen que la Tierra tenía fiebre
y que tembló”***

William Shakespeare

CONTENIDO

- 6.1 INTRODUCCIÓN
 - 6.2 CONCLUSIONES
 - 6.3 LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO
-

6.1 Introducción

El proceso del escrito de esta tesis llega a su fin brindando las conclusiones sobre una hipótesis inicialmente planteada, que responde a la idea del desarrollo de un proyecto que se acople a las necesidades de un país, del Ecuador, el cual por su localización y estructura geográfica se encuentra sometido a un riesgo sísmico constante e incluso así, no mantiene un sistema de gestión de emergencias sísmicas; una solución a un problema real y actual al que todos y cada uno de nosotros estamos sometidos; una solución a un evento realmente difícil de ser prevenido por su propia naturaleza, impredecible en lugar, tiempo e intensidad. Y además, es importante citar que las conclusiones generales obtenidas son extrapolables a cualquier zona o nación de la Tierra.

Los sismos son el mayor desastre natural que deja pérdidas estructurales, económicas y mucho peor vidas humanas, que en el caso de una correcta gestión de prevención sísmica, el cual entregue tiempo extra para la toma de una mejor decisión, las pérdidas podrían ser reducidas en gran escala: con el simple hecho de que en un segundo se pueda apagar la electricidad, o parar el vagón principal del tren o desconectar una gran maquinaria industrial; esto, solamente por citar ejemplos prácticos.

Por otro lado, una gestión posterior al evento sísmico, que ahorre recursos tanto monetarios como humanos y, optimice el tiempo de respuesta al poder conocer de manera inmediata el estado real de la catástrofe para siguiente ayudar a la ciudadanía mostrándole el entorno cercano a ellos que cada usuario individualmente no conoce.

En este apartado, primeramente se presentan las conclusiones concisas obtenidas del diseño y desarrollo de esta tesis doctoral; y segundo, se apuntan las líneas de trabajo futuro, que en sí, se centran en mejorar la presente tesis, e incluso mejorar el proceso de validación el cual puede requerir mayor tiempo y dinero.

6.2 Conclusiones

Las conclusiones de una tesis representan el resultado de un largo proceso de investigación las cuales se extraen de la información y de los análisis presentados en los capítulos precedentes, resultados múltiples y variados. A continuación las conclusiones primordiales de todo el proceso implicado son presentadas:

- Se ha realizado un estudio profundo acerca del campo de la sismología, intentado empaparse de toda la información necesaria para comprender todo lo que implica un movimiento telúrico (sismo o terremoto): aceleraciones y acelerogramas, intensidades sísmicas, magnitudes, fuerzas y ondas, ecuaciones y leyes, instrumentos de medida. Una investigación en Quito-Ecuador conforma parte de este estudio; información recopilada del Instituto Geofísico Nacional de la Escuela Politécnica Nacional (*IGEPN*) nos ayuda a adentrarnos en el problema. El *IGEPN* entrega información acerca del estado sísmico Ecuatoriano: historia sísmica, estadísticas anuales, la conformación de la red sismográfica nacional con sus equipos, y aún más, sus necesidades actuales, miedos y preocupaciones futuras.
- Con el conocimiento sísmico adquirido y unido a los conocimientos en telemática se ha planteado una propuesta capaz de hacer una gestión pre y post evento en tiempo real de una manera sencilla; tomando en cuenta un requisito implícito en un país en desarrollo, una arquitectura económica. Esta solución corresponde a un diseño jerárquico en tres capas, las cuales cada una de ellas entregan desafíos logrados dignos de citar:

Primera Capa – Red de acelerógrafos:

- Se ha realizado una aplicación móvil en Android llamada “*e-quake*” que a través de un proceso amplio matemático permite comportarse como un acelerógrafo, tomando registros de su movimiento y determinando picos de aceleración que correspondan a un pico sísmico detectado por el usuario. Se llega a obtener

una precisión del 98,75 % en reposo, y del 90,5 % sometido a actividades diarias en 40 dispositivos voluntarios. De la misma manera, se logra medir el porcentaje de error con 8,75% para un falso positivo que implicaría el error de no alertar cuando efectivamente se genere un sismo; y el 3,25% para un falso negativo correspondiente a enviar una falsa alerta. Ambos acarrean diferentes reacciones: la no notificación de un evento existente puede representarse en vidas humanas y pérdidas económicas; mientras que notificar vanamente, significaría que la comunidad deje la confianza en el sistema perdiendo sensores de la red.

- La aplicación “*e-quake*” se ha diseñado para mantener un análisis entre precisión y consumo de energía, ya que este va ligado directamente con la satisfacción del usuario. Se puede observar en el Capítulo 5, que “*e-quake*” presenta un consumo medio de 4% de batería con respecto al 100% de su procesamiento en uso, por lo que (casi) no percibiría el usuario, teniendo en cuenta que un juego, uno de los más usados actualmente Candy Crush Saga (**King**, 2015), se lleva entre el 18 % al 20% de batería.

Segunda Capa – Servidor Intermedio:

- Se ha realizado una aplicación de consola que recopila, y analiza la información proveniente de los usuarios de la primera capa para definir si ha existido o no un pico sísmico que valga la pena notificar en tiempo real a las demás capas.
- El diseño de esta capa es innovador; incluso se emplean procedimientos nunca antes usados en el ámbito sismológico, pero sin embargo se obtienen grandes prestaciones; como por ejemplo, Kruskal Wallis; que es capaz de correlacionar las muestras en el preciso momento de un pico sísmico.

- Se ha ideado un algoritmo de ventanas deslizantes para solventar las necesidades de detección, totalmente innovativo y particular, que logra anticipar un sismo con 12 segundos de ganancia. Se analizan también los retardos posibles dentro de la red, pero incluso así, tomando en cuenta el máximo valor es un resultado prometedor.
- Para el proceso de notificaciones a los clientes, se ha utilizado el protocolo *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)* que nos incorpora dentro de la nueva visión mundial en investigación: un mundo inteligente conjunto con el internet de las cosas “*Internet of things*”. Un protocolo de publicación/subscripción, ágil y sencillo cuya conectividad alcanza cuantos usuarios tengamos a menos de 1 segundo. Este protocolo sumado a la ágil arquitectura presentada permite una respuesta en tiempo real.

Tercera Capa – Centro de Control:

- Cuanto mayor número de muestras procese el Servidor Intermedio, mayor confiabilidad y menos error entregará. Para que logre tener una confiabilidad del 99% y un error del 5% es necesario menos de 660 muestras en la primera capa de la arquitectura; y para un 95% de confiabilidad con el mismo error solamente se necesitan 383 muestras (en cada ventana de análisis); lo que hace una propuesta factible de realizar bajo la realidad de un país como Ecuador.
- Se comprueba que aunque la capacidad de precisión de un *smartphone* no se acerque a la de un dispositivo específico, el cual puede llegar a costar decenas a centenas de miles euros, la precisión es suficiente y sumado a la unión de un determinado número de muestras mantiene una precisión con un determinado grado de error y confianza.

- La arquitectura planteada llega a superar a proyectos encontrados en el estado del arte en el Capítulo 2; y además se complementan los planteamientos de trabajos futuros de otras investigaciones realizadas en el ámbito de la detección de eventos dando un paso más a la ciencia.
- La principal conclusión, la cual solo puede ser demostrada analíticamente (por el momento), es el cumplimiento del objetivo principal de esta tesis, citado en el primer capítulo, apartado 1.3. El mayor recurso existente es el recurso humano, y el salvar una o más vidas es un logro innegable. Esta propuesta logra anticipar 12 segundos el pico de aceleración máximo (*PGA*), el cual (comúnmente) es el que sacude con mayor fuerza; 12 segundos para la toma de una mejor decisión que puede reducir daños y pérdidas, tanto materiales como no materiales.
- Este proyecto puede ser empleado no solamente en Ecuador; es una arquitectura modificable que se acopla a las características únicas del suelo a medir, entregado gracias a Leyes de Atenuación que son ecuaciones empíricas obtenidas de años de estudios sísmicos en cada nación.

6.3 Líneas de Trabajo Futuro

Un trabajo de investigación puede llegar tan lejos como amplia sea la visión de sus investigadores; por tanto siguiendo esta propuesta, existen aún puntos que abordar y mejorar, que se citan a continuación:

- Dada la propia naturaleza de un sismo, es imposible su previsión; por tales razones la validación de la arquitectura se ha realizado por análisis, pruebas con datos históricos sísmográficos; pruebas en reposo y en movimiento. Sin embargo, hay que recalcar que existen países con mucho mejor infraestructura para medición y simulación de sismos; como Chile, país dentro del mismo Círculo de Fuego del Pacífico donde se encuentra Ecuador y ha sido sometido a los sismos más grandes de toda la historia en el mundo. Un trabajo fu-

turo, debe ser la validación de la arquitectura de una manera más real, como por ejemplo: con (Meei-Ling Lin, 2006), que realiza una mesa de simulaciones de una manera económica mejorando el proceso de validación; y segundo, buscando convenios con centros que mantengan esta gran infraestructura de simulación con el fin de mejorar el desempeño total.

- Recordando el modelo que sigue la arquitectura, un modelo de fusión de datos *JDL* que consta de 4 niveles. La arquitectura ha llegado a cubrir los tres primeros niveles. El Nivel 4 correspondiente al refinamiento del sistema, debe ser realizado paso a paso, refinando cada una de las capas dependiendo de los requerimientos que surjan cuando la arquitectura se encuentre en proceso de implantación y cuando ya se encuentre implementada.
- Con el fin de conseguir mayor número de clientes, la migración de “*e-Quake*” a diferentes sistemas operativos se volvería casi una obligación. Vale la pena recalcar que “*e-Quake*” fue realizado bajo una programación orientada a objetos, en Java; por tanto la migración hacia otros sistemas operativos no requeriría mayor esfuerzo.
- En esta propuesta se ha dado mayor énfasis a la gestión pre-evento; sin embargo, para la gestión post-evento podrían darse algunas líneas de investigación complementando esta parte del proyecto:
 - En caso de que la red de comunicaciones se deshabilite luego del evento sísmico, encontrar una solución de conexión entre clientes, contemplando todos los problemas extendidos sobre el apartado 4.7; y además que no implique el “rooteo” obligatorio del *smartphone*.
 - Hasta el momento esta propuesta llega a ser una propuesta nacional; su implementación, que sería un paso más en esta investigación, más no su fin, puesto que seguramente nacerán nuevos requerimientos y modificaciones, requiere mucho más que el ámbito es-

tudiado: como permisos, apoyo para el despliegue, recurso económico, propaganda, etc.

- El Centro de Control es capaz de saber todo el entorno físico “*out-door*” por medio de los mensajes comentarios (multimedia) provenientes de los usuarios de la primera capa. Sin embargo, el ambiente “*in-door*”, no ha sido trabajado; podría pensarse distintas maneras de contemplar este entorno para ayudar a los usuarios que queden atrapados; en escombros, fuego u otros.

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Allen, R. «Seconds before the big one», 2011, v. 4, pp. 75-79.

BID Banco Interamericano de Desarrollo. «Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos - Ecuador», 2010. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35160022>

Caraballo, Nilson Agustín. «NUEVA ERA VOLCÁNICA, SÍSMICA Y CATASTRÓFICA.». *NUEVA ERA VOLCÁNICA, SÍSMICA Y CATASTRÓFICA*, 2014. <http://nuevaeravolcnicasismicaycatastrofica.blogspot.com.es/2014/01/en-2013-38-terremotos-de-gran-magnitud.html>

Gasparini, P.; Manfredi, G.; Zschau, J. *Earthquake early warning systems*, Berlin: Springer, 2007, ISBN 978-3-540-72240-3.

IGEPN. «Instituto Geofísico - EPN», 2015. <http://www.igepn.edu.ec/>

IGEPN - Red de Observatorios Vulcanológicos (ROVIG). «Estado de Volcanes», 2015. <http://www.igepn.edu.ec/index.php/red-de-observatorios-vulcanologicos-rovig>

Richter, Charles F. «An Instrumental Earthquake magnitude scale». 1, 1935, v. 25. <https://www2.bc.edu/john-ebel/Richter1935.pdf>

Wikipedia. «2008 Sichuan earthquake». *Wikipedia, the free encyclopedia*, 2015. http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=2008_Sichuan_earthquake&oldid=642481348

Wikipedia. «Terremoto y tsunami de Japón de 2011». *Wikipedia, la enciclopedia libre*, 2015. http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Terremoto_y_tsunami_de_Jap%C3%B3n_de_2011&oldid=79180946

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

Agueda, J.; Anguita, F.; Araña, V.; López Ruiz, J.; Sánchez de la Torre, L. *Geología*, Madrid: Rueda, SL, 1977, ISBN 84-7207-009-3.

Aguiar, R. *Análisis Sísmico de Edificios*, Quito-Ecuador, 2008, ISBN 978-9978-30-104-3.

Aguiar, R.; Castro, C. «Ley de atenuación para estudios de peligrosidad sísmica en el Ecuador», 2009, v. 12, n. 2, pp. 122-145.

Aguiar, R.; García, E. «Leyes de Atenuación para Sismos Corticales y de Subducción Para el Ecuador», 2010, v. 13, n. 1, pp. 1-18.

Badi, Gabriela Alejandra. «Atenuación sísmica en la Región de Nuevo Cuyo», 2012. <http://hdl.handle.net/10915/2049>

Banco Interamericano de Desarrollo. «Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos; Programa para América Latina y el Caribe – Ecuador», 2010. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35159995>

Báth, Markus. «C. F. Richter, Elementary Seismology, W. H. Freeman and Co.». *Tellus*, 1959, v. 11, n. 2, pp. 257-258. <http://dx.doi.org/10.1111/j.2153-3490.1959.tb00030.x>

Bolt, Bruce A. *Terremotos*, Reverte, 1981, ISBN 9788429146028.

Buttazzo, Giorgio C. *Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications*, Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 1997, ISBN 0792399943.

Caltech. «The California Institute of Technology». *The California Institute of Technology*, 2015. <http://www.caltech.edu/>

Carreño, E.; Bravo, B.; Tordesillas, J.M. «Registro y Tratamiento de Acelerogramas», 1999, v. 11, pp. 81-111.

Coulouris, G.; Dollimore, J.; Kindberg, T.; Blair, G. *Distributed System: Concepts and Design*, Addison Wesley, 2011, ISBN 978-0-13-214301.

Demoraes, F.; D'ercole, R. «Prevención, mitigación, preparación ante desastres. Evaluación de capacidades y reducción de vulnerabilidad.», 2011. http://www.proyecto-nebe.org/upload/books/5/Ecuador_original.pdf

Drabek, Thomas E.; Hoetmer, Gerard J. *Emergency Management: Principles and Practice for Local Government*, International City County Management Assn, 1991, ISBN 9780873260824.

Forbes, James D. Esq. «XIII. On the Theory and Construction of a Seismometer, or Instrument for Measuring Earthquake Shocks, and other Concussions». *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 1844, v. 15, n. 01, pp. 219–228. <http://dx.doi.org/10.1017/S0080456800029914>

Freescale. «Embedded Beat | Degrees of freedom vs. axes», 2015. <http://blogs.freescale.com/sensors/2012/03/degrees-of-freedom-vs-axes/>

Gobierno Nacional de la República del Ecuador. «Secretaría de Gestión de Riesgos Ecuador». *Secretaría de Gestión de Riesgos Ecuador- Página oficial*, 2014. <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/>

Guralp Systems. «Seismic Monitoring Software Scream! 4.5», 2014. <http://www.guralp.com/documents/MAN-SWA-0001.pdf>

Gutenberg, B.; Richter, Charles F. «Earthquake Magnitude, Intensity, Energy, and Acceleration», 1942, v. 32, n. 3, pp. 163-191.

Gutenberg, B.; Richter, R.C. «On Seismic Waves (Third Paper)», 1936, v. 47, pp. 73-131.

Instituto Geofísico - EPN. «Red nacional de Sismógrafos (RENSIG)», 2015. <http://www.igepn.edu.ec/index.php/interactuamos-con-usted/tag/RENSIG>

Kawasumi, H. T. «Measure of Earthquake Danger and Expentancy of Maximum Intensity Throughout Japan as Inferred from Seismic Activity in hospital Times», 1951, v. 29, pp. 469-482.

Kious, W. Jacquelyne; Tilling, Robert I. *This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics*, DIANE Publishing, 1996, ISBN 9780788133183.

Kopetz, H. *Real-Time Systems - Design Principles for Distributed Embedded Applications*, 2011, ISBN 978-1-4419-8236-0. <http://www.springer.com/computer/communication+networks/book/978-1-4419-8236-0>

Neumann, Frank. *Earthquake Intensity and Related Ground Motion*, University of Washington Press, 1954.

Newmark, N. M. «Effects of Earthquakes on Dams and Embankments», 1919, pp. 631-652. <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?282553>

Olsacher, J. «Los Temblores o Movimientos Sísmicos». 21, 1934, v. 7, pp. 402-422.

Perez, I. «Arquitectura de un sistema C4ISR para pequeñas unidades», 2009.

Roca, A.; Goula, X.; Susagna, T. «Zonación Sísmica a Diferentes Escalas. Microzonación.», 1999, v. 11, pp. 203-236.

Roldán, G. «Logros y desafíos en materia de reducción del riesgo en el Ecuador: Informe final», 2000. <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc14475/doc14475.htm>

Rudolph, E.; Szirtes, S. «El terremoto Colombiano del 31 de enero de 1906», 1991. http://www.osso.org.co/docu/especiales/Traduccion_TERREMOTO_1906.pdf

Saragoni, R.; Crempien, J.; Ayala, R. «Características experimentales de los movimientos sísmicos sudamericanos», 1982, v. 21, n. 2, pp. 67-86.

Secretaría de Gestión de Riesgos Ecuador. «Plan Estratégico Institucional 2014-2017», 2014.

Shearer, Peter M. *Introduction to Seismology*, Cambridge University Press, 1999, ISBN 9780521669535.

Tackley, Paul J. «Mantle Convection and Plate Tectonics: Toward an Integrated Physical and Chemical Theory». *Science*, 2000, v. 288, n. 5473, pp. 2002-2007. <http://dx.doi.org/10.1126/science.288.5473.2002>

Trifunac, M. D.; Brady, A. G. «ON THE CORRELATION OF SEISMIC INTENSITY SCALES WITH THE PEAKS OF RECORDED STRONG GROUND MOTION», 1975, v. 65, n. 1, pp. 139-162.

USGS. «Earthquake Glossary - seismograph». *USGS Science for a changing world*, 2015. <http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?termID=167>

USGS. «National Earthquake Information Center (NEIC)». *USGS Science for a changing world*, 2015.
<http://earthquake.usgs.gov/contactus/golden/neic.php>

Wald, David J.; Quitoriano, Vincent; Heaton, Thomas H.; Kanamori, Hiroo. «Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California». *Earthquake Spectra*, 1999, v. 15, n. 3, pp. 557-564. <http://dx.doi.org/10.1193/1.1586058>

Wood, H.O.; Neumann, F. «Modified Mercalli intensity scale of 1931», 1931, v. 4, pp. 277-283.

Zambrano, A.; Bonilla, J. «Desarrollo de un Sistema de Software para la Gestión de Cobranzas para la empresa TELCOLSAM S.A. utilizando la tecnología Windows Presentation Foundation (WPF)», 2009.

CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LA ARQUITECTURA

Alan Freier; Philip Karlton; Paul Kocher. «The Secure Sockets Layer (SSL) Protocol Version 3.0», 2015. <https://tools.ietf.org/html/rfc6101>

Azur, J.R. «Transformada Discreta de Fourier», 2015.
http://www.um.edu.ar/math/mariana/4-disc_fou.pdf

Ben Abdesslem, Fehmi; Phillips, Andrew; Henderson, Tristan. «Less is more: energy-efficient mobile sensing with senseless», 2009, p. 61.
<http://dx.doi.org/10.1145/1592606.1592621>

Bormann, B.; Engdahl, B.; Kind, R. *Seismic Wave Propagation and Earth models*, Potsdam: Bormann, P., 2012.
http://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP_r1_ch2

Casamayor, E.; Miguel, M. «ALGORITMOS DE TRIGGERING PARA DETECCIÓN DE EVENTOS Y SU APLICACIÓN PARA DETECCIÓN DE DUST DEVILS SOBRE FPGAS», 2010.
<http://eprints.ucm.es/11223/1/PFCconPortada.pdf>

Chandy, Rishi; A, Rita; Skjellum, Øistein; Fellow, Surf; Ch, Mentors K. Mani; Clayton, Rob. *QuakeCast: Distributed Seismic Early Warning*.

Cochran, Elizabeth S.; Lawrence, Jesse F.; Christensen, Carl; Jakka, Ravi S. «The Quake-Catcher Network: Citizen Science Expanding Seismic Horizons». *Seismological Research Letters*, 2009, v. 80, n. 1, pp. 26-30. <http://dx.doi.org/10.1785/gssrl.80.1.26>

Cochran, William G. *Sampling Techniques, 3rd Edition*, New York: John Wiley & Sons, 1977, ISBN 9780471162407.

Dennis D Boos, Cavell Brownie. «ANOVA and rank tests when the number of treatments is large». *Statistics & Probability Letters*, 1995, n. 2, pp. 183-191. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-7152\(94\)00112-L](http://dx.doi.org/10.1016/0167-7152(94)00112-L)

EETASIA. «More mobile phones to pack accelerometers in 2010», 2010. http://www.eetasia.com/ART_8800578513_1034362_NT_7dd192d2.HTM?jumpto=view_welcomead_1412944240724#.

El-Rabbany, Ahmed. *Introduction to GPS: The Global Positioning System*, Artech House, 2002, ISBN 9781580531832.

Faulkner, M.; Olson, M.; Chandy, R.; Krause, J.; Chandy, K.M.; Krause, A. «The next big one: Detecting earthquakes and other rare events from community-based sensors». En: *2011 10th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*, 2011, pp. 13-24.

Gang Chen. «How to Convert 3-Axis Directions and Swap X-Y Axis of Accelerometer Data within Android™ Driver», 2011. http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN4317.pdf

Gobierno Nacional de la República del Ecuador. «Servicio Integrado de Seguridad ECU 911». *Servicio Integrado de Seguridad ECU 911*, 2015. <http://www.ecu911.gob.ec>

Google. «Google App Engine: Platform as a Service». *Google Developers*, 2015. <https://cloud.google.com/appengine/docs>

Havskov, J.; Alguacil, G. *Instrumentation In Earthquake Seismology*, Norway - Spain, 2002, ISBN (Preliminary Version). <http://www.vibrationdata.com/tutorials/instrument.pdf>

Herron, Donald A.; Latimer, Rebecca B. *First Steps in Seismic Interpretation*, SEG Books, 2011, ISBN 9781560802808.

Hofmann-Wellenhof, B.; Lichtenegger, H.; Collins, J. *Global Positioning System. Theory and practice.*, 1993.
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1993qpst.book.....H>

Housner, G.W. «Measures of severity of earthquake ground shaking», 1975, pp. 25-33.

Klasnja, P.; Consolvo, S.; McDonald, D.W.; Landay, J.A.; Pratt, W. «Using Mobile & Personal Sensing Technologies to Support Health Behavior Change in Everyday Life: Lessons Learned», 2009, pp. 338-42.

Kruskal, William H.; Wallis, W. Allen. «Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis». *Journal of the American Statistical Association*, 1952, v. 47, n. 260, pp. 583-621.
<http://dx.doi.org/10.2307/2280779>

Lancaster, H. O.; Seneta, E. «Chi-Square Distribution». *Encyclopedia of Biostatistics*, 2005.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470011815.b2a15018/abstract>

Martinez, M.A.; Sanchez, A.; Toledo, E.; Faulín, J. *Bioestadística Amigable*, 2014, ISBN 978-84-9022-500-4.
http://www.todostuslibros.com/libros/bioestadistica-amigable-3a-ed_978-84-9022-500-4

Martin Liggins; Hall, David; Llinas, James; Waltz, E. *Handbook of Multi-sensor Data Fusion: Theory and Practice, Second Edition*, CRC Press, 2008, ISBN 9781420053098.

Mills, David L. *Computer Network Time Synchronization: The Network Time Protocol on Earth and in Space, Second Edition*, CRC Press, 2010, ISBN 9781439814642.

Morales, P. «Introducción al Análisis de Varianza», 2012.
<http://web.upcomillas.es/personal/peter/analisisdevarianza/ANOVAIntroduccion.pdf>

Postel, J. «User Datagram Protocol», 1980.
<https://www.ietf.org/rfc/rfc768.txt>

Reddy, Sasank; Mun, Min; Burke, Jeff; Estrin, Deborah; Hansen, Mark; Srivastava, Mani. «Using Mobile Phones to Determine Transportation

Modes». *ACM Trans. Sen. Netw.*, 2010, v. 6, n. 2, pp. 13:1–13:27.
<http://dx.doi.org/10.1145/1689239.1689243>

Reilly, J.; Dashti, S.; Ervasti, M.; Bray, J.D.; Glaser, S.D.; Bayen, A.M. «Mobile Phones as Seismologic Sensors: Automating Data Extraction for the iShake System». *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2013, v. 10, n. 2, pp. 242-251.
<http://dx.doi.org/10.1109/TASE.2013.2245121>

Robusto, C. C. «The Cosine-Haversine Formula». *The American Mathematical Monthly*, 1957, v. 64, n. 1, pp. 38-40.
<http://dx.doi.org/10.2307/2309088>

Schervish, M.J. «P Values: What They Are and What They Are Not», 1996, v. 50, n. 3, pp. 203-206.

Sharma, B. K.; Kumar, Amod; Murthy, V. M. «Evaluation of seismic events detection algorithms». *Journal of the Geological Society of India*, 2010, v. 75, n. 3, pp. 533-538.
<http://dx.doi.org/10.1007/s12594-010-0042-8>

Sheng, X.; Zhang, Y.; Lambaré, G. «Anti leakage Fourier transform for seismic data regularization in higher dimensions». 4, 2005, v. 70, p. 87 95.

Steinberg, Alan N.; Bowman, Christopher L.; White, Franklin E. «Revisions to the JDL data fusion model», 1999, v. 3719, pp. 430-441.
<http://dx.doi.org/10.1117/12.341367>

STMicroelectronics. «Tilt measurement using a low-g 3-axis accelerometer», 2010.
http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application_note/CD00268887.pdf

Tipler, Paul Allen; Mosca, Gene. *Física para la ciencia y la tecnología*, Reverte, 2005, ISBN 9788429144116.

UPV. «Univesidad Politécnica de Valencia». *Página Oficial*, 2015.
<https://www.upv.es/>

Varshney, P.K. «Multisensor data fusion». *Electronics Communication Engineering Journal*, 1997, v. 9, n. 6, pp. 245-253.
<http://dx.doi.org/10.1049/ecej:19970602>

CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL SISTEMA

Android Developer. «Dashboards | Android Developers». *Platform Versions*, 2015.

<http://developer.android.com/about/dashboards/index.html>

Android Developer. «System Permissions». *Android Developer - Página Oficial*, 2015.

<http://developer.android.com/guide/topics/security/permissions.html>

Android Developers. «Sensors Overview». *Sensors Overview*, 2015.

http://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview.html

Android Sitio Oficial. «Android - Historia». *La historia de Android*, 2015.

<http://www.android.com/history/>

Baez Manuel; Borrego Alvaro; Cordero Jorge. *Introducción a Android*, Madrid: E.M.E, 2015, ISBN 978-84-96285-39-5.

Bluetooth. «Bluetooth Smart Devices List | Bluetooth Technology Website». *Bluetooth - Página Oficial*, 2015.

<http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Smart-Devices-List.aspx>

Bozdag, E.; Mesbah, A.; van Deursen, A. «A Comparison of Push and Pull Techniques for AJAX». En: *9th IEEE International Workshop on Web Site Evolution, 2007. WSE 2007, 2007*, pp. 15-22.

<http://dx.doi.org/10.1109/WSE.2007.4380239>

Broadcom. «Wi-Fi CERTIFIED Wi-Fi Direct», 2010.

<http://blog.broadcom.com/wp-content/uploads/2013/10/Wi-Fi-Direct-White-Paper.pdf>

Brownlee, B.; Liang, Y. «Mobile Ad Hoc Networks: An Evaluation of Smartphone Technologies», 2011.

Chen, Dan; Liu, Zhixin; Wang, Lizhe; Dou, Minggang; Chen, Jingying; Li, Hui. «Natural Disaster Monitoring with Wireless Sensor Networks: A Case Study of Data-intensive Applications upon Low-Cost Scalable Systems». *Mobile Networks and Applications*, 2013, v. 18, n. 5, pp. 651-663.

<http://dx.doi.org/10.1007/s11036-013-0456-9>

Corson, S.; Macker, J. *Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations*, RFC 2501, 1999.

Culebro, M.; Gomez, W.G.; Torres, S. *Software libre vs software propietario* | *Universo Abierto*, Mexico, 2006.
<http://www.universoabierto.com/5787/software-libre-vs-software-propietario/>

Eclipse. «Eclipse desktop & web IDE». *Eclipse - Sitio Oficial*, 2015.
<https://www.eclipse.org/ide/>

Ericsson AB. «Infrastructure innovation. Can the challenge be met?», 2010.

Flanagan, D. «A Mobile Ad Hoc Network Implementation for Android Smartphones», p. 8.
http://www.cs.rit.edu/~djf4044/ms/flanagan_research_proposal.pdf

Gadhavi, B.; Shah, K. «Analysis of the Emerging Android Market», 2010.
http://generalengineering.sjsu.edu/docs/pdf/mse_prj_rpts/spring2010/Analysis%20Of%20The%20Emerging%20Android%20Market.pdf

Gomez Rafael. «Software Libre Vs. Software Proprietario: Programando nuestro Futuro», 2004, v. 2, pp. 125-140.

Google. «Google play Tienda». *Google play - Sitio Oficial*, 2015.
<https://play.google.com/store?hl=es>

IDC. «IDC: Smartphone OS Market Share». *IDC analyze de future*, 2014.
<http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>

IDC. «Worldwide Smartphone Shipments Edge Past 300 Million Units in the Second Quarter; Android and iOS Devices Account for 96% of the Global Market, According to IDC». *IDC analyze de future*, 2014.
<http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS25037214>

IEEE. «IEEE Software Engineering Standard 729-1993: Glossary of Software Engineering Terminology. IEEE Computer Society Press», 1993.
<http://soft.vub.ac.be/FFSE/SE-contents.html>

Kendall, K.; Kendall, J. *Análisis y Diseño de Sistemas*, México: Prentice Hall, 2011, ISBN 978-607-32-0577-1.
http://www.academia.edu/7102592/Analisis_y.Disenio_de_Sistemas_8ed_Kendall_PDF

Kioskea. «Introducción a Wi-Fi (802.11 o WiFi)». *Kioskea*, 2015.
<http://es.kioskea.net/contents/789-introduccion-a-wi-fi-802-11-o-wifi>

Lampkin, V.; Leong, W.; Olivera, L.; Rawat, S. *IBM Redbooks | Building Smarter Planet Solutions with MQTT and IBM WebSphere MQ Telemetry*, EEUU: IBM – Redbooks, 2012.
<http://www.redbooks.ibm.com/abstracts/sq248054.html>

Lea, Doug. *Concurrent Programming in Java™: Design Principles and Pattern, 2nd Edition*, Reading, Mass.: Addison-Wesley Professional, 1999, ISBN 9780201310092.

Lewis, Frank L. «Wireless Sensor Networks». *Smart Environments*, 2004, pp. 11-46.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/047168659X.ch2/summary>

Martin-Flatin, J.P. «Push vs. pull in Web-based network management». En: *Proceedings of the Sixth IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, 1999. Distributed Management for the Networked Millennium*, 1999, pp. 3-18.
<http://dx.doi.org/10.1109/INM.1999.770671>

Mosquito Org. «Documentation | Mosquito», 2015.
<http://mosquito.org/documentation/>

MQTT ORG. «FAQ - Frequently Asked Questions | MQTT». *MQTT Página Oficial*, 2015.
<http://mqtt.org/faq>

MySQL. «MySQL The world's most popular open source database». *MySQL Sitio - Oficial*, 2015.
<http://www.mysql.com/>

Oracle. «Java. Características y Ventajas.». *Java cree el Futuro*, 2014.
<http://www.oracle.com/es/technologies/java/features/index.html>

Oracle. «Programming Concepts». *The Java™ Tutorials*, 2015.
<http://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/concepts/object.html>

Papadimitriou, Panagiotis; Tsaoussidis, Vassilis. «On Transport Layer Mechanisms for Real-time QoS». *J. Mob. Multimed.*, 2005, v. 1, n. 4, pp. 342-363.

Quigley, Ellie; Gargenta, Marko. *PHP and MySQL by Example*, Prentice Hall Professional, 2006, ISBN 9780138006020.

Repetto, G. «Comunicaciones en emergencias: ¿telefonía o radiotelefonía? - Escuela de Seguridad Pública de Andalucía», 2001.
<http://www.cbradio.es/formacion/comunicaciones-en-emergencias/>

Seclists.org. «Libpcap on mobile Android platform», 2015.
<http://seclists.org/tcpdump/2010/q1/98>

Sicard, L.; Markovics, M.; Manthios, G. «An Ad-hoc Network of Android Phones Using B.A.T.M.A.N.», 2010, p. 8.
http://www.itu.dk/people/lnsi/BatmanAndroidAdhocNetwork_2010.pdf

Silberschatz, Abraham; Korth, Henry F.; Sudarshan, S. *Fundamentos de bases de datos*, McGraw-Hill, 2006, ISBN 9788448146443.

Sjöstrand, H. «Low Latency Mobile Messaging using MQTT». *WebSphere Client Technical Professional*, 2013.
<http://devmobile.se/2013/wp-content/uploads/2012/06/Low-Latency-Messaging-for-Mobile-Apps-MQTT-for-Mobile.pdf>

Suehring, Steve. *MySQL Bible*, New York: Wiley, 2002, ISBN 9780764549328.

TechTarget. «Comparing mobile operating systems manageability and security». *TechTarget's Activity Intelligence*, 2013.
<http://searchconsumerization.techtarget.com/tip/Comparing-mobile-operating-systems-manageability-and-security>

WhatPhone. «Android vs iOS vs Windows Phone 8 – Mobile OS Comparison», 2012.
<http://whatphone.com.au/guide/android-vs-ios/>

Wikipedia. «Software». *Wikipedia, la enciclopedia libre*, 2015.
<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Software&oldid=78976760>

Zhang, L. «Facebook Messenger for Mobile - a Faster Way to Message», 2011.
<https://www.youtube.com/watch?v=aJo5jG0eKtI&hd=1>

CAPÍTULO 5: VALIDACIÓN DE LA ARQUITECTURA

Consolvo, Sunny; McDonald, David W.; Toscos, Tammy; Chen, Mike Y.; Froehlich, Jon; Harrison, Beverly; Klasnja, Predrag; LaMarca, Anthony; LeGrand, Louis; Libby, Ryan; Smith, Ian; Landay, James A. «Activity Sensing in the Wild: A Field Trial of Ubifit Garden». En: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2008, pp. 1797–1806.

<http://dx.doi.org/10.1145/1357054.1357335>

Constandache, I.; Choudhury, R. R.; Rhee, I. «CompAcc: Using mobile phone compasses and accelerometers for localization», 2010, p. 9.

<http://people.ee.duke.edu/~romit/pubs/paper.pdf>

Essl, Georg; Rohs, Michael. «Interactivity for Mobile Music-Making». *Organised Sound*, 2009, v. 14, n. 02, pp. 197–207.

<http://dx.doi.org/10.1017/S1355771809000302>

Heikkinen, Mikko V. J.; Nurminen, Jukka K.; Smura, Timo; Hämmäläinen, Heikki. «Energy Efficiency of Mobile Handsets: Measuring User Attitudes and Behavior». *Telemat. Inf.*, 2012, v. 29, n. 4, pp. 387–399.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.tele.2012.01.005>

Mendez, Estevez; Alejandro, Juan. «Simulador de vuelo: realidad aumentada», 2014. <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/22635>

Miluzzo, Emiliano; Lane, Nicholas D.; Fodor, Kristóf; Peterson, Ronald; Lu, Hong; Musolesi, Mirco; Eisenman, Shane B.; Zheng, Xiao; Campbell, Andrew T. «Sensing Meets Mobile Social Networks: The Design, Implementation and Evaluation of the CenceMe Application». En: *Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, 2008, pp. 337–350.

<http://dx.doi.org/10.1145/1460412.1460445>

Mun, Min; Reddy, Sasank; Shilton, Katie; Yau, Nathan; Burke, Jeff; Estrin, Deborah; Hansen, Mark; Howard, Eric; West, Ruth; Boda, Péter. «PEIR, the Personal Environmental Impact Report, As a Platform for Participatory Sensing Systems Research». En: *Proceedings of the 7th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, 2009, pp. 55–68. <http://dx.doi.org/10.1145/1555816.1555823>

RAE. «Diccionario de la lengua española | Real Academia Española». *Diccionario Real Academia de la Lengua*, 2014.
<http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>

Robles, G.; Gonzales-Barahona, J.M.; Fernandez-Gonzales, J. «Implementing Gymkhanas with Android smartphones: A multimedia m-learning game». En: *2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2011, pp. 960-968.
<http://dx.doi.org/10.1109/EDUCON.2011.5773263>

Supertel. «Estadísticas Servicio de Telefonía Móvil». *Información Técnica*, 2014.
http://controlenlinea.supertel.gob.ec/wps/portal/informacion/informaciontecnica/telefoniamovil/estadisticasmovil/lut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfTjo8zjY08DAw8_A28DUJcHQ0cg50d3QPDTAwNqoz0C7IdFQH9kQkn/

SUPERTEL. «SUPERTEL Portal». *SUPERTEL Página Oficial*, 2015.
<http://www.supertel.gob.ec/>

Supertel Revista. «Homologación de equipos de telecomunicaciones y Emisiones radioeléctricas en el país». *20*, 2014, v. 1, p. 44.

Suzuki, Makoto; Saruwatari, Shunsuke; Kurata, Narito; Morikawa, Hiroyuki. «A High-density Earthquake Monitoring System Using Wireless Sensor Networks». En: *Proceedings of the 5th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, 2007, pp. 373-374.
<http://dx.doi.org/10.1145/1322263.1322301>

Thiagarajan, Arvind; Ravindranath, Lenin; LaCurts, Katrina; Madden, Samuel; Balakrishnan, Hari; Toledo, Sivan; Eriksson, Jakob. «VTrack: Accurate, Energy-aware Road Traffic Delay Estimation Using Mobile Phones». En: *Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, 2009, pp. 85-98.
<http://dx.doi.org/10.1145/1644038.1644048>

Vogt, P.; Kuhn, J. «Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor», 2012, pp. 182-183.
<https://www.aapt.org/Resources/upload/PTE000182.pdf>

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

King. «Candy Crush Saga online. ¡Juega en King.com!», 2015.
<https://king.com/es/#!/play/candycrush>

Meei-Ling Lin, Kuo-Lung Wang. «Seismic slope behavior in a large-scale shaking table model test». *Engineering Geology*, 2006, pp. 118-133.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.02.011>