

Capítulo 1

Marco Contextual

1.1. Formulación del problema

1.1.1. Definición del problema

El monitoreo de una variable física requiere supervisión permanente de señales que varían con el tiempo. Tal información, en sismología es generalmente impredecible, es decir, no se conoce de antemano el comportamiento que tendrá la señal en un momento dado.

Para la observación sismológica es de especial interés reconocer comportamientos anormales de las señales sísmicas, debido a que estos cambios pueden sugerir la ocurrencia de algún fenómeno natural. Las señales emitidas por el conjunto de estaciones sismológicas contienen, además de la señal sísmica, otras señales añadidas como consecuencia de efectos del medio físico en el que se encuentran o adicionadas en el proceso de transmisión/recepción.

Teniendo en cuenta la complejidad de las señales terrestres, durante un sismo o en presencia de ruido u otras señales, se deben tener en consideración diversas variables para su efectiva discriminación. Actualmente no se cuenta con un mecanismo de detección, que sea de rápida respuesta y confiable, capaz de recibir datos de los sistemas de adquisición en desarrollo por el OSSO, de uso fácil y configurable a las necesidades de la observación a realizar. Este sistema debería determinar la ocurrencia de eventos sísmicos en una red de estaciones sismológicas, independiente de su distribución geográfica y ante la presencia de diferentes tipos de fenómenos artificiales que ocasionan la ocurrencia de falsas alarmas.

1.1.2. Caracterización del problema

Existen en el mercado, varios sistemas de detección automática que actúan correctamente en situaciones ideales, pero las señales terrestres tienen añadidas otras señales provenientes de diversas fuentes. Generalmente los sistemas comerciales para adquisición de datos sismológicos incluyen una herramienta que realiza la detección, usando exclusivamente la información que provee la adquisición. Los resultados de estas detecciones generan, muchas veces, falsas alarmas, o no registran señales que correspondan a eventos sísmicos.

Una red sismológica está conformada por un grupo de estaciones con diversas características, que puede registrar señal sísmica en una área geográfica, teniendo limitaciones en cuanto a la precisión y alcance de los instrumentos de medición, así como un margen de confiabilidad en la localización de eventos. El proceso de

localización constituye la obtención de parámetros que caracterizan un evento y el tiempo-espacio en el cual ocurrió. Lo anterior se puede realizar siempre que sea posible determinar cuando una señal registrada es de origen sísmico, a fin de conocer el momento en el tiempo para el cual un evento es registrado por los sensores¹ (a esto se le denomina el proceso de detección), otorgando un alto margen de confianza sobre la detección de eventos reales.

La detección de un evento debe tener en cuenta varios factores que varían de acuerdo a características del medio ambiente como:

- Espectro de observación del sensor. (*capacidad física de registro del equipo*)
- Calidad de la transmisión.
- Factores climáticos. (*lluvia, viento*)
- Ruido natural. (*maquinaria, personas, animales*)
- Calidad de la recepción.
- Funcionamiento incorrecto de componentes eléctricos, mecánicos o de software.

Estos factores pueden generar tipos de señales no deseables que alteran los registros sísmicos, ocasionando la emisión de falsas alarmas o la pérdida de información.

¹**Sensor:** dispositivo físico, mecánico, químico o electrónico que entrega datos sobre el comportamiento de un objeto de estudio.

En conclusión, no se dispone en el medio de un sistema de detección de eventos sísmicos de dominio público, que tenga en cuenta los factores mencionados, que tenga una independencia del proceso de adquisición de datos y principalmente que detecte eventos sísmicos con un alto grado de confiabilidad.

1.1.3. Propuesta de solución

Los aspectos mencionados anteriormente deben tenerse en cuenta durante el diseño de la aplicación. El sistema propuesto deberá determinar cuales datos representan actividad sísmica real y cuales daños sobre componentes del sistema provienen de otras señales que no son de interés (ruido). Es necesario además poder configurar los criterios de la detección, considerando casos como el listado de estaciones que se desee usar, nivel de sensibilidad de la detección, entre otros.

Los puntos mencionados no son exclusivos de la red sismológica del OSSO; ellos son válidos en redes sismológicas de similares características o incluso de otros sistemas que operan con señales. La alternativa de solución consiste en la construcción de herramientas de software que permitan satisfacer los requisitos planteados, con el mínimo tiempo de respuesta, máxima confiabilidad, gran facilidad de uso y siguiendo criterios de Ingeniería de software.

Como recurso de investigación se utilizarán datos de señal continua, previamente almacenados, con los cuales se podrán realizar pruebas del software sin esperar la ocurrencia de eventos sísmicos, con el objetivo de realizar calibración y control de calidad del sistema. También se cuenta con varios sistemas de adquisición continua

de datos, los cuales pueden ser usados para probar el funcionamiento del software. El sistema a desarrollar especifica un formato de entrada de datos, compuesto básicamente por :

- **Datos de la señal:** Tiempo, tasa de muestreo, estación origen, frecuencia, amplitud, entre otros.

- **Parámetros de configuración:** Nivel de sensibilidad, grupo de estaciones, opciones de filtrado, escogencia de alerta.

El sistema debe decidir si un segmento de señal corresponde o no a un evento y obtener sus características generales en caso afirmativo, sin incurrir en un proceso de localización automática. La caracterización es una estimación de algunos factores relevantes del conjunto de señales, que puede entregar información útil de manera ágil y confiable.

Como requerimientos adicionales a los mencionados antes, el desarrollo se hará bajo el sistema operativo Linux, que ya está siendo utilizado en el OSSO para la adquisición de datos, debido a que es constantemente mejorado, estable, multitarea y de dominio público. Se debe realizar el desarrollo de un sistema documentado, que pueda ser aplicado en diversas redes sismológicas, e incluso en otros casos con comportamiento similar (control industrial, seguridad, telecomunicaciones), de acuerdo a las necesidades del usuario, garantizando dentro de las limitaciones, el funcionamiento de la herramienta.

1.1.4. Justificación

Con el crecimiento de las tecnologías digitales, especialmente el computador, se han dado grandes avances en el campo de la investigación científica. El manejo de señales análogas ha evolucionado al procesamiento digital de señales aunado al uso del computador como herramienta principal para el análisis. Esto ha permitido la creación de diversos sistemas enfocados en áreas específicas (comunicaciones, reconocimiento de voz, imágenes). La sismología también ha transformado sus mecanismos para el análisis de su información, con la adquisición de sistemas digitales que les permitan almacenar y procesar señales sísmicas, permitiendo mejorar e incrementar el rango de observación del fenómeno, la calidad de los datos y las posibilidades para la investigación en este campo.

El problema de la detección automática requiere el uso de las matemáticas, principalmente la teoría de señales, además de herramientas propias de las ciencias de la computación tales como Ingeniería de Software, Sistemas Operativos, Diseño en Tiempo Real, Inteligencia Artificial, Redes de Comunicaciones, entre otras, las cuales aportarán elementos para el diseño y desarrollo del proyecto, adicionándole características para su uso y mantenimiento.

Este proyecto propondrá un modelo teórico, base de la herramienta de software, y factible de usarse en implementaciones de otras áreas del conocimiento con requerimientos similares. El criterio de diseño como sistema crítico otorga condiciones para garantizar la estabilidad, confiabilidad y tiempo de respuesta del producto, a fin de usarse en otros ambientes con requerimientos similares.

Para el OSSO la consecución de un sistema que cubra sus necesidades en este campo permitirá aumentar su umbral de detección y aumentar la cantidad de eventos detectados por la red sismológica, que actualmente no se pueden discriminar. Adicionalmente se espera reducir el número de falsas detecciones, obtener más información a partir de las señales y alertar de manera oportuna al personal del área de sismología sobre posibles eventos, a fin de realizar una estimación más completa sobre los datos registrados.

1.1.5. Antecedentes

Los primeros avances en detección se dieron en el ámbito militar, a fin de explorar las vibraciones terrestres cuando dispositivos nucleares explotaran en algún lugar del planeta. Con varios sensores muy potentes se podía determinar el sitio de ocurrencia y la magnitud de la explosión. Luego estos sistemas se implementaron para la vigilancia del tratado de “No proliferación de armas nucleares”. La sismología hace uso de esta tecnología para la observación terrestre en búsqueda de eventos sísmicos importantes, a fin de comunicar lo más rápido posible para su atención.

El OSSO cuenta, desde hace varios años, con un sistema de adquisición y detección de eventos, que funciona en plataforma DOS (**modeaprh**). Sin embargo, para el caso del OSSO y la Red Sismológica del Sur Occidente, de las señales registradas como eventos por el sistema, entre el 40 y 50 % son reclasificados como ruido (año 1999), ésto debido a mal funcionamiento de las estaciones, problemas de transmisión por radio o recepción de la señal, además de posibles ruidos gene-

rados por elementos cercanos al sitio donde se encuentra el sensor.

Otros sistemas existentes como **ViSeis**, que se ejecuta bajo plataforma Microsoft Windows™, realiza la adquisición y detección de manera conjunta. El principal inconveniente detectado es que toma bloques de datos de 5 minutos, buscando de manera independiente en cada bloque la condición de ocurrencia de evento sísmico. Además no permite el uso de señal adquirida por fuera de su sistema.

Seisan es parte de un sistema desarrollado en Noruega para procesamiento de datos sismológicos. Este sistema tiene un módulo que realiza la adquisición y detección también de manera conjunta. Para su funcionamiento se depende del sistema de adquisición, Seisnet.

De acuerdo a estas experiencias y otras que se han tenido con sistemas de adquisición y detección, se ha concluido que muchos no cumplen con las características que requiere el OSSO para la observación. La mayoría de los sistemas de adquisición, cuentan con un sistema de detección basado en STA/LTA (*Short Term Average / Large Term Average*)², almacenando la señal en periodos específicos de tiempo. Estos sistemas integrados son construidos para realizar detección sólo con las señales de la adquisición, cerrando la posibilidad de usar registros de estaciones que no estén incluidas en el mismo proceso de adquisición.

²Algoritmo de detección descrito en 2.6.1.

1.1.6. Alcances y limitaciones

Los alcances de este proyecto están enfocados hacia la construcción de una herramienta de software, siguiendo principios de diseño de ingeniería de software con las siguientes metas:

- Modelo abierto de desarrollo.
- Diseño y software aplicable a problemas similares.
- Generación de documentación para el manejo y desarrollo del software.
- Generación de interfaces gráficas para uso cómodo del usuario.
- Uso de tecnología de bajo costo y disponibles en el OSSO.
- Utilidad y aplicabilidad para el OSSO.
- Interconexión con módulos anteriores y posteriores al proceso: Adquisición y procesamiento de datos.

Algunas limitaciones de sistemas similares se han descrito anteriormente. En general, de los sistemas existentes pocos ofrecen un diseño abierto de software que permita su revisión y afianzamiento. La mayoría de los modelos comerciales del mercado son cerrados y tienen pocas opciones de interconectividad con sistemas de adquisición y procesamiento diferentes a los ofrecidos por el fabricante o manejo de algunos formatos estándar en el medio. Otros modelos más eficientes son muy costosos, manteniendo su diseño oculto y están ligados a plataformas de software³

³Conjunto de instrucciones escritas en algún lenguaje de programación que son ejecutadas por un procesador.

y hardware⁴ especializado.

El sistema propuesto debe tener en cuenta para su diseño y ejecución, características derivadas del sistema operativo sobre el cual funcionará. El formato de entrada de la información, el cual será establecido por el modelo. Especificaciones de los sistemas de comunicación y transmisión de datos a usar. Dado el enfoque de sistema crítico, el diseño debe contemplar la recuperación de fallos y excepciones dentro de algunas situaciones, a fin de garantizar el funcionamiento correcto y constante del sistema.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Implementar un sistema detector de eventos sísmicos para redes sismológicas, a partir de señales sísmicas, que siga principios de diseño de sistemas críticos, otorgando confiabilidad y tolerancia a fallos, dentro de criterios establecidos.

1.2.2. Objetivos estratégicos

Diseñar un modelo teórico que permita realizar la detección de anomalías sobre una señal y caracterización de la información obtenida, usando técnicas de Inteligencia Artificial y de Procesamiento de Señales.

⁴Dispositivo electrónico que permite la ejecución de rutinas lógico matemáticas, funciones de almacenamiento, comunicaciones, entre otros.

Aplicar el modelo de desarrollo de software de código abierto (OpenSource) para la construcción de herramientas para sistemas de control industrial, siguiendo el diseño planteado.

Promover la creación de herramientas bajo plataforma Linux, siguiendo criterios de calidad y garantizando su modularidad, robustez y estabilidad, a fin de emplearse en medios productivos, académicos y científicos para el monitoreo de variables naturales o artificiales.

Proponer métodos y herramientas para el monitoreo de fenómenos físicos, usando tecnología de bajo costo, con hardware de propósito general.

1.2.3. Objetivos específicos

Proponer un diseño teórico bajo la combinación de técnicas de programación, que permita el análisis automático de señales digitales a partir de adquisición continua de datos.

Elaborar una aplicación que permita reducir el número de falsas alarmas, comparando resultados con los obtenidos por otros sistemas del mismo tipo.

Realizar un plan de pruebas para determinar la confiabilidad de la herramienta, haciendo uso de datos anteriormente almacenados, comparándolos con análisis manuales de los operadores sismológicos.

Diseñar un actuador del sistema, que permita la emisión de alarmas sobre eventos detectados u otras anomalías que pueda presentar el conjunto de señales (ruido excesivo, daños, entre otros).

Generar mecanismos de control para determinar posibles daños o mal funcionamiento de la red de estaciones.

Facilitar el uso de la herramienta por parte del usuario, con el uso de interfaces gráficas para realizar la configuración del sistema a operar.

1.3. Organización del documento

El presente documento se encuentra organizado por capítulos. Este primer capítulo plantea el problema, la justificación del mismo y los objetivos entre otros, con lo cual se dá una idea general del trabajo. El **Capítulo 2**, presenta el Marco Teórico necesario para plantear el modelo requerido. El **Capítulo 3**, propone el modelo de sistema crítico, sobre el cual estará basado el diseño del sistema. El **Capítulo 4**, corresponde a la etapa de implementación para el caso particular de la detección

de eventos sísmicos, basado en el modelo propuesto. En el **Capítulo 5**, se presenta un análisis de resultados respecto a la ejecución del software construido y se dan algunas conclusiones y recomendaciones sobre este trabajo. Finalmente, los **Capítulos 6 y 7** muestran una síntesis de los logros alcanzados y aportes para futuros desarrollos.