



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN**



**Sistema móvil georeferenciado para la medición y  
análisis de ruido ambiental.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE  
CÓMPUTO CON OPCION EN SISTEMAS DIGITALES**

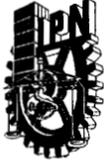
**PRESENTA:**

**Ing. Guillermo Quintero Pérez**

Directores de Tesis: Dr. Luis Pastor Sánchez Fernández.

Dr. Marco Antonio Moreno Ibarra.

México, D.F.



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 10:00 horas del día 14 del mes de noviembre de 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del:

**Centro de Investigación en Computación**

para examinar la tesis titulada:

**“Sistema móvil georeferenciado para la medición y análisis de ruido ambiental”**

Presentada por el alumno:

**Quintero**

**Pérez**

**Guillermo**

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	1	1	0	9	4	3
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE CÓMPUTO CON OPCIÓN EN SISTEMAS DIGITALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

Directores de Tesis

Dr. Luis Pastor Sánchez Fernández

Dr. Marco Antonio Moreno Ibarra

Dr. Sergio Suárez Guerra

Dr. Oleksiy Pogrebnyak

Dr. José Juan Carbajal Hernández

Dr. Miguel Jesús Torres Ruiz

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



Dr. Alfonso Villa Vargas

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN  
Y POSGRADO  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN  
EN COMPUTACIÓN  
DIRECCIÓN



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

### CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 14 del mes de Noviembre del año 2013, el que suscribe GUILLERMO QUINTERO PÉREZ alumno del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE CÓMPUTO CON OPCIÓN EN SISTEMAS DIGITALES con número de registro B110943, adscrito al CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del DR. Luis Pastor Sánchez Fernández y el DR. Marco Antonio Moreno Ibarra y cede los derechos del trabajo "SISTEMA MÓVIL GEOREFERENCIADO PARA LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE RUIDO AMBIENTAL", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [guillermo.quintero.p@gmail.com](mailto:guillermo.quintero.p@gmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Guillermo Quintero Pérez

Nombre y firma

## RESUMEN

La contaminación por ruido se ha convertido en un problema mayor en las grandes ciudades y el estudio de sus efectos negativos en la salud, ya sean de tipo auditivos como lo es la pérdida de la audición o no auditivos como el estrés, han sido ampliamente estudiados.

Por lo anterior, es necesario tener herramientas que faciliten el estudio de las zonas de alta contaminación acústica y la toma de decisiones para poder erradicar este tipo de contaminación.

En este trabajo de tesis se presenta el diseño, implementación y utilización de un sistema automático de medición de contaminación acústica cuya principal función es realizar mediciones georeferenciadas de señales de ruido; a partir de las cuales se obtienen y almacenan indicadores representativos del nivel de ruido en el punto medido. Posteriormente se realiza un análisis para mostrar el comportamiento del ruido y se generan mapas de contaminación acústica de manera automática, en los cuales se observa de una manera sencilla la ubicación geográfica de las mediciones y sus respectivos niveles de ruido.

El sistema integra herramientas de adquisición y procesamiento de señales, así como herramientas de Sistemas de Información Geográfica (*GIS*). Para la realización de las mediciones se emplea un sistema compuesto por un sensor de presión acústica, una tarjeta de adquisición de datos, una laptop y un *GPS*. El software base utilizado para la programación del sistema es *LabVIEW* que a su vez se combina con herramientas para el diseño de *GIS* para agregar funcionalidad de manejar datos espaciales.

Con el fin de mostrar la utilidad del sistema desarrollado, se realizó un caso de estudio en el cual se analizó una zona con alta contaminación acústica, esta fue la Unidad Habitacional Patera Vallejo, en la Ciudad de México. Se realizó el análisis y se generaron mapas de contaminación acústicos donde se observó que en algunos puntos se superaron los límites establecidos por las normas vigentes en materia de ruido [1] [2] [3].

## **ABSTRACT**

Noise pollution has become a major problem in large cities and the study of its negative health effects has been extensively studied. These negative effects could be hearing problems like loss of hearing or not hearing problems such as stress.

In this way, it is necessary to have tools that facilitate the study of noise polluted areas and that also helps for decision making in order to eradicate this type of pollution.

In this thesis work the design, implementation and usage of an automatic system for the measurement of acoustic pollution is presented, the main function of the system is to take georeferenced measurements of noise signals; representative indicators of the level of noise in the measured point are obtained and stored. Subsequently, an analysis is performed to demonstrate the behavior of noise and also noise maps are generated automatically, these maps show in a simple manner the geographical location of the measurements and their noise levels.

The system integrates acquisition and signal processing tools as well as tools of Geographic Information Systems (GIS). The system used to perform measurements is composed by a sound pressure sensor, a data acquisition board, a laptop and a GPS. The base software used for the system programming is LabVIEW; it is combined with tools for the design of GIS to add the functionality to handle spatial data.

In order to show the usefulness of the system developed, a case of study was performed in which a noise polluted area was analyzed, this area was the Housing Unit "La Patera Vallejo" in México City. The analysis was performed and acoustic pollution maps were generated, it was observed that in some points the limits set by the rules were exceeded [1] [2] [4].

# ÍNDICE

ABSTRACT .....	II
ÍNDICE .....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
GLOSARIO .....	IX
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DE LOS PROBLEMAS A RESOLVER .....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 HIPÓTESIS .....	3
1.5 OBJETIVOS.....	3
1.5.1 <i>Objetivo General</i> .....	3
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.6 ALCANCE.....	3
1.7 CONTRIBUCIONES.....	4
1.8 METODOLOGÍA Y DESARROLLO UTILIZADO .....	4
1.9 ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	5
<b>2 ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>6</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	6
2.2 SONIDO Y RUIDO .....	6
2.3 PROPAGACIÓN DEL RUIDO.....	8
2.3.1 <i>Tipo de fuente</i> .....	8
2.3.2 <i>Distancia desde la fuente</i> .....	9
2.3.3 <i>Absorción atmosférica</i> .....	9
2.3.4 <i>Viento</i> .....	10
2.3.5 <i>Temperatura y gradiente de temperatura</i> .....	11
2.3.6 <i>Obstáculos, tales como barreras y edificios</i> .....	11
2.3.7 <i>Otros</i> .....	12
2.4 EFECTOS NOCIVOS EN LA SALUD CAUSADOS POR EL RUIDO AMBIENTAL .....	12
2.5 MONITOREO DEL RUIDO AMBIENTAL .....	12
2.6 PRINCIPALES PARÁMETROS INDICADORES DE NIVEL DE RUIDO .....	13
2.6.1 <i>Pre procesamiento</i> .....	14
2.6.1.1 Ponderación en frecuencia.....	14
2.6.2 <i>Análisis estadístico del ruido</i> .....	14
2.6.2.1 Nivel de ruido estadístico .....	15
2.6.2.2 Nivel de presión sonora continuo equivalente.....	15
2.6.2.3 Nivel equivalente día-noche (day-nigh - <b>L<sub>dn</sub></b> ) y día-tarde-noche (day-evening-nigh - <b>L<sub>den</sub></b> ) .....	16
2.6.3 <i>Análisis espectral</i> .....	17
2.6.3.1 Transformada rápida de Fourier (FFT).....	17
2.6.3.2 Análisis en bandas de octava.....	17

2.6.3.3	Análisis en bandas de tercio de octava .....	18
2.7	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS) .....	18
2.7.1	Representación digital de mapas.....	19
2.7.1.1	Datos raster.....	19
2.7.1.2	Datos vectoriales.....	20
2.7.2	Elementos generales de un mapa.....	21
2.7.2.1	Escala.....	21
2.7.2.2	Generalización.....	21
2.7.2.3	Proyección Cartográfica .....	22
2.7.3	Herramientas para el diseño de GIS .....	23
2.8	MAPAS DE RUIDO.....	26
2.8.1	Métodos para la elaboración de mapas de ruido .....	26
2.8.1.1	Métodos basados en mediciones .....	27
2.8.1.2	Métodos basados en simulación .....	28
2.8.1.3	Métodos mixtos .....	28
2.9	CONCLUSIONES.....	28
<b>3</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>31</b>
3.1	POSICIONAMIENTO.....	31
3.1.1	Protocolo NMEA0183 .....	32
3.1.1.1	Cadena GGA .....	32
3.1.1.2	Cadena GSV .....	33
3.1.2	Intercambio de información entre GIS y GPS (gpx, kml) .....	34
3.1.2.1	GPX.....	34
3.1.2.2	KML .....	35
3.2	ADQUISICIÓN DE DATOS (SEÑALES ACÚSTICAS) .....	35
3.2.1	Sensor .....	36
3.2.2	Tarjeta de adquisición de datos.....	37
3.2.3	Computadora y software .....	38
3.3	ESTRUCTURA WEB PARA LA VISUALIZACIÓN DE MAPAS .....	39
3.3.1	Sistema Manejador de Bases de Datos.....	40
3.3.1.1	Bases de Datos Espaciales .....	41
3.3.2	Servidor de mapas .....	42
3.3.3	Cliente y Visualización .....	42
<b>4</b>	<b>DISEÑO E INTEGRACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA MÓVIL GEOREFERENCIADO.....</b>	<b>44</b>
4.1	REQUERIMIENTOS Y CARACTERÍSTICAS .....	44
4.2	ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	45
4.2.1	Elementos a nivel software.....	47
4.2.1.1	Diseño de las bases de datos.....	47
4.2.2	Elementos a nivel hardware .....	49
4.2.2.1	Tipo de micrófono .....	49
4.2.2.2	Tarjeta de adquisición de datos. ....	51
4.2.2.3	Frecuencia de muestreo y calibración.....	52
4.3	ETAPA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES ACÚSTICAS.....	55
4.4	ETAPA DE ANÁLISIS DE DATOS .....	59
4.4.1	Análisis de mediciones.....	59
4.4.2	Generación de mapas de contaminación acústica. ....	61

4.4.2.1	Mapas de ubicación de puntos de medición.....	62
4.4.2.2	Mapas de contaminación acústica (ubicación puntual). ....	64
4.4.2.3	Mapas de contaminación acústica debido a tránsito vehicular. ....	65
4.4.3	<i>Reproducción y visualización de señales almacenadas.</i> .....	66
4.5	CONCLUSIONES.....	67
<b>5</b>	<b>MÉTODOS, ALGORITMOS Y SU IMPLEMENTACIÓN.</b> .....	<b>69</b>
5.1	ALGORITMOS PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES .....	69
5.1.1	<i>Algoritmo para la adquisición de señales de ruido y almacenamiento de indicadores.</i> .....	70
5.1.2	<i>Algoritmo de obtención de señales GPS.</i> .....	72
5.2	ALGORITMOS Y MÉTODOS PARA LA CREACIÓN AUTOMÁTICA DE MAPAS DE RUIDO. ....	75
5.2.1	<i>Cálculo de indicadores.</i> .....	76
5.2.1.1	Cálculo de indicador <b>L<sub>día</sub></b> y <b>L<sub>noche</sub></b> . ....	77
5.2.1.2	Cálculo de indicador <b>L<sub>dn</sub></b> . ....	77
5.2.2	<i>Métodos para la presentación del área geográfica - Etapa de adquisición de señales.</i> .....	78
5.2.3	<i>Métodos para la presentación del área geográfica - Etapa de análisis de datos.</i> .....	79
5.2.3.1	Etiquetado automático.....	80
5.2.3.2	Zoom en los puntos de interés. ....	80
5.2.3.3	Leyenda ISO - 1996.....	81
5.3	CONCLUSIONES.....	82
<b>6</b>	<b>MAPAS DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.</b> .....	<b>83</b>
6.1	METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA REALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES .....	83
6.1.1	<i>Selección de zona de análisis</i> .....	84
6.1.2	<i>Selección de puntos de medición</i> .....	85
6.1.3	<i>Realización de mediciones</i> .....	87
6.2	ANÁLISIS DE DATOS Y MAPAS DE RUIDO .....	89
6.3	CONCLUSIONES.....	95
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO</b> .....	<b>96</b>
	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>98</b>
<b>ANEXO A.</b>	<b>CÓDIGOS SQL PARA CREACIÓN DE LAS BASES DE DATOS.</b> .....	<b>103</b>
<b>ANEXO B.</b>	<b>PANTALLA DE CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.</b> .....	<b>105</b>
<b>ANEXO C.</b>	<b>MÉTODOS JS PARA ETAPA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES - ANÁLISIS GEOGRÁFICO.</b> .....	<b>107</b>
<b>ANEXO D.</b>	<b>MÉTODOS JS PARA ETAPA DE ANÁLISIS DE DATOS.</b> .....	<b>113</b>
<b>ANEXO E.</b>	<b>CÓDIGO SLD PARA LA ESCALA DE COLORES ISO 1996-2.</b> .....	<b>118</b>
<b>ANEXO F.</b>	<b>MAPAS COMPLEMENTARIOS DEL CASO DE ESTUDIO.</b> .....	<b>125</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Relación entre NPS en dB - presión sonora (Pa). .....	7
Figura 2.2. Reducción del ruido en dB con respecto a la distancia y con viento. ....	10
Figura 2.3. a) Gradiente de temperatura negativo, b) Sin gradiente de temperatura y c) Gradiente de temperatura positivo.....	11
Figura 2.4. Curvas de ponderación más comúnmente utilizadas.....	14
Figura 2.5. Ejemplo de representación <i>raster</i> .....	19
Figura 2.6. Representación vectorial.....	20
Figura 2.7. Proyecciones cartográficas .....	22
Figura 2.8. Tipos de software usado en una Infraestructura de datos espaciales. ....	23
Figura 2.9. Mapa de software GIS de código abierto [40]. ....	24
Figura 2.10. Integración de PostGIS con software de código abierto.....	25
Figura 3.1. Estructura GPX para datos puntuales (waypoints). ....	34
Figura 3.2. Estructura del KML para un punto simple.....	35
Figura 3.3. Elementos del proceso de adquisición de datos.....	36
Figura 3.4. Sistema de adquisición de datos basado en PC .....	36
Figura 3.5. Micrófono Bruel & Kjaer.....	36
Figura 3.6. Preamplificador Bruel & Kjaer .....	37
Figura 3.7. DAQ NI USB-6008.....	38
Figura 3.8. Ejemplo de programación en LabVIEW (panel frontal y diagrama).....	39
Figura 3.9. Arquitectura lógica de un GIS Web básico. ....	39
Figura 3.10. Entorno de sistema de base de datos simplificado. ....	41
Figura 4.1. Arquitectura del sistema (Hardware). ....	45
Figura 4.2. Esquema de la arquitectura y funcionamiento del sistema propuesto. ....	46
Figura 4.3. Diagrama E-R de la base de datos propuesta. ....	48
Figura 4.4. Diagrama E-R base de datos auxiliar para creación de mapas de ruido de calles.....	49
Figura 4.5. Hoja de calibración. Micrófono MPA231. ....	50
Figura 4.6. Respuesta en frecuencia. Micrófono MPA231. ....	51
Figura 4.7. Espectro de una señal de ruido ambiental. ....	53
Figura 4.8. Análisis en bandas de 1/3 de octava de una señal de ruido ambiental. ....	54
Figura 4.9. Panel frontal del programa de calibración.....	54
Figura 4.10. Calibrador acústico CESVA modelo CB-5. ....	55
Figura 4.11. Pantalla de ubicación y análisis geográfico. ....	56
Figura 4.12. Pantalla de gráficas de señales capturadas. ....	57
Figura 4.13. Panel inferior permanente de la pantalla principal. ....	58
Figura 4.14. Proceso para el análisis de mediciones. ....	59
Figura 4.15. Pantalla de graficas de mediciones almacenadas (análisis de mediciones). ....	60
Figura 4.16. Pantalla de módulo análisis de datos - Generación de mapas de contaminación acústica. ....	62
Figura 4.17. Mapa de ubicación de puntos de medición.....	63
Figura 4.18. Proceso general seguido para la creación de mapas de niveles de ruido. ....	64
Figura 4.19. Mapas de contaminación acústica - ubicación puntual. A) Para 4 puntos B) Para 1 punto. ....	65
Figura 4.20. Ejemplo de mapa de contaminación acústica debido a tránsito vehicular. ....	66

Figura 4.21. Pantalla de reproducción de archivos de audio. ....	67
Figura 5.1. Diagrama de tiempo. Utilizado en el sistema. Cortesía de [23]. ....	69
Figura 5.2. Diagrama del proceso de adquisición de señales de ruido A) Inicialización, B) Adquisición y procesamiento y C) Almacenamiento de los datos. ....	71
Figura 5.3. SubVI selección de puerto y Baud Rate. ....	73
Figura 5.4. Diagramas de SubVI's de cadena GGA (A) y GSV (B). ....	74
Figura 5.5. Diagrama de obtención de datos del módulo GPS. ....	74
Figura 5.6. Diagrama de actualización de GPX (A) y de actualización de pantalla del navegador (B). ....	75
Figura 5.7. Diagrama de creación de GPX. ....	76
Figura 5.8. Diagrama de VI de integración de <i>L<sub>Aeq</sub></i> .....	77
Figura 5.9. Diagrama de SubVI para el cálculo de <i>L<sub>dn</sub></i> .....	78
Figura 5.10. A) Diagrama para la creación de GPX de puntos medidos previamente B) Diagrama de creación de XML de offset y datos del XML. ....	79
Figura 5.11. Diagrama de SubVI leyenda ISO - 1996.....	82
Figura 6.1. Zona de estudio. Unidad Habitacional La Patera Vallejo.....	84
Figura 6.2. Calles seleccionadas para el análisis.....	86
Figura 6.3. Planeación de puntos donde se realizaran medidas. ....	87
Figura 6.4. Medición realizada en Av. Miguel Othón de Mendizábal.....	89
Figura 6.5. Mapa de ubicación de puntos de medición para el caso de estudio. ....	90
Figura 6.6. Ajuste de offset para el punto 9.....	91
Figura 6.7. Mapa de datos de mediciones para el Punto 1 del caso de estudio. ....	92
Figura 6.8. Nivel <i>L<sub>dia</sub></i> para todos los puntos de medición del caso de estudio.....	93
Figura 6.9. Graficas de niveles de ruido puntos 8,9 y 10 del caso de estudio. ....	94
Figura 6.10. Mapa de niveles de ruido en calles del caso de estudio. ....	95
Figura B.1. Pantalla de configuración del sistema. ....	105
Figura F.1. Mapa de datos de mediciones para el Punto 2 del caso de estudio.....	125
Figura F.2. Mapa de datos de mediciones para el Punto 3 del caso de estudio. ....	125
Figura F.3. Mapa de datos de mediciones para el Punto 4 del caso de estudio. ....	126
Figura F.4. Mapa de datos de mediciones para el Punto 5 del caso de estudio. ....	126
Figura F.5. Mapa de datos de mediciones para el Punto 6 del caso de estudio. ....	127
Figura F.6. Mapa de datos de mediciones para el Punto 7 del caso de estudio. ....	127
Figura F.7. Mapa de datos de mediciones para el Punto 8 del caso de estudio. ....	128
Figura F.8. Mapa de datos de mediciones para el Punto 9 del caso de estudio. ....	128
Figura F.9. Mapa de datos de mediciones para el Punto 10 del caso de estudio. ....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Frecuencia inferior y superior de cada banda de octava. ....	18
Tabla 2.3. Normatividad Mexicana en materia de ruido ambiental. ....	29
Tabla 4.1. Características generales micrófono MPA231. ....	49
Tabla 4.2. Características de la tarjeta BSWA-MC3022. Cortesía BSWA Tech.....	51
Tabla 4.3. Características de la tarjeta NI - 9233. Cortesía National Instruments. ....	52
Tabla 5.1. Escala de colores de acuerdo a ISO 1996-2:1987 .....	81
Tabla 6.1. Límites máximos permisibles de emisiones sonoras [3].....	85
Tabla 6.2. Datos de mediciones realizadas para el caso de estudio.....	88
Tabla 6.3. Valores <i>L<sub>dia</sub></i> y diferencia de valores obtenidos con la norma. ....	93

## GLOSARIO

<b><math>L_{Aeq}</math></b>	Nivel sonoro continuo equivalente ponderado A.
<b>ADC</b>	Analog to digital converter. Convierte una magnitud física continua (señal analógica) en una salida digital (número de bits).
<b>Decibel (dB)</b>	Unidad adimensional usada en física que es igual a 10 veces el logaritmo base 10 de la relación de dos valores. $dB = 10 * \log\left(\frac{v_1}{v_2}\right)$ .
<b>Decibel A (dBA)</b>	Unidad representativa del nivel de sonido medido con filtro de ponderación A.
<b>GIS</b>	Sistema de Información Geográfica.
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global. Sistema diseñado la navegación y posicionamiento.
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization. Organización que desarrolla y publica estándares internacionales.
<b>JavaScript (JS)</b>	Lenguaje de programación que se utiliza principalmente para crear páginas web dinámicas.
<b>LabVIEW</b>	Entorno grafico de programación útil en sistemas de control y medición.
<b>OGC</b>	Open Geospatial Consortium. Consorcio internacional que desarrolla estándares públicos para hacer más accesibles la información y servicios espaciales para sistemas de todo tipo.
<b>Pascal (Pa)</b>	Unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades.
<b>Ruido</b>	Combinación de sonidos no coordinados que originan una sensación desagradable.
<b>Sensor</b>	Convierte variables físicas (temperatura, presión, etc.) en señales eléctricas.
<b>Servidor</b>	Tipo de software que realiza ciertas tareas en nombre de los usuarios.

<b>SLD</b>	Styled Layer Descriptor. Esquema XML propuesto por el OGC que describe el estilo visual de cada capa de objetos geográficos de un mapa.
<b>SNR</b>	Relación señal ruido. Proporciona una comparación de la cantidad de señal con la cantidad de ruido de fondo de una señal en particular.
<b>Sonido</b>	Cualquier variación de presión que el oído humano pueda detectar.
<b>Sonómetro</b>	Instrumento que mide niveles de presión sonora.
<b>SQL</b>	Structured Query Language. Lenguaje de base de datos normalizado, utilizado por los diferentes motores de bases de datos para realizar determinadas operaciones sobre los datos o sobre la estructura de los mismos.
<b>SRID</b>	Spatial Reference System Identifier. Corresponde a un sistema de referencia espacial basado en el elipsoide concreto usado para la creación de mapas de tierra plana o de tierra redonda.
<b>WAV</b>	Waveform Audio Format. Formato de audio digital comúnmente sin compresión de datos.

# 1 INTRODUCCIÓN.

En el presente trabajo se presenta un sistema diseñado para realizar monitoreo de ruido ambiental, que aunado a un módulo GPS permite la georeferenciación de las mediciones. El sistema está planeado para ser utilizado en zonas críticas (avenidas, centros nocturnos, unidades habitacionales, etc.) o específicamente en zonas que presenten denuncias ciudadanas por exceso de ruido.

La arquitectura del sistema permite hacer los trabajos de adquisición y procesamiento de señales, cálculo y almacenamiento de indicadores y presentación de los datos (gráficas y mapas de contaminación acústica).

## 1.1 Antecedentes

La contaminación por ruido es uno de los principales problemas ambientales en las grandes y pequeñas ciudades, existen pruebas de que la contaminación acústica puede traer como consecuencia efectos negativos en la salud.

Efectos auditivos como la pérdida de la audición, ya sea la elevación del umbral auditivo o la pérdida total de audición por trauma acústico o problemas en la comunicación han sido muy estudiados [5], pero estos no son los únicos efectos negativos que trae la exposición al ruido, en la actualidad se han realizado muchos nuevos estudios que tratan con problemas de salud no relacionados con la audición, ejemplos de estos problemas pueden ser [6]:

- Problemas de sueño: El sueño es requerido para la recuperación física y psicológica. La exposición al ruido perturba el sueño, y este malestar es proporcional a la cantidad de ruido a la que se está expuesto, en términos de aumento de frecuencia en los cambios de las etapas del sueño y en el número de despertares. La incapacidad de recuperarse de un día de tareas puede conducir a trastornos fisiológicos.
- Males cardiovasculares: La exposición al ruido provoca respuestas psicológicas a corto plazo a través del sistema nervioso. La exposición al ruido causa activación psicológica incluyendo el incremento en la frecuencia cardiaca y la presión sanguínea. Existen estudios ocupacionales en los cuales se observa que los individuos expuestos a niveles mayor o igual que 85db tienen un nivel mayor en la presión arterial que aquellas personas que no están expuestas a niveles altos de ruido.
- Molestias generales: El ruido también es visto como una intromisión en la intimidad personal. Las reacciones de molestia contra el ruido son muy comúnmente asociadas a que tanto interfiere con las actividades cotidianas de las personas.

En el mundo se han hecho muchos esfuerzos por controlar que los niveles de ruido no sobrepasen los límites establecidos por las normas, en México existen normas que nos indican los límites máximos permisibles de emisión de ruido y su método de medición según el tipo de fuente , como es la norma NOM-080-ECOL-1994 [2], que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación, y su método de medición. Pero como se ha visto en estudios realizados en distintas ciudades del país estos límites en muchas ocasiones no se respetan.

## **1.2 Planteamiento de los problemas a resolver**

La contaminación por ruido constituye un importante problema que afecta a la salud y a la calidad de vida de las personas, y viene siendo en años sucesivos el motivo más frecuente de las quejas relativas a problemas ambientales. El tema de la contaminación en general, y en particular del tipo acústica, ha sido poco estudiado en la Ciudad de México y en el país [7].

En el presente trabajo se plantean los siguientes problemas a resolver:

1. Costo elevado en la instalación de sistemas permanentes para medición de ruido y caracterización en cada zona con contaminación acústica importante o que son objeto de denuncias.
2. Falta de un sistema desarrollado en el país que haga una georeferenciación automática de las mediciones para facilitar la posterior creación de mapas acústicos.
3. Carencia de un sistema móvil que permitan la medición y análisis de ruido ambiental en zonas de interés y de una manera automatizada.

## **1.3 Justificación**

El cumplimiento de las normas relacionadas con el ruido ambiental sólo se verifica ocasionalmente, en un pequeño porcentaje por parte de la industria a nivel nacional, y solo en caso de demanda o litigio dentro de vecindarios y sitios de construcción; sin embargo, el continuo cumplimiento de las normas es obligatorio.

Como se menciona en [8], debido al alto costo de implementación, mantenimiento, etc. es casi imposible disponer de un número suficiente de puntos de medida, como para caracterizar a toda una ciudad, sobre todo si se habla de ciudades tan grandes como la ciudad de México. Por este motivo, se sugiere completar los mapas acústicos con “redes de control”, cuyo objetivo sería ampliar y ajustar los valores del espacio medido [9]. El sistema consiste en una serie de vehículos, dotados de instrumentación acústica y sistemas de localización geográfica, que siguiendo recorridos especialmente establecidos a lo largo de la ciudad, realizan mediciones acústicas del ambiente exterior durante un tiempo predeterminado, que es precisamente lo que se desea realizar en este proyecto de tesis.

La solución que se propone es el desarrollar un sistema móvil georeferenciado para la medición y análisis de ruido ambiental el cual, de forma automatizada, permitirá evaluar zonas donde se presente una contaminación acústica importante o aquellas que son objeto de denuncias ciudadanas. Esto se hará mediante mediciones no permanentes, lo cual hará posible abarcar una mayor área de análisis o analizar puntos geográficos posiblemente con una gran distancia entre ellos y en los cuales no exista algún sistema de monitoreo de ruido.

## **1.4 Hipótesis**

Mediante la implementación de un sistema de medición de señales acústicas basado en computadora (con ayuda de un GPS) y la programación de métodos y algoritmos computacionales, es posible lograr una evaluación de niveles de ruido en zonas de interés y la caracterización de la misma mediante mapas acústicos.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema móvil georeferenciado para la medición y análisis de ruido ambiental integrando herramientas de adquisición y análisis de señales así como de GIS, a fin de evaluar la contaminación acústica, en zonas de interés.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

1. Diseñar e integrar un prototipo de sistema móvil georeferenciado y automatizado para la medición y análisis de ruido ambiental.
2. Desarrollar métodos, algoritmos y su implementación.
3. Trazar mapas georeferenciados de mediciones y análisis de ruidos ambientales en zonas de interés.

## **1.6 Alcance**

En el presente trabajo se diseñará e implementará un sistema móvil para una computadora (laptop o industrial) que permita la adquisición, procesamiento, almacenamiento y presentación de indicadores de señales de ruido georeferenciados, ya sea en forma de gráficas o de mapas de contaminación acústica.

La función principal del sistema será la de realizar un análisis de contaminación acústica en zonas con conocidos problemas de ruido o aquellas que sean objeto de denuncias. Este análisis está limitado a realizarse solo con datos reales y medidos *in-situ* por el sistema.

Los mapas creados son solo de ubicación puntual y lineal de las fuentes de ruido, no se toman en cuenta los factores que afectan la propagación del ruido por lo cual no es posible hacer una representación bidimensional de la contaminación acústica en la zona de análisis.

## **1.7 Contribuciones**

- Prototipo de un sistema móvil georeferenciado y automatizado para la medición y análisis de ruido ambiental.
- Modelo para la construcción de mapas georeferenciados de contaminación acústica.
- Realización de un caso de estudio, con lo cual se caracterizará una zona mediante mapas de contaminación acústica.

## **1.8 Metodología y desarrollo utilizado**

La metodología seguida en este proyecto de tesis se presenta a continuación, se presentan las partes principales de la misma así como los elementos que la componen.

- Revisión del estado del arte: Afecciones a la salud a causa de la exposición al ruido, parámetros indicadores de nivel de ruido de acuerdo a la normatividad vigente, sistemas de monitoreo de ruido ambiental, sistemas de información geográfica, sistemas similares existentes en la actualidad.
- Diseño de la arquitectura del sistema: Especificación del software y hardware necesarios para la adquisición de señales acústicas, requerimientos para la presentación y análisis de datos de mediciones georeferenciadas
- Implementación en hardware del sistema y pruebas del mismo: Integración de los elementos necesarios para realizar las mediciones: laptop, tarjeta de adquisición de datos, micrófono y GPS, programación de un módulo básico para pruebas y calibración de la adquisición de señales
- Implementación de métodos y algoritmos: Diseño de la base de datos , implementación de métodos y algoritmos para la adquisición de señales y el almacenamiento de los indicadores obtenidos de las mediciones en la base de datos, implementación de métodos y algoritmos para la presentación de los datos, ya sea en forma de graficas o mediante mapas de contaminación acústica
- Realización de pruebas con datos simulados para observar el correcto funcionamiento de la base de datos y de la presentación de la información, y a su vez corregir errores.

- Realización de un caso de estudio: Selección de la zona de estudio, análisis y delimitación del criterio para la selección de puntos de muestreo que se adapte mejor a la zona de estudio, selección de los puntos de medición, planeación de las mediciones y realización de las mismas, análisis de los resultados y realización de mapas de contaminación acústica

## **1.9 Estructura de la Tesis**

En el Capítulo 2 se presenta información referente al estado del arte.

En el Capítulo 3 se presentan los fundamentos teóricos que servirán como base para el diseño del sistema, se presenta el hardware necesario para la adquisición de señales acústicas, la obtención de datos del módulo GPS así como estándares para el intercambio de esta información de información y del mismo modo, se presenta una estructura para la visualización de mapas.

El capítulo 4 describe el diseño del sistema y sus dos etapas, la primera correspondiente a la adquisición de señales acústicas, en la cual se presenta la arquitectura general del sistema; y la segunda, la etapa de análisis y presentación de datos, en la cual se muestra como el usuario podrá solicitar la presentación de los datos y como se realizara la misma (gráficas y mapas de contaminación acústica).

En el capítulo 5 se presentan los algoritmos y métodos utilizados para las etapas mencionadas anteriormente, así como la implementación en software de los mismos.

En el capítulo 6 se muestra el caso de estudio realizado, se presenta la metodología utilizada para la realización de las mediciones, asimismo se presentan los resultados y mapas obtenidos.

Al final del documento se presentan las conclusiones generales, trabajos futuros y los anexos, que son códigos fuente, pantalla de configuración del sistema y mapas complementarios.

## **2 ESTADO DEL ARTE.**

En el presente capítulo se abordan las temáticas referentes a la medición y el análisis del ruido ambiental, una vista general de los sistemas de información geográfica y sus principales características y aplicaciones.

### **2.1 Introducción**

A pesar de que en la actualidad ha habido un auge en el estudio de los efectos nocivos que tiene sobre la salud y el bienestar de la gente el exponerse a excesivos niveles de ruido en el ambiente, se sabe que el ruido siempre ha sido un problema ambiental importante para el ser humano. En la antigua roma, existían normas para controlar el ruido emitido por las ruedas de hierro de los vagones que golpeaban las piedras del pavimento y perturbaban el sueño y molestaban a los romanos [10].

En mayor o menor cantidad todos estamos expuestos al ruido ya sea cuando nos encontramos en nuestros hogares, cuando paseamos por las calles de nuestras ciudades, cuando permanecemos en nuestros lugares de trabajo, cuando utilizamos algún vehículo de transporte, e incluso cuando disfrutamos de nuestro tiempo libre.

Las diferentes investigaciones realizadas por numerosos autores en todo el mundo han demostrado que la contaminación acústica afecta notablemente a la salud, calidad de vida y bienestar de las personas, produciendo una extensa serie de efectos fisiológicos y psicológicos de índole muy diversa, cuya importancia varía mucho con las condiciones concretas existentes en cada caso [11].

### **2.2 Sonido y ruido**

El sonido es un fenómeno físico que se propaga en un medio elástico a partir de una perturbación inicial y puede ser definido como cualquier variación de presión que el oído humano pueda detectar. El ruido es una combinación de sonidos no coordinados que originan una sensación desagradable.

El ruido se compone de una parte subjetiva, que es la molestia causada en la persona que lo percibe y una parte objetiva, que por lo tanto se puede cuantificar, la cual es el sonido [12].

La velocidad a la cual se propaga el ruido depende del medio (masa y elasticidad), es así como en el aire, el sonido se propaga aproximadamente a una velocidad de 340 m/s.

El rango audible promedio de una persona “saludable” va desde 20Hz hasta 20000 Hz (20 kHz). El umbral auditivo medio de una persona corresponde a 20  $\mu$ Pa. Una presión sonora de

aproximadamente 100 Pa es tan alta que causa dolor y por lo tanto es llamado umbral del dolor. Comparado con la presión estática del aire  $10^5$  Pa (Pascales), las variaciones de presión sonora audible son muy pequeñas, en un margen que puede ir desde los 20  $\mu$ Pa hasta 100 Pa.

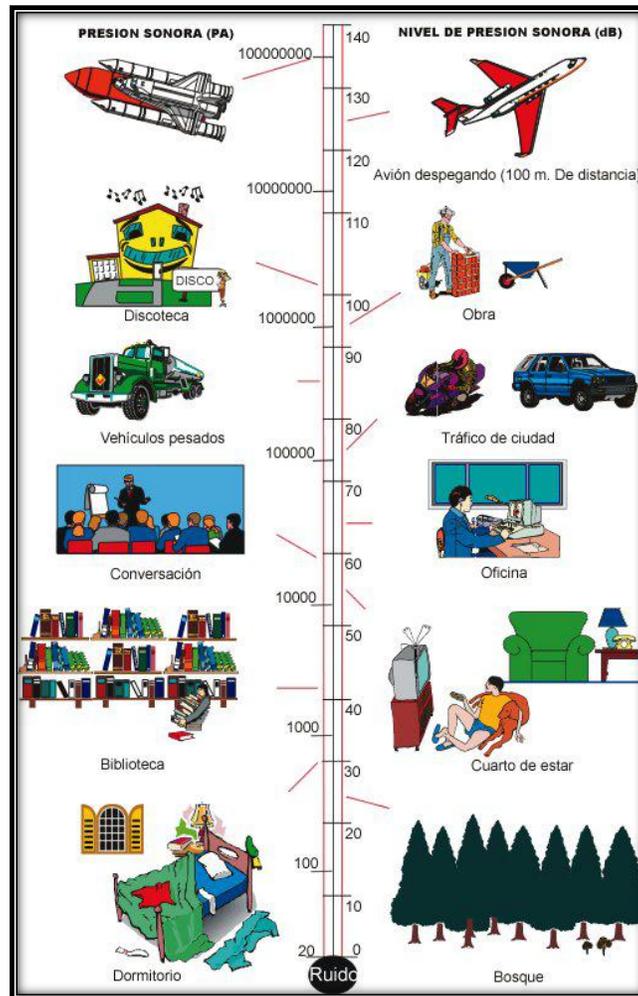


Figura 2.1: Relación entre NPS en dB - presión sonora (Pa).

Aplicar de forma directa las escalas en Pascales para la medición de la presión sonora no es viable y ya que el oído responde a los estímulos de forma similar a la logarítmica, más que de forma lineal, es más práctico expresar los parámetros acústicos como una relación logarítmica entre el valor medido respecto a un valor de referencia. Esta relación logarítmica se llama dB [13]. El nivel de presión sonora (L) el cual sus unidades son los decibeles se define con la siguiente expresión:

$$L_p = 20 \log_{10} \cdot \frac{\text{Presión de sonido medida}}{\text{Presión de referencia}} = 10 \log_{10} \cdot \frac{P^2}{P_0^2} \quad (2.1)$$

Donde  $P_0$  es el valor de referencia de la presión acústica que representa la menor presión acústica que el oído humano puede percibir, esto es  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa.

## 2.3 Propagación del ruido

Existen muchos factores importantes que se deben tener en cuenta cuando se habla de propagación del ruido, una parte importante es la distancia hasta la fuente de sonido y el tipo de fuente que emite el sonido, pero como se sabe, en mediciones y cálculos reales también existen otros factores que también afectan la propagación del sonido como son condiciones atmosféricas, las construcciones e incluso la vegetación [14]. En general, los factores principales que afectan la propagación del sonido son [13] [15] [16]:

### 2.3.1 Tipo de fuente

El tipo de fuente acústica se puede clasificar básicamente en dos tipos [13] [17] [18]:

- Fuente puntual: Una fuente de sonido se denomina puntual si:
  - Sus dimensiones son mucho más pequeñas que la distancia hacia el oyente.
  - Sus dimensiones son mucho menores que la longitud de onda más baja que puede radiar la fuente.
  - Si  $Ka \ll 1$ .  
Donde K: número de onda.  
a: diámetro de la fuente.

La intensidad de la fuente puntual se puede obtener mediante:

$$I = \frac{P^2}{\rho c} = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2.2)$$

Dónde:

- I: Intensidad acústica [ $W/m^2$ ]
- P: Presión sonora [ $N/m^2$ ]
- $\rho$ : Densidad del medio [ $kg/m^3$ ]
- c: Velocidad de propagación del sonido [ $m/s$ ]
- W: Potencia sonora [ $W$ ]
- r: Distancia entre la fuente y el punto de medición [ $m$ ]

En este tipo de fuentes el nivel acústico es el mismo en todos los puntos que se encuentren a una misma distancia de la fuente. Ejemplos de este tipo de fuentes son: un motor de un carro, una persona taladrando, etc.

- Fuente lineal: Cuando la fuente sonora presenta en una magnitud en una dimensión más grande que en las otras se conoce como fuente lineal. Debido a que el nivel acústico se propaga de manera cilíndrica, esto es, el nivel de presión sonora es el mismo en todos los puntos a una misma distancia de la línea (paralela a la línea de la fuente), también se le conoce como fuente cilíndrica.

La intensidad de la fuente puntual se puede obtener mediante:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2.3)$$

Ejemplos de este tipo de fuentes es una carretera o una tubería que lleva un fluido turbulento.

### 2.3.2 Distancia desde la fuente

Para una fuente puntual, existe una atenuación sonora de 6dB respecto al cuadrado de la distancia. Sea el nivel de potencia sonora  $L_w$ :

$$L_w = 10 \log_{10} \left( \frac{W}{W_0} \right) \quad (2.4)$$

Donde  $W_0$ : potencia de referencia, comúnmente igual a  $10^{-13}W$ .

El nivel de presión sonora de una fuente puntual a cierta distancia  $r$  en metros está dado por:

$$L_p = L_w - 20 \log_{10}(r) \frac{W}{W_0} - 8dB \quad (2.5)$$

En el caso de una fuente lineal, la atenuación es igual a 3db respecto al cuadrado de la distancia para una expansión cilíndrica de una fuente lineal infinita. Para fuentes lineales de tamaño finito hay un campo cercano donde lo anterior se cumple aproximadamente y un campo lejano donde la expansión se comporta más de una forma esférica. En general, el nivel de presión sonora para una fuente lineal a cualquier distancia  $r$ , está dado por:

$$L_p = L_w - 10 \log_{10}(r) \frac{W}{W_0} - 5dB \quad (2.6)$$

### 2.3.3 Absorción atmosférica

En un caso real, el medio de propagación del sonido no es homogéneo y por lo tanto, existe una pérdida exponencial de energía en forma de calor, asociada a la fricción entre las moléculas del

medio (aire). Esta atenuación es variable y está en función del clima en la zona medida. Esta disminución se obtiene de la siguiente forma:

$$L_{atm} = 20 \log_{10} e^{-\alpha \cdot x} \quad (2.7)$$

Dónde:

- $\alpha$ : constante de atenuación
- $x$ : distancia recorrida por la onda sonora

### 2.3.4 Viento

Otro parámetro fundamental, a considerar en la propagación del sonido en el aire, es la velocidad del viento que, por ser una magnitud vectorial, sus efectos pueden deberse a variaciones en el módulo, la dirección y el sentido.

La velocidad del viento, en ausencia de turbulencia, varía logaritmicamente entre 30 y 100m. Para alturas superiores, prácticamente no hay variación. Como la velocidad del viento aumenta con la altura, la curvatura de los rayos sonoros hace que se genere una zona de sombra en el lado donde el viento sopla. Este hecho explica que cueste escuchar una fuente acústica cuando el viento sopla en dirección contraria a la dirección del sonido. Por esta razón es que la medición se hace con el viento a favor.

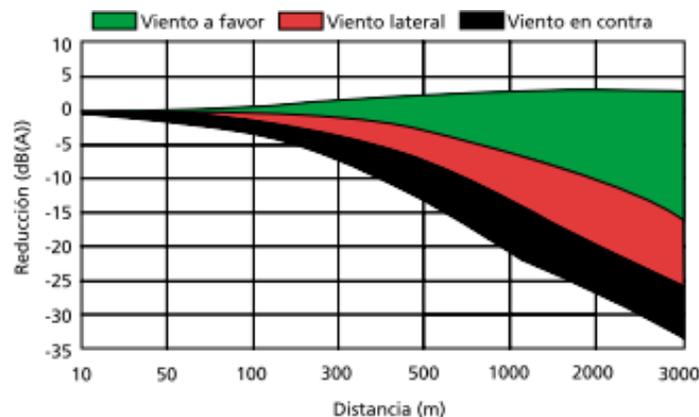


Figura 2.2. Reducción del ruido en dB con respecto a la distancia y con viento.

### 2.3.5 Temperatura y gradiente de temperatura

La velocidad del sonido en el aire depende de la relación entre la presión atmosférica y de la densidad específica del aire. A su vez, la densidad específica del aire está en función de la temperatura. A temperaturas ambientales usuales se puede suponer que la velocidad del sonido es aproximadamente:

$$c = 331.4 + 0.607 \cdot T \quad (2.8)$$

Donde T es la temperatura en °C.

Similar a lo que pasa con el viento, un efecto refracción resulta de los gradientes de temperatura. Esto es debido al cambio en la velocidad del sonido a distintas temperaturas. Este efecto se ilustra a continuación:

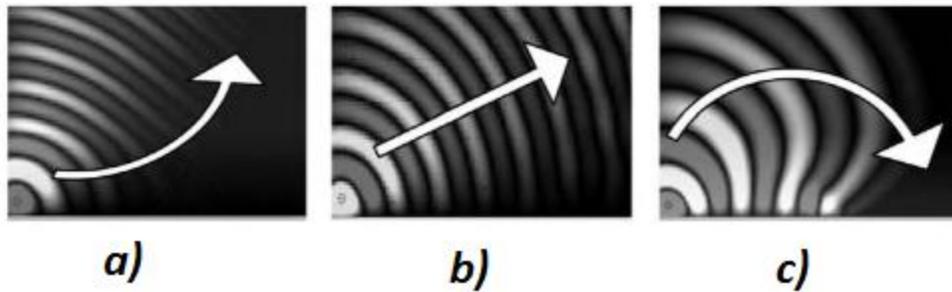


Figura 2.3. a) Gradiente de temperatura negativo, b) Sin gradiente de temperatura y c) Gradiente de temperatura positivo.

### 2.3.6 Obstáculos, tales como barreras y edificios

Existen factores que aumentan las pérdidas al interponerse en el camino de propagación del sonido, como son barreras, edificios, vegetación, etc. La atenuación es mayor aun si el obstáculo tiene al menos la altura suficiente para estorbar la línea de vista entre la fuente de sonido y el receptor.

### **2.3.7 Otros**

Existen más factores que afectan la propagación del sonido y que deben tomarse en cuenta como son:

- **Absorción del terreno:** Esta en función de la estructura y las características acústicas de la superficie. Se puede menospreciar a distancias aproximadas entre 30-70 metros, a mayores distancia se puede expresar en términos de dB/100 metros.
- **Reflexiones:** Al impactar una onda sobre una superficie, parte de la onda se refleja y parte se trasmite y una parte se absorbe. El nivel de presión sonora obtenido en el receptor se debe tanto a la emisión directa de la fuente como a las ondas reflejadas.
- **Humedad:** La humedad relativa del aire causa absorciones dependientes de la frecuencia debido a la relajación térmica molecular. La atenuación incrementa monofónicamente con la frecuencia.

## **2.4 Efectos nocivos en la salud causados por el ruido ambiental**

El comportamiento del oído humano, como ya se mencionó anteriormente, es similar a una función logarítmica. Un oído humano sano, es capaz de captar sonidos que van desde 0db a 120db. Este último nivel de ruido marca lo que se conoce como "umbral del dolor", este umbral nos indica que a niveles mayores se pueden producir daños físicos inmediatos como podría ser incluso hasta la ruptura del tímpano.

En un plano general, los efectos nocivos causados por el ruido se pueden clasificar básicamente en dos tipos [12]:

- **Efectos auditivos:** La consecuencia de la exposición al ruido es la pérdida total o parcial de la audición.
- **Efectos no auditivos:** Estos efectos pueden ser alteraciones psicológicas o fisiológicas que son generadas por el ruido como un agente estresante.

## **2.5 Monitoreo del ruido ambiental**

El monitoreo del ruido ambiental se puede hacer principalmente de dos maneras:

- **Monitoreo permanente:** se debe realizar como su nombre lo indica permanentemente en el lugar de análisis. Este tipo de monitoreo ayuda al control del cumplimiento de los

límites de ruido que están establecidos en las legislaciones de cada entidad, también pueden ser útiles para realizar mapas de ruido o para mostrar las tendencias del ruido en ese punto

- **Monitoreo no permanente:** Se caracteriza por que las mediciones no son realizadas continuamente durante todo un día. Comúnmente son mediciones aisladas que se realizan mediante un sonómetro o algún sistema que contenga un sensor de presión acústica. Estas mediciones son usadas frecuentemente para el control con base en las normas establecidas; con estas, se ubican los puntos de mayor emisión sonora alrededor de cierta fuente sonora. Usualmente este control es producto de alguna denuncia ciudadana. Este tipo de monitoreo es el que se utilizara en este proyecto.

## **2.6 Principales parámetros indicadores de nivel de ruido**

En general existen 3 parámetros básicos que se pueden medir [19]:

- El primero es la intensidad, cuyo nivel se mide en los ya mencionados decibeles. La intensidad de un sonido depende de la potencia de la fuente sonora, de la dirección en la cual se propaga y de la distancia entre el aparato que capta el sonido y la fuente del mismo.
- El segundo es la frecuencia o el número de oscilaciones emitidas durante un segundo por la fuente de sonido de que se trate.
- El tercero es la duración, esta se refiere a la variación de sonido en el tiempo. Esta a su vez puede ser clasificado en 3 tipos:
  - **Continuo:** El ruido continuo es producido por una fuente de ruido que genera el mismo de manera ininterrumpida. Para determinar el nivel de ruido es suficiente medir durante unos pocos minutos con un equipo manual.
  - **Fluctuante:** La fuente de ruido genera el mismo de tal manera que el nivel de ruido aumenta y disminuye rápidamente. Para cada ciclo de una fuente de ruido fluctuante, el nivel de ruido puede medirse simplemente como un ruido continuo.
  - **Impacto:** Es breve y abrupto, y su efecto inesperado causa mayor molestia. Para cuantificar el impulso del ruido, se puede utilizar la diferencia entre un parámetro con respuesta rápida y uno de respuesta lenta.

## 2.6.1 Pre procesamiento

El oído humano responde de distinta manera sonidos de distinta frecuencia, esto implica que para un mismo nivel de presión sonora, un ruido podría ser percibido como más molesto si es que el mismo contiene una mayor proporción de altas frecuencias. Basándose en las curvas de isosonoridad del oído humano se han definido una serie de filtros que ponderan la señal que percibe el micrófono para tener una respuesta más de acuerdo con la sensibilidad del oído.

### 2.6.1.1 Ponderación en frecuencia

Los filtros de ponderación actúan de manera que los niveles de presión de cada banda de frecuencia son corregidos en función de la frecuencia según unas curvas de ponderación. Con este criterio se han definido varios filtros, siendo los más conocidos los denominados A, B, C y D [20].

La ponderación de frecuencias más común en la actualidad es la “ponderación A”, que se ajusta aproximadamente a la respuesta del oído humano y que proporciona unos resultados expresados como dB(A).

La curva de ponderación C es utilizada, particularmente cuando se evalúan sonidos muy intensos o de frecuencia muy baja.

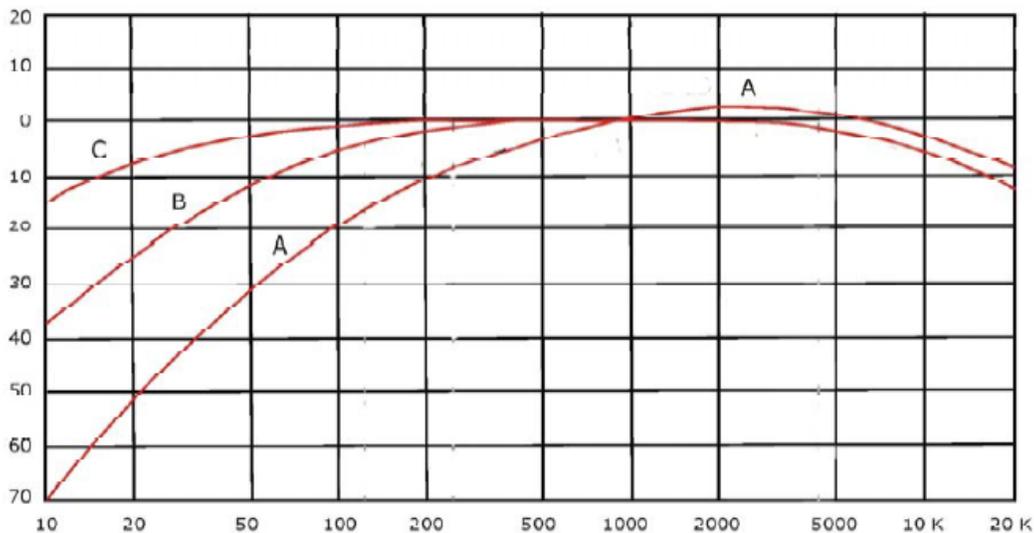


Figura 2.4. Curvas de ponderación más comúnmente utilizadas

## 2.6.2 Análisis estadístico del ruido

Adicionalmente a los parámetros medibles que se mencionaron anteriormente, existen muchos otros índices para describir el ruido, atendiendo también el tipo de ruido que se esté tratando, ya sea ruido ocasionado por tránsito en una carretera o el ruido de un avión, etc. La exposición al

ruido en distintos periodos de tiempo como puede ser en la mañana, en la tarde o en la noche requiere de una caracterización distinta [21].

### 2.6.2.1 Nivel de ruido estadístico

$L_n$  es el nivel de ruido excedido por  $n$  por ciento del periodo específico de medición, es decir, si se realizan  $n$  medidas de niveles de presión sonora en un periodo de tiempo  $T$  con un intervalo de tiempo dado y éstas son ordenadas en orden ascendente, entonces  $L_n$  es el  $(100n / N)$  nivel de presión sonora en el orden. Por convención,  $L_1, L_{10}, L_{50}$  y  $L_{90}$  se usan para dar indicadores de los niveles máximo, intrusivo, media y nivel de fondo respectivamente [21].

### 2.6.2.2 Nivel de presión sonora continuo equivalente

En las mediciones de ruido ambiental se pueden presentar comúnmente amplias variaciones en los niveles medidos con respecto al tiempo. Para realizar estas mediciones se utiliza el nivel de presión sonora continuo equivalente o  $L_{eq}$  y en caso de utilizar la curva de ponderación A al realizar las mediciones y antes del cálculo de  $L_{eq}$  sería  $L_{Aeq}$ .

El  $L_{eq}$  representa el nivel sonoro que hubiera sido producido por una fuente constante y que tendría la misma energía del ruido real medido [22]. El cálculo del  $L_{eq}$  se realiza mediante la ecuación siguiente:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2}{P_0^2} dt \right] \quad (2.9)$$

Dónde:

- T: Duración de la medición
- P: Presión sonora (Pa)
- $P_0$ : Presión de referencia

Si se utiliza la curva de ponderación A entonces  $L_{Aeq}$  tendrá unidades en dBA.

En la práctica, al realizarse las mediciones en tiempos  $t_i$  constantes la ecuación 2.2 se puede discretizar y queda de la forma siguiente [20] [22]:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \right) \sum 10^{L_i/10} \cdot t_i \quad (2.10)$$

Dónde:

- T: Tiempo de exposición
- $L_i$ : Nivel de presión sonora constante en el intervalo  $i$
- $t_i$ : Tiempo del intervalo  $i$  correspondiente al nivel  $L_i$

Otras medidas importantes que se pueden usar en conjunto con el  $L_{eq}$  son el nivel máximo o  $L_{max}$ , que nos marca el nivel sonoro más alto registrado durante un período de medición, y el nivel mínimo ( $L_{min}$ ), el cual nos indica el menor nivel registrado durante un intervalo de medición [23].

### 2.6.2.3 Nivel equivalente día-noche ( $L_{dn}$ ) y día-tarde-noche ( $L_{den}$ )

En general, el ruido es más tolerado durante el día, un poco menor en la tarde-noche, y mucho menos en el periodo nocturno [20]. Para poder tomar en cuenta estas variaciones en cuanto a la molestia generada, se utilizan múltiples indicadores en lugar de uno solo. En la mayoría de las reglamentaciones se utilizan dos índices para la evaluación del ruido ponderando el periodo en el cual se evalúa, estos son los niveles de  $L_{eq}$ : día y noche. En muchas ocasiones estos índices se complementa con el nivel sonoro día-tarde-noche.

El  $L_{dn}$  se define como:

$$L_{dn} = 10 \log_{10} \left( \frac{15 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 9 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}}}{24} \right) \quad (2.11)$$

Dónde [1] [24]:

- $L_{day}$  = Nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A. Determinado a lo largo de los periodos diurnos del año.
- $L_{night}$  = Nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A. Determinado a lo largo de los periodos nocturnos del año.

En general los periodos de referencia son: diurno desde las 7hrs a las 22hrs y nocturno desde las 22hrs a las 7hrs, este último es el que se pondera con un valor de 10.

El  $L_{den}$  se define como:

$$L_{den} = 10 \log_{10} \left( \frac{12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+3}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}}}{24} \right) \quad (2.12)$$

Dónde [1] [24]:

- $L_{day}$  = Nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A. Determinado a lo largo de los periodos diurnos del año.
-

- $L_{evening}$  = Nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A. Determinado a lo largo de los periodos vespertinos del año.
- 
- $L_{night}$  = Nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A. Determinado a lo largo de los periodos nocturnos del año.

En general los periodos de referencia son: diurno desde las 7hrs a las 19hrs., tarde de las 19hrs a las 22hrs. ponderado con un factor de 3 y nocturno de las 22hrs a las 7hrs ponderado con un factor de 10.

### 2.6.3 Análisis espectral

El análisis espectral consiste en conocer los niveles de presión sonora para cada frecuencia audible. El nivel de presión sonora total es la suma de los niveles de cada una de las bandas.

#### 2.6.3.1 Transformada rápida de Fourier (FFT)

La transformada discreta de Fourier (DFT) es una herramienta que se compone de una secuencia de muestras, uniformemente espaciadas en frecuencia. La DFT es una herramienta poderosa en el procesamiento digital de señales en virtud del hecho que existen algoritmos eficientes para su cálculo computacional como los son los FFT [25].

La FFT nos permite encontrar, de manera eficiente, las componentes en frecuencia del ruido para así poder hacer el análisis en el dominio de la frecuencia.

#### 2.6.3.2 Análisis en bandas de octava

Para hacer más simple el análisis de las señales de ruido en el dominio de la frecuencia, el rango de frecuencias audible se divide en bandas continuas. El nombre de octava se deriva del hecho de que una de estas divisiones abarca ocho notas de la escala daltónica musical.

Las frecuencias que forma una banda en el análisis de octavas, al ser constituidos por filtros pasa banda, constan de una frecuencia inferior  $f_1$  y una superior  $f_2$ . Las bandas de octavas de estas 2 frecuencias se eligen de forma que la superior sea el doble que la inferior:

$$f_2 = 2f_1 \quad (2.13)$$

Es así que la media geométrica de las frecuencias 1 y 2 es la frecuencia central de la banda:

$$f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \quad (2.14)$$

Cabe señalar que las frecuencias centrales ya están definidas y a partir de eso, es posible calcular las frecuencias extremas [26].

**Tabla 2.1. Frecuencia inferior y superior de cada banda de octava.**

Frecuencia Inferior (Hz)	Frecuencia Central (Hz)	Frecuencia Superior (Hz)
11	16	22
22	31.5	44
44	63	88
88	125	176
176	250	353
353	500	707
707	1000	1414
1414	2000	2828
2828	4000	5656
5656	8000	11313
11313	16000	22627

### 2.6.3.3 Análisis en bandas de tercio de octava

Es la banda de frecuencia que se obtiene dividiendo cada banda de octava en tres nuevos intervalos. Es decir, sea  $f_1$  la frecuencia inferior y  $f_2$  la superior, como se mencionó anteriormente, la relación entre ellas es  $f_2 = \sqrt[3]{2f_1}$ . También está definida por el valor central de la banda [27].

## 2.7 Sistemas de Información Geográfica (GIS)

Un sistema de información geográfica (GIS por sus siglas en inglés), es un tipo especial de sistema de información que permite capturar, modelar, manipular, recuperar, analizar y presentar información geográficamente referenciada. Una aplicación GIS incluye el hardware, los datos el software y la gente que es necesaria para resolver un problema en el cual está involucrada información geográfica [28] [29].

El estudio de los GIS ha emergido en la última década como un esfuerzo multidisciplinario que abarca áreas como geografía, cartografía, procesamiento de imágenes, ciencias ambientales y ciencias computacionales

Los GIS se basan principalmente en la representación de la ubicación de lo que se desea referenciar y se utilizan para generar mapas. Un mapa es una representación gráfica simplificada de una parte de un territorio, estos comúnmente tienen propiedades métricas por lo cual pueden ser útiles para distintas aplicaciones que requieran por ejemplo la medición de distancias, ángulos, etc.

Los tipos de mapas afectan en cómo y qué se representa, las categorías más generales son [30] [31]:

- Referencia general: En ellos se puede ver como objetos específicos se relacionan con otros, generalmente el usuario observa donde una característica específica está localizada en relación con otra. Comúnmente se usa para mostrar las características generales de la superficie como son ríos, elevaciones, vegetación, carreteras, edificios, etc.
- Temático: Muestra una distribución, donde el usuario generalmente desea observar un patrón. En sentido general en este tipo se incluyen mapas de clima, de ruido ambiental, de división política, de vegetación, etc.

## 2.7.1 Representación digital de mapas

Existen principalmente dos formas de representar la información espacial en los sistemas de cómputo, estas son: datos *raster* y datos vectoriales.

### 2.7.1.1 Datos *raster*

La representación *raster* divide el área del mapa en una cuadrícula (matriz) de celdas (comúnmente denominados píxeles), se guarda un valor en cada celda o pixel para representar lo que se encuentre presente en esa parte del área que se está representando. La representación de información *raster* se puede pensar como una matriz de valores.

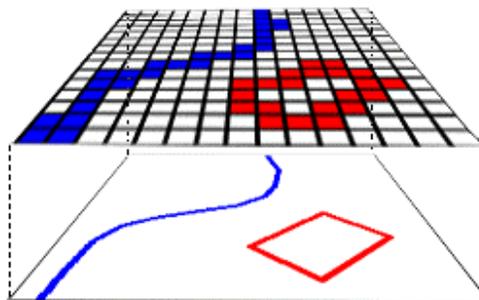


Figura 2.5. Ejemplo de representación *raster*

Existe una representación tridimensional de los datos *raster* el cual es un arreglo tridimensional donde cada celda 3-dimensional se llama *voxel*. Los datos *raster* son capaces de representar un amplio rango de objetos espaciales computables. Por ejemplo, un punto puede ser representado por una sola celda o pixel, un arco por una secuencia continua de celdas, etc. La utilización de *rasters* es manejada de manera muy natural por las computadoras ya que la mayoría de los lenguajes de programación permite el manejo de arreglos. Una de las desventajas del uso de estos mapas es que si no se hace algún tipo de compresión de los mismos pueden llegar a utilizar mucho espacio de almacenamiento [28].

### 2.7.1.2 Datos vectoriales

El otro paradigma común de la representación de información espacial es el formato vectorial, en el cual, las características son guardadas de una en una, las formas son definidas por valores de pares ordenados  $x, y$ .

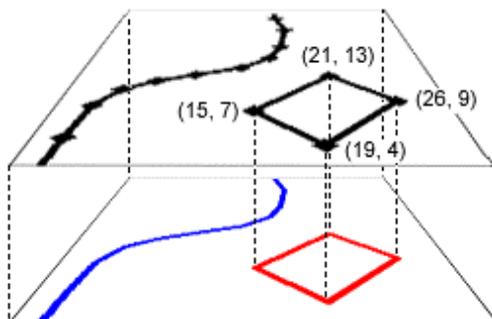


Figura 2.6. Representación vectorial.

Los vectores son una representación apropiada para un amplio rango de información espacial. Un punto es representado como una sola coordenada. Una línea es representada por una secuencia de pares ordenados representando los puntos por donde la línea es trazada, cabe señalar que una línea recta solo se representaría por dos pares ordenados uno que marca el inicio y el otro el final de la misma, una área es definida de manera similar a las líneas pero con la condición que el primer punto y el último coincidan.

La información vectorial se puede pensar como una lista de valores. Una representación vectorial puede almacenar información contextual adicional (atributos).

Haciendo una comparación entre ambos tipos se puede decir que los 2 son muy útiles, pero existen diferencias importantes como son [32]:

- El vectorial ocupa relativamente menor espacio en disco que el *raster*
- El vectorial es más veloz para su manipulación.
- El *raster* indica información de una manera más agradable a la vista e inherentemente guarda como deben verse las características en el *GIS*.

Algo que recalcar en cuanto a los 2 tipos de mapas es que en el tipo *raster* en cuanto más se hacen acercamientos en el mapa más se van notando los píxeles, lo cual no pasa en el vectorial, ya que los datos vectoriales son más como una línea unida entre 2 puntos.

Existen algunos problemas en la representación de los datos de las variables que se desean modelar en un GIS. Algunos de los problemas en los GIS:

- Espacio vs lugar: La noción de un lugar en constante cambio social, ha demostrado ser difícil de describir digitalmente salvo, quizá, a través de la fotografía y el cine.
- Aislamiento: Cuales son los objetos de interés y si es factible su análisis individual.
- Descripción: Los objetos de interés, ya sean áreas o personas, es imposible hacer una descripción nítida. En un sentido más técnico se suele decir que son difusos y si son regiones en la tierra, como por ejemplo el centro de la ciudad, tienen límites inciertos.
- Temporalidad y cambio: Los datos geográficos digitales son usualmente descripciones estáticas y la tecnología no ha encontrado como representar la dinámica de forma adecuada.

## **2.7.2 Elementos generales de un mapa**

Como ya se mencionó en el apartado 2.4, un mapa no es más que una representación de una parte de un territorio, no es posible ni tiene mucho sentido representar la tierra y sus características en tamaño real. Al realizar un mapa existen muchos puntos que se deben tomar en cuenta como son la escala, la proyección cartográfica, la generalización, el sistema de coordenadas, etc.

### **2.7.2.1 Escala**

Un mapa es un modelo a escala de la tierra, esto es, existe una relación matemática entre las dimensiones de la tierra y las del mapa, una unidad en el mapa representa muchas veces ese valor en la tierra. Por ejemplo: Una escala 1:5000, significa que un cm del mapa en el mundo real equivale a 5000 cm o 50 m.

La escala es muy importante en la selección de las fuentes de datos, debido a que un mapa que se encuentre a cierta escala no se visualizará correctamente si ésta se varía, ya que dependiendo si se aumenta la escala, el mapa se verá menos detallado o si se disminuye la escala se verá muy poblado o tardara mucho en su visualización [33].

### **2.7.2.2 Generalización**

La generalización es un concepto principal en el diseño de mapas. Un mapa es en sí una abstracción simplificada y generalizada de la realidad.

Como se menciona en [34] [35] [36] la generalización esta intencionada en remover los detalles innecesarios, es una selección de lo principal, de acuerdo al objetivo del nuevo mapa y a su escala. Es necesario realizar una selección y una simplificación de las entidades geográficas para que el usuario final comprenda perfectamente lo que se desea representar con el mapa.

### 2.7.2.3 Proyección Cartográfica

Una proyección cartográfica es una representación de la superficie de la tierra en un plano. Debido a que la proyección implica transformar la superficie tridimensional de la tierra en una superficie en 2 dimensiones como lo es un mapa o plano, es imposible que no exista una distorsión en alguna o todas las características como son el área, ángulos, distancia o dirección.

Es imposible decir que existe una proyección que sea la mejor en general, entonces, para la realización de un mapa es necesario saber cuáles de las características anteriores son más importantes y en base a ello seleccionar el tipo de proyección a utilizar en el mapa.

Algunas proyecciones cartográficas se muestran a continuación:

- Proyección cilíndrica: Esta proyección involucra envolver el globo terráqueo en un plano enrollado de forma cilíndrica, con esta proyección se cubre todo el globo pero se observa una gran distorsión en la parte de arriba y abajo del mapa.
- Proyección cónica: En esta proyección se envuelve el globo terráqueo con un plano enrollado en forma de cono.
- Proyección plana: El plano está completamente recto y es como si una hoja de papel tocara la tierra en un punto.

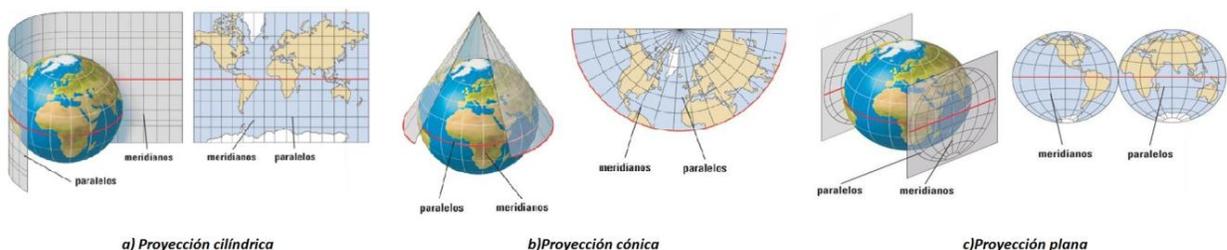


Figura 2.7. Proyecciones cartográficas

### 2.7.3 Herramientas para el diseño de GIS

En el mercado existen distintas herramientas GIS que van desde software de escritorio básico hasta herramientas que nos permiten desarrollar aplicaciones propias, en especial en el software de código abierto, existe una amplia variedad de productos que llenan cada nivel de la infraestructura de datos espaciales OpenGIS (OGC) [37].

El OGC (Open Geospatial Consortium) es un consorcio internacional sin fines de lucro que trabaja para hacer la información geográfica una parte integral de los sistemas de todo tipo. EL OGC desarrolla estándares para el procesamiento e intercambio de datos geográficos entre diferentes plataformas GIS.

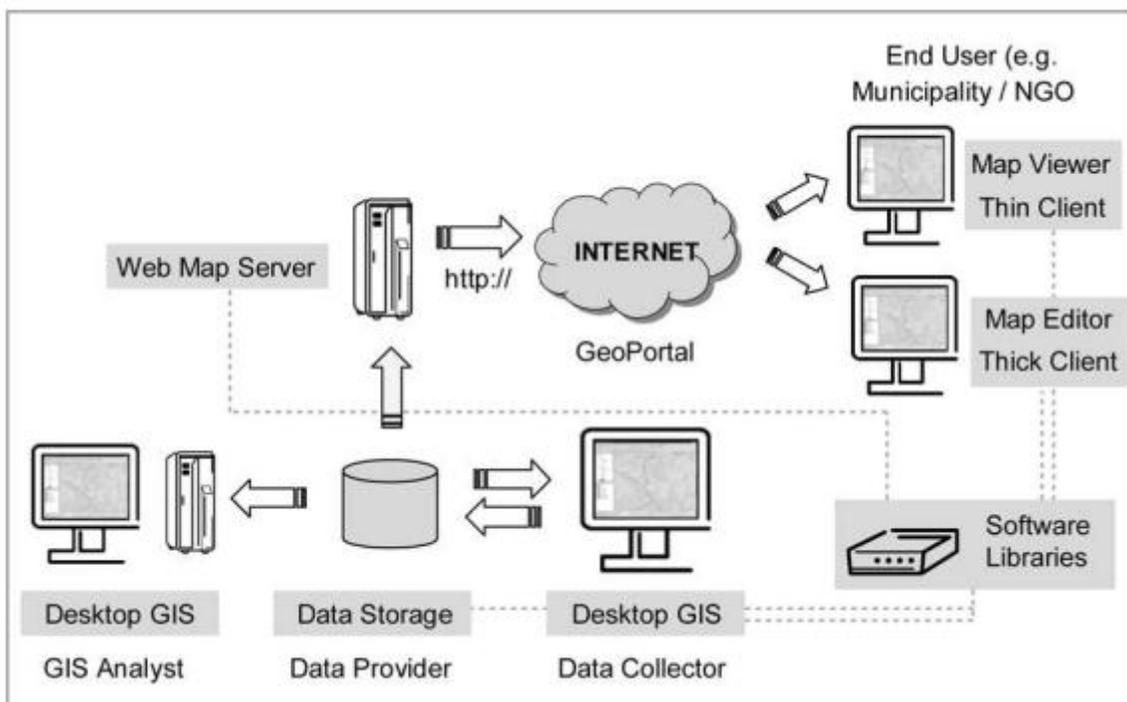


Figura 2.8. Tipos de software usado en una Infraestructura de datos espaciales.

El uso de software de código abierto nos puede brindar una alternativa completa al software propietario en la mayoría de los sistemas. Ejemplos de herramientas de escritorio de código abierto son QuantumGIS, gvSIG, GRASS [38] [39].

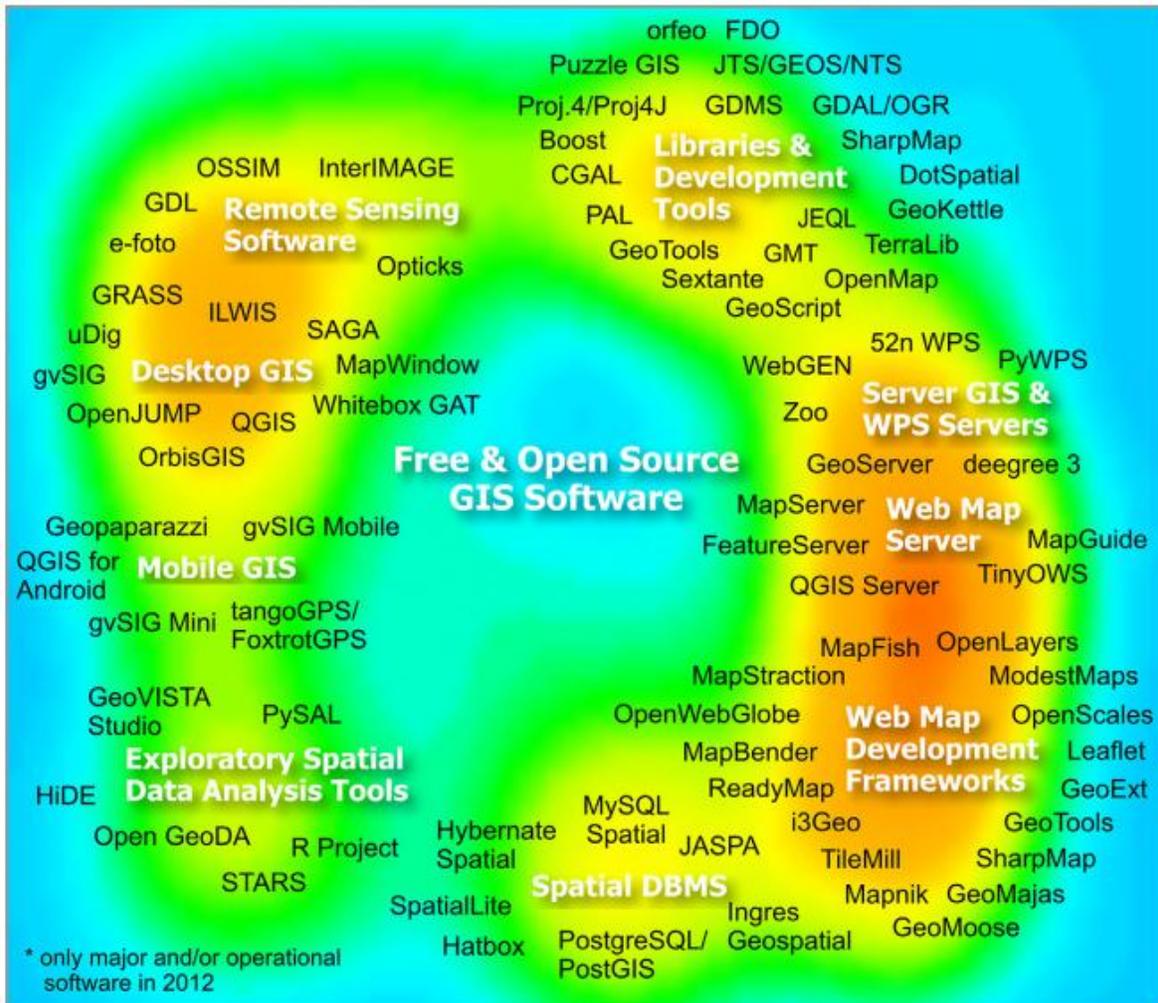


Figura 2.9. Mapa de software GIS de código abierto [40].

Como se mencionó anteriormente, existen también herramientas para el desarrollo de GIS de escritorio, ejemplo de ellas son [41]:

- OGR/GDAL: Es una biblioteca implementada en C++, GDAL brinda una biblioteca abstracta para datos *raster* y módulos para leer y escribir varios formatos *raster*; OGR brinda una biblioteca abstracta para datos vectoriales y módulos para lectura y escritura de formatos vectoriales.
- GeoTools: Es un conjunto de herramientas implementadas en Java, tiene una arquitectura modular que permite agregar o remover funcionalidad extra de una manera muy sencilla. El objetivo de GeoTools es el desarrollo de un conjunto básico de objetos Java que facilite a otros implementar servicios compatibles con estándares del OGC, ya sea del lado del servidor o aplicaciones de escritorio o applets.

Existen también muchas herramientas que ayudan en la construcción de GIS enfocados a soluciones web, ejemplo de ellas son:

- PostGIS: Añade la capacidad de manejar bases de datos espaciales a las bases de datos objeto-relacionales de PostgreSQL. La fuerza de PostGIS radica en que se ha convertido en el estándar en cuanto a bases espaciales para todos las herramientas GIS de código abierto.

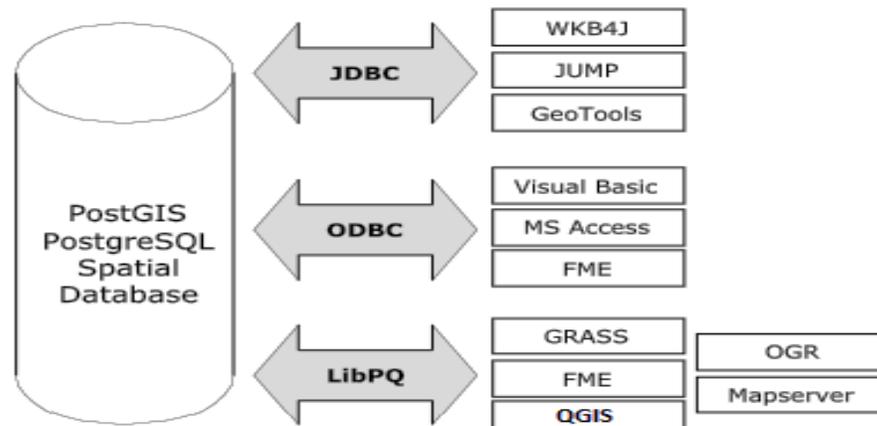


Figura 2.10. Integración de PostGIS con software de código abierto.

- MapServer: Fue originalmente desarrollado por la Universidad de Minnesota en 1994. MapServer es un programa CGI (Common Gateway Interface), por lo cual la interfaz de usuario y las funciones de mapas son limitadas en comparación con servidores de mapas más actuales.
- GeoServer: Es una implementación en Java de las especificaciones de servicios web de OGC, Web Map Server (WMS) y Web Feature Server (WFS), aunado a esto, GeoServer incluye soporte para KML, *tiled-map*, y administración y configuración vía web.
- OpenLayers: Es una biblioteca del lado del cliente basada en JavaScript para integrar mapas en páginas web. La implementación de OpenLayers nos brinda como resultado un mapa con paneo continuo y niveles de zoom discretos. OpenLayers inicio como un simple visualizador, pero con el soporte de múltiples fuentes de mapas de servicios de internet como son Microsoft, Google Maps, Yahoo Maps, etc. Desde entonces, se han añadido algunos estándares para digitalizar y editar datos vectoriales enfrente de los datos de mapas antes mencionados.

## **2.8 Mapas de ruido**

Los mapas de ruido son un instrumento que nos permite conocer y caracterizar en determinadas condiciones ambientales, temporales y de actividad, el grado de contaminación acústica en un área específica de estudio. [42] [43]. Los mapas estratégicos de ruido permiten evaluar globalmente la exposición al ruido o realizar predicciones globales en una zona determinada [44].

El uso que se le da a los mapas de ruido es muy variado y va desde solo informar a la comunidad la situación acústica de su zona de residencia hasta tomar decisiones para establecer niveles máximos de ruido.

En general, el uso de los mapas de ruido es [45]:

- Cuantificar las principales fuentes de ruido.
- Ilustrar claramente la exposición al ruido ambiental para brindar una referencia a los límites establecidos.
- Facilitar el desarrollo de políticas para controlar y/o reforzar el control del ruido.
- Elaboración de un plan de costo-beneficio para ayudar a los distritos que desean reducir sus niveles de ruido.
- Obtener información para examinar el efecto de planes de mejoramiento ambiental.
- Mejorarla ejecución de planes regionales o nacionales para disminuir nuevas fuentes de ruido así como proteger áreas con sensibles al ruido o que requieren tranquilidad.
- Vigilar las tendencias de cambio de ruido ambiental.
- Proporcionar una plataforma de investigación para el estudio de los efectos del ruido en los seres vivos.

### **2.8.1 Métodos para la elaboración de mapas de ruido**

Para la elaboración de un mapa de ruido es necesario tomar en cuenta que no todos los lugares son iguales, en cada punto de interés existen factores y necesidades distintas como son el flujo de tráfico o la distribución de la población o viviendas. Es necesario disponer de muchos datos de entrada considerando los factores que influyen en las mediciones para producir un mapa de ruido que refleje la realidad en la zona de análisis.

Básicamente existen 3 métodos utilizados para la creación de los mapas de ruido [46] [47]:

- Métodos de medición.
- Métodos de simulación.
- Métodos con técnicas de simulación, validando los resultados mediante medidas experimentales (mixto).

### **2.8.1.1 Métodos basados en mediciones**

Este método consta en realizar mediciones *in situ*, con las cuales se estiman los valores desconocidos mediante el uso de distintos métodos de interpolación. En la actualidad dos de los métodos más usados son Kriging e IDW (Inverse Distance Weighting) que se basan en la autocorrelación espacial de los puntos para la predicción y generación de superficies continuas [43].

Existen básicamente tres formas para hacer la selección de puntos de medición [48]:

- Método de grillas: La selección en este método se hace dividiendo la zona de estudio en una cuadrícula, los puntos corresponden al centro de cada cuadro o bien a los vértices. El tamaño o resolución de la cuadrícula depende de la escala y de la precisión necesaria para la creación del mapa. También se puede ver afectado por los recursos financieros ya que al hacer mayor número de mediciones se requiere más trabajo y por lo tanto mayores recursos [47].
- Método de vías: Este método consiste en realizar mediciones directamente sobre las vías en circulación, estas vías se seleccionan previamente de acuerdo a distintos criterios como puede ser ambientales, urbanísticos, tránsito vehicular, etc.
- Método distributivo: Consiste en dividir el área de estudio en sectores, al igual que en el método anterior, basándose en distintos criterios como son urbanísticos, geomorfológicos, poblacionales, etc.

La mayoría de los métodos de interpolación no contemplan la manera como se propaga el sonido ni los fenómenos acústico (absorción, reflexión, difracción y atenuación) generados por edificaciones y demás objetos existentes en el entorno, por lo que la representación de los niveles de presión sonora obtenidos solo con los valores medidos y la interpolación presenta en la mayoría de los casos mucha variación con respecto a lo que sucede realmente *in situ*.

Un ejemplo de este tipo de técnica para la creación de mapas es usado en [49] [50].

### **2.8.1.2 Métodos basados en simulación**

Actualmente se utilizan técnicas de simulación basadas en el cálculo, que acortan la duración del proceso de obtención de datos y abaratan su costo.

Para la obtención de los niveles de ruido por simulación existen diferentes métodos y cálculos matemáticos que han sido desarrollados en los diferentes países durante los últimos años y que se han ido estableciendo en estándares internacionales.

Según se menciona en [24] es necesario evaluar la incertidumbre asociada a los distintos factores que influyen en la propagación del sonido, la cuales depende los siguientes factores:

- La fuente de sonido.
- El intervalo de tiempo que dura la medida.
- Las condiciones meteorológicas y del suelo.
- La distancia entre la fuente y el receptor.
- El método de medida.
- La instrumentación utilizada.
- El ruido residual.

Estos métodos de simulación son posibles gracias al aumento de la capacidad de los sistemas de cómputo, a la estandarización internacional de las diferentes formas en que una fuente puede generar un sonido, al entendimiento de los efectos de la propagación del sonido por los diferentes medios y materiales y a la estandarización de los modelos de cálculo.

### **2.8.1.3 Métodos mixtos**

Los métodos mixtos utilizan técnicas de simulación para la creación del mapa y mediante medición in situ se corrobora la veracidad de los cálculos hechos en la simulación.

## **2.9 Conclusiones**

El ruido ha sido en tiempos modernos un problema de contaminación que ha ido en aumento, los efectos adversos que trae consigo la exposición al ruido pueden ser fisiológicos, como la pérdida de la capacidad auditiva, y psicológicos, como puede ser el estrés. Debido a esto en México y en el mundo se han ido tomando medidas para la evaluación y control de las emisiones de ruido. En nuestro país existen Normas Oficiales Mexicanas en materia de ruido, ejemplo de alguna de ellas se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 2.2. Normatividad Mexicana en materia de ruido ambiental.**

Norma	Resumen
NOM-079-SEMARNAT-1994	Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores nuevos en planta y su método de medición
NOM-080-SEMARNAT-1994	Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores en circulación y su método de medición
NOM-081-SEMARNAT-1994	Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición
NOM-082-SEMARNAT-1994	Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta y su método de medición
NOM-036-SCT3-2000	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido producido por las aeronaves de reacción subsónicas propulsadas por hélice, supersónicas y helicópteros, así como su método de medición
NOM-AA-40-1976	Clasificación de Ruidos
NOM-AA-62-1979	Determinación de los Niveles de ruido Ambiental

El contenido de las normas trata principalmente de los requisitos que deben ser cumplidos por los instrumentos de medición, la forma en que se debe medir el ruido en función del tipo de fuente emisora y los límites permisibles de ruido.

En México se han hecho esfuerzos por hacer un monitoreo del ruido ambiental, un ejemplo de monitoreo permanente es el “SISTEMA DISTRIBUIDO DE MONITOREO PERMANENTE DE RUIDOS AMBIENTALES EN PUNTOS CRÍTICOS DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO” realizado por investigadores del CIC-IPN el cual consta de 10 puntos de medición colocados en puntos críticos del Centro Histórico de la ciudad de México [51].

Otro ejemplo de trabajos realizados en el país en esta materia es el mapa realizado en la Zona Metropolitana del Valle de México [52], el cual es del tipo mixto, se utilizan datos cartográficos y de aforo vehicular para el cálculo y la simulación así como 10 puntos de monitoreo piloto para corroborar los datos.

Los mapas de ruido realizados con mediciones reales apegadas a las normas son un buen ejemplo de herramientas que nos brindan la posibilidad de elaborar una evaluación rápida en una zona donde se presente contaminación acústica.

### 3 MARCO TEÓRICO.

En el presente capítulo se presentan los fundamentos teóricos que servirán como base para el diseño del sistema, se aborda la temática del posicionamiento y la obtención de coordenadas mediante un módulo GPS, las partes necesarias para la adquisición de señales acústicas y lo relacionado con la visualización de los mapas.

#### 3.1 Posicionamiento

El Sistema de Posicionamiento Global es un sistema que consta de 24 satélites y estaciones de control en tierra, los cuales envían señales de radio globalmente, con estas señales y al poseer un receptor GPS, es posible conocer la ubicación del “usuario”.

El receptor GPS es el encargado de procesar las señales que recibe de los satélites para así poder calcular las coordenadas que nos indican la ubicación. Los receptores GPS modernos, tienen capacidad de conectar simultáneamente con hasta 12 canales, con lo cual se mejora la precisión.

Existe un tipo de corrección llamada diferencial (DGPS), con la cual la precisión puede llegar a ser menor a 1m, siendo esto muy útil para navegación o aplicaciones de rastreo.

La información de posición, altitud, velocidad, tiempo, que brinda el receptor *GPS* al usuario puede ser controlada mediante distintos protocolos estandarizados como son NMEA 0183 (National Marine Electronics Association), TSIP (Trimble Standard Interface Protocol), etc [53].

Actualmente existen otras opciones al *GPS* como son:

**GLONASS:** Es un sistema de posicionamiento satelital operado por la milicia Rusa el cual es diferente al GPS en términos del segmento de control, el segmento espacial y la estructura de la señal. Consta de una constelación de 31 satélites. El cálculo de posición única tiene una precisión de 10 a 100 metros usando GLONASS, el receptor toma mediciones de tiempo de llegada usando códigos identificables a 4 satélites sumándosele la posición de las coordenadas X, Y y Z; sumándole un aceptable error del reloj.

**Galileo:** Es un sistema de navegación satelital desarrollado por la Unión Europea. El sistema Galileo colocó en órbita en octubre de 2011 sus dos primeros satélites, de validación, e irá ampliando su nómina de estos dispositivos progresivamente. Está programado que los primeros servicios de la constelación funcionen a finales de 2014 y que se siga dando continuidad al sistema.

**Beidou - COMPASS:** Es un sistema de navegación por satélite que está siendo desarrollado por China, está diseñado para proporcionar una alternativa al sistema de posicionamiento global (GPS) de EE.UU. El sistema denominado Beidou Navigation Satellite System ya comenzó a proporcionar servicios de posicionamiento, navegación y temporización en China y sus alrededores.

### 3.1.1 Protocolo NMEA0183

NMEA0183 es un protocolo estándar que define los requerimientos eléctricos, el protocolo de transmisión de datos y tiempo, y formatos específicos de sentencias para un bus serial de datos a 4800 bps.

Este estándar tiene la intención de soportar transmisión de datos de una vía desde un solo emisor a varios receptores, estos datos se encuentran en código ASCII imprimible y pueden incluir información tal como posición, velocidad, profundidad, asignación de frecuencia, etc [54].

El formato específico para las sentencias NMEA es enviado del transmisor al receptor con un máximo de 82 caracteres. Cada sentencia comienza con un delimitador de inicio "\$" y termina con un delimitador <CR><LF>. La sentencia general de una cadena NMEA se observa a continuación:

\$ttsss,d1,d2, . . . . <CR><LF>

Los siguientes 5 caracteres después del delimitador de inicio corresponden al campo de dirección. De estos 5 caracteres, los primeros dos identifican el tipo de transmisor (tt), que para el caso del GPS se identifica como GP, los otros 3 (sss) son el código nemotécnico que identifica el tipo de datos particulares que son transmitidos.

De las 60 tipos de sentencias aprobadas, nueve son específicas de los receptores GPS [55]:

- ALM – Datos de almanaque
- GBS – Detección de fallas por satélites
- GGA – Datos de obtención de posición
- GRS – Residuos de intervalo
- GSA – DOP (Dilución de precisión) y satélites activos
- GST – Seudo estadísticas de ruido
- GSV – Satélites en vista
- MSK – Manipulación por desplazamiento mínimo
- MSS – Estado de la señal del receptor MSK

#### 3.1.1.1 Cadena GGA

Como se mencionó anteriormente, la cadena GGA nos muestra datos de esenciales de la obtención de la posición, a continuación se muestra como está compuesta esta cadena:

\$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,\*47

Dónde:

123519	Posición obtenida a las 12:35:19 UTC
4807.038,N	Latitud - 48 grados 07.038' N

01131.000,E	Longitud - 11 grados 31.000' E
1	Calidad de posicionamiento: 0 = no valida 1 = GPS (SPS) 2 = DGPS 3 = PPS
08	Numero de satélites en seguimiento
0.9	Dilución de precisión horizontal (HDOP)
545.4,M	Altitud en metros sobre el nivel del mar
46.9,M	Altura del geoide (nivel medio del mar) sobre elipsoide WGS84
(Campo vacío)	Tiempo en segundos desde la actualización DGPS
(Campo vacío)	Identificador del número de estación DGPS
*47	Datos de checksum, siempre comienza con *

Se puede observar que a partir de esta cadena es posible obtener información de las coordenadas, que es la requerida para conocer la posición del receptor GPS, así como el saber la calidad o tipo de posicionamiento (SPS, GDPS, etc.).

### 3.1.1.2 Cadena GSV

Esta cadena nos muestra datos acerca de satélites que el receptor puede encontrar. Una cadena GSV solo puede darnos información de 4 satélites como máximo, por lo cual se suele usar más de una de acuerdo al número de satélites a la vista. Un ejemplo de esta cadena se muestra a continuación:

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

Dónde:

2	Número total de cadenas
1	Cadena 1 de 2 (para este caso)
08	Numero de satélites a la vista
01	Numero de satélite
40	Elevación, grados
083	Azimut, grados
46	SNR – relación señal ruido
*75	datos de checksum, siempre comienza con *

El campo SNR comúnmente es referido como la intensidad de la señal. El SNR es un valor indirecto pero más útil que el simple valor de intensidad de señal.

### 3.1.2 Intercambio de información entre GIS y GPS (gpx, kml)

Anteriormente se mencionó que el GPS permite el posicionamiento preciso de un objeto mediante el uso de señales satelitales, y en un tiempo reciente, el rápido incremento en el desarrollo de los GIS ha llevado a una integración GIS-GPS en distintas aplicaciones como puede ser investigaciones epidemiológicas, ubicación de personal o de vehículos, la creación de mapas de ruido o producir algún otro tipo de mapas temáticos [56] [57].

Para poder hacer la correcta integración de los datos GPS con GIS, es necesario empatar los sistemas de coordenadas de ambos ya sea transformando de WGS84 (sistema de coordenadas del GPS) al sistema deseado o manejando el mismo sistema en el GIS.

Es posible que con las herramientas usadas para el diseño del GIS no sea posible leer directamente los datos que nos proporciona el GPS (cadena NMEA) por lo cual se debe utilizar algún medio para transmitir la información adquirida del GPS al GIS. Para esto, es posible la utilización de distintas herramientas basadas en XML como son el GPX y el KML.

#### 3.1.2.1 GPX

El GPX (GPS Exchange format) es un formato estándar abierto basado en XML, que se utiliza para el intercambio de datos obtenidos del GPS entre aplicaciones y/o servicios web en internet [58].

El formato GPX define un conjunto de etiquetas para describir datos de GPS y geográficos en XML, este formato permite también definir objetos y atributos personalizados.

La estructura para datos puntuales se muestra a continuación:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?>
<gpx ...>
  Metadatos
  <metadata> ... </metadata>
  <wpt lat="#" lon="#">
    <ele>#</ele>
    <name>...</name>
    ...
  </wpt>
  <wpt ...>
    ...
  </wpt>
  Fin del fichero
</gpx>
```

Figura 3.1. Estructura GPX para datos puntuales (waypoints).

### 3.1.2.2 KML

KML (Keyhole Markup Language) es otro formato basado en XML que ha sido ampliamente utilizado durante los últimos años y al igual que GPX se basa en una estructura de etiquetas con elementos y atributos anidados. Los archivos KML originalmente eran usados por Google Earth, y ahora son interoperables con distintos tipos Globos Terráqueos Virtuales y software GIS [37] [59].

El elemento raíz en un KML es llamado Objeto y tiene un identificador, el elemento Objeto tiene seis extensiones para los siguientes elementos abstractos: *Feature*, *Geometry*, *ColorStyle*, *StyleSelector*, *TimePrimitive* y *SchemaField*.

El elemento geometry especifica los tipos de geometría, estos pueden ser Punto, Línea poligonal, Anillo Linear, Polígono, Multigeometría y Modelo.

La estructura del KML para un punto simple se muestra a continuación:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
  <Placemark>
    <name>...</name>
    <description>...</description>
    <Point>
      <coordinates>"X","Y","Z"</coordinates>
    </Point>
  </Placemark>
</kml>
```

Figura 3.2. Estructura del KML para un punto simple

## 3.2 Adquisición de datos (señales acústicas)

La adquisición de datos es el proceso de hacer mediciones de fenómenos físicos o eléctricos, ejemplos de estos pueden ser temperatura, presión, sonido, etc.

El proceso de adquisición de datos consta de distintos elementos. El fenómeno físico que se medirá, el sensor cambia el fenómeno a una señal más fácil de tratar, el acondicionador de señal la prepara para la conversión digital (ADC), que transforma la señal en un patrón digital que hace posible su análisis con una PC o algún dispositivo digital [60].

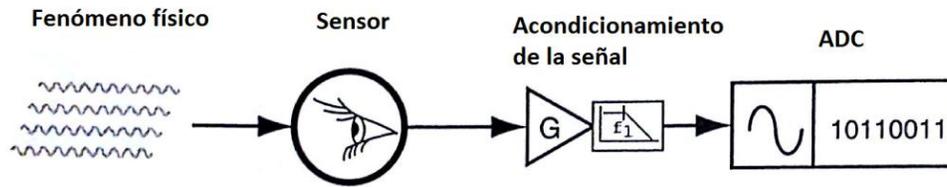


Figura 3.3. Elementos del proceso de adquisición de datos.

Cada sistema de adquisición de datos está definido por los requerimientos de su aplicación, en general, todos los sistemas para la adquisición de datos basados en pc tienen las siguientes partes principales:

- Adquisición de la señal del mundo real (sensores)
- Digitalización de las señales (tarjeta de adquisición de datos)
- Análisis y presentación de los datos (computadora y software)

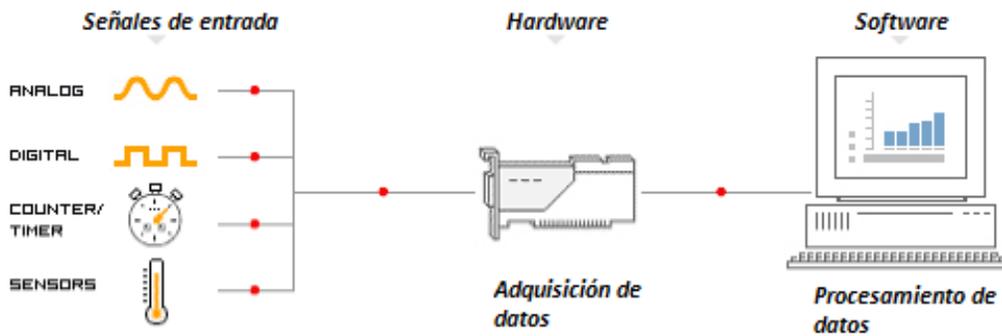


Figura 3.4. Sistema de adquisición de datos basado en PC

### 3.2.1 Sensor

Un transductor, convierte un fenómeno físico en otro, que para este caso, la señal de salida se desea sea una señal eléctrica. Para el caso de sonido, el transductor utilizado es un sensor de presión acústica o micrófono. El micrófono transforma ondas sonoras en impulsos eléctricos de similares características ondulatorias.



Figura 3.5. Micrófono Bruel & Kjaer

Las señales eléctricas entregadas por un micrófono son muy débiles, por lo cual es necesario acoplarlo a un preamplificador de propósito general, el cual adapta el nivel de las señales para su correcto muestreo con el ADC, es posible también adquirirlos con filtros de ponderación lo cual es muy útil si se trabajara por ejemplo con mediciones de ruido.



**Figura 3.6. Preamplificador Bruel & Kjaer**

### **3.2.2 Tarjeta de adquisición de datos**

Una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) actúa como interface entre la computadora y el mundo exterior, su principal función es digitalizar las señales análogas para que la computadora pueda interpretarlas.

Los 3 componentes clave de una tarjeta de adquisición de datos son:

- **Acondicionamiento de señales:** En ocasiones las señales obtenidas de sensores pueden ser muy ruidosas o peligrosas para medirse directamente, por lo cual, el circuito de acondicionamiento manipula la señal para hacerla apropiada a la entrada del ADC.
- **ADC:** Proporciona una representación digital de una señal analógica en un instante de tiempo, éstas se transfieren a la computadora mediante un bus.
- **Bus de PC:** Es la interfaz de comunicación entre el DAQ y la PC. A través de él se transfieren los datos medidos e instrucciones.



**Figura 3.7. DAQ NI USB-6008**

Un parámetro importante al procesar digitalmente señales es la frecuencia de muestreo. La frecuencia de muestreo determina que tan seguido toma lugar la conversión ADC. Si existe un muestreo inferior al requerido, la señal aparenta tener una frecuencia menor a la que realmente posee, a este fenómeno se le llama alias. De acuerdo al teorema de Nyquist, para evitar el aliasing, la frecuencia de muestreo debe ser mayor al doble del componente con mayor frecuencia en la señal a muestrear.

### **3.2.3 Computadora y software**

La computadora, que en este caso será un equipo portátil (laptop), es una parte primordial en el sistema de adquisición de datos. La computadora controla la operación de la DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar los datos de las mediciones.

Dependiendo de la aplicación, se pueden utilizar diferentes tipos de PC, por ejemplo, en el caso que se requiera movilidad sería preferible el uso de una laptop, en el caso de una planta de producción es preferible una PC industrial por su robustez.

En un sistema de adquisición de datos hay dos componentes de software principales, estos son el software controlador, el cual depende del tipo de dispositivo e incluye una serie de comandos que se utilizan para interactuar con el dispositivo (lo cual simplifica la comunicación con el mismo) y el software de aplicación, que es el encargado de mandar los comandos del controlador para hacer operaciones tales como leer datos, este software también es el encargado de mostrar y analizar los datos adquiridos.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es un ambiente de programación gráfico que se basa en el concepto de programación de flujo de datos, este paradigma de programación ha sido ampliamente usado para la adquisición de datos y control [61].

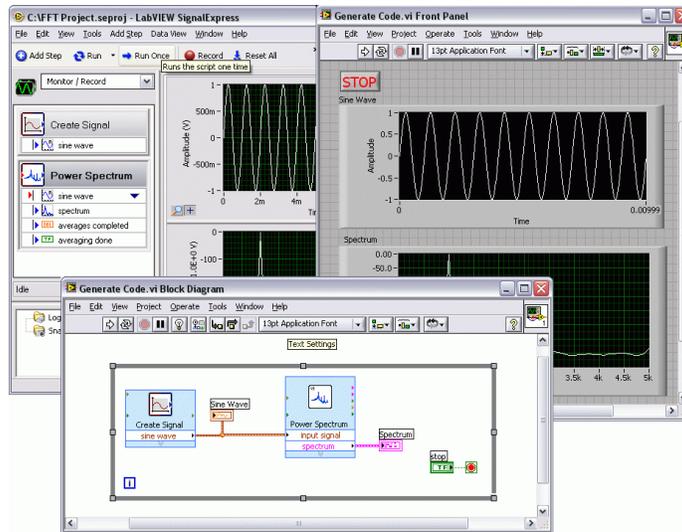


Figura 3.8. Ejemplo de programación en LabVIEW (panel frontal y diagrama)

### 3.3 Estructura web para la visualización de mapas

La fusión del internet y las disciplinas tradicionales ha dado como fruto muchas nuevas disciplinas y los GIS Web es una de ellas. Los GIS Web han cambiado considerablemente la manera en que la información es manipulada, desde cómo es adquirida hasta su visualización.

Los GIS Web son un tipo de sistema de información distribuida, un GIS Web es cualquier GIS que utilice la tecnología web para la comunicación entre componentes [62]. La arquitectura básica de un GIS Web es similar a la de una aplicación web pero se le añaden componentes GIS.

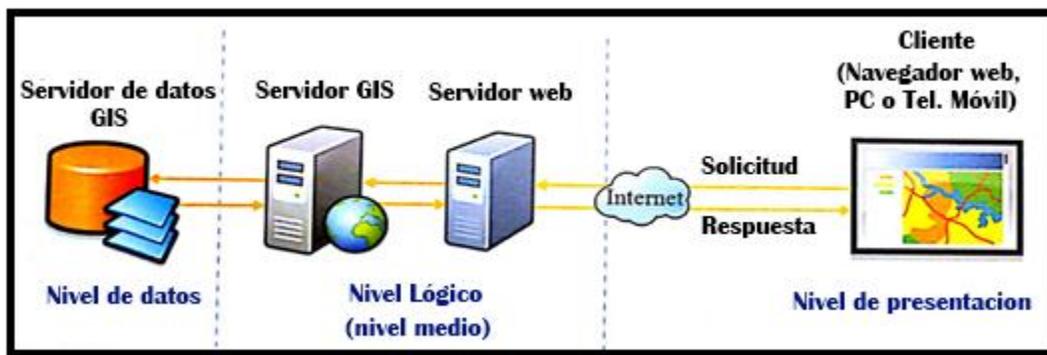


Figura 3.9. Arquitectura lógica de un GIS Web básico.

En un flujo de trabajo básico, el usuario accede al GIS Web a través de un cliente (comúnmente un navegador web), el usuario solicita información al servidor web a través del protocolo HTTP, el servidor web reenvía las solicitudes al servidor GIS, el servidor GIS obtiene la información

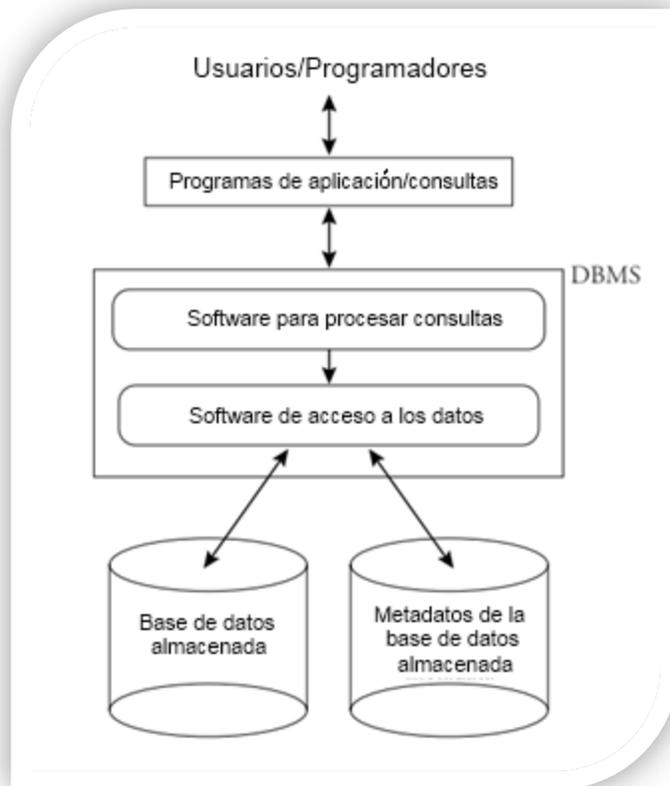
solicitada de la base de datos GIS y la procesa, el resultado (mapa, consulta, análisis, etc.) se envía a través del servidor web de regreso al cliente y finalmente el cliente muestra el resultado al usuario con lo cual se completa el ciclo.

### **3.3.1 Sistema Manejador de Bases de Datos**

Una base de datos es una colección de datos interrelacionados almacenados en un ambiente computacional. Una base de datos puede ser vista como uno o muchos datos almacenados en algún dispositivo externo de almacenamiento. A pesar que es posible crear aplicaciones que accedieran directamente a esos archivos, esto crearía una serie de problemas como son la seguridad, concurrencia y complejidad en la manipulación de los datos. Un Sistema Manejador de Base de Datos (DBMS por sus siglas en inglés) es una colección de software que maneja la estructura de la base de datos y controla el acceso a los datos almacenados en una base de datos [63].

En general un DBMS facilita el proceso de:

- Definir una base de datos, esto es, especificar los tipos de datos, estructuras y restricciones que se tomaran en cuenta
- Construir la base de datos, esto es, almacenar la base de datos misma en un almacenamiento persistente
- Manipular la base de datos
- Hacer consultas para obtener datos específicos
- Actualizar la base de datos (hacer cambios en los valores)



**Figura 3.10. Entorno de sistema de base de datos simplificado.**

Un DBMS se basa en el concepto fundamental de la independencia de los datos. El usuario interactúa con una representación de los datos independientemente del almacenamiento físico de la base de datos, y el DBMS se encarga de traducir las manipulaciones del usuario en operaciones eficientes en las estructuras físicas de los datos.

### **3.3.1.1 Bases de Datos Espaciales**

Una base de datos espacial define tipos de datos especiales para objetos geométricos y permite almacenar datos geográficos en tablas de bases de datos regulares. Brinda funciones especiales e índices para consultar y manipular los datos espaciales usando algún lenguaje tal como SQL.

Una base de datos espacial puede almacenar una colección de datos geográficos de varios tipos, tal como datos vectoriales básicos (puntos, líneas, polígonos) o datos *raster* (por ejemplo imágenes satelitales). La base de datos espacial es el soporte fundamental para una aplicación GIS Web.

En general una base de datos espacial debe cumplir dos objetivos, el primero es integrar la representación y manipulación de información geográfica con datos tradicionales a nivel lógico, y el segundo es brindar un soporte eficiente a nivel físico para almacenar y procesar información.

En general un DBMS para manejar datos espaciales debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- La representación lógica de los datos debe ser extendida a datos geométricos.
- El lenguaje de consultas debe integrar nuevas funciones para cumplir con las posibles operaciones aplicables a los objetos geográficos.
- Debe existir una representación física eficiente de los datos espaciales.
- Acceso eficiente a los datos, sin importar que el volumen de datos incremente.

### **3.3.2 Servidor de mapas**

Los servidores de mapas tienen un propósito principal, hacer imágenes al vuelo para el cliente. Los servidores web convencionales no pueden servir imágenes a menos que estas ya existan, y generar y almacenar todas las secciones posibles a distintos niveles de zoom asociados con un mapa no es práctico, los servidores de mapas solucionan estos problemas al crear de una manera rápida imágenes estáticas solo cuando el cliente lo solicita.

EL OGC ha establecido una serie de servicios web que los servidores de mapas deben brindar, con esto es posible la interoperabilidad a nivel de servicios web para productos de diferentes compañías o de distintos tipos [64].

Los servicios web más comunes definidos por el OGC son:

- Web Mapping Service (WMS): Es un servicio para representar datos vectoriales y *raster* como imágenes de mapas en algún formato (por ejemplo, JPEG, PNG, etc.).
- Web Feature Service (WFS): Es un servicio para la obtención de datos vectoriales generalmente usando algún estándar XML tal como GML o KML.

### **3.3.3 Cliente y Visualización**

Una vez que los servicios del servidor de mapas se han creado, son necesarias las aplicaciones clientes para poder utilizarlos. El cliente en un GIS Web puede jugar dos roles. Primero, el representa la interface final de usuario del sistema, interactúa con el usuario, esto es, recibe y manda información del mismo. Segundo, el cliente puede también realizar tareas de geoprocesamiento.

Las aplicaciones cliente pueden ser de dos tipos:

- Cliente web: Los navegadores web son el principal cliente de tipo web, las aplicaciones web son comúnmente implementadas usando Ajax y una mezcla de scripts web. Los navegadores web en la actualidad son capaces de realizar fácilmente geoprocesamiento de muchos tipos.
- Cliente de escritorio: Las aplicaciones de escritorio pueden también actuar como clientes de GIS Web. Estas aplicaciones no corren sobre un navegador web por lo cual no están limitados al ambiente de un navegador. Los clientes de escritorio pueden acceder a recursos locales, tales como archivos, bases de datos o dispositivos periféricos. Estos sistemas encajan perfectamente con aplicaciones que requieren de un uso intensivo de recursos, pueden ser una buena solución para cuando los clientes de web de navegador no son lo suficiente poderosos.

## **4 DISEÑO E INTEGRACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA MÓVIL GEOREFERENCIADO.**

El presente trabajo se centra en el diseño de un sistema de medición de señales acústicas integrado en una computadora portátil o industrial, con el cual aunado a un GPS se pretende georeferenciar las mediciones y así poder generar mapas de contaminación acústica.

El sistema que se propone consta básicamente de dos etapas:

- Adquisición de señales acústicas
- Análisis de los datos

En este capítulo se muestra el diseño del sistema y cada uno de sus componentes de forma detallada, se presentan también las dos etapas principales antes mencionadas y las sub etapas de cada una de ellas.

### **4.1 Requerimientos y características**

En las normas mencionadas en la “*Tabla 2.3. Normatividad Mexicana en materia de ruido ambiental*” se pueden observar los métodos y requerimientos mínimos para realizar una medición de ruido generado por distintas fuentes.

La norma NOM-081-ecol-1994 nos indica el equipo mínimo para medición de nivel sonoro, el cual se observa a continuación:

- Un sonómetro de precisión.
- Un calibrador piezoeléctrico o pistófono específico al sonómetro empleado.
- Un impresor gráfico de papel o un registrador de cinta magnética.

Y opcionalmente:

- Un cable de extensión del micrófono, con longitud mínima de 1 m.
- Un trípode para colocar el micrófono o equipo receptor.
- Un protector contra viento del micrófono.

En la norma NMX-AA-047-1977 se especifica que un sonómetro debe cubrir el rango de frecuencias de 31.5 a 8000 Hz. y debe incluir al menos la curva de respuesta A. Este también debe constar de los siguientes elementos:

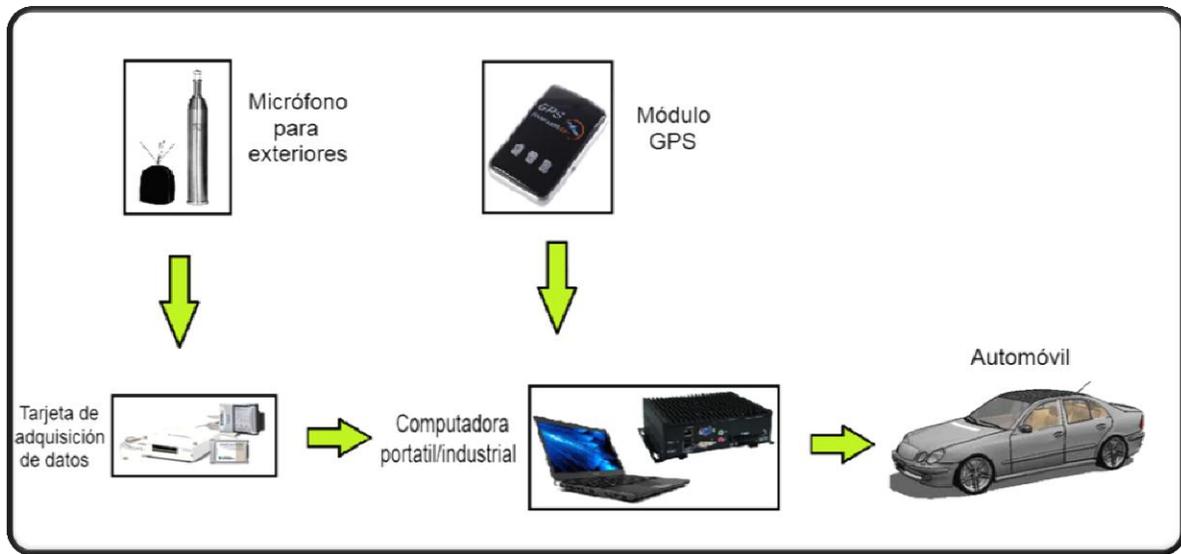
- Micrófono.
- Amplificador.
- Redes de ponderación.

- Atenuador e instrumento indicador.

Se pretende que el sistema sea móvil ya que se pretende que el sistema permita realizar análisis de zonas con contaminación acústica que se pueden ubicar en lugares alejados uno de otro, cabe señalar que la Real Academia Española define como móvil a aquello “*Que puede moverse o se mueve por sí mismo*”, esto para no generar confusión con la telefonía móvil que se ha vuelto muy común y se suele aplicar el termino móvil para referirse a ella.

## 4.2 Arquitectura del sistema

El sistema consta de los elementos básicos a nivel de hardware para la adquisición de datos, estos son el sensor de presión acústica (micrófono), la tarjeta de adquisición de datos, el modulo GPS y la computadora, en la cual, mediante el software LabVIEW se realiza el procesamiento de las señales y demás procesos requeridos para el correcto funcionamiento del sistema. En la siguiente Figura se puede observar el diseño del mismo y los elementos que lo conforman a nivel de hardware.



**Figura 4.1. Arquitectura del sistema (Hardware).**

Como se observa en la imagen, se pretende que el sistema se monte en un vehículo para así poder atender las mediciones de una manera más eficiente.

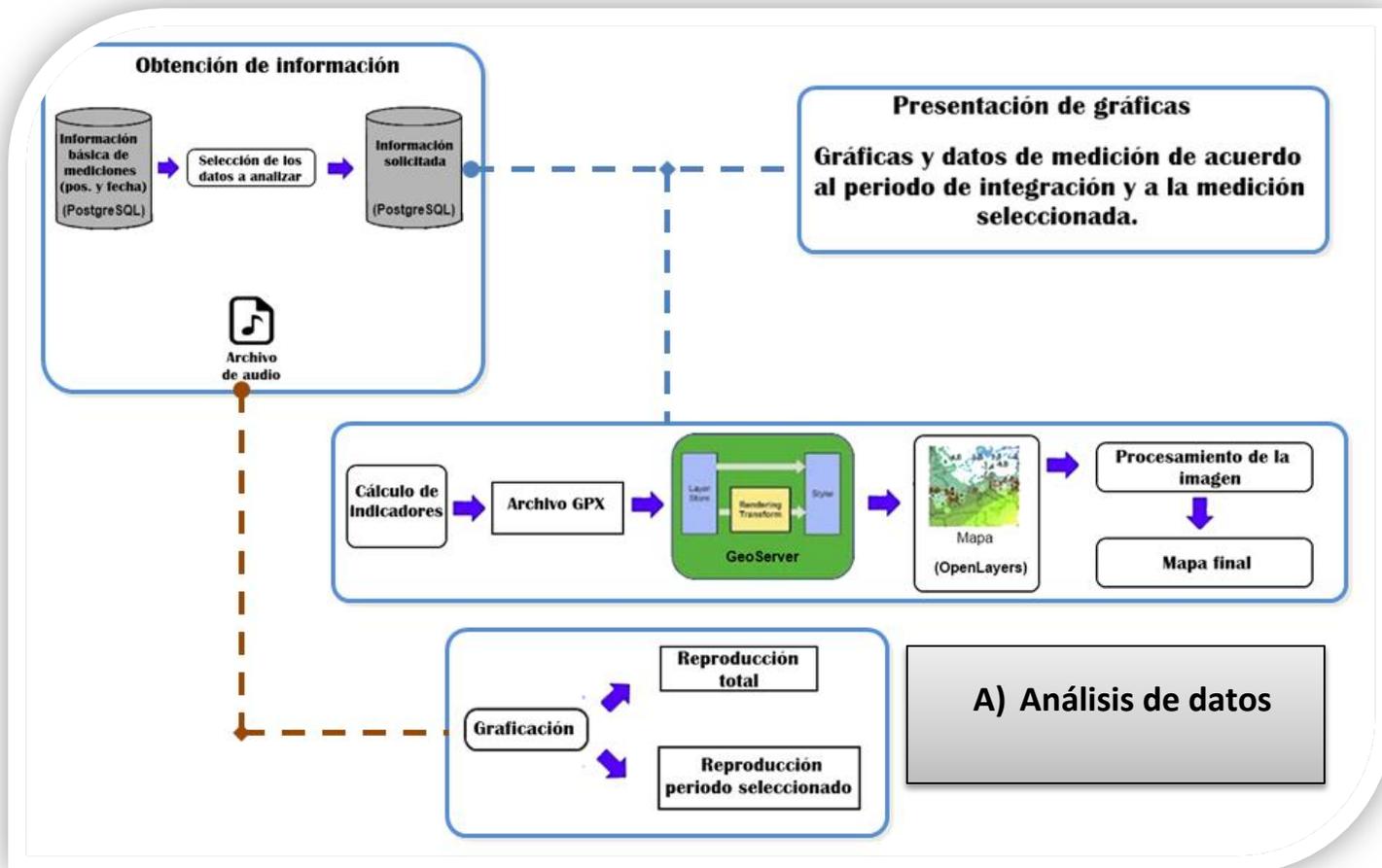
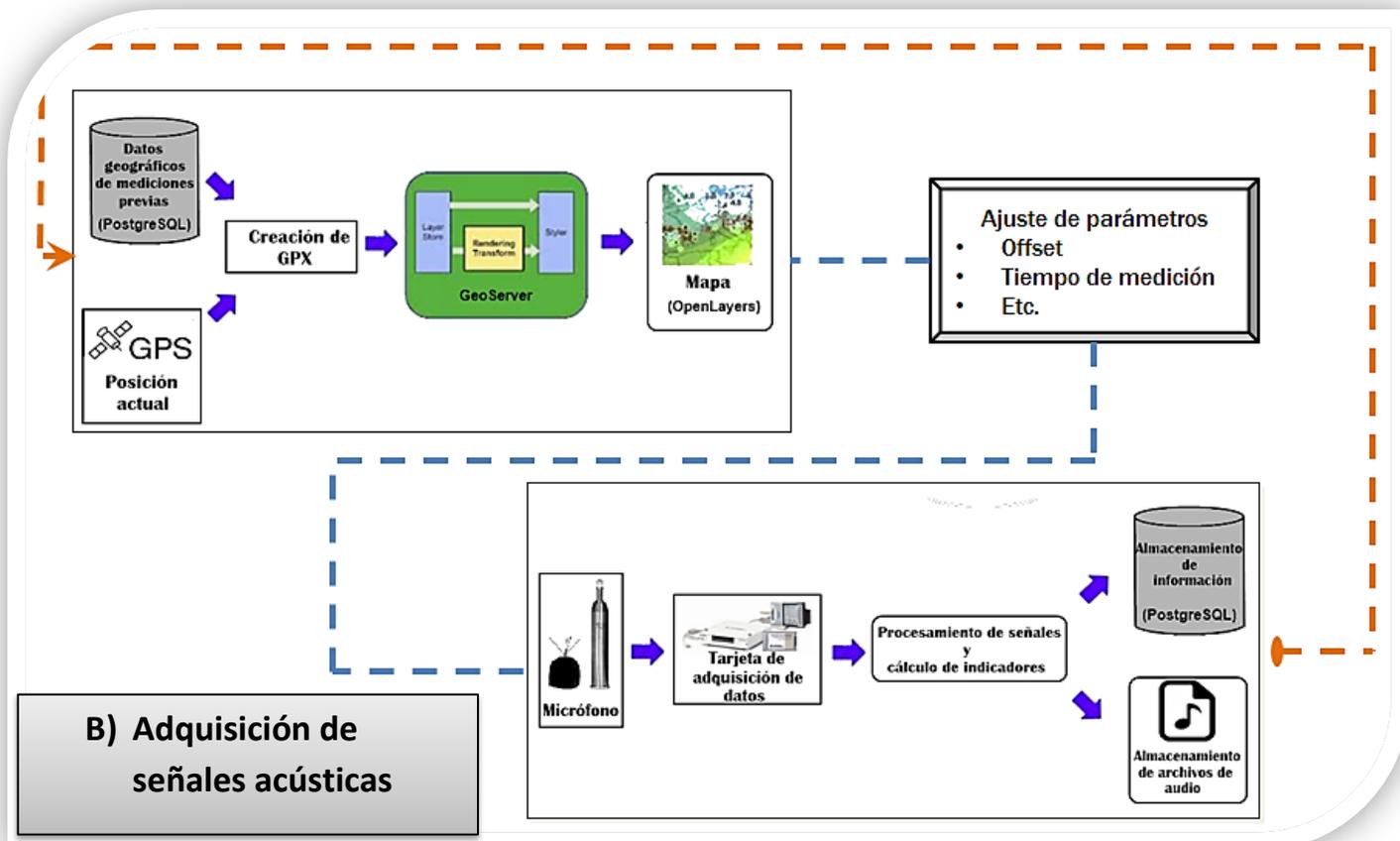


Figura 4.2. Esquema de la arquitectura y funcionamiento del sistema propuesto.

### 4.2.1 Elementos a nivel software

A nivel de software, el elemento principal y la base para el desarrollo de todo el sistema es LabVIEW y para lo relacionado con la generación y visualización de mapas se utilizan herramientas para generar la arquitectura básica de un GIS Web (Figura 3.9), para este caso las herramientas son PostgreSQL – PostGIS, GeoServer y OpenLayers.

En la Figura 4.2 se puede observar de manera detallada un diagrama global del sistema dividido en las dos etapas principales ya mencionadas al inicio de este capítulo. Los archivos de audio que almacena y reproduce el sistema propuesto, como se observa en la parte inferior de la, deben tener un formato de nombre específico, este formato se observa a continuación:

DD-MM-AAAA\_HH-MM-SS\_XX\_YYY.Y

Dónde:

- DD-MM-AAAA: Es la fecha en que se grabó el audio, con formato Día, Mes y Año.
- HH-MM-SS: Es la hora en que se grabó el audio, con formato Hora, Minutos y Segundos.
- XX: Es el tiempo total de medición en la cual se adquirió el audio.
- YYY.Y: Es el valor pico de la medición completa.

Los archivos de audio se almacenan en formato WAV.

#### 4.2.1.1 Diseño de las bases de datos.

Una parte muy importante en el sistema propuesto es el modelado y la implementación de la base de datos, a continuación se muestra el diagrama E-R de la base de datos propuesta. Como se observa son 3 tablas y 2 referencias.

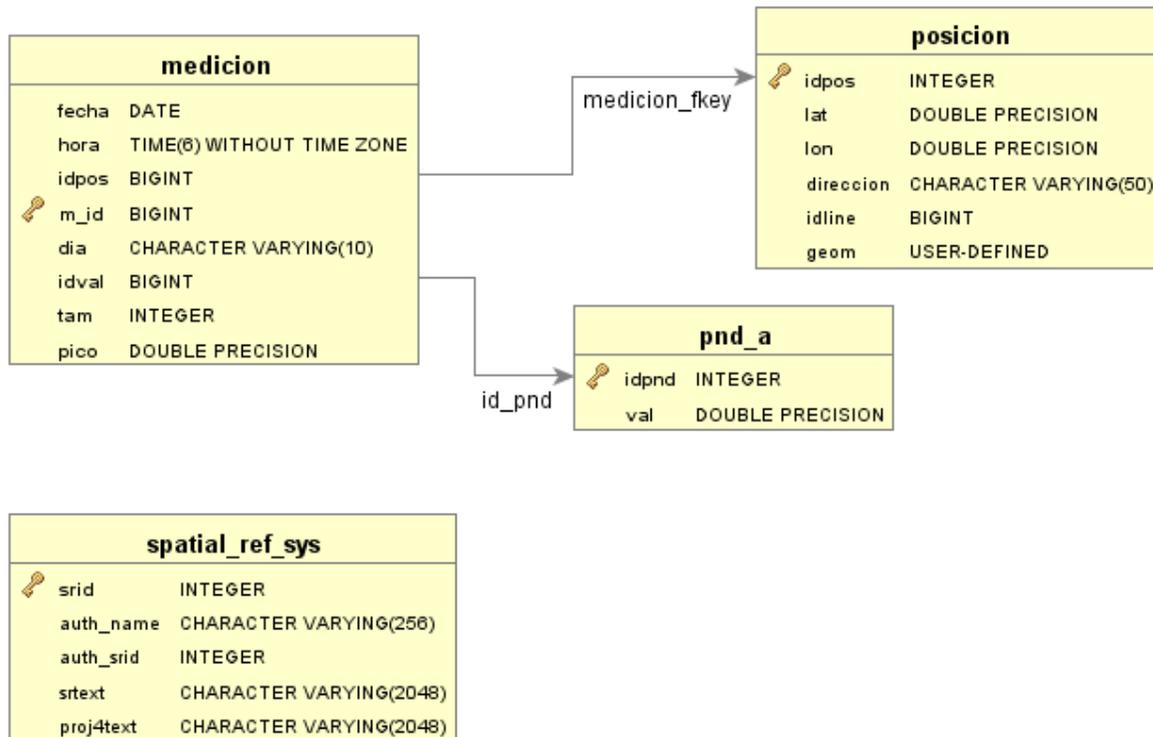


Figura 4.3. Diagrama E-R de la base de datos propuesta.

En la tabla posición, se crearon restricciones en cuanto al identificador de referencia espacial (SRID) y el tipo de geometría, todo esto para mantener la integridad y consistencia de los datos espaciales que se obtienen del GPS al ser introducidos a la base de datos.

En la tabla medición se realizaron también restricciones pero en este caso no de tipo espacial, se realizaron principalmente restricciones del tipo referencia y de emparejamiento sencillo. La tabla *“spatial\_ref\_sys”* se crea automáticamente durante la creación de las bases de datos y sirve para definir distintas combinaciones de proyecciones y datums, requeridos para la correcta visualización de datos geográficos de todas las áreas del mundo.

Aunado a la base de datos principal mostrada en la Figura 4.3. Diagrama E-R de la base de datos propuesta. Figura 4.3 se crea una base de datos auxiliar cuya función es guardar los datos de niveles de ruido, los datos geográficos para calles (líneas) y opcionalmente los nombres de las calles, todo esto para poder mostrar los mapas de ruido en calles que más adelante se detallaran, el diagrama E-R de esta base de datos se muestra a continuación:

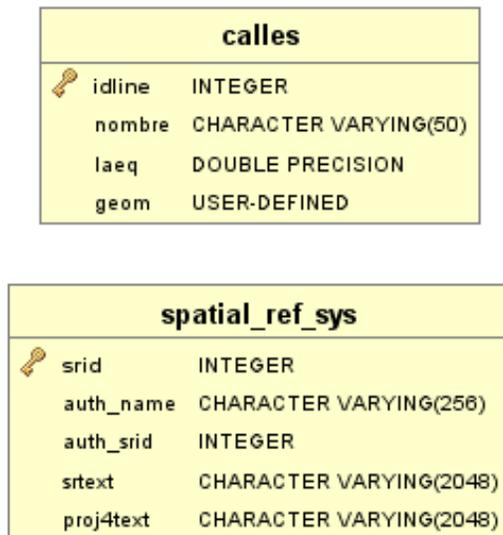


Figura 4.4. Diagrama E-R base de datos auxiliar para creación de mapas de ruido de calles.

En el “Códigos SQL para creación de las bases de datos.” se puede observar más detalladamente el código SQL con el cual se generan las bases de datos utilizadas por el sistema.

## 4.2.2 Elementos a nivel hardware

Se pretende que el sistema propuesto cumpla con los requerimientos marcados por las normas, por lo cual se integra de los elementos ya mencionados en el apartado 4.1. A continuación se detallan los elementos más importantes para realizar la adquisición del sonido.

### 4.2.2.1 Tipo de micrófono

El micrófono utilizado en el sistema es el modelo MPA231 optimizado para campo libre de la compañía BSWA-Tech, éste se encuentra protegido con un kit de exteriores con lo cual es posible realizar las mediciones de manera más precisa y a su vez proteger el micrófono.

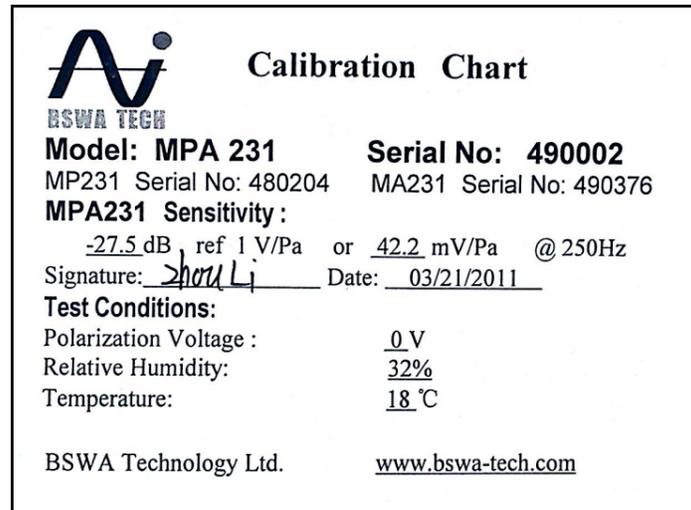
Las características generales del mismo se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4.1. Características generales micrófono MPA231.

<b>Modelo</b>	MPA231
<b>Diámetro</b>	½"
<b>Preamplificador</b>	MA231
<b>Respuesta en frecuencia</b>	20-20kHz
<b>Rango dinámico</b>	17-136 dBA

<b>Impedancia de salida</b>	<50
<b>Voltaje máximo de salida</b>	4.5 Vrms
<b>Conector</b>	BNC
<b>Estándar (IEC61672)</b>	Clase 1

A continuación se muestra la hoja de calibración del dispositivo MPA231. Esta información es provista por BSWA-Tech.



**Figura 4.5. Hoja de calibración. Micrófono MPA231.**

La sensibilidad del micrófono a circuito abierto es de 42.2 mV/Pa, esto significa que por cada Pa que aumente la señal que reciba el micrófono, este aumentara su salida en 42.2mV.

Al conectar el micrófono a una tarjeta de adquisición de datos, se altera la impedancia de entrada por lo que se debe hacer una calibración para conocer el nuevo valor de sensibilidad en este nuevo circuito.

El fabricante también proporciona la respuesta en frecuencia del micrófono, la imagen de la misma se muestra a continuación.

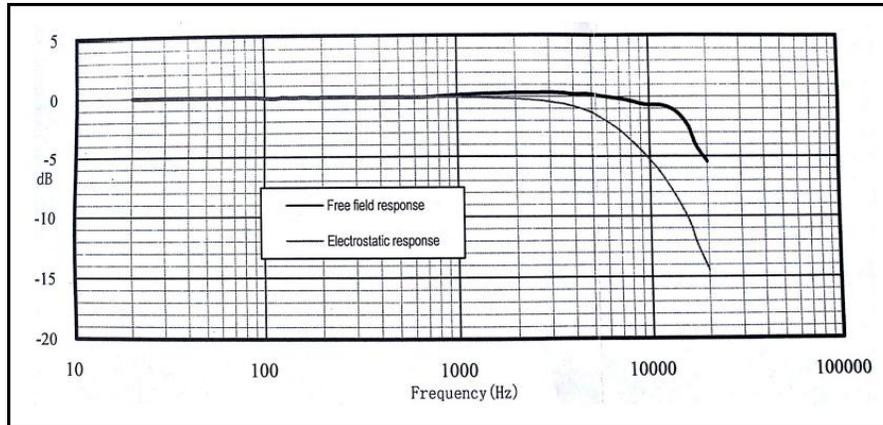


Figura 4.6. Respuesta en frecuencia. Micrófono MPA231.

#### 4.2.2.2 Tarjeta de adquisición de datos.

El sistema está diseñado para trabajar con tarjetas de adquisición de datos ya sea de NI o de alguna otra compañía que fabrique tarjetas compatibles con Windows, en específico el sistema se probó y se trabajó con las tarjetas NI 9233 y BSWA MC3022. A continuación se pueden observar las características de cada una:

Tabla 4.2. Características de la tarjeta BSWA-MC3022. Cortesía BSWA Tech.

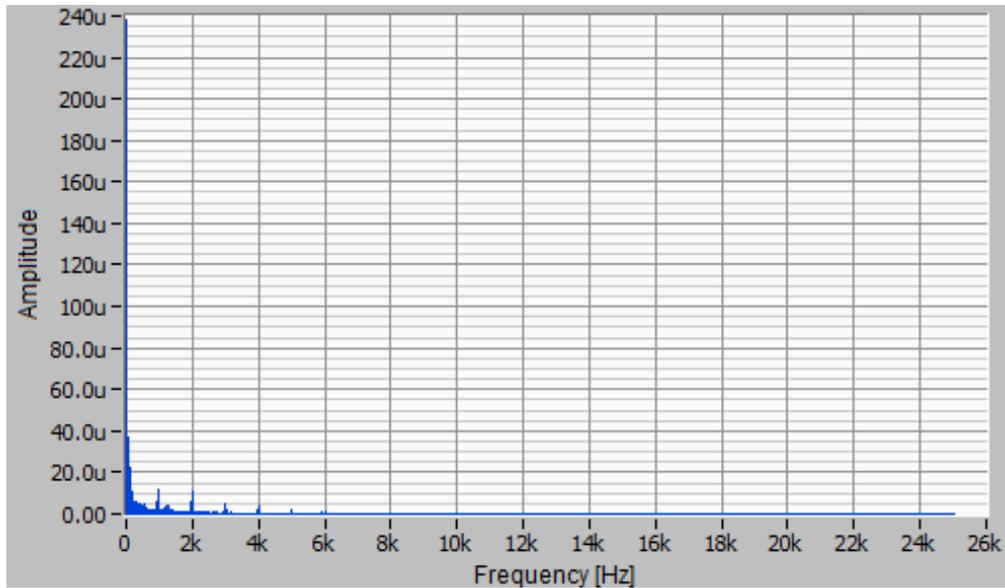
Instrumento de adquisición de datos MC3022	
Modelo	MC3022
Canales de entrada	2, ICCP (4 mA)
Voltaje Máximo de Entrada	1.0 Vrms
Canales de salida	1
Voltaje Máximo de Salida	1.0 Vrms
Conector	BNC
Convertidor A/D	16 bits
Frecuencia Máxima	44.1 kHz
Ruido Interno	30 dB (A)
Respuesta en frecuencia (Ref: 250 Hz, + 0.5 dB/-1.0 dB)	20 Hz ~ 20 kHz
Rango de Medición (Con MPA201)	35 ~ 118 dB (A)
Requerimientos de Alimentación	USB

**Tabla 4.3. Características de la tarjeta NI - 9233. Cortesía National Instruments.**

<b>DATA ACQUISITION NI - 9233</b>	
<b>Modelo</b>	NI 9233
<b>Canales de Entrada</b>	4 (2 mA)
<b>Voltaje Máximo de Entrada</b>	$\pm 5.0$ Vrms
<b>Canales de Salida</b>	0
<b>Voltaje Máximo de Salida</b>	-
<b>Conector</b>	BNC
<b>Convertidor A/D</b>	24 bits
<b>Frecuencia de Muestreo Máxima</b>	50 kHz
<b>Rango Dinámico</b>	102 dB (A)
<b>Alimentación</b>	USB
<b>Acoplamiento</b>	AC

#### **4.2.2.3 Frecuencia de muestreo y calibración**

El rango de frecuencias perceptibles para el oído humano de una persona saludable va de 20 Hz a 20 kHz, por lo que de acuerdo al teorema de Nyquist, que nos dice que la frecuencia de muestreo debe ser mayor al doble de la frecuencia mayor de la señal, esto es, con una frecuencia superior a 40kHz se cumpliría el teorema y sería adecuada para cumplir con el rango del oído humano, pero para un análisis de ruido ambiental, no es necesario cumplir con todo este rango ya que no se encuentran armónicos con frecuencias tan altas. En la siguiente imagen se puede observar el espectro de frecuencia de una señal de ruido ambiental muestreada a 50 kHz, en ella se observa que los armónicos con mayor energía se encuentran por debajo de los 4 kHz.



**Figura 4.7. Espectro de una señal de ruido ambiental.**

Para muestrear una señal de ruido ambiental es adecuada la utilización de una frecuencia de muestreo de 25 kHz [23] [65]. Como se observa en la figura siguiente, mediante un análisis de bandas de tercio de octava se puede observar mejor este comportamiento, a partir de 8 kHz se tienen bandas con muy poca energía, por lo cual de acuerdo al teorema de Nyquist ya mencionado anteriormente, la frecuencia de muestreo de 25kHz es correcta y abarca los valores de frecuencia que se requieren muestrear. Los armónicos con mayor energía se encuentran por debajo de 4 kHz y al muestrearlo a 25 kHz es mayor a 6 veces dicha frecuencia por lo cual para el tipo de señales que se pretende analizar esta frecuencia es la adecuada.

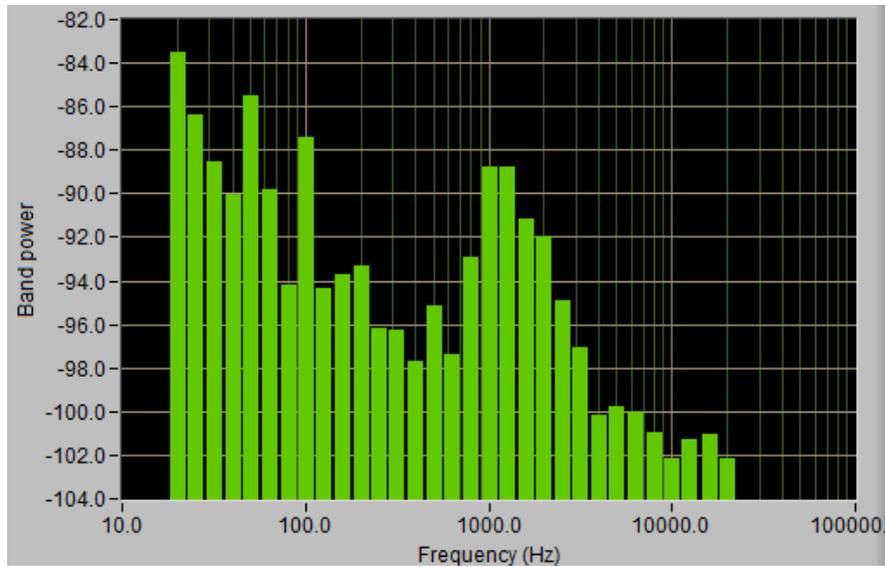


Figura 4.8. Análisis en bandas de 1/3 de octava de una señal de ruido ambiental.

Una pieza clave para la correcta obtención de los valores en las señales de audio es la calibración, esta debe ser tomada en cuenta en el diseño del sistema, por lo cual, en el programa principal, en el área de configuración, se permite ejecutar un SubVI con el cual se puede realizar la calibración y ajustar los valores de la misma. La siguiente imagen muestra el panel frontal del software con el que se obtienen el nuevo valor de calibración, el cual se introduce en el sistema.

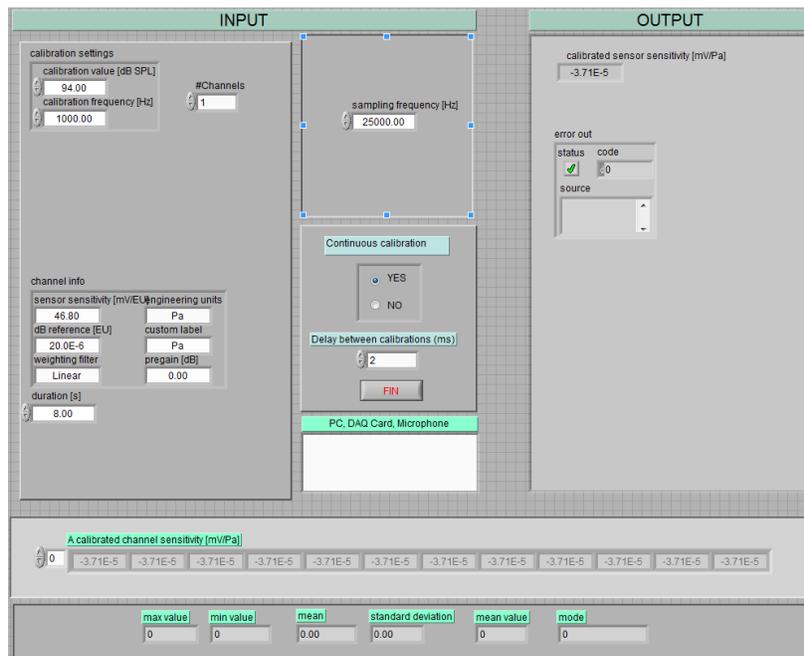


Figura 4.9. Panel frontal del programa de calibración.

La calibración es realizada de manera similar a la de un sonómetro común, esto es, con la ayuda de un calibrador acústico clase 1 que utiliza la frecuencia de 1 kHz y dos niveles de presión sonora, 94dB y 104dB. Para el proyecto desarrollado el calibrador acústico utilizado es el que se muestra a continuación.



**Figura 4.10. Calibrador acústico CESVA modelo CB-5.**

### **4.3 Etapa de adquisición de señales acústicas**

Esta etapa es la principal ya que es la encargada de obtener los datos con los cuales se trabaja en la etapa de análisis de datos.

Esta etapa tiene básicamente dos sub etapas:

- **Ubicación y análisis geográfico:** Muestra la ubicación geográfica del sistema y demás datos de posicionamiento.
- **Captura de señales:** Muestra gráficas y otros datos durante la realización de las mediciones.

La sub etapa de ubicación y análisis geográfico nos da la opción de observar la ubicación geográfica actual basándose en un mapa obtenido de internet o del servidor local de mapas, para así ajustar ciertos parámetros que se deben tomar en cuenta antes de realizar las mediciones u observar la correcta ubicación del punto que se desea medir, para posteriormente realizar la medición, a continuación se presenta la captura de pantalla de este módulo, así como las partes que lo componen.



Figura 4.11. Pantalla de ubicación y análisis geográfico.

1. **Desplazamiento del mapa:** Nos permite desplazar el mapa hacia cualquiera de las 4 posiciones básicas.
2. **Aumentar o disminuir zoom:** Aumenta o disminuye en 1 nivel el zoom.
3. **Centrado en la posición actual:** Centra el mapa en la posición actual y ajusta el nivel de zoom por default.
4. **Centrado automático en la posición actual (refresco a 1 Hz):** Realiza lo mismo que el punto 4 pero de manera automática cada segundo.
5. **Escala gráfica:** Barra con la escala actual.
6. **Conexión del módulo GPS:** Este botón permite hacer la conexión al módulo GPS, al presionarlo nos muestra una ventana donde se selecciona el puerto COM al cual está asociado el GPS para realizar la conexión.
7. **Latitud y longitud actual:** Muestra los valores actuales de Latitud y Longitud, mismos que se almacenaran en la base de datos al realizar la medición.
8. **Altura sobre el nivel del mar y offset:** Nos muestra el valor de la altura sobre el nivel del mar, permite ajustar el valor del offset y nos muestra el valor de LAeq en caso que se esté realizando una medición.
9. **Interruptor de posición manual:** Al activarlo nos permite introducir los datos de posición manualmente en los indicadores (latitud y longitud) o en su defecto evita que el valor de posición del GPS se actualice.

- 10. Numero de satélites conectados y dilución horizontal de posición:** Muestra el número de satélites a los cuales está conectado el modulo GPS para el cálculo de la posición y muestra también el valor de dilución horizontal de posición.
- 11. SNR de los satélites:** Muestra la relación señal-ruido de los satélites conectados y a la vista del GPS (12 satélites máximo).
- 12. Selección de capas:** En esta pestaña se puede seleccionar la capa base (mapa) ya sea obtenida de internet (OpenStreetMaps, Bing) o cargada en el servidor de mapas local (SHP Base). También, permite el activar o desactivar los puntos de medición previamente realizados, el punto de la posición actual del GPS y el indicador de offset.
- 13. Punto de ubicación actual:** Se muestra el punto de ubicación actual (rojo) rodeado por el offset y puntos donde se han hecho mediciones (negro).

La función del offset es para cuando se deben realizar mediciones en un mismo punto y por la precisión del GPS o por algún otro motivo existe una pequeña variación, ajustando el offset y observando el punto de medición ya realizado se puede lograr que al almacenar los valores de posición no se cree un nuevo punto, esto es, georeferenciar la medición a el punto existente cuya distancia a la posición actual sea menor al valor de offset.

Una vez se han ajustado los parámetros y se tiene una posición correcta se puede pasar a realizar la medición del ruido.

Existe otro modulo que nos muestra gráficamente los datos que se obtienen durante el proceso de adquisición de las señales.

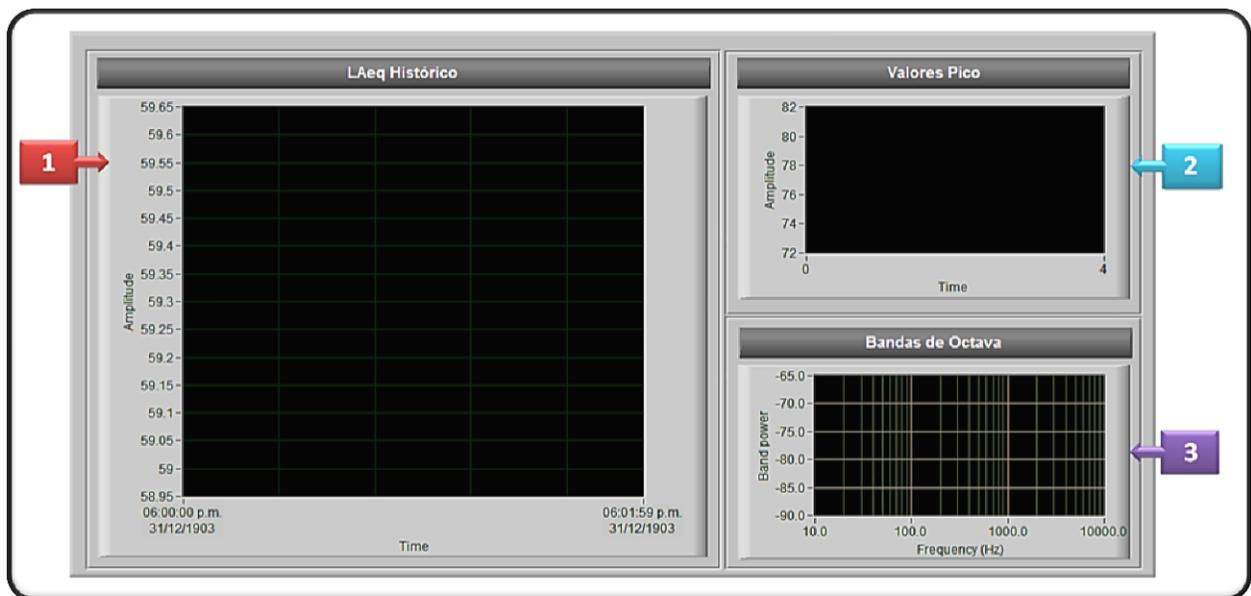


Figura 4.12. Pantalla de gráficas de señales capturadas.

1. **Gráfica de  $L_{Aeq}$  Histórico ( $L_{Aeq}$  vs tiempo):** En esta gráfica se muestran los valores de  $L_{Aeq}$  contra el tiempo, se actualiza cada que termina un periodo de adquisición, esto es, cada 30 segundos.
2. **Gráfica de valores pico vs tiempo:** En esta gráfica se muestra el valor pico de cada periodo de adquisición, esto es, el valor pico de cada periodo de 30 segundos
3. **Gráfica de bandas de octava:** En esta gráfica se muestra el análisis en bandas de octava que al igual que las gráficas anteriores es para cada periodo de adquisición.

Para interactuar entre los módulos, en la pantalla principal se presenta la opción de seleccionar el modulo que se desea utilizar y otros datos de interés, cabe señalar que esta parte del sistema permanece siempre visible, lo que cambia son solo las pantallas antes mencionadas que se encuentran en la parte de arriba de esta barra.



Figura 4.13. Panel inferior permanente de la pantalla principal.

1. **Indicadores GPS y REC:** El indicador verde se enciende cuando el GPS está conectado al sistema y se apaga si no lo está, el indicador rojo parpadea cuando el sistema está esperando para capturar y se enciende en color rojo cuando el sistema se encuentra capturando.
2. **Indicadores LAeq y Pico:** El indicador LAeq actual muestra el valor del periodo actual (30 últimos segundos); el indicador LAeq muestra el valor histórico, esto es, de todo el tiempo transcurrido de medición; por último, el indicador Pico muestra el valor pico de todo el tiempo de medición.
3. **Selección de pantalla de medición:** Cambia entre la pantalla de ubicación y análisis geográfico y la pantalla de graficas de las señales capturadas.
4. **Fecha y hora:** Muestra la fecha actual y la hora para sincronización con la medición.
5. **Botón de Medición y Botón de ejecución del módulo de análisis de datos:** El primer botón manda la instrucción para comenzar la captura de las señales acústicas. El segundo botón muestra la ventana del módulo para el análisis de datos, este botón solo es posible utilizarlo cuando el sistema no este capturando.
6. **Botón de Salir:** Finaliza el programa.

Cabe señalar que mientras se esté capturando no es posible realizar algún otro proceso en el sistema, esto debido a que el proceso de captura requiere de muchos recursos, por eso es que todos los parámetros se deben ajustar antes de realizar cada medición.

#### 4.4 Etapa de análisis de datos

Esta etapa es la encargada de realizar el análisis de los datos obtenidos y almacenados en la base de datos por la etapa de medición. Se divide en tres sub-etapas:

- Análisis de mediciones
- Generación de mapas de contaminación acústica
- Reproducción y visualización de señales almacenadas

##### 4.4.1 Análisis de mediciones

En la etapa de adquisición de datos se obtienen indicadores LAeq cada 30 segundos y se almacenan en la base de datos, una vez que se terminan las mediciones es necesario presentar los datos al usuario para poder conocer el comportamiento de la zona o el lugar analizado.

El sistema propuesto permite hacer un análisis de las mediciones dependiendo que es lo que se busque, por ejemplo si se desea saber cómo fue el comportamiento para cierto día, el sistema permite hacer la consulta por fecha; si lo que interesa saber es en cierto punto como se comportaron los niveles de ruido, el sistema permite hacer una consulta por punto de medición.

En el diagrama siguiente se puede observar el proceso de análisis de mediciones.

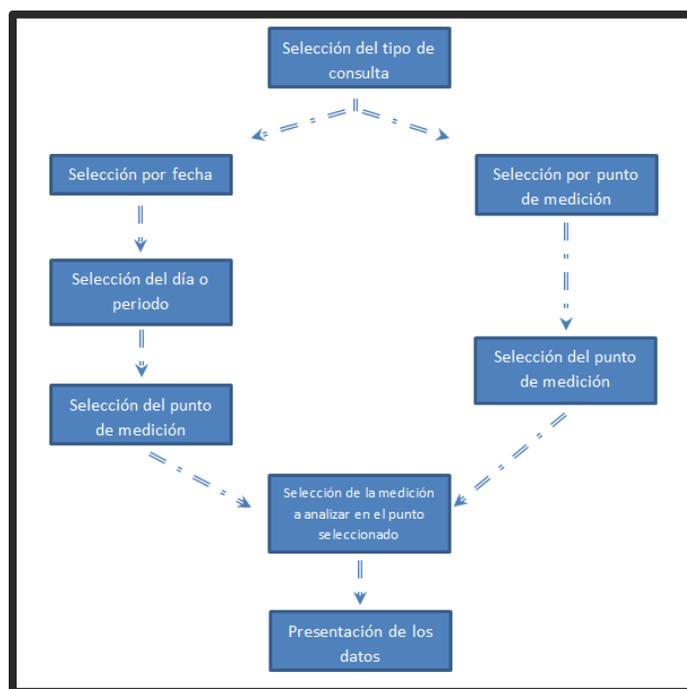


Figura 4.14. Proceso para el análisis de mediciones.

La principal diferencia entre los dos tipos de consultas es que al seleccionar por fecha se limitan las mediciones presentadas al día o periodo que se pretende analizar. En la imagen siguiente se puede observar una captura de pantalla de este módulo.

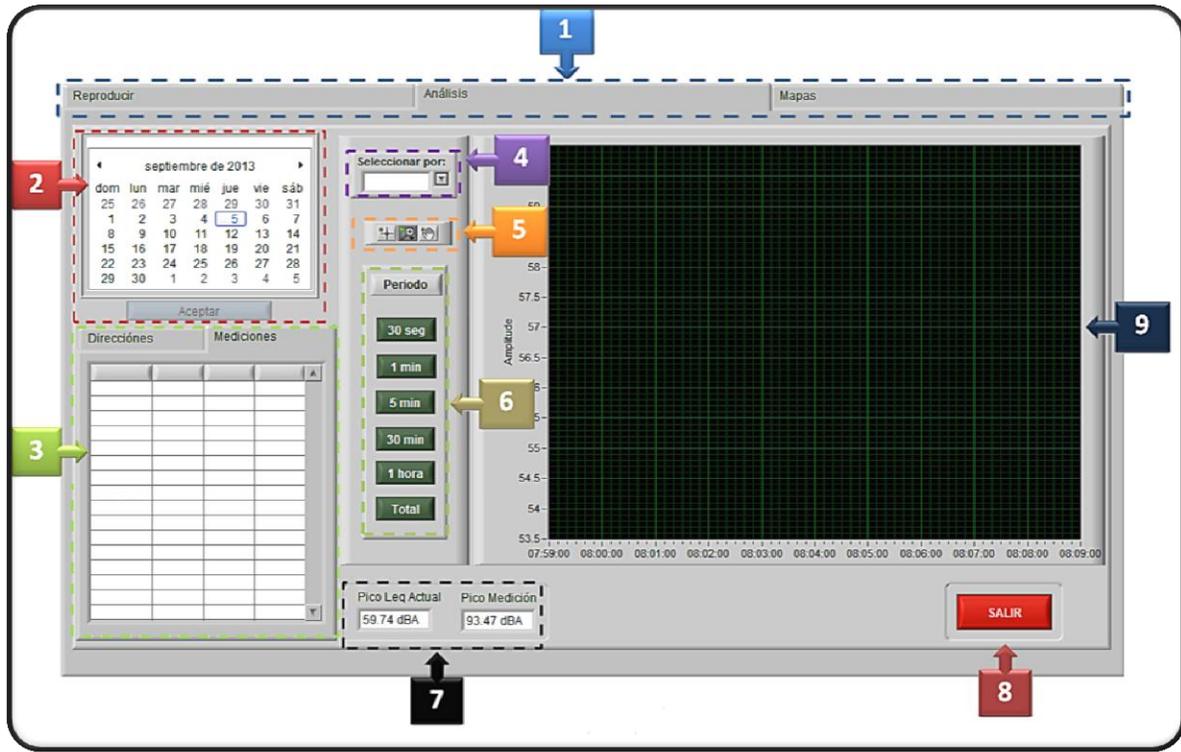


Figura 4.15. Pantalla de graficas de mediciones almacenadas (análisis de mediciones).

1. **Pestañas de selección:** Con ellas se seleccionan los distintos sub módulos del proceso de análisis de mediciones.
2. **Calendario:** Con él se selecciona el día o periodo para el cual se desea obtener datos para realizar en análisis. Se hace la selección y se oprime el botón aceptar para realizar la obtención de los datos, mismos que se muestran en el punto siguiente.
3. **Ubicación y mediciones por ubicación:** En la pestaña de ubicación aparecen las direcciones, en la pestaña de mediciones aparecen los datos de mediciones que se han realizado en ese punto y en caso que se haya hecho la consulta por fecha (Punto siguiente, 4. Tipo de selección) solo aparecen las mediciones realizadas durante el periodo seleccionado en el calendario.
4. **Tipo de selección:** Permite elegir el tipo de consulta a realizar, ya sea por fecha o por ubicación.

5. **Paleta gráfica:** Con la paleta grafica al seleccionar alguna de las opciones permite realizar zoom, mover cursores o desplazarse por la gráfica.
6. **Selección de periodo:** Selecciona el periodo de integración para el cálculo de los valores de  $L_{Aeq}$ .
7. **Valores Pico:** Son indicadores que nos muestran:
  - a. **Pico  $L_{Aeq}$  Actual:** Valor pico obtenido para los datos mostrados en la gráfica.
  - b. **Pico medición:** Muestra el valor pico obtenido durante la realización de la medición.
8. **Botón de Salir:** Cierra el módulo de análisis de mediciones.
9. **Gráfica:** Muestra los valores de  $L_{Aeq}$  de acuerdo al periodo de integración seleccionado.

#### 4.4.2 Generación de mapas de contaminación acústica.

En el presente trabajo, como se ha mencionado anteriormente, se pretende realizar la selección de los puntos de medición y la creación de mapas de contaminación acústica en base a denuncias ciudadanas o zonas donde se conozca que existen contaminación acústica importante, aunado a eso se complementó el sistema para que brinde la posibilidad de realizar mapas de ruido de tránsito vehicular basándose en modelos utilizados en la unión europea y en específico en trabajos realizados por el Laboratorio de Ingeniería Acústica y Mecánica [8] [66] de la Universidad Politécnica de Catalunya.

Entonces, dependiendo el tipo de análisis que se desee realizar es posible obtener tres tipos de mapas, estos son:

- Mapas de ubicación de puntos de medición
- Mapas de contaminación acústica (ubicación puntual)
  - Un punto de medición
  - Más de un punto de medición
- Mapas de contaminación acústica debido a tráfico vehicular (ubicación lineal)

Debido a las características del sistema, se propone solo la creación de mapas de ubicación puntual y lineal, esto se platea así ya que para la representación del ruido a manera de superficie (2d) es necesario tomar en cuenta muchos factores como son el tipo de suelo, edificaciones, etc., lo cual no está dentro del alcance planteado en esta tesis ya que el presente trabajo se limita a utilizar solo valores medidos de niveles de ruido. Es posible realizar una interpolación a los datos para representar el ruido en la superficie pero esto sería solamente estético ya que como se mencionó, no se toman en cuenta otros factores que afectan la propagación del ruido y con lo cual la representación no sería correcta en todos los puntos.

Para el diseño del sistema se contempló la sub etapa de creación de mapas de contaminación acústica. En la siguiente imagen se muestra este módulo así como las funciones de cada parte del mismo.

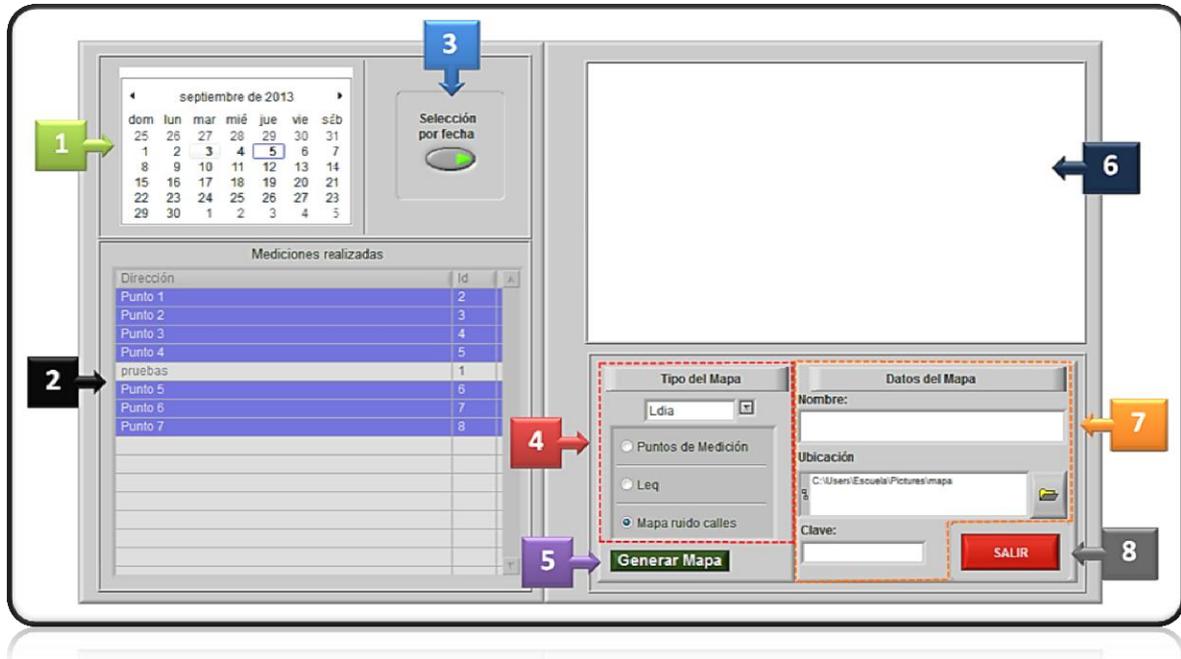


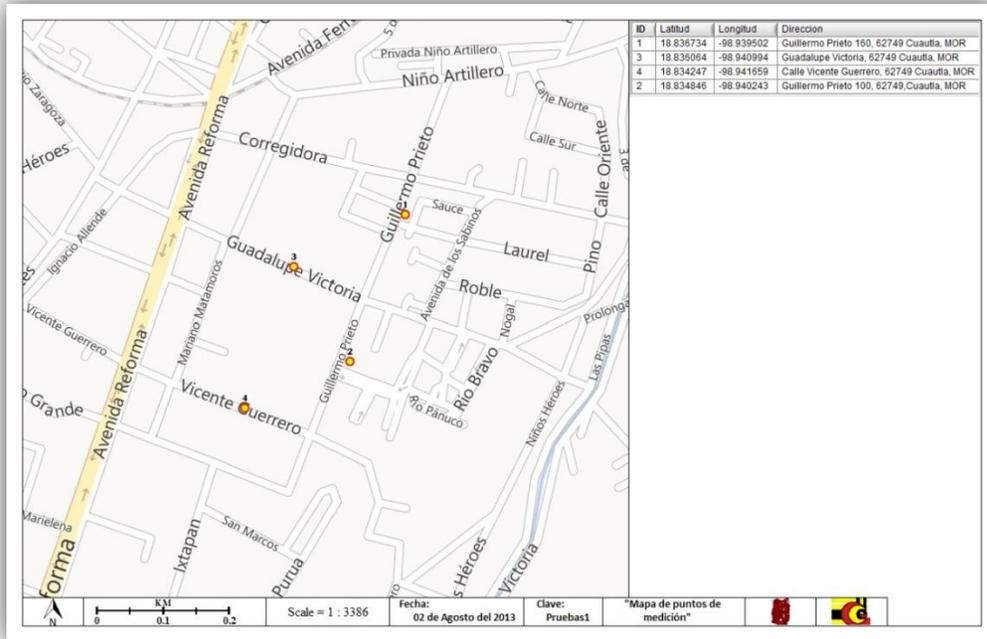
Figura 4.16. Pantalla de módulo análisis de datos - Generación de mapas de contaminación acústica.

1. **Calendario:** Con él se selecciona el día o periodo para el cual se desea obtener datos para realizar en análisis.
2. **Ubicación de mediciones:** Muestra la dirección e ID de los puntos donde se realizaron mediciones y permite seleccionar 1 o más para su análisis.
3. **Tipo de selección:** Permite elegir el tipo de consulta a realizar, ya sea por fecha o por ubicación.
4. **Tipo de mapa:** Permite elegir el tipo de mapa a crear: ubicación de mediciones, LAeq y mapas de ruido en calles. También permite elegir el periodo para el cual se realizara el mapa ( $L_{Dia}$ ,  $L_{Noche}$  o  $L_{DN}$ ).
5. **Botón Generar Mapa:** Inicia el proceso de creación de mapas.
6. **Vista previa:** Muestra una vista previa del mapa generado.
7. **Datos del Mapa:** Permite introducir el nombre y la clave del mapa, así como la ubicación en la cual se guardará una vez generado.
8. **Botón de Salir:** Cierra el módulo de análisis de mediciones.

#### 4.4.2.1 Mapas de ubicación de puntos de medición.

Parte importante del proceso de adquisición de señales es el proceso de georeferenciado de las mediciones, ya que uno de los objetivos del presente trabajo es generar mapas de contaminación acústica.

Los mapas de puntos de medición muestran datos básicos de los puntos de medición como es la ubicación de las mismas (coordenadas geográficas y punto en el mapa), la dirección, el nivel de ruido, etc. En la imagen siguiente se muestra un ejemplo de un mapa de puntos de medición:



**Figura 4.17. Mapa de ubicación de puntos de medición.**

Como se puede observar en la imagen, el mapa muestra los puntos (naranja con rojo) donde se han realizado mediciones, así como datos de coordenadas y dirección de los mismos. El mapa en la parte de abajo posee un elemento que es común a todos los mapas generados por el sistema, que ordenándolos de izquierda a derecha son:

- Indicación de Norte
- Escala grafica
- Escala numérica
- Fecha de creación del mapa
- Clave de mapa
- Nombre del mapa
- Símbolos o escudos

La primeros cuatro datos mencionados son obtenidos de manera automática al ser creado el mapa. La clave, el nombre y la carpeta de salida en donde se almacenara el mapa son especificados por el usuario antes de la creación del mismo en el módulo de generación de mapas, por último, los símbolos, así como otras opciones extras tales como el formato de salida o el

origen del mapa de fondo, se especifican en el área de configuración del sistema, misma que se puede observar en el “ANEXOB. Pantalla de Configuración del Sistema” del presente trabajo.

La generación de los mapas se hace de manera automática, lo que requiere de mínimos datos proporcionados por el usuario final, como por ejemplo los especificados anteriormente (nombre, clave, etc.), en el capítulo 5 se muestran a fondo los métodos y algoritmos usados para la creación automática de los mapas por lo cual no se profundizara más en este tema por el momento.

#### 4.4.2.2 Mapas de contaminación acústica (ubicación puntual).

Otra opción para la presentación de los mapas de puntos de medición es mostrar los niveles de ruido obtenidos en el mismo de acuerdo a los indicadores  $L_{dia}$ ,  $L_{noche}$ ,  $L_{dn}$  o  $L_{Aeq}$ .

Al igual que en el módulo de análisis de mediciones, para el caso de los mapas es posible hacer consultas por fecha o por punto de medición. Para los dos casos, si se busca obtener valores de mediciones para más de un punto, el mapa obtenido brinda la posición del punto y el valor del indicador requerido ( $L_{dia}$ ,  $L_{noche}$  y  $L_{dn}$ ) para cada uno, en caso que sea solo un punto para el que se desea obtener el nivel de ruido, se presenta el mapa con el punto único y datos del mismo como son las coordenadas, dirección, mediciones realizadas y nivel  $L_{Aeq}$ . A continuación se ilustra mejor este proceso:

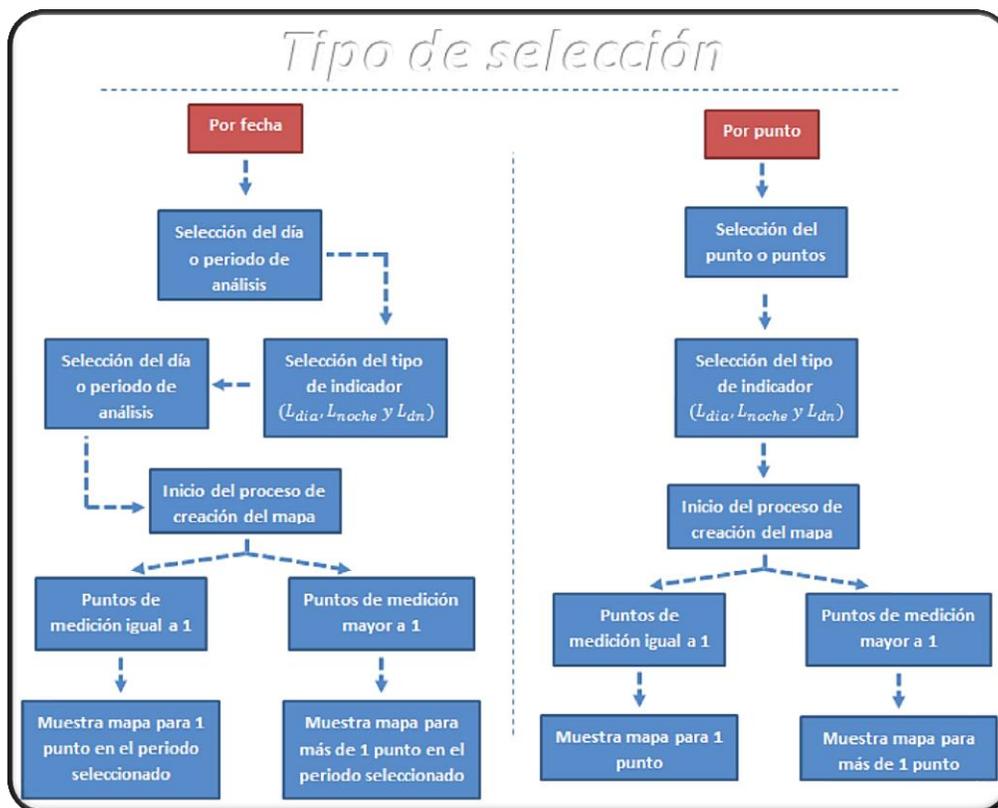


Figura 4.18. Proceso general seguido para la creación de mapas de niveles de ruido.

Ejemplos de los tipos de mapas generados para 1 y más de un punto se muestra en la Figura 4.19, en ella se puede observar que en el apartado A se obtienen los valores de  $L_{dia}$  para 4 puntos seleccionados y en el apartado B se muestran valores de medición en 1 solo punto.

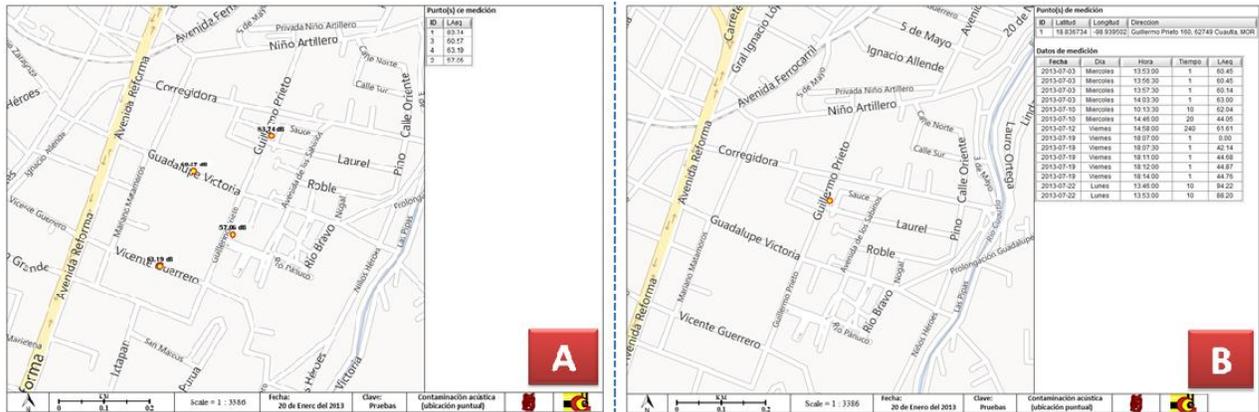


Figura 4.19. Mapas de contaminación acústica - ubicación puntual. A) Para 4 puntos B) Para 1 punto.

Se puede observar que al seleccionar un solo punto los datos mostrados en el mapa aumenta, esto se diseñó de esta manera para mantener un tamaño adecuado del mapa y para no saturar con información el mismo, y en caso que sea requerida más información acerca de las mediciones se haga uso del módulo de análisis de mediciones.

#### 4.4.2.3 Mapas de contaminación acústica debido a tránsito vehicular.

El método de medición utilizado en el presente trabajo para la elaboración de mapas de contaminación acústica debido a tránsito vehicular es el de método de vías, que como se mencionó en el capítulo 2 (“Métodos basados en mediciones”), consiste en realizar mediciones directamente sobre las calles con tránsito vehicular para así poder crear un mapa de ruido simplificado.

Un mapa de ruido simplificado representa los niveles de contaminación para cada tramo de calle o carreteras con afección a zonas residenciales. El ruido es evaluado para el tránsito vehicular a partir de cada tipo de calle. Este tipo de mapa nos permite realizar una primera evaluación de los niveles de ruido en la zona de análisis.

El sistema permite hacer un análisis de ruido debido a tráfico vehicular y crear mapas de contaminación acústica en base a estas mediciones. Estos mapas se crean también de acuerdo al indicador requerido ( $L_{dia}$ ,  $L_{noche}$  y  $L_{dn}$ ) y muestran de manera gráfica (escala de colores) los niveles de ruido en cada calle que existan mediciones, un ejemplo de este tipo de mapas se puede apreciar en la imagen siguiente:



**Figura 4.20. Ejemplo de mapa de contaminación acústica debido a tránsito vehicular.**

#### **4.4.3 Reproducción y visualización de señales almacenadas.**

Aunado a la generación de mapas y al análisis de mediciones, el sistema en la etapa de análisis de datos brinda la posibilidad de reproducir y graficar los periodos de audio almacenados en la etapa de adquisición de señales.

Esta sub etapa se diseñó con el fin de reproducir los N audios almacenados que corresponden a los N valores pico que se obtuvieron durante el tiempo de medición, en esta sub etapa se puede observar de manera gráfica la señal de ruido a reproducir y al tener el archivo de audio el formato del nombre especificado para el sistema, en esta sub etapa también es posible observar más datos referentes a la grabación del archivo, como es la fecha, hora, tiempo de grabación, etc.

En la imagen siguiente se puede observar una captura de pantalla de este sub-modulo.

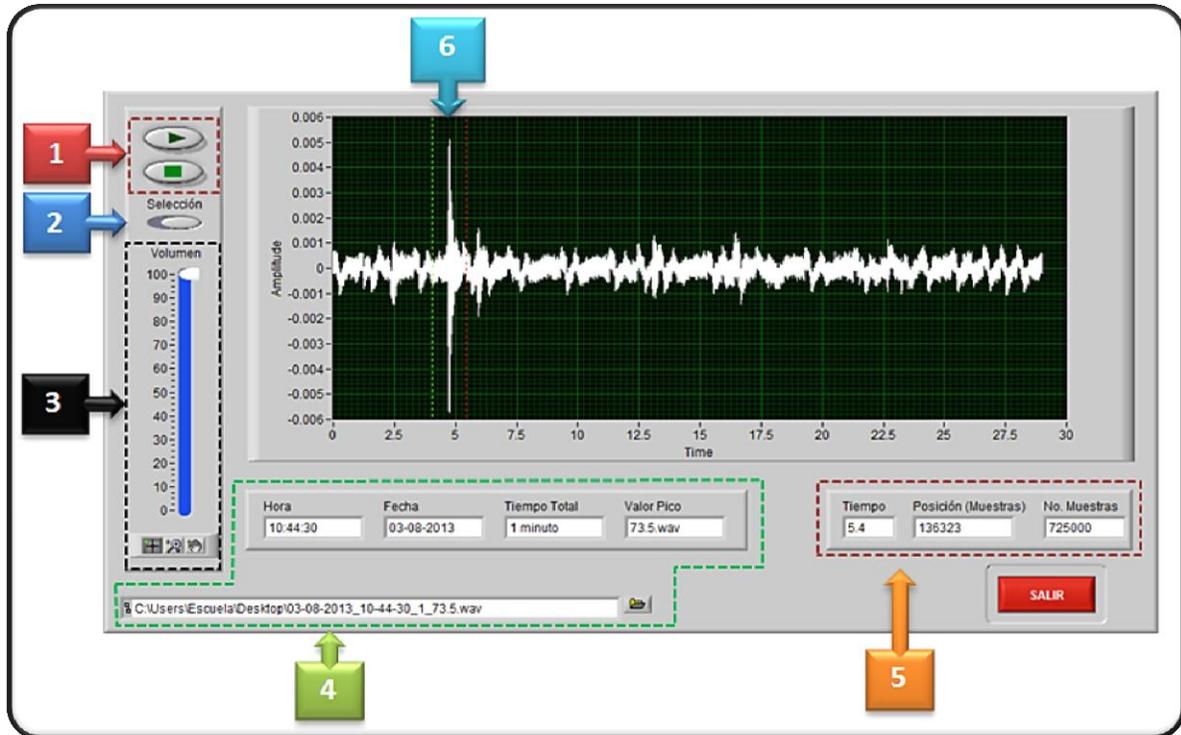


Figura 4.21. Pantalla de reproducción de archivos de audio.

1. **Botón Reproducir y Parar:** Comienza y detiene la reproducción del audio.
2. **Interruptor de selección:** Al activarlo aparecen dos cursores en el área de la señal con los cuales se puede seleccionar el intervalo de audio que se desea reproducir.
3. **Control de volumen y paleta de la gráfica:** Ajusta el volumen y distintas operaciones (zoom, desplazamiento, etc.) en la gráfica.
4. **Datos de audio:** Muestra la hora, fecha, el tiempo total de captura del cual se obtuvo el audio, el valor pico y el selector de archivo de audio.
5. **Propiedades de archivo:** Muestra el tiempo actual de reproducción, la posición actual en número de muestras y el total de muestras del archivo de audio.
6. **Gráfica de archivo de audio:** Muestra la gráfica de amplitud contra tiempo del archivo de audio, así como los cursores de selección en caso que el interruptor (2) esté activado.

#### 4.5 Conclusiones.

El diseño del sistema se realizó en base a los requerimientos de las señales a analizar y a los datos que se requieren mostrar. Se diseñó un sistema móvil que consta del equipo básico para adquisición de datos basado en PC, aunado a un módulo GPS para la georeferenciación de las

mediciones, se tomó en cuenta las restricciones de tiempo requeridas para la adquisición de señales acústicas.

Al ser móvil, el sistema permite realizar un análisis completo, de manera sencilla y centralizada, para caracterizar el ruido ambiental en una zona de interés.

El sistema cumple con las características de un sistema de medición portátil de alta precisión, la frecuencia de muestreo seleccionada es de 25 kHz que es suficiente para el tipo de señales a muestrear, y dependiendo el tipo de tarjeta de adquisición de datos que se conecte al sistema es posible aumentar esta frecuencia de muestreo.

## 5 MÉTODOS, ALGORITMOS Y SU IMPLEMENTACIÓN.

En este capítulo se presentan los algoritmos correspondientes a la adquisición de señales de ruido, los algoritmos para la creación automática de los mapas, así como los algoritmos para el cálculo de los indicadores  $L_{dia}$ ,  $L_{noche}$  y  $L_{dn}$ .

### 5.1 Algoritmos para la adquisición de señales

En la adquisición de señales, al ser georeferenciadas, se debe adquirir a parte de los indicadores de las señales de ruido, las coordenadas de la posición actual de modulo GPS, lo cual, en el sistema propuesto, es un proceso que se lleva a cabo de manera independiente a la adquisición de señales ruido.

Previo a iniciar la captura de datos, se debe esperar a que el GPS encuentre la posición, en caso de que exista algún problema con el modulo GPS, es posible realizar mediciones sin tener que utilizar el mismo, esto se debe configurar en la pestaña de configuración del sistema, esta pestaña y sus funciones se muestran en el "ANEXO B. Pantalla de configuración del sistema.

El proceso de adquisición se realiza en periodos de 30 segundos, 29 de estos se utilizan para la adquisición de datos y 1 segundo se utiliza para el procesamiento de los mismos, este procesamiento incluye el cálculo de indicadores y el almacenamiento de ellos en la base de datos.

En la siguiente imagen se observa un diagrama de tiempos donde se ilustra el proceso de adquisición de los datos:

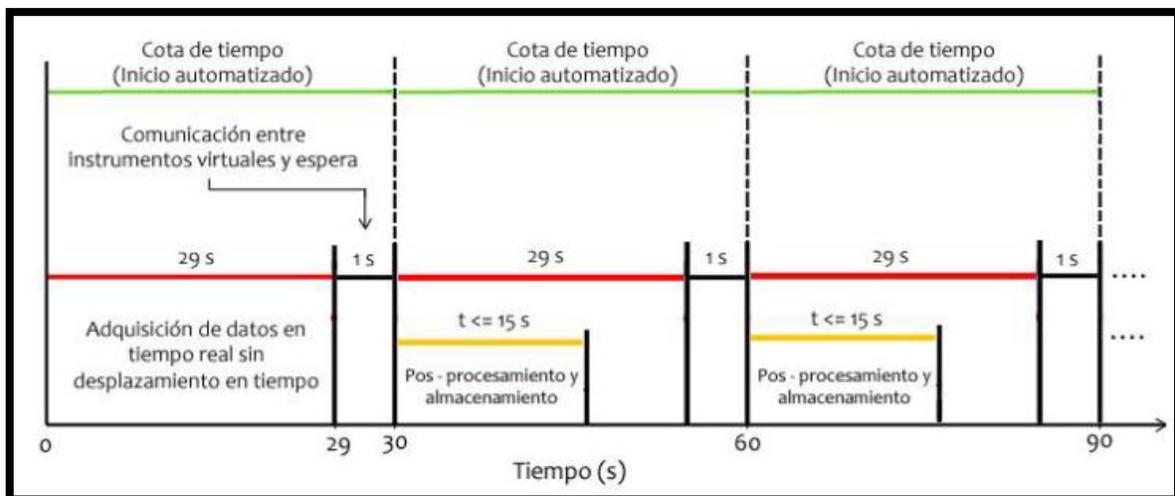


Figura 5.1. Diagrama de tiempo. Utilizado en el sistema. Cortesía de [23].

El sistema también permite el almacenamiento de N-periodos de audio (cantidad especificada manualmente por el usuario) donde se encuentren los picos más altos, esto con el fin de que, en la etapa de análisis, se pueda realizar una reproducción de los mismos para poder saber a qué se deben estos picos o poder realizar otro tipo de observaciones. El almacenamiento del audio se realiza al terminar el proceso completo de adquisición de señales por lo cual el diagrama de tiempos no se ve alterado en lo absoluto.

### **5.1.1 Algoritmo para la adquisición de señales de ruido y almacenamiento de indicadores.**

El algoritmo principal de adquisición de señales utilizado en el sistema se muestra a continuación:

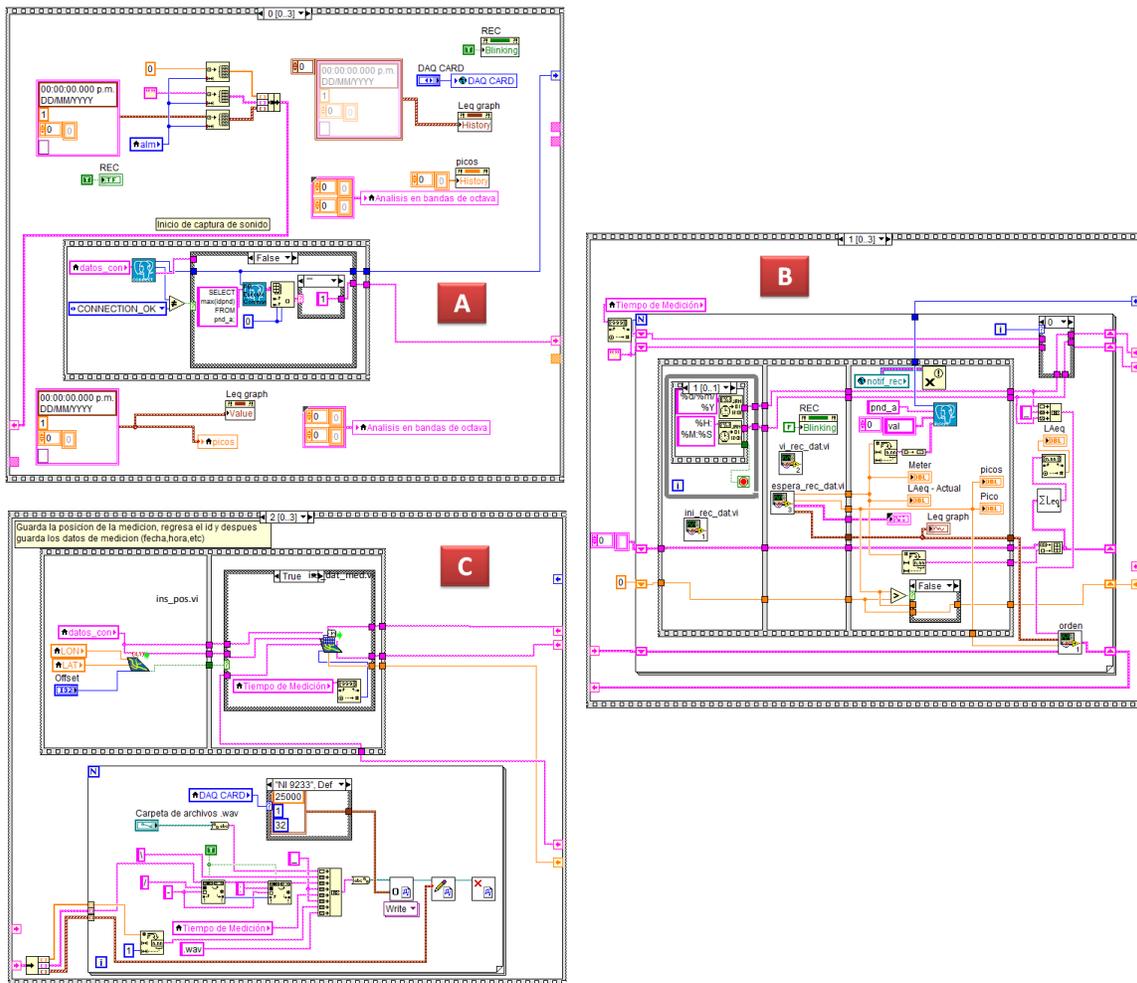
1. Ajustar parámetros de medición (tiempo de medición, número de archivos de audio a almacenar, base de datos, etc.).
2. Conexión del módulo GPS y esperar a que el dispositivo obtenga señales válidas.
3. Comienzo del proceso de adquisición, deshabilita el panel frontal, inicializa variables
4. Esperar sincronización con segundero igual a 0 ó 30 segundos e inicio de captura.
  - 4.1. Adquisición de datos durante 29 segundos.
  - 4.2. Procesamiento y almacenamiento de los datos.
  - 4.3. ¿Se ha completado el tiempo total de captura?
    - 4.3.1. No. Regresar a 4.1.
    - 4.3.2. Sí. Continuar con el paso 5.
5. Almacenamiento de datos geográficos, valores de medición y archivos de audio.
6. Fin de captura. Habilita panel frontal.

El paso número 1 del algoritmo se realiza en la pantalla de configuración del sistema, misma que se muestra como se mencionó anteriormente en el “ANEXO B”.

La conexión al módulo GPS y la adquisición de los datos del módulo (paso 2 del algoritmo) se realiza en un proceso a parte, el SubVI para la conexión al módulo GPS se ejecuta previo a la adquisición de señales de ruido y el proceso de obtención de los datos del GPS se realiza en paralelo al proceso de adquisición de señales acústicas, respetando que antes de iniciar la adquisición de las señales, el GPS debe obtener señales validas de posición.

En la Figura 5.2 se muestra el diagrama del proceso de adquisición (paso 3 al 5), en el apartado A, se observa el proceso de inicialización de las variables y de las gráficas, también se obtiene el valor del identificador usado en la base de datos para almacenar los niveles de ruido. En el apartado B de la misma imagen se observa el diagrama con el cual se realiza la sincronización con el reloj para el comienzo de los periodos de 30 segundos de adquisición de audio (Figura 5.1), la adquisición y el procesamiento de las señales, así como la actualización de graficas presentadas al usuario, se puede observar que en esta parte hay 3 SubVI's los cuales se describen a continuación:

1. **Ini\_rec\_dat.vi:** Es el encargado de comenzar la recolección de datos, la única función realizada por este VI es la inicialización de la notificación con la cual se inicia el proceso de adquisición.
2. **Vi\_rec\_dat.vi:** Se encarga de realizar la recolección de datos de la tarjeta de adquisición de datos y enviarlos mediante la notificación creada por el VI ini\_rec\_dat.vi.
3. **Espera\_rec\_dat.vi:** Se encarga de procesar los datos y obtener indicadores (Laeq, Valor Pico, Análisis en Bandas de Octava) una vez que el vi\_rec\_dat.vi le ha enviado la notificación con los datos.



**Figura 5.2. Diagrama del proceso de adquisición de señales de ruido A) Inicialización, B) Adquisición y procesamiento y C) Almacenamiento de los datos.**

En el apartado C de la imagen se observa el diagrama del SubVI para el almacenamiento de los datos de medición y audios, en la parte superior de la misma se encuentra el proceso de

almacenamiento de datos de medición y datos geográficos, que básicamente se compone de dos SubVI's:

1. **Ins\_pos.vi:** Este VI se encarga de hacer la inserción de las coordenadas geográficas y la dirección, el cambio a tipo de dato punto y la inserción de las mismas, este VI también hace la comparación de distancias con el offset y la asignación automática de la posición en caso que la distancia sea menor.
2. **Ins\_dat\_med.vi:** Se encarga de realizar la inserción de los datos de medición como son la fecha, hora, tamaño, valor pico, etc.

En la parte inferior del apartado C de la misma imagen, se puede observar el diagrama correspondiente al almacenamiento de los archivos de audio.

### 5.1.2 Algoritmo de obtención de señales GPS.

La conexión con el modulo GPS y la obtención de las coordenadas y demás datos geográficos se realiza siguiendo el algoritmo presentado a continuación, que en el algoritmo principal presentado en el punto anterior, sería el paso número 2 "Conexión del módulo GPS y esperar a que el dispositivo obtenga señales válidas". Cabe señalar que mientras el GPS esté conectado la adquisición de datos del GPS se ejecuta en segundo plano, esto es, existe un SubVI encargado de comunicarse con el modulo y obtener los datos.

1. Inicio de la conexión al GPS.
2. Selección del puerto y Baud Rate.
3. ¿Es correcto el puerto?
  - 3.1. No. Termina proceso de conexión.
  - 3.2. Sí. Comienza SubVI de obtención de datos del GPS.
4. Actualiza la pantalla del mapa a pantalla Esperando Señal Válida.
5. ¿Señal Válida?
  - 6.1. No. Regresa a 5 si no se ha obtenido al menos una señal valida o regresa a 4 si ya se ha obtenido al menos una señal y se ha mostrado el mapa.
  - 6.2. Sí. En caso que no se haya mostrado previamente o en caso que se haya repetido el punto 4, actualiza pantalla de mapa, muestra mapa y ubicación. En cualquier caso adquiere nuevos datos GGA y GSV y actualiza el archivo GPX.
7. ¿GPS desconectado?
  - 7.1. No. Continúa adquisición de datos de GPS, regresa al punto 5.
  - 7.2. Sí. Termina adquisición de datos GPS y actualiza la pantalla del mapa a pantalla Conectar GPS.

En la siguiente imagen se observa el SubVI (diagrama y panel frontal) de selección del puerto y Baud Rate.

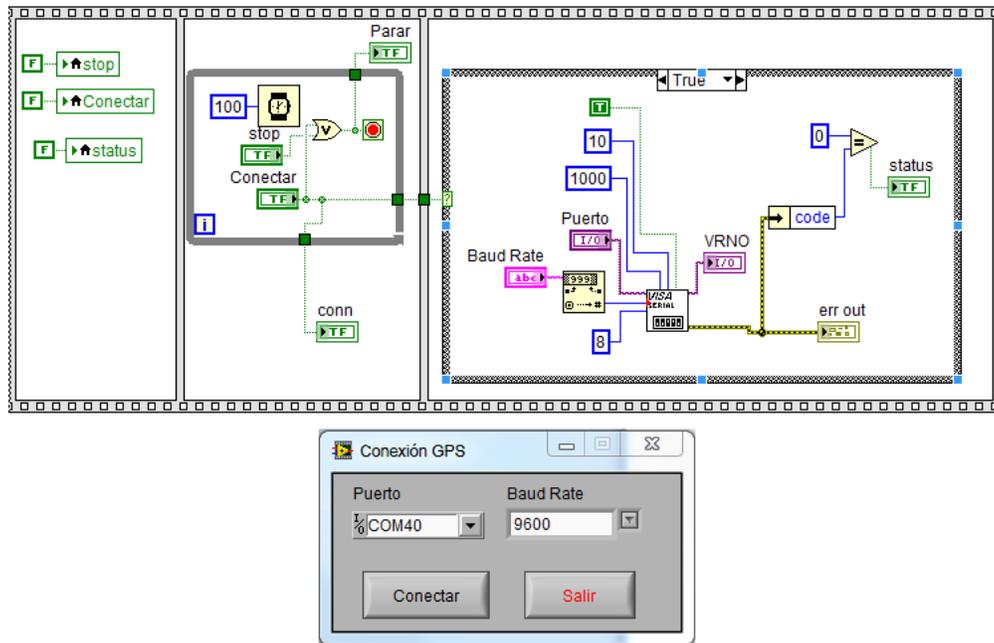


Figura 5.3. SubVI selección de puerto y Baud Rate.

En el Capítulo 3, en el apartado 3.1.1 Protocolo NMEA, se observa cómo es que se comunica el módulo GPS con la computadora, se observa que manda cadenas de caracteres de donde se obtienen distintos datos, estos vienen separados por comas.

Tomando en cuenta que en su mayoría los datos vienen separados por comas y mantienen un mismo número de caracteres, obteniendo subconjuntos de la cadena es como se realiza el procesamiento de la misma y se obtienen los distintos datos que brinda cada cadena NMEA.

En la Figura 5.4, mostrada más adelante, se observan los SubVI que realizan la obtención de los datos de cadenas GGA y GSV. En el apartado A de la imagen se observa el SubVI que obtiene los datos de latitud, longitud, número de satélites, conectados, HDOP y altura sobre el nivel del mar; en el apartado B de la imagen se observa el SubVI que obtiene los datos de SNR de los satélites de la cadena GSV.

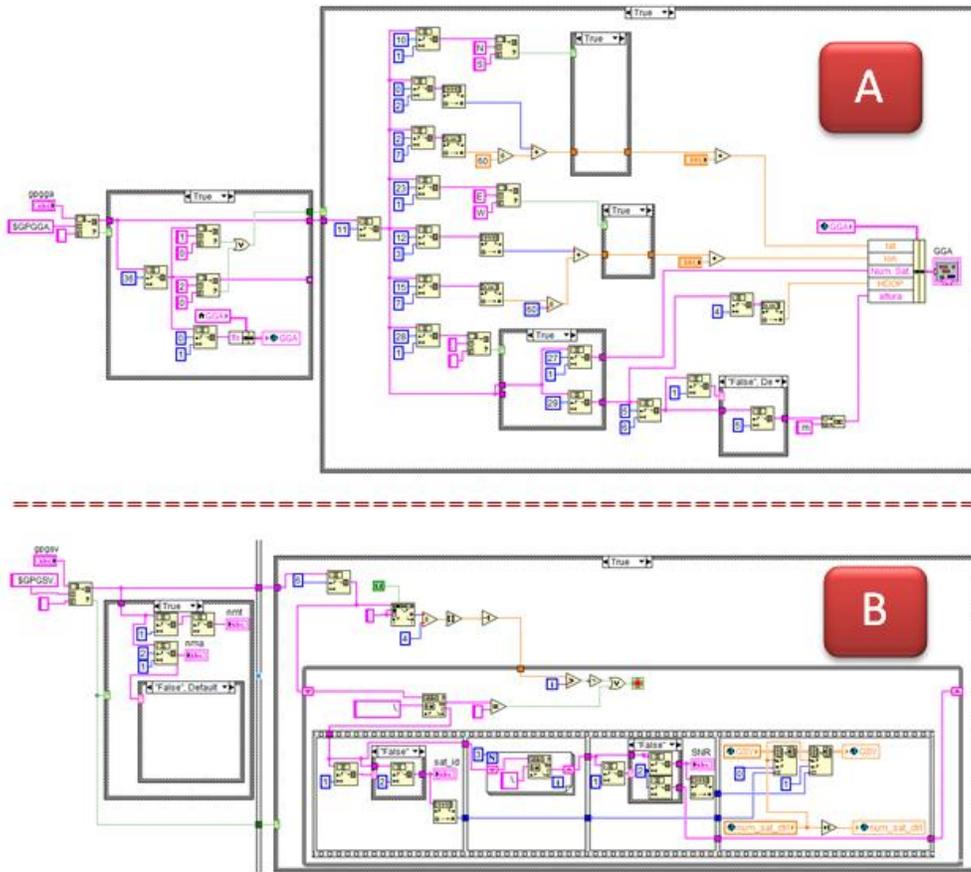


Figura 5.4. Diagramas de SubVI's de cadena GGA (A) y GSV (B).

Existe otro SubVI que es el encargado de obtener las cadenas NMEA y proporcionárselas a los SubVI GGA y GSV para que ellos las procesen y se obtengan los datos de posicionamiento, el diagrama de este proceso se puede observar a continuación:

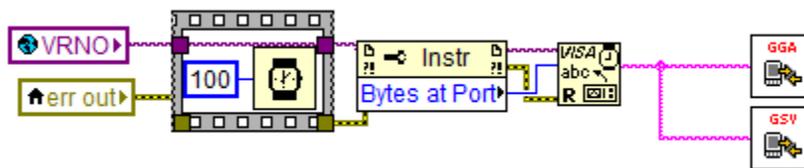


Figura 5.5. Diagrama de obtención de datos del módulo GPS.

Este SubVI también es el encargado de crear el archivo GPX para mostrar la ubicación en el mapa y de hacer las actualizaciones de pantallas mencionadas en el algoritmo presentado al inicio de este apartado, el diagrama de estos procesos se puede observar en la imagen siguiente:

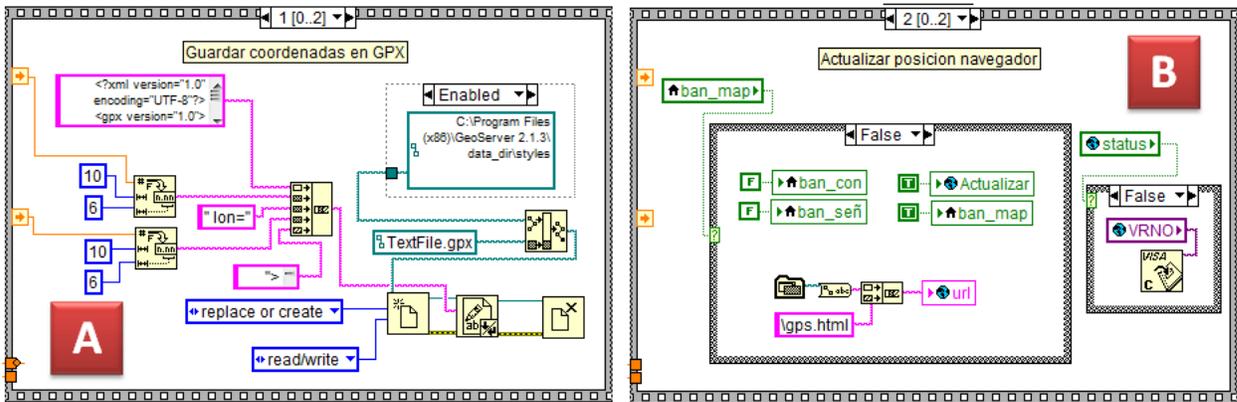


Figura 5.6. Diagrama de actualización de GPX (A) y de actualización de pantalla del navegador (B).

## 5.2 Algoritmos y métodos para la creación automática de mapas de ruido.

El proceso para la creación automática de mapas de contaminación acústica se divide básicamente en 2 etapas:

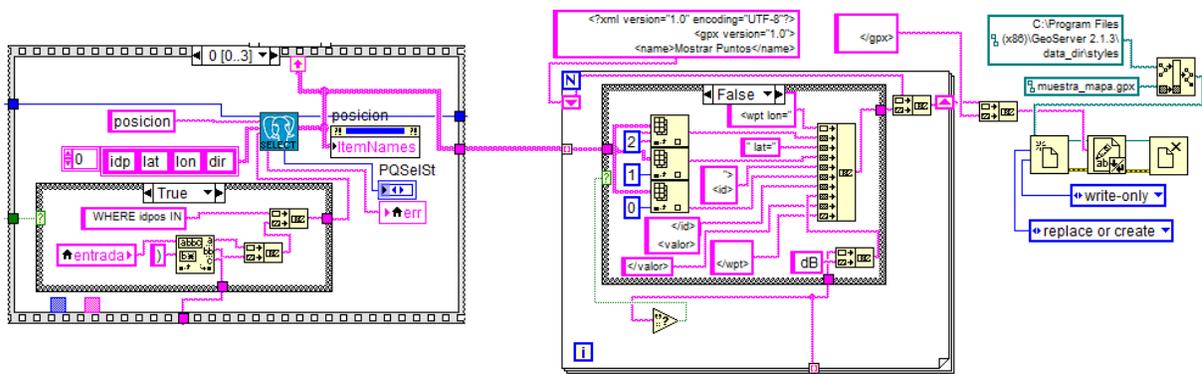
- La primera es la programación en JavaScript, la cual muestra la parte del área geográfica y todo lo que se incluye dentro de la misma (puntos, nombres, etc.) para su posterior integración al mapa completo en la etapa siguiente.
- La segunda es la programación en LabVIEW, la cual incluye en general la integración de los elementos del mapa completo como son la creación y el procesamiento de tablas y datos adquiridos de la base de datos, nombre, fecha, clave, etc.

El algoritmo seguido para la creación de los mapas en LabVIEW es el siguiente:

1. Inicio del proceso.
2. Conexión a la base de datos y obtención de los mismos de acuerdo al tipo de selección.
3. Procesa los datos de acuerdo al tipo de mapa:
  - a. Puntos de medición: Crear GPX con los datos geográficos.
  - b. Nivel de ruido puntual: Crear GPX con los datos geográficos y calcula indicadores ( $L_{dia}$ ,  $L_{noche}$  y  $L_{dn}$ ).
  - c. Nivel de ruido en calles:
    - i. Reinicia almacenamiento para mostrar mapa de calles.
    - ii. Calcula indicadores ( $L_{dia}$ ,  $L_{noche}$  y  $L_{dn}$ ).
    - iii. Asigna una calle por cada posición puntual.
    - iv. Guarda datos en la base designada para mostrar mapa de calles.
4. Cargar área geográfica del mapa.
5. Añadir rectángulo al contorno del área geográfica.

6. Ajuste automático del tamaño total del mapa de acuerdo al tipo de mapa y añade los parámetros a mostrar.
  - a. Puntos de medición: Id, Latitud, Longitud y Dirección.
  - b. Nivel de ruido puntual:
    - i. Mapa de 1 punto: Id, Latitud, Longitud, Dirección, Fecha, Hora, Día, Tiempo y LAeq.
    - ii. Mapa de más de 1 punto: Id y LAeq (De acuerdo al parámetro seleccionado  $L_{dia}$ ,  $L_{noche}$  y  $L_{dn}$ ).
  - c. Nivel de ruido en calles: Leyenda de colores y niveles LAeq.
7. Añade rectángulo al contorno del tamaño total del mapa.
8. Añade datos de mapa (fecha, clave, nombre, logo 1 y logo 2).
9. Obtiene imagen de salida.
10. Almacena el mapa y muestra vista previa.

La creación del GPX (punto 3) es común para todos los caso y el diagrama que realiza esta función se muestra a continuación



### 5.2.1.1 Cálculo de indicador $L_{dia}$ y $L_{noche}$

El algoritmo seguido para la obtención de los indicadores  $L_{dia}$  y  $L_{noche}$  es el siguiente:

1. Selección del punto o puntos de medición de acuerdo al tipo de selección (Figura 4.14. Proceso para el análisis de mediciones.Figura 4.14).
2. Obtención de los valores medidos ( $L_{Aeq}$ ) en los puntos de medición de acuerdo al indicador seleccionado, almacenados en la base de datos.
  - 2.1.  $L_{dia}$ : Hora >7hrs y hora <=22hrs
  - 2.2.  $L_{noche}$ : Hora <=7hrs y hora >22hrs
3. Integración de los valores por cada punto de medición (Ecuación 2.3).

El cálculo de los indicadores  $L_{dia}$  y  $L_{noche}$  se realiza dentro de los SubVI's dedicados a la creación de mapas. Para la integración de las mediciones se utiliza otro SubVI específico para este fin, éste tiene como entrada un arreglo de valores correspondientes a las mediciones hechas en un único punto y da como salida un solo valor  $L_{Aeq}$ , el cual representa el nivel equivalente en dicho punto para el periodo integrado. En la imagen siguiente se puede observar el diagrama de este VI.

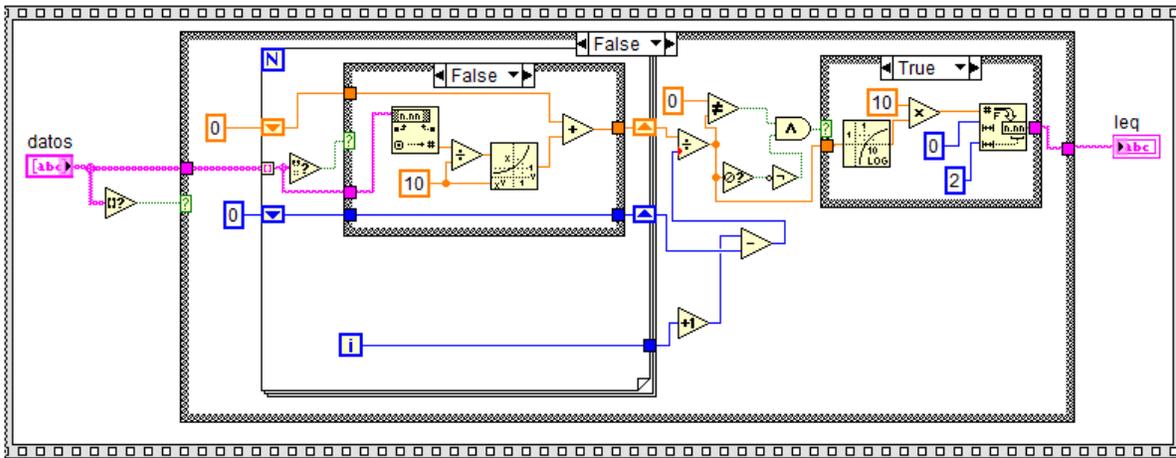


Figura 5.8. Diagrama de VI de integración de  $L_{Aeq}$

### 5.2.1.2 Cálculo de indicador $L_{dn}$

El indicador  $L_{dn}$  toma en cuenta las causas del ruido, esto se hace suponiendo que algunas actividades requieren de niveles de ruido más bajos para realizarse como puede ser dormir y por ello se realiza una ponderación de los niveles equivalentes medidos de acuerdo al periodo, esto es, tiene mayor peso un ruido en periodos donde la tolerancia al mismo es menor.

El algoritmo empleado para el cálculo del indicador  $L_{dn}$  se muestra a continuación:

1. Selección del punto o puntos de medición de acuerdo al tipo de selección (Figura 4.14. Proceso para el análisis de mediciones.Figura 4.14).
2. Obtención de los valores medidos ( $L_{Aeq}$ ) almacenados en la base de datos, en los puntos de medición de acuerdo al indicador seleccionado.
3. Calculo de  $L_{dia}$  (Ver algoritmo en el punto anterior)
4. Calculo de  $L_{noche}$  (Ver algoritmo en el punto anterior)
5. Calculo de  $L_{dn}$

El cálculo de  $L_{dn}$  se realiza con un SubVI dedicado a realizar solo este cálculo, éste SubVI tiene como entrada los niveles  $L_{dia}$  y  $L_{noche}$  y como salida él valor de  $L_{dn}$ . El diagrama de este SubVI se puede observar en la siguiente imagen.

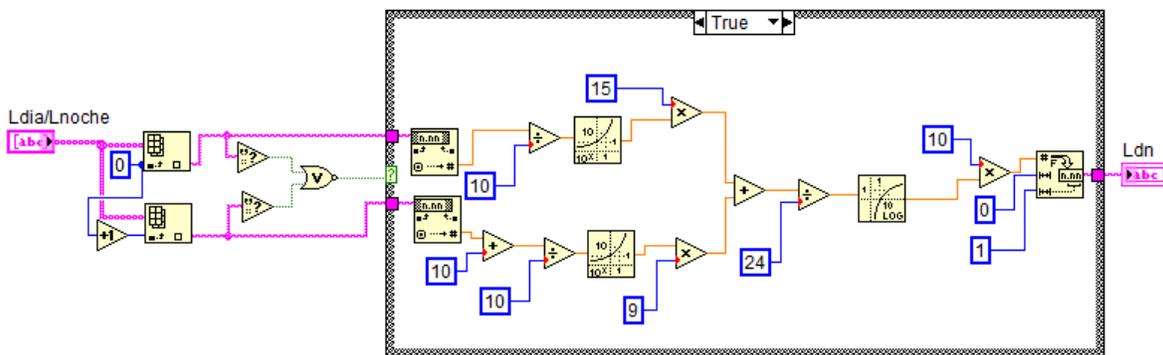


Figura 5.9. Diagrama de SubVI para el cálculo de  $L_{dn}$

### 5.2.2 Métodos para la presentación del área geográfica - Etapa de adquisición de señales.

La presentación de las áreas geográficas, se realiza de una manera independiente a LabVIEW pero a su vez comunicada mediante archivos XML y GPX. Para la etapa de adquisición de señales, la presentación del mapa requiere de la creación de archivos GPX para el posicionamiento en la ubicación actual del GPS (Figura 5.6-A) y para la presentación de los puntos de medición realizados previamente (Figura 5.10-A), además se requiere de un archivo XML para el paso de información del Offset (Figura 5.10-B), todos estos archivos son generados por LabVIEW, se guardan en el servidor de mapas (GeoServer) y de ahí se obtienen para su procesamiento y visualización mediante OpenLayers.

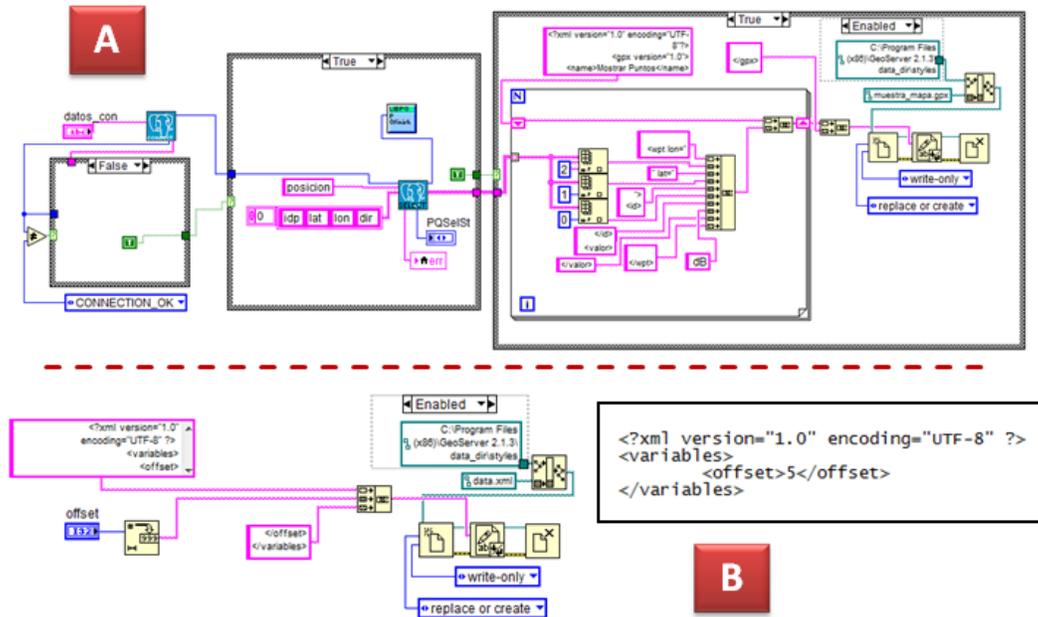


Figura 5.10. A) Diagrama para la creación de GPX de puntos medidos previamente B) Diagrama de creación de XML de offset y datos del XML.

Aunado a esto, existen métodos programados en JavaScript (OpenLayers) dentro de la etapa de adquisición de señales con los cuales se implementan distintas funciones, como son:

- Presentación del mapa
- Centrado del mapa en la posición actual
- Centrado automático del mapa en la posición actual (cada segundo)
- Creación y ajuste del indicador del offset

El código de estos métodos se puede observar en el “ANEXO C. Métodos JS para la etapa de análisis de datos”.

### 5.2.3 Métodos para la presentación del área geográfica - Etapa de análisis de datos.

Para la presentación del área geográfica en la etapa de análisis de datos, se requiere de métodos distintos a los utilizados en la etapa de adquisición de señales debido a que para la etapa de análisis de datos, ya no se obtiene información de la ubicación del GPS, para esta etapa solo se requiere de obtener la información que ya se encuentra previamente almacenada en la base de datos, para así procesarla y posteriormente presentarla de acuerdo a los requerimientos del usuario.

La herramienta utilizada para la presentación del área geográfica de los mapas de contaminación acústica permite implementar funciones para mostrar de manera correcta el área geográfica correspondiente a los puntos de interés, entre estas funciones se encuentran:

- Etiquetado automático
- Zoom en los puntos de interés
- Leyenda (ISO-1996)

El código de estos métodos implementados en OpenLayers se puede observar en el “ANEXO D. Métodos JS para la etapa de análisis de datos” y a continuación se presentan los algoritmos de los mismos.

### 5.2.3.1 Etiquetado automático.

Dependiendo el tipo de mapa que se desee crear será las etiquetas que se mostrarán, por ejemplo, en el mapa de ubicación de puntos de medición (Figura 4.17), el dato que se requiere mostrar es el valor de ID de cada punto. OpenLayers permite realizar este etiquetados con funciones internas y solo se requiere crear el archivo GPX con el valor correcto de la etiqueta para que sea mostrado en el mapa. Una función que no está incluida en OpenLayers es la de insertar un fondo en cada etiqueta, esto con el fin de que la etiqueta se pueda observar claramente en cualquier condición.

La función de asignación de fondo para el etiquetado automático se realiza siguiendo el algoritmo mostrado a continuación:

1. Obtener tamaño de la letra (altura).
2. Obtener tamaño de la letra (longitud  $\approx$  altura/2)
3. Obtener *feature*
  - 3.1. Obtener datos de posición de *feature* (x, y)
  - 3.2. Calcular esquina inferior izquierda del rectángulo
  - 3.3. Calcular esquina superior derecha del rectángulo
  - 3.4. Trazar rectángulo (esquina inferior izquierda y esquina superior derecha)
  - 3.5. ¿Es el último *feature*?
    - 3.5.1. No. Pasar a siguiente *feature* y regresar al paso 3.
    - 3.5.2. Sí. Continuar al paso siguiente.
  - 3.6. Fin.

### 5.2.3.2 Zoom en los puntos de interés.

Un punto importante en la presentación del área geográfica es la realización del centrado y ajuste automático del zoom en el área donde se encuentren los datos que se desean mostrar. El algoritmo siguiente muestra el proceso seguido para realizar el zoom automático.

1. Obtener los puntos de la base de datos y crear GPX con ellos (Figura 5.7)
2. Cargar capa del GPX en OpenLayers
3. Obtener la extensión total de la capa GPX
4. Calcular valores de tolerancia (top, left, right, bottom)

5. Obtener nuevos valores de extensión total
  - 5.1.  $\text{Right} = \text{right} + \text{right\_offset}$
  - 5.2.  $\text{Top} = \text{top} - \text{top\_offset}$
  - 5.3.  $\text{Left} = \text{left} - \text{left\_offset}$
  - 5.4.  $\text{Bottom} = \text{bottom} + \text{bottom\_offset}$
6. Realizar zoom a la nueva extensión total
7. ¿Zoom actual mayor al zoom máximo?
  - 7.1. Sí.  $\text{Zoom} = \text{zoom máximo}$ .
  - 7.2. No. Pasa al siguiente paso
8. Crea fondo para etiquetas (*Etiquetado automático.*)
9. Fin.

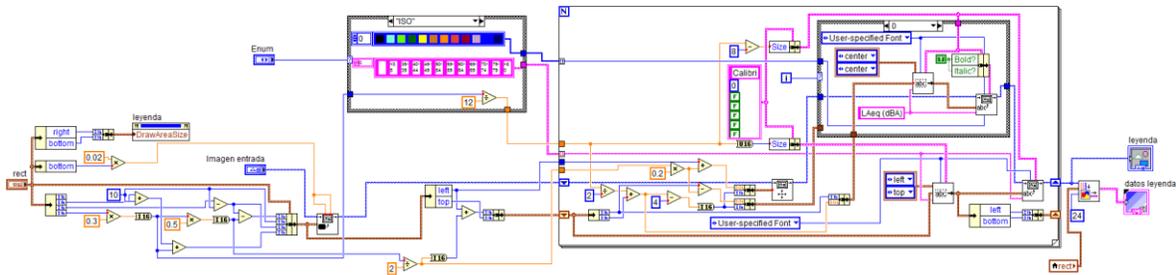
### 5.2.3.3 Leyenda ISO - 1996.

En los mapas de contaminación acústica debido a tráfico vehicular, los niveles de ruido en las calles se muestran de acuerdo a una escala de colores, esta es la descrita en [24] [67]. En la tabla siguiente se puede observar dicha escala.

**Tabla 5.1. Escala de colores de acuerdo a ISO 1996-2:1987**

Nivel de ruido (dB)	Color	
Menor a 35	Light green	
35 a 40	Green	
40 a 45	Dark green	
45 a 50	Yellow	
50 a 55	Ochre	
55 a 60	Orange	
60 a 65	Cinnabar	
65 a 70	Carmine	
70 a 75	Lilac red	
75 a 80	Blue	
Mayor a 80	Dark blue	

Para la creación e integración de esta leyenda en el mapa final de tráfico vehicular se creó un SubVI que se encarga de realizar estas tareas. A continuación se observa el diagrama de este SubVI.



**Figura 5.11. Diagrama de SubVI leyenda ISO - 1996**

Aunado a este SubVI se creó un Style Layer Descriptor (SLD) que se manda a llamar desde OpenLayers, con el cual se hace la asignación automática de los colores dependiendo el nivel  $L_{Aeq}$  que presente cada calle y a su vez ajusta el grosor de las líneas de acuerdo al zoom. El código del SLD se muestra completo en el “ANEXO E. Código SLD para la escala de colores ISO 1996-2”.

### 5.3 Conclusiones.

El sistema que se propone integra de manera eficiente los Sistemas de Información Geográfica con Sistemas de Medición basados en PC.

Mediante el uso de LabVIEW se realizó la programación “base” del sistema y en la cual se fueron integrando herramientas básicas para el almacenamiento, análisis y presentación de información geográficamente referenciada como son las bases de datos espaciales, servidores de mapas, etc.

Cada parte del sistema posee su propia programación y mediante archivos GPX y XML, se realizó el intercambio de información entre las distintas partes que integran el sistema y que así lo requirieran.

## 6 MAPAS DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.

En este capítulo se presentara la metodología seguida para la realización de las mediciones y los resultados obtenidos de un caso de estudio realizado con el sistema propuesto y enfocado al análisis de ruido debido a tránsito vehicular.

### 6.1 Metodología empleada para le realización de las mediciones

Existen muchos elementos que intervienen en el proceso de creación de un mapa de ruido y muchas elecciones que se deben realizar en cada paso del mismo. Debido a que el presente caso de estudio se centra en el ruido vehicular, los sitios de medida se seleccionarán de acuerdo al tipo de fuente de ruido, esto es, se tomara en cuenta para el análisis solo calles con tráfico vehicular, esto es que no sean calles de uso exclusivo para peatones.

La mediciones se realizan en su mayoría y de acuerdo a las posibilidades siguiendo los procedimientos marcados en [1] [3]. Para las mediciones se utiliza básicamente el siguiente equipo:

- Equipo básico de medición de señales acústicas
- Calibrador de nivel de presión sonora
- Trípode
- Pantalla contra viento para micrófono
- Cable de extensión

Se utiliza este equipo ya que el sistema no está montado en un vehículo exclusivo para la realización de mediciones, como se había propuesto.

El tiempo de medición utilizado es de 15 minutos, las mediciones se realizan en horarios que sean representativos del nivel sonoro de la calle. Los datos a obtener de cada medida son:

- Nivel sonoro equivalente ponderado A(LAeq)
- Espectro de frecuencias
- LAeq pico
- Coordenadas geográficas
- Archivos de audio en base a valores pico

Las mediciones se realizaron respetando las condiciones mínimas de medición establecidas en las normas antes citadas, la cual indica que no se deben realizar mediciones cuando exista algún evento adverso que pueda alterar o poner en riesgo el equipo y la medición, como puede ser lluvia, tormentas eléctricas, ráfagas de viento, etc.



**Tabla 6.1. Límites máximos permisibles de emisiones sonoras [3].**

<b>Horario</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
<b>6:00h a 20:00h</b>	65 dB(A)
<b>20:00h a 6:00h</b>	62 dB(A)

Con el presente caso se pretende realizar una caracterización de la zona y así poder comprobar si es que estos límites se cumplen para los periodos señalados.

### **6.1.2 Selección de puntos de medición**

Para la realización de un mapa de ruido basado en mediciones, es un punto clave la elección de la cantidad de diferentes puntos de medida así como la ubicación de los mismos.

El ruido en cualquier punto tiene muchas variaciones durante el día, de acuerdo a [68], es posible obtener mediciones representativas en cada punto realizando las mismas en periodos de tiempo cortos pero que sean representativos de los horarios de ruido en el día. En base a esto se pretende realizar 2 mediciones durante el día, una en la mañana y otra en la tarde, cada una de ellas en periodos de 15 minutos.

En la Figura 6.1, se puede observar que en medio de los edificios de la unidad habitacional existen calles de destino (estacionamientos), se pueden observar también una avenida principal (con sus dos sentidos: Miguel Othón de Mendizábal Oriente y Miguel Othón de Mendizábal Poniente) donde se podría pensar que existe mayor tránsito vehicular ya que es la conexión entre las Avenidas Eje Central y Vallejo que tiene un gran flujo vehicular e incluso de vehículos pesados, y por último, se observa una calle que comunica la Calzada Vallejo con Miguel Othón de Mendizábal (Playa); estas calles serían las que entrarían dentro del análisis por lo cual en ellas es donde se realizaran las mediciones.



**Figura 6.2. Calles seleccionadas para el análisis.**

La ubicación de los puntos de medida en la calle se debe escoger de manera que su posición sea el máximo representativa de las características de la calle. En los casos en que una misma calle presente varias características que puedan afectar al nivel sonoro resultante se divide la calle en tramos y en cada uno de ellos se debe establecer un punto de medida.

De acuerdo a los criterios seleccionados, se planea realizar mínimo un punto de medición en cada calle, para las calles destino (Duna, Ola, Red, Pez y Mar) se realiza el mínimo que es 1 punto, para la calle Playa se seleccionaron dos puntos de medida ya que en el tramo de la misma se observan estacionamientos los cuales pueden influir en el flujo vehicular a lo largo de la calle. Finalmente para la Av. Miguel Othón se dividió en 3 tramos y se asignó un punto de medición a cada tramo, esto debido a la longitud de la misma y a que existen varias calles conectadas a la avenida, de esta forma la ubicación de los puntos de medición queda como se muestra a continuación:



**Figura 6.3. Planeación de puntos donde se realizaran medidas.**

Como se observa, se realizan mediciones en 10 puntos distintos para la caracterización de la zona seleccionada.

### **6.1.3 Realización de mediciones**

Las mediciones se realizaron para el periodo de la mañana entre las 7 y 8 am y para el periodo de la tarde entre las 5 y 6pm. Todas ellas como se mencionó anteriormente con una duración de 15 minutos.

En la tabla siguiente se puede observar la hora, fecha y día en que se realizó por cada punto de medición (Figura 6.3).

**Tabla 6.2. Datos de mediciones realizadas para el caso de estudio.**

<b>Punto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Día</b>
<b>1</b>	04/09/2013	07:41:00	Miércoles
	11/09/2013	17:18:30	Miércoles
<b>2</b>	04/09/2013	08:02:30	Miércoles
	11/09/2013	17:36:30	Miércoles
<b>3</b>	04/09/2013	08:24:30	Miércoles
	05/09/2013	17:48:00	Jueves
<b>4</b>	04/09/2013	08:47:30	Miércoles
	05/09/2013	19:02:30	Jueves
<b>5</b>	05/09/2013	07:36:30	Jueves
	05/09/2013	18:14:00	Jueves
<b>6</b>	05/09/2013	07:59:00	Jueves
	05/09/2013	18:36:30	Jueves
<b>7</b>	05/09/2013	08:21:00	Jueves
	10/09/2013	17:11:00	Martes
<b>8</b>	06/09/2013	07:44:00	Viernes
	11/09/2013	17:56:30	Miércoles
<b>9</b>	06/09/2013	08:05:00	Viernes
	10/09/2013	17:55:00	Martes
<b>10</b>	06/09/2013	08:28:00	Viernes
	10/09/2013	17:33:30	Martes

Las mediciones se agruparon en tiempo tanto como fue posible y las mismas se realizaron con condiciones climáticas favorables para adquirir valores representativos de cada zona y cada punto de medición. Ejemplo de esto se observa en la siguiente imagen, este punto de medición es uno de los 3 que se encuentra en la Av. Miguel Othón de Mendizábal.

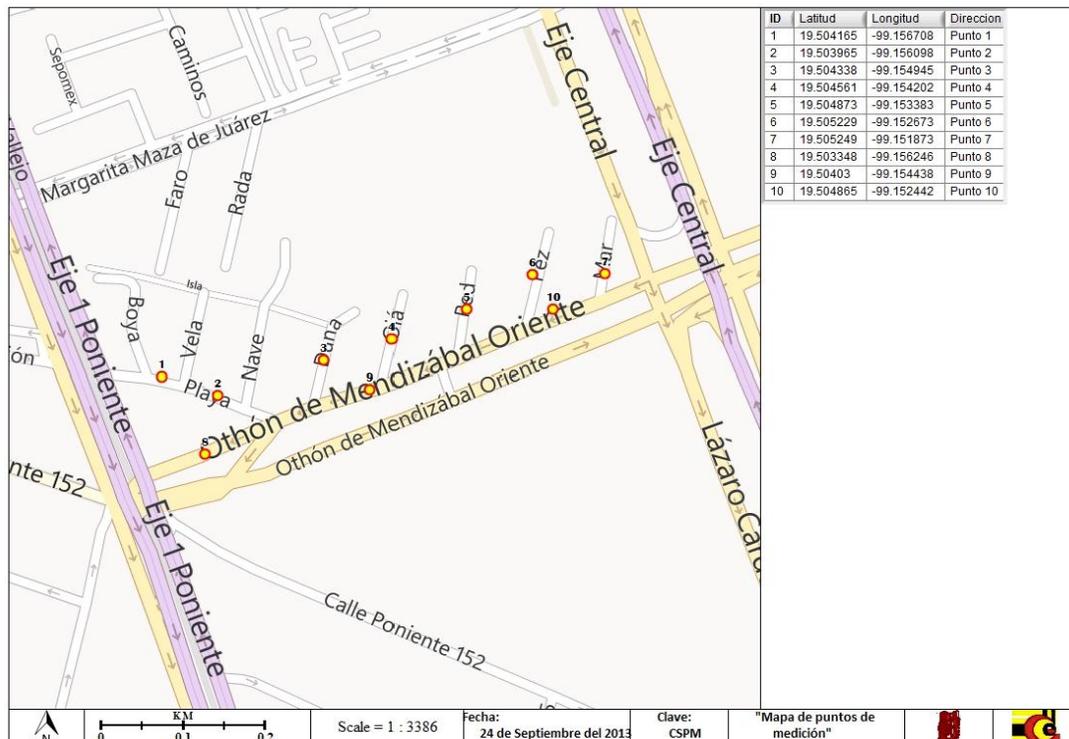


**Figura 6.4. Medición realizada en Av. Miguel Othón de Mendizábal.**

## **6.2 Análisis de datos y mapas de ruido**

El mapa básico generado por el sistema muestra la ubicación los puntos donde se realizaron mediciones, el mapa de ubicación de puntos de medición para el caso de estudio se muestra en la Figura 6.5. En ella se puede observar las coordenadas de cada punto, en el campo de dirección se colocó el nombre clave para cada ubicación de las medidas, esto de acuerdo a la planeación realizada previamente para seleccionar la ubicación de las mediciones (Figura 6.3).

Se ajustó la clave a CSPM (Caso de Estudio Puntos de Medición) y el nombre a “Mapa de puntos de medición” en la pantalla de creación de mapas para que apareciera como se observa en la imagen y en el área de configuración del sistema se seleccionaron los símbolos que aparecen en el lado inferior derecho del mapa.



**Figura 6.5. Mapa de ubicación de puntos de medición para el caso de estudio.**

Las ubicaciones planeadas para las mediciones (Figura 6.3) coinciden con las ubicaciones de los puntos de mediciones realizadas, se ajustó el offset para que al realizar la segunda medida en un punto y que la ubicación del mismo no se pudiera repetir exactamente o que existiera una pequeña variación en la precisión del GPS, no se asignara un nuevo valor de posición, esto es, se hiciera la georeferenciación de la medición al puntos más cercano dentro del rango especificado en el offset.

En la imagen que se muestra a continuación se puede observar una captura de pantalla de cómo se ajustó el offset para el punto 9. El punto de medición se trató de realizar en el mismo lugar, pero debido a la precisión del GPS, el punto apareció desplazado de la ubicación en la que se había medido previamente. Para realizar la medición se ajustó el offset a 8 m que es el rango donde el punto de medición anteriormente realizado se encuentra y visualmente se puede observar que este punto cae dentro del círculo correspondiente al offset.

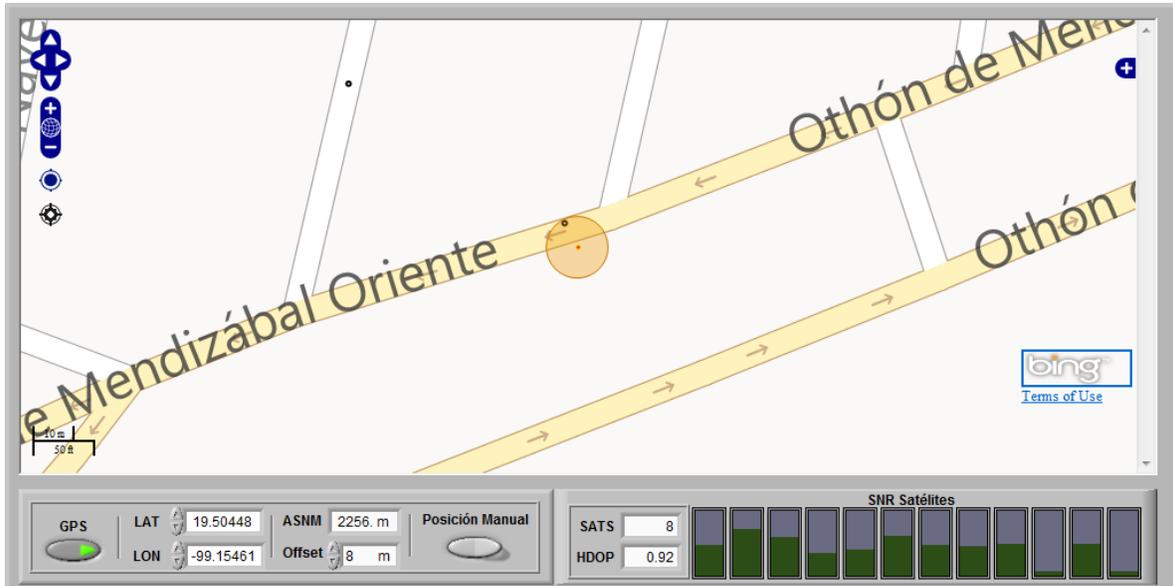


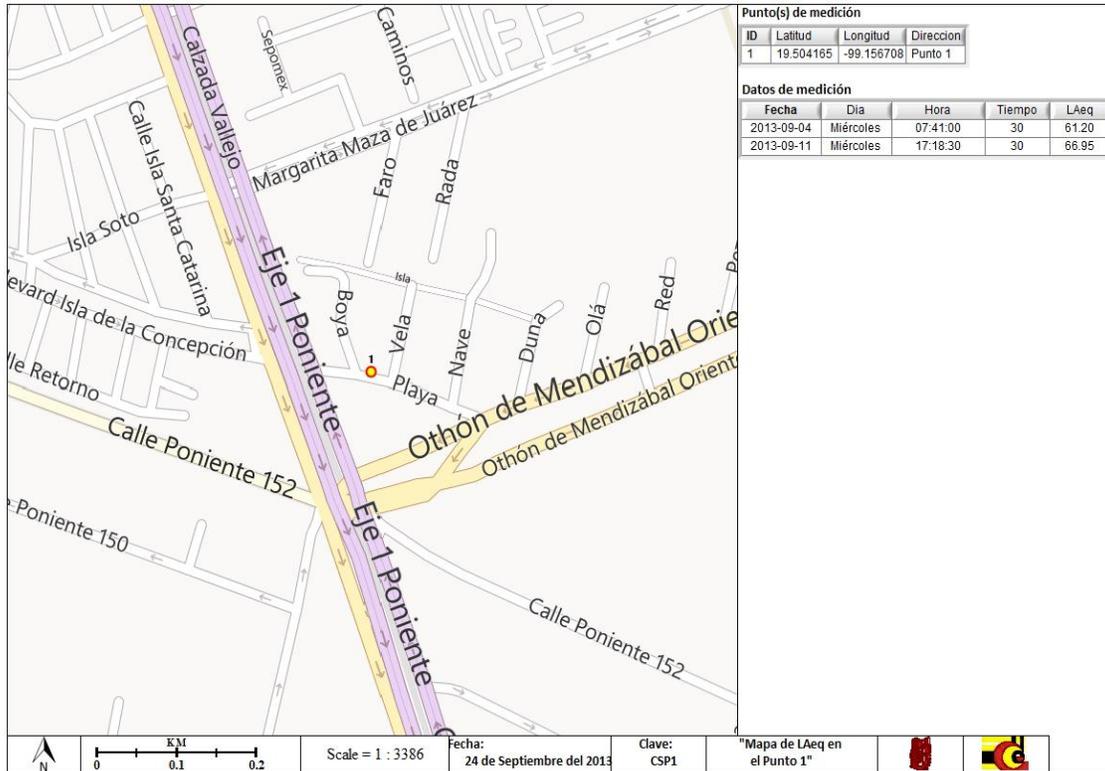
Figura 6.6. Ajuste de offset para el punto 9.

La presentación de los mapas con los niveles de contaminación acústica se puede hacer mediante la creación de un mapa por cada punto, mostrando los datos solo referentes a ese punto, o un mapa con todos los puntos de medición y los niveles de ruido mostrados para ellos, respetando el indicador que se desea mostrar.

Al seleccionar solo un punto de medición se muestra el mapa de ubicación de ese mismo punto y demás datos como son las mediciones realizadas en ese punto, datos geográficos (latitud, longitud, dirección), etc.

En la siguiente imagen se observan los datos de las mediciones realizadas en el Punto 1, así como la ubicación del mismo, los demás mapas para cada punto se pueden observar en "ANEXO F. Mapas complementarios del caso de estudio".

Al igual que en la Figura 6.5, se ajustó la clave a CSP1 (Caso de Estudio Punto 1) y el nombre a "Mapa de LAeq en el Punto 1" en la pantalla de creación de mapas para que apareciera como se observa en la imagen, los símbolos quedaron de la misma manera.



**Figura 6.7. Mapa de datos de mediciones para el Punto 1 del caso de estudio.**

En la imagen que se presenta a continuación, se observa el mapa de  $L_{dia}$  para todos los puntos de medición, este cálculo incluye los 2 valores de las mediciones hechas en cada punto, el ID nos muestra el punto al cual hace referencia la medición en la tabla. Se puede observar también que en cada punto del mapa se muestra una etiqueta con el nivel de ruido calculado en cada punto.

Al igual que en los demás mapas del caso de estudio, se ajustó la clave en la pantalla de creación de mapas que en este caso quedo "CSLD" (Caso de Estudio  $L_{dia}$ ) y de nombre se le asigno "Mapa de  $L_{Aeq}$  ( $L_{dia}$ ) de todos los puntos". Los símbolos quedaron de la misma manera para todos los mapas del caso de estudio.

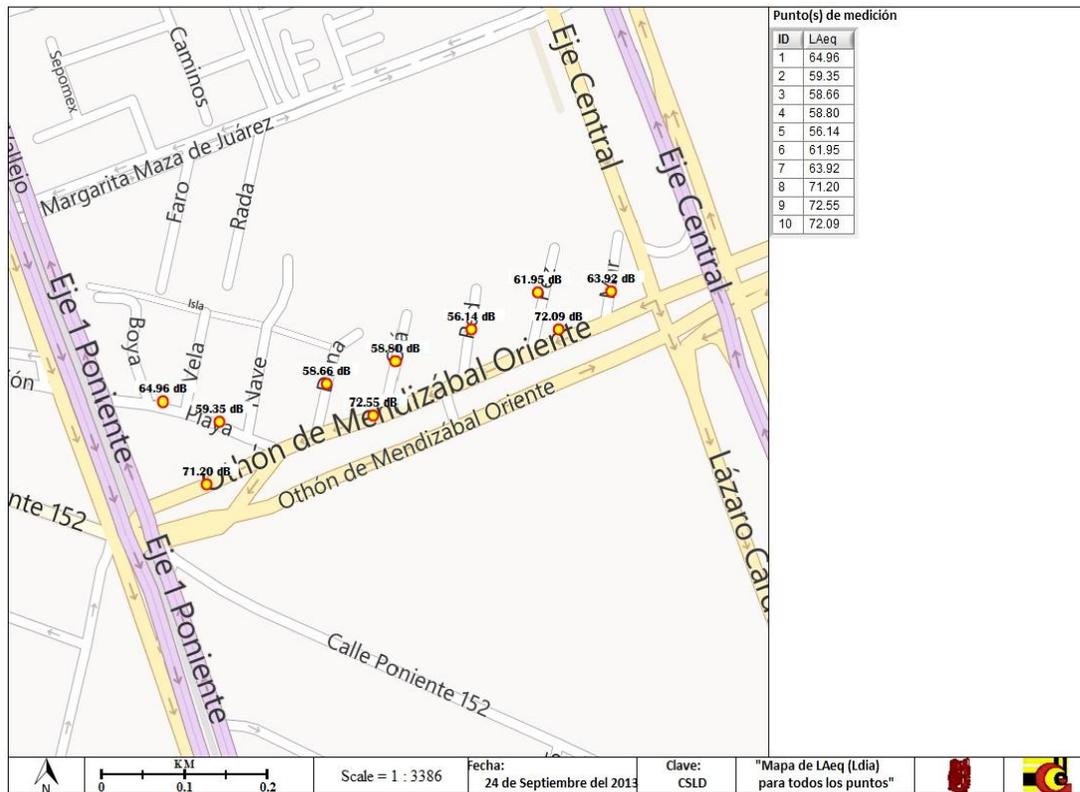


Figura 6.8. Nivel  $L_{dia}$  para todos los puntos de medición del caso de estudio.

En la tabla siguiente se muestra más a detalle los niveles obtenidos y se observa para que casos no se cumple el valor límite establecido en las normas para el valor de  $L_{dia}$ .

Tabla 6.3. Valores  $L_{dia}$  y diferencia de valores obtenidos con la norma.

Punto	$L_{dia}$	Diferencia (65 dB - $L_{dia}$ )
1	64.96 dB	0.04 dB
2	59.35 dB	5.65 dB
3	58.66 dB	6.34 dB
4	58.8 dB	6.2 dB
5	56.14 dB	8.86 dB
6	61.95 dB	3.05 dB
7	63.92 dB	1.08 dB
8	<b>71.2 dB</b>	<b>- 6.2 dB</b>
9	<b>72.55 dB</b>	<b>-7.55 dB</b>
10	<b>72.09 dB</b>	<b>-7.09 dB</b>

Como se observa en la tabla, los valores se encuentran fuera del límite para los puntos 8,9 y 10. El comportamiento del nivel de ruido para estos puntos se muestra en las siguientes gráficas.

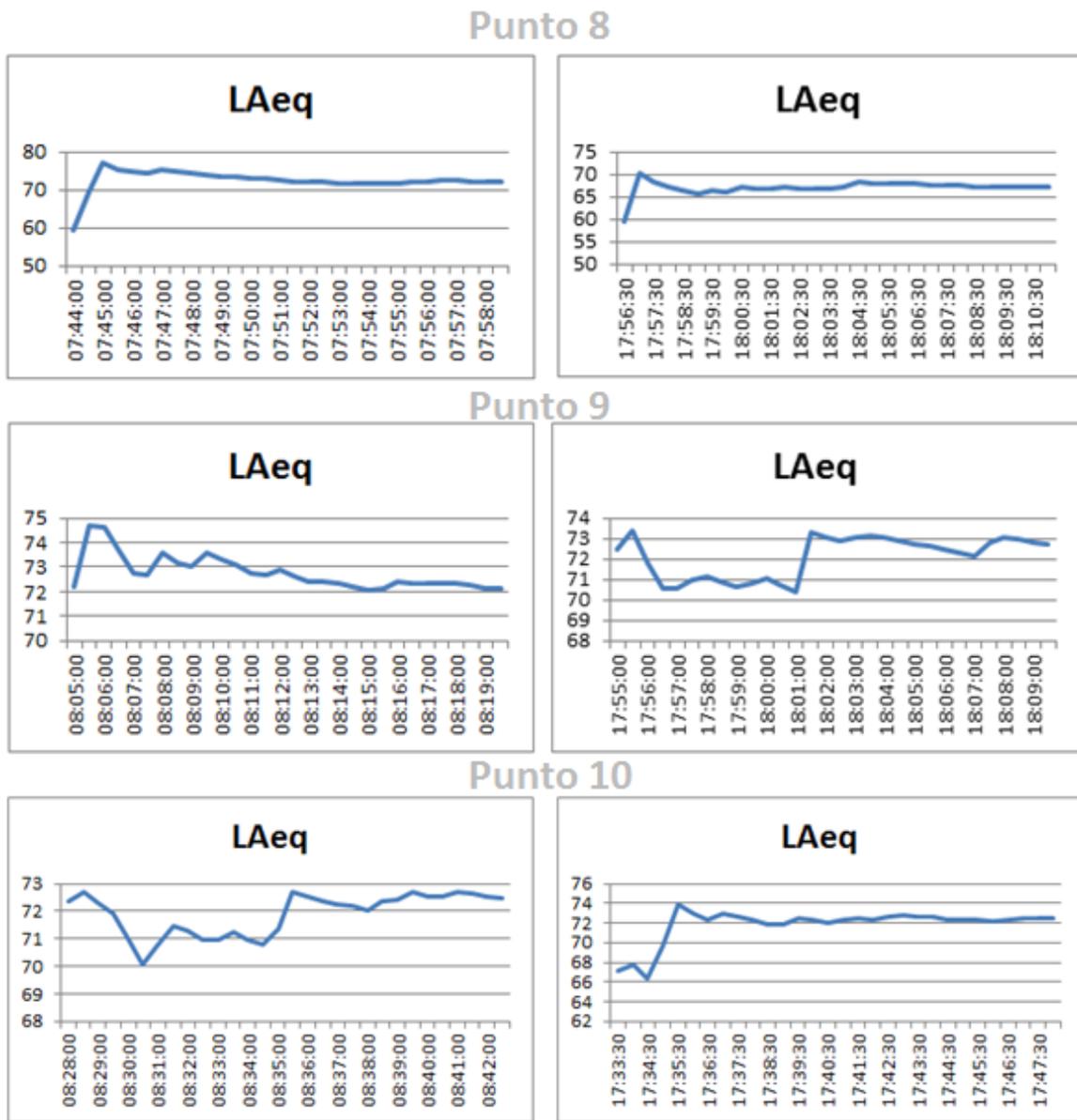


Figura 6.9. Graficas de niveles de ruido puntos 8,9 y 10 del caso de estudio.

Se puede observar que para esta avenida, el límite es superado en la totalidad de las mediciones realizadas. A continuación se presenta el mapa de niveles de ruido en calles generado por el sistema propuesto en el cual se observa de manera gráfica el nivel de ruido obtenido por calle de acuerdo a la escala ISO-1996.

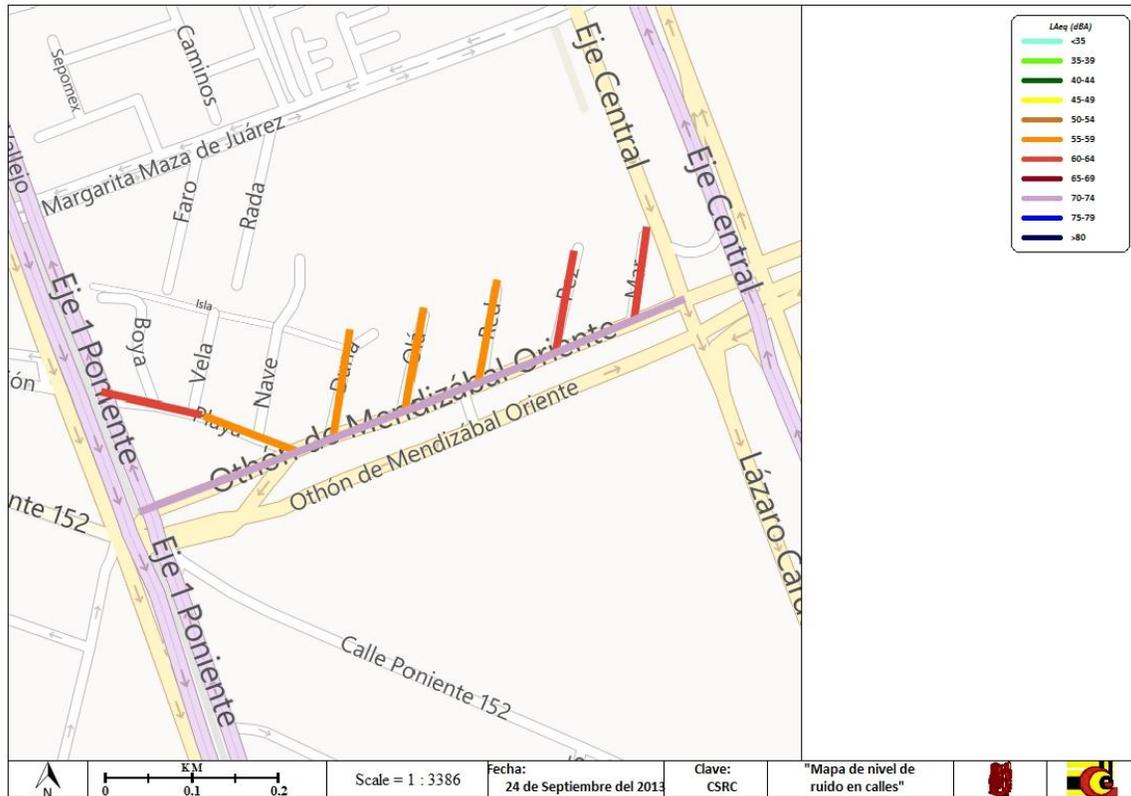


Figura 6.10. Mapa de niveles de ruido en calles del caso de estudio.

### 6.3 Conclusiones.

Los resultados obtenidos nos muestran que es posible realizar el análisis y la caracterización de una zona con contaminación acústica importante con la utilización del sistema propuesto mediante mediciones de corta duración y presentando información cartográfica con los niveles de ruido obtenidos en la zona de análisis.

Los datos arrojados por el caso de estudio realizado en el presente capítulo nos muestran un elevado nivel de ruido en la Av. Miguel Othón de Mendizábal, que incluso supera el valor establecido por las normas locales que es de 65 dB.

Se observa también, que en las calles cercanas a las Av. Eje Central y Vallejo, existe un aumento en el nivel de ruido que, aunque no llega a superar el límite de 65 dB, si se acerca mucho a él, esto es algo que se podía esperar debido a que las avenidas antes mencionadas poseen mucho mayor flujo vehicular e influyen directamente en el nivel de ruido de las zonas cercanas a las mismas.

## 7 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

### CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un sistema móvil georeferenciado para medición y análisis de ruido ambiental con el cual se cumplieron el objetivo general y los objetivos específicos.

El sistema permite la evaluación de zonas de interés y la caracterización de las mismas mediante la generación de mapas de contaminación acústica, por tanto la hipótesis planteada en el Capítulo 1 fue verificada satisfactoriamente, así mismo el sistema permitirá tomar decisiones basadas en información real y con base científica relacionadas con la disminución de la contaminación acústica en la zona analizada.

El caso de estudio permitió comprobar el correcto funcionamiento del sistema propuesto, así como la evaluación y caracterización de una zona de interés con lo cual se cumplió el objetivo número 3. Se observó que en ciertas partes de la misma los niveles permitidos por la normatividad local son superados ampliamente.

La programación del sistema integra herramientas computacionales tales como:

- LabVIEW, para la adquisición y procesamiento de señales.
- Base de Datos SQL
- Herramientas GIS
- Herramientas Web

Mismas que se integraron con lo cual se cumplió el objetivo número 2.

La integración de los sistemas Móviles de Medición de alta precisión con los Sistemas de Información Geográfica y herramientas de posicionamiento (GPS) representa un adelanto tecnológico, ya que actualmente, el tratamiento de la información se da por separado, esto es, primero se realizan mediciones con sonómetros, después los datos del sonómetro se vacían a una computadora y se procesan, para que al final, los datos ya procesados sean introducidos en un GIS para la creación de mapas de contaminación acústica y su posterior presentación al público o personas interesadas, por lo cual el sistema propuesto es un gran avance en cuanto a las herramientas para lidiar con problemas de ruido ambiental.

## TRABAJO FUTURO

Montar el sistema en un vehículo destinado exclusivamente a la realización de las mediciones como se propuso desde el inicio, y realizar numerosas pruebas y mediciones con el sistema ya montado.

Utilizar arreglos de micrófonos para conocer la ubicación aproximada de la fuente sonora, en caso que la fuente de contaminación acústica que se desea analizar sea una fuente puntual.

Desarrollar e implementar un modelo que permita la creación de mapas de contaminación acústica que muestren a manera de superficie (2 dimensiones) los niveles de ruido, todo esto tomando en cuenta las reflexiones, atenuaciones y otros factores que afectan los niveles de ruido causadas por edificios, parques, etc., y tomando en cuenta también las distintas fuentes emisoras de ruido.

Aumentar el número de índices calculados por el sistema como pueden ser los niveles estadísticos  $L_{10}$  y  $L_{90}$  y el nivel equivalente día-tarde-noche  $L_{den}$ .

Emplear el sistema propuesto para la ayuda en la toma de decisiones en cuanto a la reducción de niveles de contaminación acústica en zonas que presenten este tipo de problemas.

Implementar un planificador de rutas para optimizar los tiempos de recorrido para la realización de las mediciones, esto tomando en cuenta distintos vehículos de medición y distintas zonas de análisis.

Implementar un centro de control y dotar con conectividad hacia el mismo al sistema propuesto, para poder transmitir información básica que ayude con los análisis.

## REFERENCIAS

- [1] Norma Mexicana NMX-AA-62-1979, 1979.
- [2] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "NOM-080-ECOL-1994," *Secretaria de Desarrollo Social*, Abril 2003.
- [3] Gobierno del Distrito Federal, Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-005-AMBT-2006, 2006.
- [4] Gobierno del Distrito Federal, Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-005-AMBT-2006, 2006.
- [5] Robert B. Bechtel and Arza Churchman, "Handbook of environmental psychology," 2002.
- [6] Stephen A Stansfeld and Mark P Matheson, "Noise pollution: non-auditory effects on health" vol. 68, 2003.
- [7] Jose Luis Lezama, "Degradación del medio ambiente," in *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*. México: Colegio de México, 2000.
- [8] J. Romeu, M. Genescà, T. Pàmies, and S. Jiménez, Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements, 2010.
- [9] Plácido Perera Melero, Actualización de mapas por redes, 2002.
- [10] Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, and Dietrich H Schwela, *GUÍAS PARA EL RUIDO URBANO*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, Abril de 1999.
- [11] Amando García, "La exposición cotidiana al ruido ambiental," vol. 35, no. 3-4, 2004.
- [12] ITACA, *Riesgos Físicos Ambientales*. Barcelona: Marcombo, S. A., Junio 2006.
- [13] Brüel&Kjær, *Sound & Vibration Measurement A/S: Ruido Ambiental*. Dinamarca, 2000.
- [14] Martha Isabel Posada, María del Pilar Arroyave, and Carlos Fernández, "Influencia de la Vegetación en los Niveles de Ruido Urbano.," no. 12, 2009.
- [15] J. E. Piercy, T. F. W. Embleton, and L. C. Southerland, "Review of Noise Propagation in the Atmosphere," 1989.
- [16] Luis Enrique Sánchez, "Ruido y Sobrepresión Atmosférica," vol. 1, 1995.

- [17] Zhixin Chen and Robert C. Maher, "Atmospheric Sound Propagation Considerations for the Birdstrike Project ," 2004.
- [18] Dr. Robert Bartí Domingo, *Acústica Medioambiental*. Alicante, España: Editorial Club Universitario (ECU), 2010.
- [19] Benjamín García Sanz and Francisco Javier Garrido, *La contaminación acustica en nuestras ciudades*. Barcelona: Fundación "la Caixa", 2003.
- [20] Fernando Segués, "Conceptos básicos de ruido ambiental," vol. [http://sicaweb.cedex.es/docs/documentos/contaminacion\\_acustica.pdf](http://sicaweb.cedex.es/docs/documentos/contaminacion_acustica.pdf), 2007.
- [21] Jian Kang, *Urban Sound Environment*. New York: Taylor & Francis, 2007.
- [22] Ricardo Hernández, "Indicadores Acústicos," vol. [http://www.dipucadiz.es/opencms/export/sites/default/dipucadiz/areas/medioAmb\\_depor/medio\\_amb/Servicios/asist\\_mun/ruidos/docu\\_curso/INDICES\\_ACUSTICOS.pdf](http://www.dipucadiz.es/opencms/export/sites/default/dipucadiz/areas/medioAmb_depor/medio_amb/Servicios/asist_mun/ruidos/docu_curso/INDICES_ACUSTICOS.pdf), 2008.
- [23] Luis Alejandro Sánchez Pérez, Modelo computacional para generar un mapa de ruido ambiental utilizando mediciones en tiempo real, 2011.
- [24] ISO 1996-2:1987, *Description and measurement of environmental noise - Part 2: Acquisition of data pertinent to land use*.
- [25] Simon Haykin, *Adaptive Filter Theory*. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [26] Pedro Mateo Floría, *La Prevención Del Ruido en la Empresa*.: FC Editorial, 1999.
- [27] Bureau Veritas, *Manual para la formación en medio ambiente*. Valladolid: LEX NOVA, 2008.
- [28] Michael E. Worboys, "Gis, a computing perspective," 1995.
- [29] D. J. Maguire, "An Overview and Definition of GIS," 1991.
- [30] M. F. Goodchild and K. K. Kemp, "The NCGIA Core Curriculum in GIScience," 2000.
- [31] Environmental Systems Research Institute, *Introduction to Map Design*., 1996.
- [32] Ordnance Survey, "The Gis Files," no. 2, 2003.
- [33] ESRI, "Introduction to Map Design," 1996.
- [34] Kurt E. Brassel and Robert Weibel, "A review and conceptual framework of automated map

generalization," 1988.

- [35] Marco Moreno-Ibarra, Miguel Torres, Rolando Menchaca-Méndez, Rolando Quintero, and Giovanni Guzmán, "Enfoques para la Generalización Automática de Datos Geográficos," vol. 12, no. 11, 2011.
- [36] Lenin Jaramillo, "Generalización Cartográfica," 2006.
- [37] Open Geospatial Consortium. [Online]. [www.opengeospatial.org](http://www.opengeospatial.org)
- [38] Paul Ramsey, "The State of Open Source GIS," 2007.
- [39] Stefan Steinger and Erwan Bocher, "An Overview on Current Free and Open Source Desktop GIS Developments," 2008.
- [40] Stefan Steiniger and Andrew J.S. Hunter, "The 2012 free and open source GIS software map – A guide to facilitate research, development, and adoption," *Computers, Environment and Urban Systems*, 2013.
- [41] Ming-Hsiang Tsou and Jennifer Smith, "Free and Open Source Software for GIS education," 2011.
- [42] D. Fernández del Río, M. de Barrios Carro, E. García Ortiz, J. Cepeda Riaño, and M. FuentesRobles, "El Impacto Acústico de las Redes Viarias en la Ciudad de León," 2004.
- [43] Diego Murillo, Irene Ortega, Juan David Carrillo, Andrés Pardo, and Jeiser Rendón, "COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE RUIDO EN ENTORNOS URBANOS ," vol. 3, no. 1, 2012.
- [44] Jesús Rubio Alférez, Fernando Segué Echazarreta, and María Dolores Jiménez Mateos, "ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO DE CARRETERAS," 2004.
- [45] Tsai Kang-Ting, Lin Min-Der, and Yen-Hua Chen, "Noise mapping in urban environments: A Taiwan study," 2008.
- [46] Miguel Ausejo Prieto and Manuel Director: Recuero Lopez, "Estudio de la validación, errores e incertidumbre en la elaboración de mapas de ruido," 2009.
- [47] Fernando Segué Echazarreta, "Estrategia de elaboración de un mapa de ruido".
- [48] Avelino Martínez Sandoval, "Ruido por Tráfico Urbano: Conceptos, medidas descriptivas y valoración económica," 2005.

- [49] Guzel Yilmaz and Yuksel Hocanli, "Mapping of noise by using GIS in Sanliurfa OF NOISE BY USING GIS IN SANLIURFA," 2006.
- [50] Ayuntamiento de Madrid, "Plano Acústico de Madrid 2001-02," 2002.
- [51] Luis Pastor Sánchez Fernandez, Sergio Suarez Guerra, and José Felipe Villalobos Vaigorria, "Sistema Distribuido de Monitoreo Permanente de Ruidos Ambientales en Puntos Críticos Del Centro Histórico de la Ciudad de México - SIMAR-CH," 2009.
- [52] "Informe Técnico Final - Elaboración del Primer Mapa de Ruido y Conformación de la red Piloto de Monitoreo de Ruido para la ZMVM," 2011.
- [53] Ioan Lita, Ion Bogdan Cioc, and Daniel Alexadru Visan, "A New Approach of Automobile Localization System Using GPS and GSM/GPRS Transmission," 2006 IEEE.
- [54] National Marine Electronics Association. [Online].  
[http://www.nmea.org/content/nmea\\_standards/nmea\\_0183\\_v\\_410.asp](http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp)
- [55] Langley Richard B., "NMEA 0183: A GPS Receiver Interface Standard," vol. 6, no. 7, 1995.
- [56] Jia Huiqin and Shi Jianwen, "Application of GIS in the Personnel Positioning Software," vol. 3, 2012.
- [57] C. Asensio, J.M. López, R. Pagán, I. Pavón, and M. Ausejo, "GPS-based speed collection method for road traffic noise mapping," vol. 14, 2009.
- [58] GPX. [Online]. <http://www.topografix.com/gpx.asp>
- [59] Lisa M. Ballagh et al., "Representing scientific data sets in KML: Methods and challenges," in *International Perspectives on Maps and the Internet*. Colorado, USA: Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [60] Gary W. Johnson, *LabVIEW Graphical Programming: Practical Applications in Instrumentation and Control*.: Mc Graw Hill, 1997.
- [61] Asan Gani and M.J.E. Salami, "A LabVIEW based Data Acquisition System for Vibration Monitoring and Analysis," 2002.
- [62] Pinde Fu and Jiulin Sun, *Web GIS: principles and applications*. California: ESRI Press, 2011.
- [63] C. J. Date and Sergio Luis María Ruiz Faudón, *Introducción a los sistemas de bases de datos*.: Pearson Educación, 2001.

- [64] Do-Hyun Kim and Min-Soo Kim, "Web GIS Service Component Based On Open Environment," 2002.
- [65] Santiago Miguel Villafuerte Ramírez, Luis Pastor Sánchez Fernández, and Alfonso Gutiérrez Aldana, Desarrollo de un módulo de adquisición de señales acústicas de alto rango dinámico.
- [66] Laboratorio de Ingeniería Acústica y Mecánica, "Actualizació del mapa estratègic de soroll del municipi de Barberá del Vallés," Diciembre 2012.
- [67] Wiebe Alberts and Jesús Rubio Alférez, The use of colours in END noise mapping for major roads, 2012.
- [68] Jorge Sommerhoff, Manuel Recuero, and Enrique Suárez, "Community noise survey of the city of Valdivia, Chile," no. 65, 2004.

## ANEXO A. Códigos SQL para creación de las bases de datos.

CREATE TABLE **posicion**

```
(
    idpos serial NOT NULL,
    lat double precision NOT NULL DEFAULT 0,
    lon double precision NOT NULL DEFAULT 0,
    direccion character varying(50),
    idline bigint DEFAULT 0,
    geom geometry,
    CONSTRAINT posicion_pkey PRIMARY KEY (idpos ),
    CONSTRAINT "enforce_dims_GEOOMETRY" CHECK (st_ndims(geom) = 2),
    CONSTRAINT "enforce_geotype_GEOOMETRY" CHECK (geometrytype(geom) = 'POINT'::text OR geom
    IS NULL),
    CONSTRAINT "enforce_srid_GEOOMETRY" CHECK (st_srid(geom) = 4326)
)
WITH (OIDS=FALSE);
ALTER TABLE posicion OWNER TO postgres;
CREATE INDEX posicion_idx ON posicion USING gist (geom);
```

CREATE TABLE **pnd\_a**

```
(
    idpnd serial NOT NULL ,
    val double precision NOT NULL DEFAULT 0,
    CONSTRAINT "pndA_pkey" PRIMARY KEY (idpnd )
)
WITH (OIDS=FALSE);
ALTER TABLE pnd_a OWNER TO postgres;
```

CREATE TABLE **medicion**

```
(
    fecha date NOT NULL,
    hora time without time zone NOT NULL,
    idpos bigint NOT NULL,
    m_id bigserial NOT NULL,
    dia character varying(10) NOT NULL DEFAULT NULL::character varying,
    idval bigint NOT NULL DEFAULT 0,
    tam integer NOT NULL DEFAULT 0,
    pico double precision NOT NULL DEFAULT 0,
    CONSTRAINT medicion_pkey PRIMARY KEY (m_id ),
    CONSTRAINT id_pnd FOREIGN KEY (idval)
    REFERENCES pnd_a (idpnd) MATCH SIMPLE
    ON UPDATE NO ACTION ON DELETE NO ACTION,
    CONSTRAINT medicion_fkey FOREIGN KEY (idpos)
```

```

REFERENCES posicion (idpos) MATCH SIMPLE
    ON UPDATE NO ACTION ON DELETE NO ACTION
)
WITH ( OIDS=FALSE);
ALTER TABLE medicion OWNER TO postgres;

INSERT INTO "geometry_columns" VALUES ('','public','posicion','geom',2,4326,'POINT');

CREATE TABLE calles
(
    idline serial NOT NULL,
    nombre character varying(50),
    laeq double precision DEFAULT 0,
    geom geometry,
    CONSTRAINT idline_pkey PRIMARY KEY (idline ),
    CONSTRAINT "enforce_dims_GEOOMETRY" CHECK (st_ndims(geom) = 4),
    CONSTRAINT "enforce_geotype_GEOOMETRY" CHECK (geometrytype(geom) =
        'MULTILINESTRING'::text OR geom IS NULL),
    CONSTRAINT "enforce_srid_GEOOMETRY" CHECK (st_srid(geom) = 4326)
)
WITH (OIDS=FALSE);

ALTER TABLE calles OWNER TO postgres;
CREATE INDEX calles_idx ON calles USING gist (geom);

INSERT INTO "geometry_columns" VALUES ('','public','calles','geom',2,4326,'MULTILINESTRING');

```

## ANEXO B. Pantalla de configuración del sistema.

En la siguiente imagen se observa la pantalla de configuración del sistema:

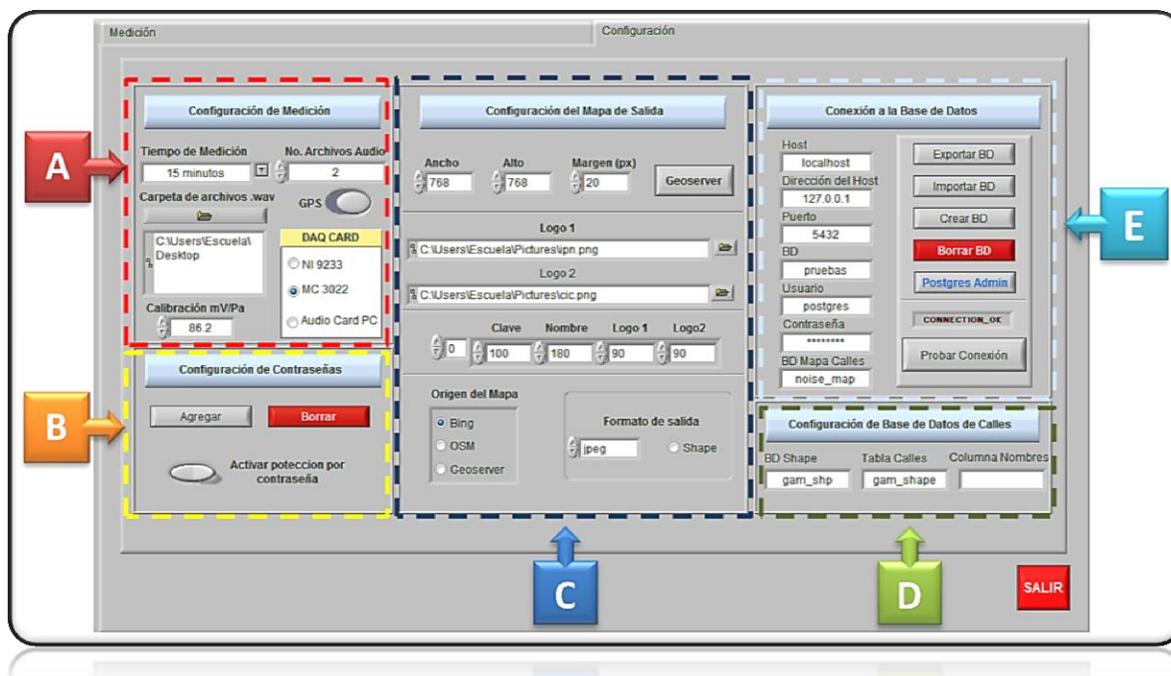


Figura B.1. Pantalla de configuración del sistema.

- A. Configuración de medición:** En este módulo el sistema permite modificar el tiempo de medición, el número de archivos de audio a almacenar por cada periodo de medición y la carpeta donde se almacenaran los mismos, activar/desactivar el requerir GPS para realizar mediciones, seleccionar la tarjeta de adquisición de datos a utilizar y modificar el valor de calibración de la misma.
- B. Configuración de contraseñas:** Permite activar la protección por contraseña para la pantalla de configuración, así como agregar y borrar contraseñas.
- C. Configuración del mapa de salida:** Nos permite ajustar el tamaño del mapa de salida (área geográfica), el tamaño del margen externo del mapa, el espacio para la clave, el espacio para el nombre y el espacio para los logos, seleccionar los logos a utilizar en el mapa, el origen del área geográfica, el formato de salida (jpeg, bmp, png, pdf y shape file) y permite abrir la pantalla de configuración de GeoServer.
- D. Configuración de base de datos de calles:** En este módulo se especifica la base de datos que contiene el shape file de calles, el nombre de la tabla que tiene los datos geométricos

de las calles y opcionalmente se puede introducir el nombre de la columna que tiene el nombre de las calles.

- E. Conexión a la Base de Datos:** Permite modificar los datos de conexión a la base de datos y comprobar si son correctos, también permite crear bases de datos, borrar bases de datos existentes, importar/exportar bases de datos en archivos SQL. De la misma manera permite ejecutar el administrador de PostgreSQL para cuando son necesarias configuraciones mayores a las permitidas por el sistema.

## ANEXO C. Métodos JS para etapa de Adquisición de Señales - Análisis Geográfico.

```
<!DOCTYPE html>
<html lang='en'>
<head>
  <meta charset='utf-8' />
  <title>Localización GPS</title>
  <style type="text/css">
    html, body, #mapa {
      margin: 0;
      width: 100%;
      height: 100%;
    }
    .olControlCentrarItemInactive{
      width: 20px;
      height: 20px;
      background-image: url(img/centrar.png);
    }
    .olControlActItemInactive{
      margin-top: 10px;
      width: 20px;
      height: 20px;
      background-image: url(img/track_inactive.png);
    }
    .olControlActItemActive{
      margin-top: 10px;
      width: 20px;
      height: 20px;
      background-image: url(img/track_active.png);
    }
  </style>
  <script src='OpenLayers/OpenLayers.js'></script>
  <script type='text/javascript'>

    var map;
    OpenLayers.IMAGE_RELOAD_ATTEMPTS = 3;
    var apiKey = "AlkqtMvEEu14vr3eN44Tlyc-7lquHIWQrMtthISbE3t_OrbC_x9BrG60j-9iva2h";
    var lgpX,lgpX_off;
    var ref_inter;
    var refresh = false;
    var formato = new OpenLayers.Format.XML();
    var offset_val,zoom_actual= null;;

    function xml(){
```

```

        //Obtención del radio en el xml
        OpenLayers.Request.GET({ url:
        'http://localhost:8080/geoserver/styles/data.xml?' + Math.random(),
        callback: loadSuccess
    });

    function loadSuccess(request){
        if(request.status=200)
        {
            if(!request.responseXML.documentElement){
                doc = format.read(request.responseText);
            } else{
                doc = request.responseXML;
            }

            var tag_map= formato.getElementsByTagNameNS(doc, '*', 'offset');
            offset_val=formato.write(tag_map[0])
            .substring(8,formato.write(tag_map[0]).length-9);

            init();
        }
    }

    var centrar_func = function(){
        refresca_lgpx();
    }

    var deact_func = function(){
        refresh=false;
        window.clearInterval(ref_inter);
    }

    var act_func = function() {
        refresh=true;
        ref_inter=window.setInterval(refresca_lgpx, 2000, lgpx);
    }

    function init(){
        var options = {
            projection: new OpenLayers.Projection("EPSG:900913"),
            displayProjection: new OpenLayers.Projection("EPSG:4326"),
            units: "m",
            numZoomLevels: 20,
            maxResolution: 156543.0339,
            maxExtent: new OpenLayers.Bounds(-20037508, -20037508, 20037508,
            20037508.34)
        };
    };

```

```

map = new OpenLayers.Map('mapa', options);

//Capa SHP base
var geoserver = new OpenLayers.Layer.WMS( "SHP Base"
    ,"http://localhost:8080/geoserver/cite/wms"
    ,{
        LAYERS: 'cite:shp_base'
        ,numZoomLevels: 20
        ,transparent: true
    }
    ,{opacity: .5,isBaseLayer: true}
    );

//Capa bing
var bing = new OpenLayers.Layer.Bing({
    name: "Bing",
    key: apiKey,
    type: "Road"
});

//Capa OSM
var osm = new OpenLayers.Layer.OSM();

map.addLayer(osm);
map.addLayer(bing);
map.addLayer(geoserver);

map.addControl(new OpenLayers.Control.LayerSwitcher({}));
map.addControl(new OpenLayers.Control.ScaleLine());

//Panel de botones
var boton_centrar = new OpenLayers.Control.Button({
    displayClass: 'olControlCentrar',
    trigger: refresca_lgpx
});
var boton_act_tr = new OpenLayers.Control.Button({
    displayClass: 'olControlAct',
    type: OpenLayers.Control.TYPE_TOGGLE,
    eventListeners: {
        'activate' : act_func,
        'deactivate': deact_func
    }
});

var control_panel = new OpenLayers.Control.Panel({});

```

```

control_panel.addControls([boton_centrar, boton_act_tr]);
map.addControl(control_panel);
control_panel.moveTo(new OpenLayers.Pixel(16,130));

//Capa con los puntos medidos previamente
var puntosurl = 'http://localhost:8080/geoserver/styles/muestra_mapa.gpx?' + Math.random();
puntosgpx = new OpenLayers.Layer.Vector("Puntos medidos",
{
    geometryType: OpenLayers.Geometry.point,
    strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed()],
    protocol: new OpenLayers.Protocol.HTTP(
        {
            url: puntosurl,
            format: new OpenLayers.Format.GPX({extractWaypoints: true})
        }
    ),
    style: {pointRadius: 2, fillColor: "white", strokeWidth: 2, strokeColor: "black"},
    projection: new OpenLayers.Projection("EPSG:4326")
    ,visibility: false
});
map.addLayer(puntosgpx);

// Agrega la capa de los datos GPX
var gpxurl = 'http://localhost:8080/geoserver/styles/TextFile.gpx?' + Math.random();
lgpx = new OpenLayers.Layer.Vector("GPS", {
    geometryType: OpenLayers.Geometry.point,
    strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed()],
    protocol: new OpenLayers.Protocol.HTTP({
        url: gpxurl,
        format: new OpenLayers.Format.GPX({extractWaypoints: true})
    }
    ),
    style: {pointRadius: 2, fillColor: "red", strokeWidth: 1, strokeColor: "yellow"},
    projection: new OpenLayers.Projection("EPSG:4326")
});
map.addLayer(lgpx);

//Capa del offset
lgpx_off = new OpenLayers.Layer.Vector("GPS Offset",{
    geometryType: OpenLayers.Geometry.point,
    strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed()],
    protocol: new OpenLayers.Protocol.HTTP({
        url: gpxurl,
        format: new OpenLayers.Format.GPX({extractWaypoints: true})
    }
    ),
    style: {fillOpacity: 0.35, pointRadius: 10, fillColor: "#ee9900", strokeWidth: 1, strokeColor: "#cb7600"},
});

```

```

        projection: new OpenLayers.Projection("EPSG:4326")
    });
    map.addLayers([lgpx_off]);

    var layers=null;
    var activeLayer = null;

    //Evento que ejecuta la funcion al terminar de cargar el mapa (centra y ajusta el zoom
    lgpx.events.register("loadend", lgpx, function() {
        this.map.zoomToExtent(this.getDataExtent());
        layers = map.getLayersBy("visibility", true);
        for (var i=0, len=layers.length; i<len;i++) {
            if (layers[i].isBaseLayer === true) {
                activeLayer = layers[i];
            }
        }

        if(zoom_actual==null){ //Zoom inicial
            this.map.zoomTo(16);
        }else{ //Zoom para centrado y actualizaciones
            this.map.zoomTo(zoom_actual);
        }
    });

    map.events.register('zoomend', lgpx_off, function(event) {
        formato.destroy();
        formato= new OpenLayers.Format.XML();
        OpenLayers.Request.GET({
            url: 'http://localhost:8080/geoserver/styles/data.xml?' + Math.random(),
            callback: loadok
        });
    });
}

function loadok(request){
    if(request.status=200)
    {
        zoom_actual=map.zoom; //Guarda zoom actual
        if(!request.responseXML.documentElement) {
            doc = formato.read(request.responseText);
        } else {
            doc = request.responseXML;
        }
        var tag_map= formato.getElementsByTagNameNS(doc, '*', 'offset');
        offset_val=formato.write(tag_map[0]).substring(8,formato.write(tag_map[0]).length-9);
    }
}

```

```
        lgpx_off.loaded = false;
        lgpx_off.refresh({ force: true, params: { 'key': Math.random() } });
        lgpx_off.style.pointRadius=Math.round(parseInt(offset_val)/map.getResolution());
    }
}

function refresca_lgpx(){
    lgpx.loaded = false;
    lgpx.setVisibility(true);
    lgpx.refresh({ force: true, params: { 'key': Math.random() } });
    puntosgpx.refresh();
}

</script>
</head>
<body onload='xml();'>
    <div id='mapa'></div>
</body>
</html>
```

## ANEXO D. Métodos JS para etapa de Análisis de Datos.

```
<!DOCTYPE HTML>
<html lang='en' xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8">
<title>Localizacion GPS</title>
<link rel="stylesheet" href="scalebar-thin.css" type="text/css" />
<style type="text/css">
    html { height: 100% }
    body { width: 768px; height: 768px; margin: 0px; padding: 0px }
    #mapa {
        height:730px;
    }

    #scaleline{
        float:left;
        width: 30%;
        height: 35px;
        border-top: 1px solid black;
        border-bottom: 1px solid black;
    }

    #scale{
        float:left;
        width: 20%;
        height: 35px;
        line-height: 35px;
        font-size: 1em;
        vertical-align: bottom;
        text-align: center;
        border: 1px solid black;
    }

    #north{
        float:left;
        width: 10%;
        height: 35px;
        border: 1px solid black;
        text-align: center;
    }
</style>
<script src='OpenLayers/OpenLayers.js'></script>
<script src="OpenLayers/ScaleBar2.js"></script>
<script type='text/javascript'>
```

```

var map;
OpenLayers.IMAGE_RELOAD_ATTEMPTS = 3;
var apiKey = "AlkqtMvEEu14vr3eN44Tlyc-7lquHIWQrMtthISbE3t_OrbC_x9BrG60j-9iva2h";
var lgpx;
function init()
{
    var google = new OpenLayers.Projection("EPSG:900913");
    var wgs84 = new OpenLayers.Projection("EPSG:4326");
    var options = {
        projection: google,
        displayProjection: wgs84,
        units: "m",
        numZoomLevels: 20,
        controls: [],
        maxResolution: 156543.0339,
        maxExtent: new OpenLayers.Bounds(-20037508, -20037508, 20037508, 20037508.34)
    };

    map = new OpenLayers.Map('mapa', options);

    //Capa de los rectangulos de las etiquetas//Estilo
    var rec = new OpenLayers.StyleMap({
        fillColor: "white",
        strokeWidth: 0,
        strokeColor: "blue"
    });

    //Capa y control para agregar las etiquetas
    var tmplayer = new OpenLayers.Layer.Vector("Rec",{styleMap:rec});
    var drawrec=new
    OpenLayers.Control.DrawFeature(tmplayer,OpenLayers.Handler.Polygon);
    //Capa bing
    var bing = new OpenLayers.Layer.Bing({
        name: "Bing",
        key: apiKey,
        type: "Road",
        numZoomLevels: 20
    });
    map.addLayer(bing);
    scalebar = new OpenLayers.Control.ScaleBar({
        div: document.getElementById("scaleline"),align: 'center'});
    scalebar.abbreviateLabel= true;
    map.addControl(scalebar);
    scalet = new OpenLayers.Control.Scale($('scale'));
    map.addControl(scalet);
}

```

```

//Estilo mostrar id
var id = new OpenLayers.StyleMap({
    pointRadius: 5,
    fillColor: "yellow",
    strokeWidth: 2,
    strokeColor: "red",
    label : "${id}",
    labelYOffset: 13,
    fontColor: "black",
    fontSize: "12px",
    fontFamily: "Britannic Bold"
});

var gpxurl = 'http://localhost:8080/geoserver/styles/muestra_mapa.gpx?' + Math.random();

// Add the Layer with the GPX Track
lgpx = new OpenLayers.Layer.Vector("GPS", {
    geometryType: OpenLayers.Geometry.point,
    strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed()],
    styleMap: id,
    projection: new OpenLayers.Projection("EPSG:4326"),
    protocol: new OpenLayers.Protocol.HTTP({
        url: gpxurl,
        format: new OpenLayers.Format.GPX({extractWaypoints: true, extractAttributes:
            true, extractTracks: false, extractRoutes: false })
    })
});
map.addLayers([tmplayer,lgpx]);

var datextent;

//Evento que ejecuta la funcion al terminar de cargar el mapa (centra y ajusta el zoom)
lgpx.events.register("loadend", lgpx, centrar);
function centrar() {
    if(datextent)
        datextent.extend(this.getDataExtent());
    else
        datextent = this.getDataExtent();
    map.zoomToExtent(datextent);
    datextent.transform(google,wgs84);
    var pst = OpenLayers.Util.extend({}, lgpx.styleMap.styles["default"].defaultStyle);

    //valores de offset de acuerdo al tamaño total de radio del punto
    var offset1= lgpx.getViewPortPxFromLonLat
        (new OpenLayers.LonLat(datextent.right,datextent.top).transform(wgs84,google)
        ,lgpx.getResolution);

```

```

var offset2= lgpx.getViewPortPxFromLonLat
    (new
    OpenLayers.LonLat(datextent.left,datextent.bottom).transform(wgs84,google)
    ,lgpx.getResolution);
var position1 = this.map.getLonLatFromPixel(
    new OpenLayers.Pixel(offset1.x+15,offset1.y-this.map.getZoom()-1));
var position2 = this.map.getLonLatFromPixel(
    new OpenLayers.Pixel(offset2.x-15,offset2.y+pst.pointRadius+pst.strokeWidth));

position1.transform(google,wgs84);
position2.transform(google,wgs84);
var temp= new OpenLayers.Bounds(position2.lon,position2.lat,position1.lon,position1.lat);
datextent=temp;
datextent.transform(wgs84,google);
map.zoomToExtent(datextent);
if(this.map.getZoom()>17){
    this.map.zoomTo(17);
}
labelbacknd();
lgpx.redraw();
};

```

```

var labelbacknd = function(){
    var estilo = OpenLayers.Util.extend({},lgpx.styleMap.styles["default"].defaultStyle);
    var punto1 = null;
    var punto2 = null;
    var position1 = null;
    var position2 = null;
    var ysize = OpenLayers.String.numericlf(estilo.fontSize.substring(0,
        estilo.fontSize.length - 2),true);
    var xsize = ysize/2;
    var i=0;
    for(i;<lgpx.features.length;i++){
        punto1=lgpx.getViewPortPxFromLonLat
            (new
            OpenLayers.LonLat(lgpx.features[i].geometry.x,lgpx.features[i].geometry.y),lgpx.g
            etResolution);
        punto2=lgpx.getViewPortPxFromLonLat
            (new
            OpenLayers.LonLat(lgpx.features[i].geometry.x,lgpx.features[i].geometry.y),lgpx.g
            etResolution);

        punto1.y=punto1.y-estilo.pointRadius-estilo.strokeWidth-estilo.labelYOffset;
        punto1.x=punto1.x-((lgpx.features[i].attributes.id.length*xsize)*0.6);
        punto2.y=punto1.y+ysize;
        punto2.x=punto1.x+((lgpx.features[i].attributes.id.length*xsize))*1.3;
    }
}

```

```

        position1 = this.map.getLonLatFromPixel(
            new OpenLayers.Pixel(punto1.x,punto1.y));
        position2 = this.map.getLonLatFromPixel(
            new OpenLayers.Pixel(punto2.x,punto2.y));
        drawrec.drawFeature(new
            OpenLayers.Bounds(position1.lon,position1.lat,position2.lon,position2.lat
            ).toGeometry());
    }
}

//Evento que se ejecuta al terminar de realizar un zoom (cambia el tamaño del punto)
map.events.register('zoomend', lgpx, function(event)
{
    var myPointStyle = OpenLayers.Util.extend({}, lgpx.styleMap.styles["default"].defaultStyle);
    var zoom = map.getZoom();
    if(zoom<15 && zoom>0)
    {
        //Cambia tamaños dependiendo del zoom
        myPointStyle.pointRadius = 2+3*(Math.exp(zoom-16));
        myPointStyle.strokeWidth = (1.5*(zoom/16));
        myPointStyle.labelYOffset = zoom-7; //Max zoom = 20 donde yoffset =13
        var stmap = new OpenLayers.StyleMap(myPointStyle);
        lgpx.styleMap = stmap;
        //lgpx.redraw();
    }
});
}
</script>
</head>
<body onload='init();'>
    <div id='mapa'></div>
    <div id='north'></div>
    <div id='scaleline'></div>
    <div id='scale'></div>
</body>
</html>

```

## ANEXO E. Código SLD para la escala de colores ISO 1996-2

A continuación se presenta el código SLD para mostrar los colores en las calles de acuerdo a la Norma ISO-1996-2, el código cambia el tamaño de la línea de acuerdo al zoom, esto con el fin de obtener una mejor presentación.

El código se presenta dividido en 3 partes, la primera se muestra la parte del código que evalúa niveles menores a 35 dB para los 4 valores de zoom, la segunda parte muestra los valores entre 35-40 dB con sus 4 niveles de zoom, se muestra solo para estos valores ya que para los demás (40 – 80 dB en pasos de 5 dB), solo es necesario cambiar los valores en la etiqueta “<ogc:Literal>35</ogc:Literal>” para cambiar el rango evaluado y “<CssParameter name=“stroke”>#7fffd4</CssParameter>” para el color a asignar según la norma, por último se muestra la parte de código para evaluar niveles mayor o iguales a 80 dB, igualmente con sus 4 niveles de zoom.

### Primera Parte

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<StyledLayerDescriptor version="1.0.0"
xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/sld StyledLayerDescriptor.xsd"
xmlns="http://www.opengis.net/sld"
xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">

  <NamedLayer>
    <Name>cite:calles</Name>
    <UserStyle>
      <Title>cite:calles</Title>
      <Abstract>Escala de colores ISO-1996 </Abstract>
      <FeatureTypeStyle>
        <!-- Name: Cerca-Zoom >=16 y <35 dB-->
        <!--Light Green-->
        <Rule>
          <ogc:Filter>
            <ogc:PropertyIsLessThan>
              <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
              <ogc:Literal>35</ogc:Literal>
            </ogc:PropertyIsLessThan>
          </ogc:Filter>
          <MaxScaleDenominator>7000</MaxScaleDenominator>
          <LineStyle>
            <Stroke>
              <CssParameter name="stroke-width">7</CssParameter>
```

```

        <CssParameter name="stroke">#7ffd4</CssParameter>
    </Stroke>
</LineSymbolizer>
</Rule>

<Rule>
<!-- Name Cerca-Zoom =15 y <35 dB-->
<!--Light Green-->
<ogc:Filter>
    <ogc:PropertyIsLessThan>
        <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
        <ogc:Literal>35</ogc:Literal>
    </ogc:PropertyIsLessThan>
</ogc:Filter>
<MinScaleDenominator>7000</MinScaleDenominator>
<MaxScaleDenominator>15000</MaxScaleDenominator>
<LineSymbolizer>
    <Stroke>
        <CssParameter name="stroke-width">5</CssParameter>
        <CssParameter name="stroke">#7ffd4</CssParameter>
    </Stroke>
</LineSymbolizer>
</Rule>

<Rule>
<!-- Name Cerca-Zoom =14 y <35 dB-->
<!--Light Green-->
<ogc:Filter>
    <ogc:PropertyIsLessThan>
        <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
        <ogc:Literal>35</ogc:Literal>
    </ogc:PropertyIsLessThan>
</ogc:Filter>
<MinScaleDenominator>15000</MinScaleDenominator>
<MaxScaleDenominator>28000</MaxScaleDenominator>
<LineSymbolizer>
    <Stroke>
        <CssParameter name="stroke-width">3</CssParameter>
        <CssParameter name="stroke">#7ffd4</CssParameter>
    </Stroke>
</LineSymbolizer>
</Rule>

<Rule>
<!-- Name Lejos Zoom<=14 y <35 dB-->
<!--Light Green-->
<ogc:Filter>

```

```

        <ogc:PropertyIsLessThan>
            <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>35</ogc:Literal>
        </ogc:PropertyIsLessThan>
    </ogc:Filter>
    <MinScaleDenominator>28000</MinScaleDenominator>
    <LineStyleSymbolizer>
        <Stroke>
            <CssParameter name="stroke-width">1</CssParameter>
            <CssParameter name="stroke">#7ffd4</CssParameter>
        </Stroke>
    </LineStyleSymbolizer>
</Rule>

```

## Segunda Parte

```

<!-- Name: Cerca-Zoom >=16 y entre 35-39 dB-->
<!--Green-->
<Rule>
    <ogc:Filter>
        <ogc:And>
            <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
                <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
                <ogc:Literal>35</ogc:Literal>
            </ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
            <ogc:PropertyIsLessThan>
                <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
                <ogc:Literal>40</ogc:Literal>
            </ogc:PropertyIsLessThan>
        </ogc:And>
    </ogc:Filter>
    <MaxScaleDenominator>7000</MaxScaleDenominator>
    <LineStyleSymbolizer>
        <Stroke>
            <CssParameter name="stroke-width">7</CssParameter>
            <CssParameter name="stroke">#64FF00</CssParameter>
        </Stroke>
    </LineStyleSymbolizer>
</Rule>

<Rule>
<!-- Name Cerca-Zoom =15 y entre 35-39 dB-->
<!--Green-->
    <ogc:Filter>
        <ogc:And>

```

```

        <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
            <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>35</ogc:Literal>
        </ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
        <ogc:PropertyIsLessThan>
            <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>40</ogc:Literal>
        </ogc:PropertyIsLessThan>
    </ogc:And>
</ogc:Filter>
<MinScaleDenominator>7000</MinScaleDenominator>
<MaxScaleDenominator>15000</MaxScaleDenominator>
<LineStyle>
    <Stroke>
        <CssParameter name="stroke-width">5</CssParameter>
        <CssParameter name="stroke">#64FF00</CssParameter>
    </Stroke>
</LineStyle>
</Rule>

```

```

<Rule>
<!-- Name Cerca-Zoom =14 y entre 35-39 dB-->
<!--Green-->
    <ogc:Filter>
        <ogc:And>
            <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
                <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
                <ogc:Literal>35</ogc:Literal>
            </ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
            <ogc:PropertyIsLessThan>
                <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
                <ogc:Literal>40</ogc:Literal>
            </ogc:PropertyIsLessThan>
        </ogc:And>
    </ogc:Filter>
    <MinScaleDenominator>15000</MinScaleDenominator>
    <MaxScaleDenominator>28000</MaxScaleDenominator>
    <LineStyle>
        <Stroke>
            <CssParameter name="stroke-width">3</CssParameter>
            <CssParameter name="stroke">#64FF00</CssParameter>
        </Stroke>
    </LineStyle>
</Rule>

```

```

<Rule>

```

```

<!-- Name Lejos Zoom<=14 y entre 35-39 dB-->
<!--Green-->
  <ogc:Filter>
    <ogc:And>
      <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
        <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
        <ogc:Literal>35</ogc:Literal>
      </ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
      <ogc:PropertyIsLessThan>
        <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
        <ogc:Literal>40</ogc:Literal>
      </ogc:PropertyIsLessThan>
    </ogc:And>
  </ogc:Filter>
  <MinScaleDenominator>28000</MinScaleDenominator>
  <LineStyleSymbolizer>
    <Stroke>
      <CssParameter name="stroke-width">1</CssParameter>
      <CssParameter name="stroke">#64FF00</CssParameter>
    </Stroke>
  </LineStyleSymbolizer>
</Rule>

```

### Tercera Parte

```

<!-- Name: Cerca-Zoom >=16 y mayor o igual a 80 dB-->
<!--Dark Blue-->
<Rule>
  <ogc:Filter>
    <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
      <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
      <ogc:Literal>80</ogc:Literal>
    </ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
  </ogc:Filter>
  <MaxScaleDenominator>7000</MaxScaleDenominator>
  <LineStyleSymbolizer>
    <Stroke>
      <CssParameter name="stroke-width">7</CssParameter>
      <CssParameter name="stroke">#000065</CssParameter>
    </Stroke>
  </LineStyleSymbolizer>
</Rule>

<Rule>
<!-- Name Cerca-Zoom =15 y mayor o igual a 80 dB-->
<!-- Dark Blue-->
  <ogc:Filter>

```

```

        <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
            <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>80</ogc:Literal>
        </ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
    </ogc:Filter>
    <MinScaleDenominator>7000</MinScaleDenominator>
    <MaxScaleDenominator>15500</MaxScaleDenominator>
    <LineStyleSymbolizer>
        <Stroke>
            <CssParameter name="stroke-width">5</CssParameter>
            <CssParameter name="stroke">#000065</CssParameter>
        </Stroke>
    </LineStyleSymbolizer>
</Rule>

```

```

<Rule>
<!-- Name Cerca-Zoom =14 y mayor o igual a 80 dB-->
<!-- Dark Blue-->
    <ogc:Filter>
        <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
            <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>80</ogc:Literal>
        </ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
    </ogc:Filter>
    <MinScaleDenominator>15500</MinScaleDenominator>
    <MaxScaleDenominator>28000</MaxScaleDenominator>
    <LineStyleSymbolizer>
        <Stroke>
            <CssParameter name="stroke-width">3</CssParameter>
            <CssParameter name="stroke">#000065</CssParameter>
        </Stroke>
    </LineStyleSymbolizer>
</Rule>

```

```

<Rule>
<!-- Name Lejos Zoom<=14 y mayor o igual a 80 dB-->
<!-- Dark Blue-->
    <ogc:Filter>
        <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
            <ogc:PropertyName>laeq</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>80</ogc:Literal>
        </ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
    </ogc:Filter>
    <MinScaleDenominator>28000</MinScaleDenominator>
    <LineStyleSymbolizer>
        <Stroke>

```

```
        <CssParameter name="stroke-width">1</CssParameter>
        <CssParameter name="stroke">#000065</CssParameter>
    </Stroke>
</LineStyleSymbolizer>
</Rule>
</FeatureTypeStyle>
</UserStyle>
</NamedLayer>
</StyledLayerDescriptor>
```

## ANEXO F. Mapas complementarios del caso de estudio.



Figura F.1. Mapa de datos de mediciones para el Punto 2 del caso de estudio

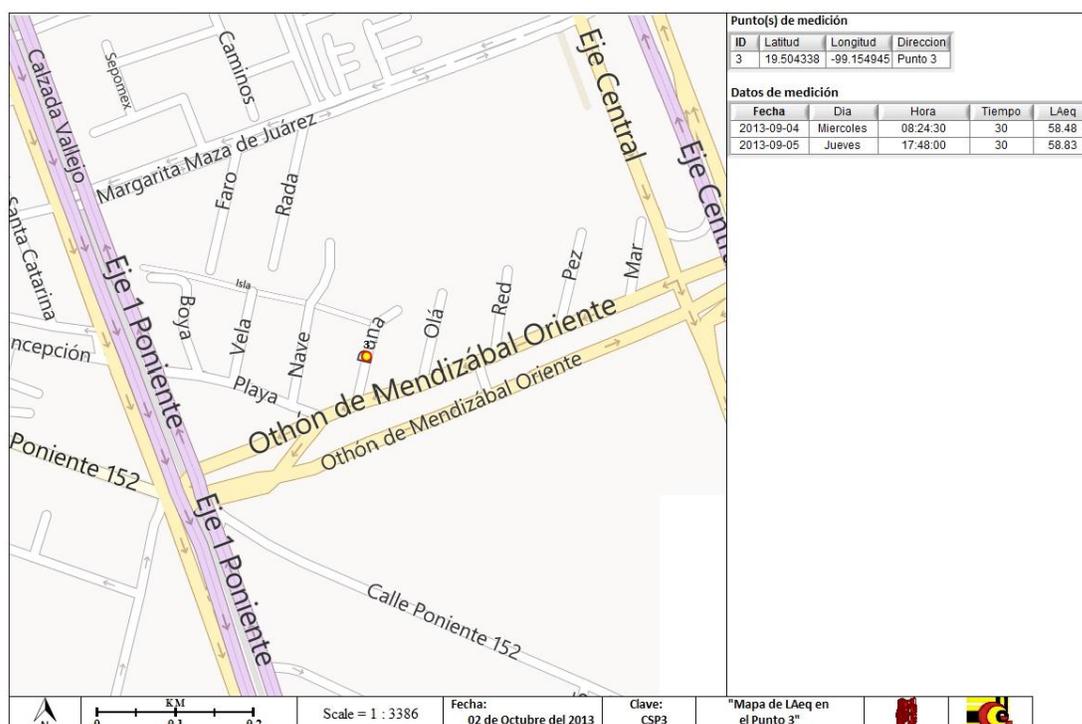


Figura F.2. Mapa de datos de mediciones para el Punto 3 del caso de estudio.

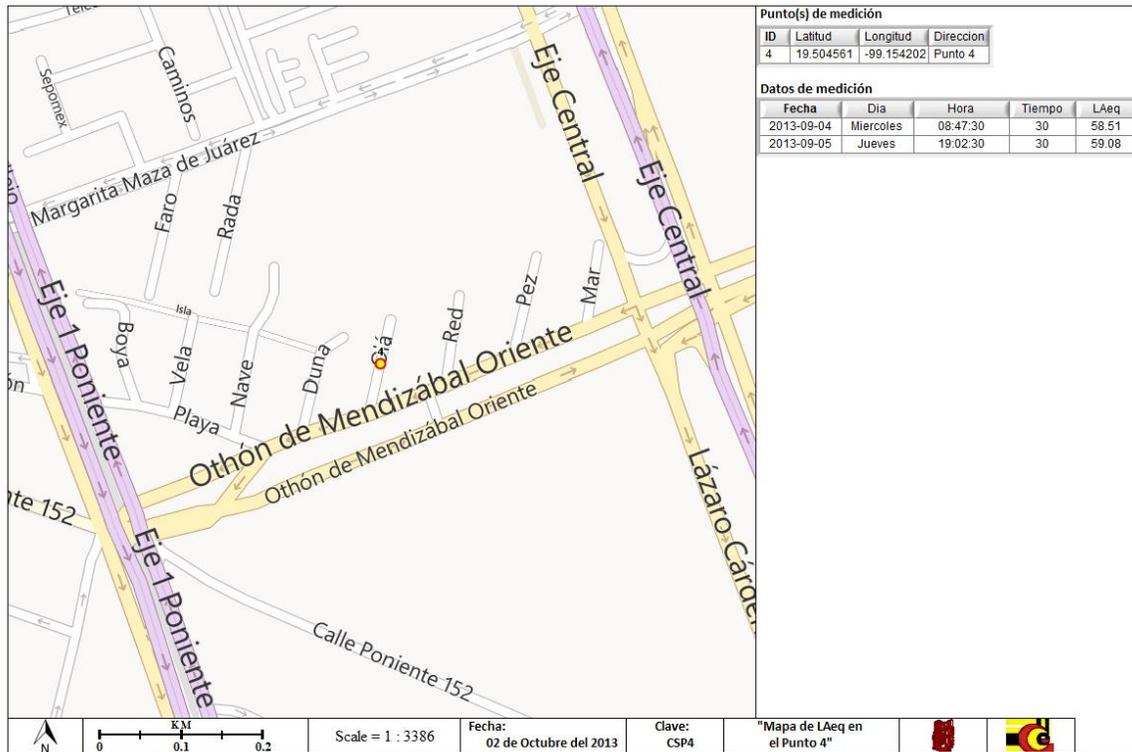


Figura F.3. Mapa de datos de mediciones para el Punto 4 del caso de estudio.

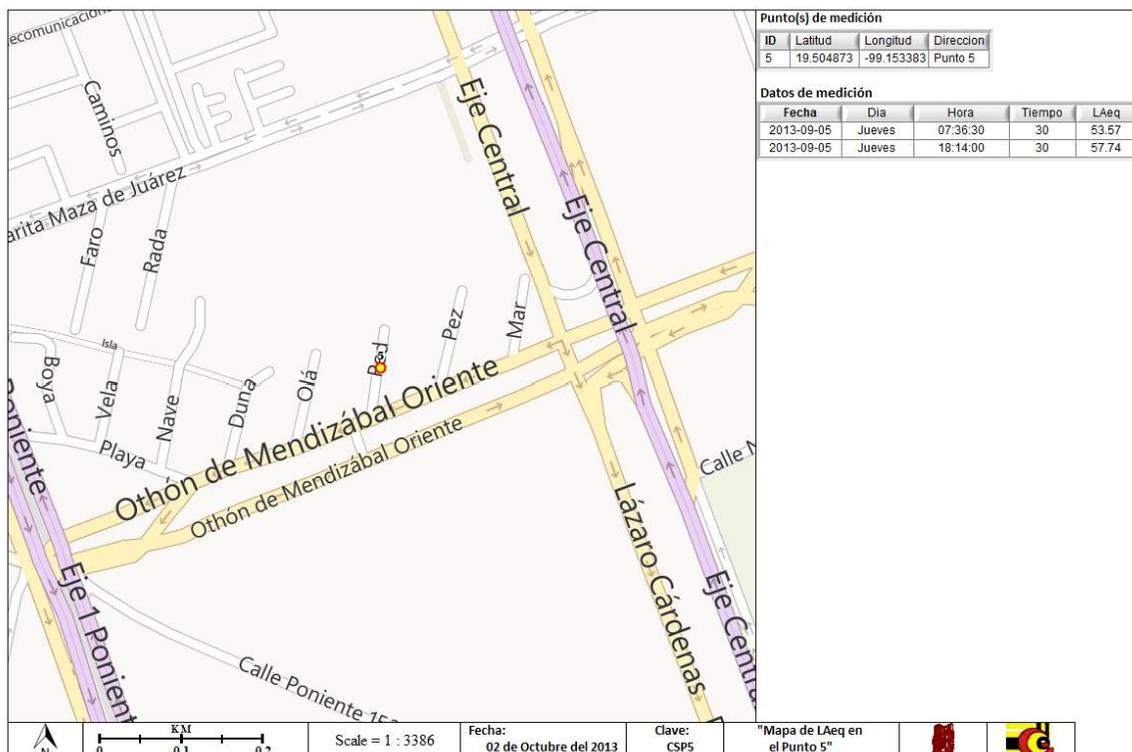


Figura F.4. Mapa de datos de mediciones para el Punto 5 del caso de estudio.

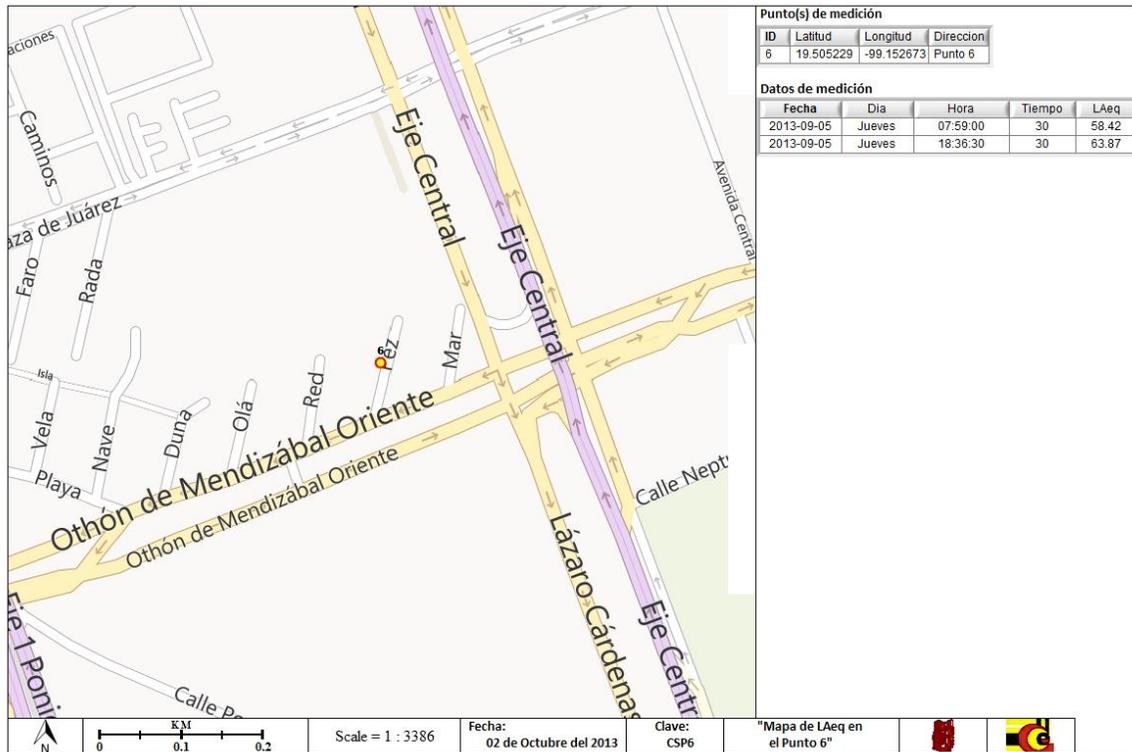


Figura F.5. Mapa de datos de mediciones para el Punto 6 del caso de estudio.

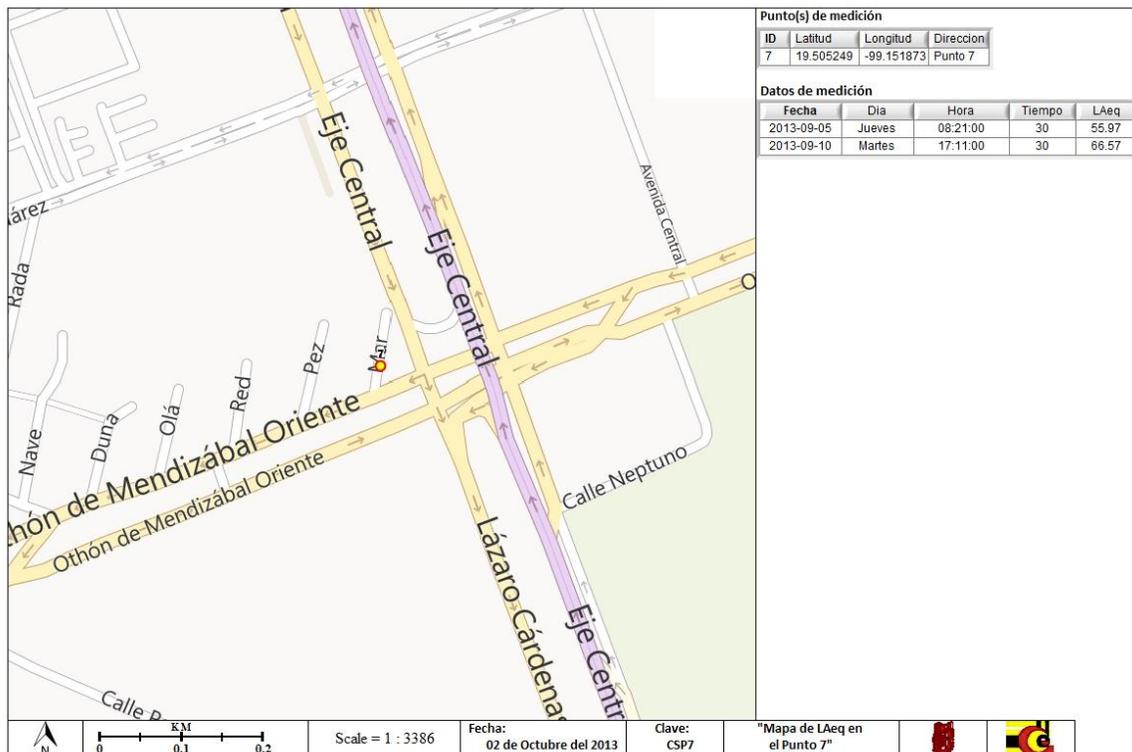


Figura F.6. Mapa de datos de mediciones para el Punto 7 del caso de estudio.



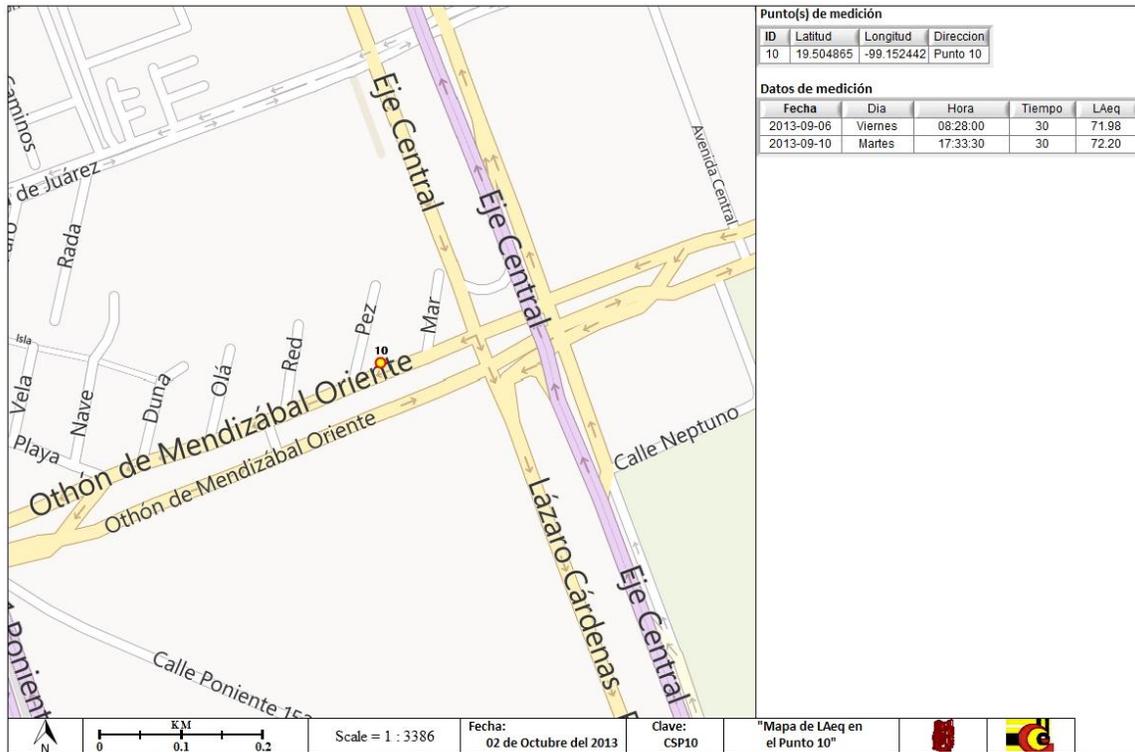


Figura F.9. Mapa de datos de mediciones para el Punto 10 del caso de estudio.