

INDICE

	<i>Pag.</i>
1. RESUMEN	2
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1 Objetivos Generales	4
2.2 Objetivos Específicos	4
2.3 Proyecciones y alcance	5
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1 Generalidades sobre los proyectos de carreteras	6
3.2 Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	8
3.3 Ruido Comunitario	11
3.4 Parámetros descriptores de Ruido	12
3.5 Efectos del Ruido en el Hombre	16
3.5.1 Efectos auditivos del ruido	16
3.5.2 Efectos no auditivos del ruido	17
3.6 Tratamiento Estadístico de Datos	19
3.6.1 Conceptos generales	19
3.6.2 Procedimientos y métodos utilizados	22
4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACION	26
4.1 Generalidades	26
4.2 Análisis de diversas metodologías de medición de ruido comunitario	29
4.2.1 Estudios de ruido comunitario globales	30
4.2.2 Estudios de ruido comunitario en entornos de carreteras	32
4.3 Metodología de Investigación	34
4.3.1 Consideraciones Generales	34
4.3.2 Descripción Temporal: Puntos Base	36
4.3.3 Descripción Espacial: Método de la retícula	37
4.3.4 Instrumentación	41
5. RESULTADOS Y ANALISIS	42
5.1 Evolución Temporal	42
5.2 Evolución Espacial	48
5.2.1 Resultados	48
5.2.2 Análisis de los resultados	49
5.3 Aproximación a la Metodología propuesta	62
5.3.1 Aproximación a la descripción espacial simplificada	62
5.3.2 Aproximación a la descripción temporal simplificada	67
6. CONCLUSIONES	74
6.1 Metodología propuesta para la realización de la Línea de Base	74
6.2 Conclusiones finales	77
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	78
8. AGRADECIMIENTOS	80
9. ANEXO: FICHAS DE MEDICION	81

1.RESUMEN

La gestión medioambiental ha experimentado un auge debido al surgimiento de nuevas licitaciones en infraestructura vial impulsadas por el Ministerio de Obras Públicas. Este proyecto nace como una necesidad de llenar vacíos en el sentido de evaluar los impactos de ruido generado por proyectos de carreteras.

Los proyectos de carreteras deben ser sometidos a una Evaluación de Impacto Ambiental, dentro de los cuales el ruido es uno de los principales problemas. Hoy en día no existen patrones claros para proceder en esta Evaluación de Impacto Acústico, lo cual puede llevar a muchas interpretaciones y problemas distintos.

Para abordar inicialmente el problema de la Línea de Base se diseñó un procedimiento para investigar sobre una apropiada metodología de muestreo de ruido comunitario asociado al entorno de una futura carretera. Esto consiste esencialmente en un diseño que involucra y reúne variables espaciales y temporales en una serie de grupos comunes que se deben analizar para relacionarse con algunas variables urbanas. Este procedimiento debe describir con fidelidad el ambiente de ruido de una zona cualquiera futuramente afectada.

2.INTRODUCCIÓN

No existen dudas que uno de los grandes problemas de los centros urbanos son aquellos relacionados con el sistema de transporte, donde el parque automotriz tiene una tendencia de crecimiento que supera ampliamente las capacidades de sus redes viales. Estos problemas generalmente requieren soluciones drásticas, tales como la reestructuración del sistema de transporte público o diseños de carreteras dentro de los mismos centros urbanos.

Chile no es la excepción a esta regla; actualmente se desarrollan tanto proyectos de mejoramiento en el transporte público, como el diseño de carreteras que mejoran el acceso y circulación en varias ciudades de nuestro país. Nuestro trabajo se centra en estas nuevas (o rediseño de antiguas) carreteras que cumplen una función importante en la descontaminación de los núcleos urbanos, pero son emplazadas, generalmente, en zonas que eran tranquilas, originando un impacto importante en el entorno.

Para evaluar estos impactos existe en Chile un herramienta legal llamada Ley de Bases General de Medio Ambiente [11], promulgada en el año 1994, la cual diseña un Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Claramente, los problemas de ruido que genera la construcción y el funcionamiento de un obra de esta envergadura generan grandes problemas a la comunidad cercana al proyecto, por lo cual este agente contaminante entra al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. [11]

En nuestro país la cultura medioambientalista aún es demasiado joven, de modo que no existe mucho desarrollo y conocimiento en algunas áreas específicas, como es el caso de la Acústica ambiental. Nuestro proyecto tiene por objetivo la investigación y desarrollo de este problema específico, de modo de generar parámetros claros para identificar y contrarrestar los impactos negativos de este agente contaminante.

2.1 Objetivos generales

El principal objetivo es iniciar la investigación, análisis y verificación de las distintas formas de abordar el problema de la clasificación y cuantización de los impactos acústicos producidos en entornos de carreteras, de modo de poder finalmente unificar criterios para crear una metodología común para realizar los Estudios de Impacto Ambiental que entren al Sistema por este tipo de agente contaminante.

De esta forma se delinearon los siguientes aspectos:

- Estudiar las diversas problemáticas acústicas asociadas a los entornos de carreteras.
- Diseñar procedimientos para cubrir las diversas etapas que establece el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) para este tipo de proyectos.
- Generar antecedentes que permitan diseñar una metodología aplicable a un Estudio de Impacto Ambiental para proyectos de carretera.
- Diseñar una propuesta de metodología específica para su etapa de Línea de Base de Ruido.

2.2 Objetivos específicos

Para cumplir con lo anteriormente estipulado, se designaron las siguientes tareas:

- Proponer una metodología de investigación que permita optimizar la descripción detallada del área de influencia en los futuros entornos de carreteras, para nuestro caso, la de toma de datos de ruido comunitario en entornos de futuras carreteras: Cómo, cuándo, dónde y cuántas mediciones serán necesarias realizar para describir la situación de ruido. Esto se puede representar mediante:
 - La descripción espacial de la evolución del ruido
 - La descripción temporal de la evolución del ruido
- Probar la metodología propuesta a través de campañas de mediciones
- Simplificar los procedimientos en función del análisis realizado
- Comprobar si la simplificación es apropiada mediante una segunda campaña de mediciones
- Proponer una metodología escrita que sea simple y eficiente para la realización de la Línea de Base

2.3 Proyecciones y alcances

Los antecedentes generados en el marco global del proyecto serán de utilidad para la realización de las etapas posteriores de la metodología completa.

La metodología para la Línea de Base propuesta podrá ser utilizada como referencia para este tipo de proyectos y otros estudios de ruido comunitario.

El escenario elegido fue una zona poblada residencial (zona I según DS 146/97 MINSEGPRES [10]). Para proyectar la perspectiva de la metodología propuesta, se considera importante continuar con la investigación correspondiente para otro tipo de zonas y condiciones.

3. MARCO TEORICO

3.1 Generalidades sobre los proyectos de carreteras

Caracterización del ruido de carreteras [2]

En una carretera, el tráfico liviano y pesado son considerados fuentes lineales de ruido con una superficie de impacto paralela al recorrido. El ruido transmitido puede estar relacionado con los parámetros del tráfico y las propiedades acústicas de la superficie. De esta forma el impacto sonoro de una carretera es producto de los niveles de inmisión que originan en su entorno que son función del nivel emitido y de las condiciones de propagación entre emisor y receptor.

La emisión sonora de una carretera depende fundamentalmente de:

- La intensidad de vehículos
- El porcentaje de vehículos livianos y pesados,
- La velocidad,
- El tipo de pavimento y su estado de conservación,
- La pendiente de la carretera,
- El tipo de flujo de tráfico, etc.

Por otro lado la atenuación del nivel entre la carretera y el punto de inmisión es función de:

- La distancia
- La absorción atmosférica
- La atenuación debida al suelo
- Las condiciones meteorológicas
- Las reflexiones debido a los diversos obstáculos

La fuente de ruido en carreteras está dada por los vehículos que circulan por ella.

La emisión de un vehículo se divide en dos tipos de foco:

1. Ruido debido al sistema motor del vehículo, donde encontramos las siguientes fuentes: El ventilador, el motor y la caja de cambios.
2. Ruido debido al movimiento del vehículo, donde tenemos: El ruido del neumático con la calzada y el ruido aerodinámico.

En este segundo grupo el ruido aerodinámico es totalmente despreciable a las velocidades límites en las carreteras, por lo tanto el ruido debido al movimiento es totalmente debido a la interacción neumático/calzada.

Esta fuente de ruido es además la predominante en la circulación por carretera ya que mientras el ruido debido al sistema motor es relativamente constante e independiente de la velocidad, el ruido neumático/calzada aumenta entre 8 y 12 dB(A) cada vez que se dobla la velocidad. Esto hace que

a velocidades en torno a los 50-60 Km./h la principal fuente de ruido sea la de rodadura, que pasa a ser la causante del ruido total del vehículo para velocidades superiores a 70-80 Km./h.

Normativas Asociadas

Las zonas residenciales están expuestas a ruidos procedentes de muchas fuentes. Podemos clasificar las distintas fuentes de variadas maneras, una de ellas se asocia a la idea que estas fuentes pueden ser móviles o fijas. Dentro de las fuentes móviles, la mayoría del ruido suele proceder de los sistemas de transporte, tales como automóviles, camiones, motos, trenes, aviones, etc. Todos estos tienen otra estructura que los ruidos de fuentes fijas tales como industrias, fábricas, sistemas de aire acondicionado, etc.

En Chile esta división para los tipos de fuentes es muy importante ya que determina qué entidad debe tomar la responsabilidad del agente contaminante. La fiscalización de las fuentes fijas las realiza, prioritariamente, el Servicio de Salud de la Región del país correspondiente, y las Municipalidades correspondientes. Por otro lado, los problemas asociados a las fuentes móviles le competen principalmente al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

En nuestro país existen tres Decretos Supremos (sin contar las ordenanzas municipales) que tienen relación con problemas de ruido que son de nuestro interés:

El DS 146 [10] de 1997 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia que aprueba el reglamento sobre niveles máximos permisibles de ruidos molestos generados por fuentes fijas (tales como industrias o casas particulares ruidosas). Este decreto establece procedimientos de medición y evaluación de los niveles de ruido que son claros y definidos, sin embargo se limita sólo a fuentes fijas.

El DS 253 [13] de 1979, que corresponde a la Norma Chilena 1619-1979 (NCh 1619) sobre acústica- Evaluación del ruido en relación con la reacción de la comunidad. Este decreto establece la forma como la comunidad reaccionará en función de los incrementos de niveles de ruido que su entorno genere. Contempla un procedimiento de medición definido para mediciones exteriores, aunque no es específica para el ruido de tráfico y además consta de más de 19 años de vigencia, mostrándose obsoleta en varios aspectos. Esta es una norma Chilena oficial (INN), oficializada mediante decreto.

El DS 122 que fija los niveles máximos de emisión de ruido para vehículos de la locomoción colectiva [21]. Este decreto tiene problemas de aplicación debido a faltas de procedimientos claros, por lo cual actualmente está estudio.

De esta forma, las normativas vigentes en el país dejan vacíos para este caso particular. Para suplir esta carencia, la Ley 19300 y su reglamento D.S.30 establecen que en aquellos casos que

no exista normativa en Chile para el área específica se puede hacer referencia a la Norma de la Confederación Suiza (en nuestro caso el reglamento 814.41 [14] sobre la protección contra el ruido) o en otras normas de referencia si esto se justifica. El gran problema de esto está en el hecho de la compatibilidad entre los criterios elegidos por los suizos y los que deberíamos usar en Chile. Así nacen las discusiones entre los distintos criterios para trabajar y evaluar el ruido de tráfico.

3.2 El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental [11]

El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regulan por la ley N°19300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Esta ley del 9 de Marzo de 1994 crea a la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), responsable de la coordinación y generación de iniciativas para el mejoramiento de la situación ambiental y de la Evaluación de Impacto Ambiental para todo proyecto, actividad o modificación tanto en iniciativas públicas como privadas. De esta forma nace el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Esta herramienta ha empezado a tener un papel importante en Chile, respondiendo a la preocupación por la coherencia del desarrollo y la sustentabilidad en el tiempo.

Los objetivos de este Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) son proporcionar los elementos para que la toma de decisiones se oriente a que las actividades de desarrollo sean satisfactorias y sustentables desde el punto de vista del Medio Ambiente, que las posibles consecuencias ambientales se detecten en una etapa temprana de los proyectos y que ellas se tengan en cuenta en la fase de diseño, indicando formas de atenuar o contrarrestar los efectos desfavorables, permitiendo seleccionar alternativas que cumplan con los objetivos deseados y disminuyan los impactos.

La entrada al SEIA dependerá del tipo de proyecto o actividad, en base a las posibles consecuencias ambientales que éste pueda presentar. De este modo se muestra en el artículo No. 10 de la Ley No. 19300 un listado de proyectos que deberán entrar en forma obligatoria al sistema (los proyectos no incluidos en el listado pueden entrar al sistema en forma voluntaria). Ya que no todos los proyectos tienen las mismas consecuencias ambientales, se diseña en la Ley el artículo No. 11 que establece los criterios que determinaran la forma de realizar la evaluación: Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Una DIA es un documento descriptivo de la actividad o proyecto, otorgado bajo juramento por el titular, cuyo contenido permite al organismo competente evaluar si su impacto ambiental se ajusta a las normas vigentes. Un EIA es un documento que describe, en detalle, las características de un proyecto o actividad que se pretenda llevar a cabo o su modificación y las consecuencias que este

tenga para el medio ambiente descrita según los criterios que establece el artículo No.11 de la Ley No.19300.

Tanto estudios como declaraciones de impacto ambiental son documentos descriptivos de las características del proyecto o actividad o modificación, sin embargo, un EIA describe más detalladamente los procesos y las distintas etapas, proporcionando antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación de su impacto ambiental, describiendo las acciones para impedir o minimizar sus efectos adversos. Por otro lado, la DIA corresponde un documento de carácter jurado donde el titular del proyecto se compromete a no alterar las normas ambientales vigentes entregándole poder al organismo competente para evaluar su impacto.

Será de nuestro interés analizar el caso de los EIA, ya que debido a la magnitud del proyecto de una carretera y por los efectos adversos que esta pueda presentar al medio ambiente, todo proyecto de esta naturaleza deberá realizar un estudio de este tipo. De esta forma, la estructura básica de un Estudio de Impacto Ambiental debe contar con:

- i) Una descripción del proyecto o actividad.
- ii) Una Línea de Base: Es una descripción detallada del área de influencia de un proyecto o actividad en forma previa a su ejecución.
- iii) Una descripción pormenorizada de aquellos efectos, características o circunstancias que dan origen a una necesidad de efectuar un estudio de impacto ambiental.
- iv) Una predicción y evaluación del impacto ambiental del proyecto, incluidas las eventualidades situaciones de riesgo.
- v) Las medidas que se adoptarán para eliminar o minimizar los efectos adversos del proyecto o actividad y las acciones que se realizarán cuando ello sea procedente.
- vi) Un plan de seguimiento de las variables ambientales relevantes que dan origen al estudio de impacto ambiental.
- vii) Un plan de cumplimiento de la legislación ambiental aplicable.

Generalidades del Proyecto

Al diseñar un estudio de impacto ambiental, debemos pensar inicialmente en el proyecto con un criterio abierto, de modo de poder abarcar los problemas específicos con una visión más global. De este modo, haremos una breve reseña a estos aspectos, los cuales deberán ser estudiados y concretados en puntos específicos de una metodología asociada a este tipo de estudios.

Inicialmente, debemos reconocer la importancia temporal y espacial del proyecto, teniendo en cuenta la información del entorno actual y futuro, así como también de las implicancias que tengan otras áreas del mismo, en nuestra área acústica específica en el desarrollo de la obra. Una visión inmediata de esta cadena se da en el seguimiento de las variables acústicas, tanto en la etapa de

construcción como en la etapa de desarrollo del proyecto vial, teniendo en cuenta que son dos estudios completamente distintos que deben ser correctamente guiados.

Etapas de la Línea de Base

La Línea de Base es una descripción detallada del área de influencia, es decir, es un informe de la situación acústica de la zona que será afectada, previa al montaje del proyecto. Esta descripción será la base de todo el Estudio de Impacto Ambiental, ya que en una etapa posterior será comparada con los niveles de ruido que supuestamente generará el proyecto.

El marco de esta etapa está asociado con la investigación y optimización de toma de datos de Ruido Comunitario, que abre las puertas a un campo inexplorado e inmaduro en Chile, que además, adelanta mucho trabajo a todo tipo de investigación asociada al área de la Acústica Ambiental. De esta forma, esta etapa del proyecto se basa en generar procedimientos específicos para definir las pautas de cómo, cuándo, dónde y cuántas mediciones serán necesarias realizar para describir la situación de ruido en la zona de influencia del proyecto.

Etapas de predicción de niveles

Los métodos de predicción son una herramienta fundamental para el desarrollo del estudio, ya que con éstos se supondrán los posibles impactos acústicos. Estos métodos deben ser muy precisos, flexibles a posibles variaciones tanto de la obra como otros factores externos, deben considerar suficientes variables como para ser representativos y tener algún mecanismo de calibración. Algunos de estos procedimientos de predicción acústica se realizan a través de fórmulas y simulaciones, software específicos o modelos a escala. Cada uno de éstos presenta sus ventajas y problemas, de modo que sería necesario crear alguna estructura de tipificación del procedimiento de predicción, por la variabilidad que cada uno puede entregar con respecto a otro. Esto, además, crearía una mayor estratificación entre estudios de impacto acústico, de la misma forma como lo es para las tipificaciones de los instrumentos de medición.

Etapas de evaluación y mitigación

Es en este aspecto donde encontramos el mayor déficit del sistema de evaluación de impacto acústico, ya que no existe una normativa aplicable en Chile que regule las inmisiones de ruido provocadas por vehículos motorizados. A la hora de evaluar, no sólo se analizan la aceptabilidad del ruido en el interior de las viviendas, sino que además el criterio debe ser amplio para las zonas exteriores de la vivienda como así para vías peatonales, junto a un criterio de horarios específicos. La Norma Suiza no define metodológicas aplicadas al problema, ni define muchos de los parámetros que le dieron origen (los cuales podrían variar en otras locaciones como Chile), de

modo que resulta difícil su correcta aplicación. Por otro lado se podría realizar un EIA en referencia a distintas otras normas que tengan cierta relación si se justifica adecuadamente, dificultando así el proceso de evaluación. En esta etapa se deben estudiar las normativas asociadas, definiendo y unificando los diversos criterios específicos para obtener un procedimiento de evaluación definido. El avance de estas discusiones podrá llevar estos criterios al diseño de una normativa futura en el área.

Etapas de monitoreo

Esta etapa no está definida como un tema independiente, sino que se enmarca en la globalidad del proyecto, debiendo ser acorde con la línea de base, sobre todo en los procedimientos de medición, para que el ciclo tenga sentido.

3.3 Ruido Comunitario

El ruido se define a menudo como un sonido no deseado o un sonido fuerte, desagradable o inesperado. Sus orígenes se encuentran en el desarrollo de las actividades humanas y se asocia particularmente con el proceso de urbanización y desarrollo del transporte y la industria. Estos procesos, si bien son una característica de los núcleos urbanos, también pueden afectar a zonas rurales. En general, el término ruido comunitario hace referencia al ruido exterior en la vecindad de las áreas habitadas. El ruido ambiental es el ruido envolvente asociado con una ubicación determinada de una comunidad, habitualmente compuesto por sonidos de muchas fuentes, próximas y lejanas, sin un sonido en particular.

El ruido de la comunidad varía notablemente en magnitud y carácter entre distintas ubicaciones, desde las áreas suburbanas silenciosas que bordean zonas rurales a las calles del centro de la ciudad, expuestas al estrépito del tráfico denso. Este suele cambiar con la hora del día, siendo relativamente silencioso durante la noche, cuando las actividades alcanzan un mínimo, y más ruidoso durante la mañana y la tarde, durante los periodos punta del tráfico. Incluso dentro de un área pequeña, el ruido ambiental cambia significativamente en función de la posición seleccionada respecto de las fuentes de ruido local. Por ejemplo, en un área residencial, puede haber una diferencia notable en la magnitud y variación temporal de los niveles de ruido medidos en el bordillo de una calle y en el jardín trasero de una vivienda, protegido por las edificaciones adyacentes. En las áreas metropolitanas puede haber diferencias considerables entre los niveles sonoros existentes a nivel de suelo y en el exterior de una vivienda que esté muchas plantas por encima del suelo.

Las fuentes más importantes de ruido en una área urbana son el tránsito, las industrias y los habitantes que pueblan el área. El tráfico liviano y pesado tanto como el ferroviario son considerados fuentes lineales de ruido con una superficie de impacto paralela al recorrido. El ruido

transmitido puede estar relacionado con los parámetros del tráfico y las propiedades acústicas de la superficie. La evaluación del ruido generado por el tráfico aéreo es más complejo, debido a que el impacto depende de muchas variables como la altura de la nave, la ruta tomada por el aeroplano, las propiedades de los motores, etc. El tráfico de rodado puede describirse, especialmente a cierta distancia de las vías, como un ruido más o menos constante, sin grandes fluctuaciones. La circulación vehicular es algo propio de todo centro urbano. El ruido generado por las industrias, las obras de construcción y los lugares destinados a la recreación, está relacionado con la potencia acústica propia de cada actividad. Este ruido puede ser constante por largos períodos de tiempo o fluctuar aumentando o disminuyendo el nivel de ruido, en determinados períodos. [5]

3.4 Parámetros descriptores e índices de ruido [5], [16]

En general, las fuentes generadoras de ruido poseen patrones temporales claramente reconocibles. El nivel puede ser constante como en una fuente estacionaria o puede fluctuar en el tiempo, como en el caso del ruido generado por el paso de un automóvil o de un ferrocarril.

El ruido comunitario tiene como característica el hecho de no ser constante en el tiempo, ni en el espacio. El ruido comúnmente fluctúa desde momentos con bajos niveles de ruido a muy sonoros, Esto tiene que tomarse en cuenta a la hora de seleccionar los descriptores adecuados.

Por lo anterior, en la historia del desarrollo de la investigación en el control de ruido ambiental, se han desarrollado gran número de descriptores, índices y escalas para evaluar la respuesta frente al ruido de la comunidad. Sin embargo, la tendencia internacional actual referente a los índices que definan la situación acústica de diferentes áreas, está dirigida a la utilización de escalas basadas en el nivel equivalente L_{eq} con la utilización del filtro A.

A continuación se muestran algunos de los índices y descriptores más importantes y usados actualmente:

Nivel Sonoro ponderado:

La audición depende entre otros parámetros de la frecuencia, pues el oído humano responde mejor en los rangos entre los 1000 y 6000 Hz. Sobre los 10000 Hz y bajo los 100 Hz. los sonidos son más difíciles de escuchar. Esto se incrementa aún más en niveles de presión bajos. De esta forma, se genera un filtro de frecuencia que simule la respuesta humana, este es el filtro A.

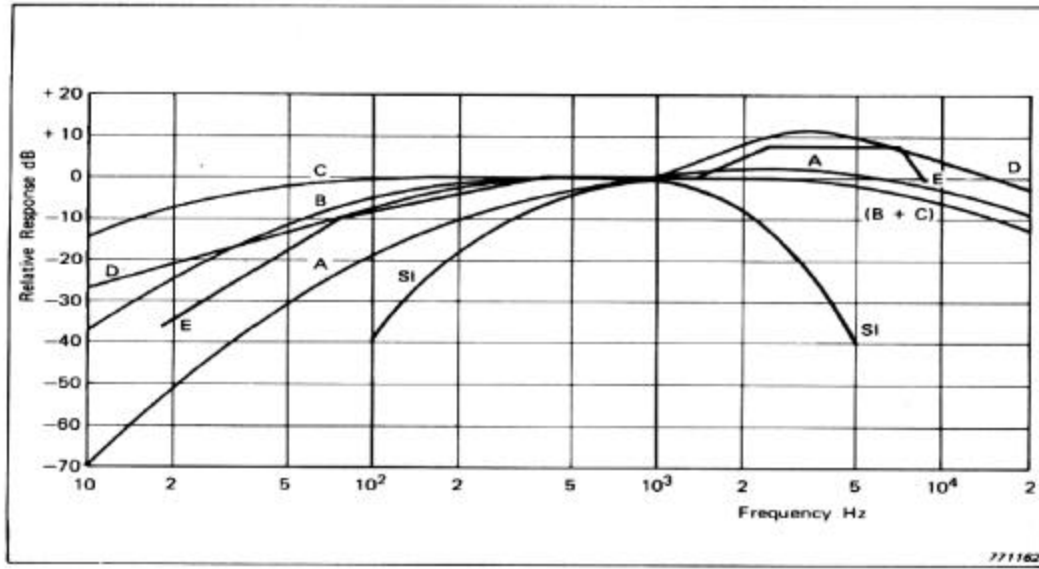


Fig. 1 Curvas de ponderación estandarizadas Internacionalmente para instrumentos de medición sonora

Nivel de Presión Continuo Equivalente: L_{eq}

Se define matemáticamente como:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_t}{10}} dt \right] \quad (1)$$

Siendo T la amplitud temporal del intervalo en que se realizó la medida y L_t el Nivel Sonoro en el intervalo dt, significando el subíndice t la dependencia del valor de esta magnitud con el tiempo.

Como vemos, resulta ser un promedio temporal de la intensidad (expresión entre paréntesis cuadrados), sobre la que se vuelve a operar el logaritmo para obtener de nuevo niveles. Es el L_{eq} , por tanto, un nivel que indicaría la energía promedio (intensidad promedio) y podríamos entonces definirlo como el nivel de ruido que permaneciendo constante tendría la misma energía, en un intervalo de tiempo T, que el ruido real, de nivel fluctuante.

Para pasar del problema continuo representado por la integral en la fórmula al problema real, discreto, basta con pasar la expresión anterior a sumatoria

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (2)$$

Donde N es el número de intervalos en que se ha dividido el tiempo de medida, o de muestras tomadas, y L_i el nivel de ruido en dB o dBA de esa muestra.

Niveles Percentiles: L_N

Aunque el L medio es un parámetro que nos da idea cuantitativa del nivel de ruido en un cierto intervalo de tiempo, no nos da información sobre la fluctuación del ruido en ese intervalo, y debido a que el individuo no acusa de igual manera un ruido constante con cierto Nivel como un ruido fluctuante, aunque la energía puesta en juego sea la misma, es necesario especificar estas fluctuaciones, y para ello se utilizan los L_N (percentiles de los niveles, con $0 < N < 100$ y N entero). L_N es el nivel por encima del cual el Nivel de ruido se mantiene durante el $N\%$ del tiempo durante el intervalo de muestreo.

Los más utilizados son el L_{10} y el L_{90} que indican, el primero, el valor del nivel de intensidad tal que se ha sobrepasado un 10% del tiempo, y el segundo, el valor que ha sido sobrepasado durante el 90% del tiempo de medida. Es decir, que el L_{90} constituiría entonces un indicador del ruido de fondo, en tanto que el L_{10} nos da información sobre los valores punta del nivel sonoro.

Índices derivados

Son muchos los índices que se han tratado de conformar para expresar con un solo número el grado de molestia del ruido, enfocado cada uno de ellos de una perspectiva distinta. A continuación revisaremos los que consideramos más relevantes para nuestra investigación:

Índice de ruido de tráfico: T.N.I.

El T.N.I. (traffic Noise Index) se define de la siguiente manera:

$$T.N.I. = 4 (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad (3)$$

Este índice intenta ponderar como factor preponderante de la molestia que afecta al individuo los altibajos de nivel que afecta a la señal, por lo tanto, mientras mayor la diferencia entre los percentiles utilizados, mayor el valor del índice. Fue desarrollado y utilizado en las Islas Británicas por Griffins y Langrod.

Nivel día - noche: L_{DN}

No siempre el valor del nivel de ruido describe la situación de molestia de una comunidad, esta molestia esta relacionada también a factores subjetivos y no acústicos que son de gran importancia, en el caso de este índice, se valora la noche (periodo nocturno) como un periodo más sensible, debido a que se relaciona con el descanso, por lo tanto se "penaliza" este periodo de la

jornada con 10 dB, entendiendo como nocturno el periodo comprendido entre las 22 y las 7 horas. Por lo tanto este índice para 24 horas se calcula de la siguiente manera:

$$L_{DN} = 10 \log \frac{1}{24} \left(15 \cdot 10^{\frac{LeqD}{10}} + 9 \cdot 10^{\frac{(LeqN+10)}{10}} \right) \quad (4)$$

Este índice fue desarrollado en los Estados Unidos de América, por lo que al utilizarlo en otro país o región, es necesario verificar la duración de los periodos diurnos y nocturnos.

Nivel de contaminación acústica: L_{NP}

Este índice se origina a partir del T.N.I. al final de la década de los 60, y se fundamenta en el hecho que la molestia se relaciona con el nivel y también con sus fluctuaciones. De esta manera este índice queda descrito de la siguiente manera:

$$L_{NP} = L_{eq} + (L_{10} - L_{90}) \quad (5)$$

Asumiendo que la distribución del nivel de intensidad es normal, podemos aproximar la diferencia entre los percentiles 10 y 90 por la desviación típica (σ), haciendo:

$$L_{10} - L_{90} = 2.56 \sigma \quad (6)$$

De esta manera el Nivel de polución sonora nos quedaría expresado por:

$$L_{NP} = L_{eq} + 2.56 \sigma \quad (7)$$

Clima de ruido: $C.R.$

El Clima de ruido se define de la siguiente manera:

$$C.R. = L_{10} - L_{90} \quad (8)$$

Este descriptor es de gran utilidad al momento de evaluar las fluctuaciones de los niveles en cierto período de tiempo, también nos entrega información en el sentido de saber si variaciones de nivel se produjeron por eventos fortuitos o por tendencias habituales.

Nivel de Exposición Sonora: SEL

Es la exposición acumulativa para un evento de ruido simple. Esta dosis representa la cantidad de energía sonora total que recibe el oído o un micrófono de medición.

$$SEL=10 \log (\text{energía sonora total durante el evento}) \quad (9)$$

3.5 Efectos del ruido en el hombre

El ruido es el contaminante más común, y puede definirse como cualquier sonido que sea calificado por quien lo recibe como algo molesto, indeseado, inoportuno o desagradable. Si bien la contaminación acústica no es causa directa de enfermedades graves que se noten de inmediato, salvo en casos extremos como explosiones o ruidos de gran potencia, va causando poco a poco daño a la capacidad auditiva y daños a la salud mental de las personas. El aumento de enfermedades de tipo nervioso convierten al ruido en uno de los principales responsables de la contaminación ambiental.

Es conocido por la ciencia que el sentido de la audición es fundamental para el ser humano a la hora de relacionarse con el mundo, la audición es nuestra fuente del lenguaje verbal y, por lo tanto de la comunicación.

La mala administración de energía sonora puede originar, a parte de una disminución temporal o permanente de la capacidad auditiva, otras alteraciones tales como las del sistema nervioso central y periférico, cardiorrespiratorias y bioquímicas del metabolismo.

Para poder analizar los efectos negativos de la energía sonora en el ser humano clasificaremos los efectos en los efectos auditivos y los no auditivos.

3.5.1 Efectos auditivos del ruido [5], [3]

Nivel de Ruido e Interferencia en la Comunicación Hablada

El ruido de fondo interfiere con la comunicación oral, ya que la inteligibilidad de la palabra queda reducida por éste. La banda de frecuencia de interés en la comunicación hablada está contenida entre los 500 y 2500 Hz. Esta interferencia, con su efecto sobre la inteligibilidad de la palabra, es

crítica en el sentido de mermar la concentración para cualquier actividad que requiera un trabajo intelectual (escuelas, oficinas, etc.)

Desplazamiento Temporal del Umbral de Audición (TTS) o Fatiga Auditiva

El TTS (Temporary Threshold Shift) consiste en una elevación del umbral o disminución de la capacidad, producida por la presencia de un ruido, existiendo una recuperación total al cabo de un período de tiempo, siempre y cuando no se repita la exposición al mismo.

La fatiga auditiva, también conocida como pérdida temporal de la audición, no implica lesión de ningún tipo.

Desplazamiento Permanente del Umbral de Audición

Cuando los TTS se suceden de manera frecuente a lo largo del tiempo (años), la recuperación del umbral va siendo cada vez más lenta y parcial, al extremo de tornarse irreversible, esta situación se denomina PTS (Permanent Threshold Shift).

Cuando la exposición al ruido es de gran nivel y de larga duración se producen lesiones irreversibles al oído, que se expresan en disminuciones auditivas permanentes de percepción. Estas pérdidas comienzan en general por afectar las bandas entre 4000 y 6000 Hz, si la exposición continúa, esta pérdida se extiende primero hacia las frecuencias altas para luego afectar las frecuencias más bajas.

Efecto Máscara (Enmascaramiento)

Consiste en que un sonido por su nivel, impida la percepción total o parcial de otros sonidos. Este es un efecto muy negativo cuando interfiere con la percepción de señales o mensajes, puede disminuir la eficiencia de los trabajadores y aumentar la posibilidad de accidentes laborales.

Acúfenos

Son ruidos que aparecen al interior del oído y hacen al paciente escuchar un pitido interior constante, causando ansiedad y hasta cambios de carácter.

3.5.2 Efectos no auditivos del ruido

El oído está relacionado con diferentes órganos, y por lo tanto pueden ser objeto de efectos adversos de la energía sonora. Entre los efectos podemos destacar la modificaciones del ritmo cardíaco, afecciones en el riego cerebral, debidas a espasmos o dilataciones de los vasos sanguíneos, alteraciones en la coordinación del sistema nervioso central, alteraciones en el

proceso digestivo, aumento de la tensión muscular y de la presión arterial, trastornos del sueño, etc.

Efectos Cardiovasculares

Está probado que alzas repentinas de nivel de ruido, sobre todo de noche, provocan aceleración cardíaca seguidos de una disminución de la misma lo que produce una vasoconstricción periférica seguida de vasodilatación, esto a la larga puede producir hipertensión crónica.

Interferencias con el Sueño

La exposición a ruidos durante la noche, no necesariamente elevados, puede causar dificultad para conciliar el sueño, alterar los patrones de éste y despertar al durmiente. Sin embargo estas características varían considerablemente de persona en persona. Se considera como nivel óptimo para alcanzar un sueño perfecto a 35 dB(A) al interior del recinto donde se duerme.

Ruido y embarazo

También hay estudios, sobre todo en Japón [3], que analizan los efectos del ruido en los fetos cuyas madres viven en la cercanía de aeropuertos. Se concluyó los recién nacidos cuyas madres que pasaban todo el embarazo en la cercanía del aeropuerto no se veían afectados, sin embargo los que se instalaban después del 5 mes de embarazo (que es cuando el oído del feto se forma) los niños no soportan el ruido tras el parto, lloran cada vez que pasa un avión.

Alteraciones Síquicas Producidas por el Ruido

Son muchas las alteraciones de este tipo que produce el ruido, pero se destacan: Irritabilidad, susceptibilidad exagerada, agresividad, alteraciones del carácter y de la personalidad y trastornos mentales.

Estrés

Se considera al ruido como uno de los factores estresantes más importantes. No solamente los ruidos de gran nivel generan este problema, también los ruidos de menor intensidad, pero de gran constancia pueden afectar seriamente la psiquis de un ser humano.

3.6 Tratamiento estadístico de datos [7], [12]

La estadística estudia los métodos científicos para recoger, organizar, resumir y analizar datos, así como para sacar conclusiones válidas y tomar decisiones razonables basadas en el análisis. La aplicación de técnicas estadísticas a las investigaciones para la planificación inicial de las experiencias y el procesamiento e interpretación de sus resultados se ha convertido en una necesidad imperiosa de las ciencias, particularmente, para obtener la mayor información de sistema estudiado con el mínimo de experiencias necesarias en el menor tiempo posible.

El diseño de un experimento consiste en planificar los procedimientos de la forma más racional posible, de manera que los datos obtenidos puedan ser procesados adecuadamente y que mediante un análisis objetivo conduzcan a deducciones aceptables del problema planteado. De esta forma se requiere un conocimiento previo general del sistema, identificando las variables de interés y sus propiedades.

3.6.1 Conceptos generales

Se seleccionaron algunos conceptos básicos de los métodos estadísticos usuales que serán de interés en el desarrollo de nuestro trabajo:

Error:

Las causas de error son inevitables en el trabajo científico, y se debe estar consciente de ellas, con el fin de minimizar estas causas o saber con qué seguridad se puede confiar en los datos y resultados. Las principales causas de error son:

- Error en las mediciones: Esto se deriva de no seleccionar en forma adecuada las muestras de una población o universo. La selección de muestras se deben tomar aleatoriamente, sin órdenes, preferencias, ni criterios personales.
- Error en variables conocidas controlables: Éste se introduce por las variaciones propias de los equipos que se emplean para controlar algunos parámetros experimentales. Generalmente los fabricantes especifican este tipo de error dentro de algún rango específico de trabajo.
- Error en variables conocidas no controlables: Se refiere a aquellas variables que, aunque afectan los resultados no se puede hacer nada por controlarlas estrictamente (Ej: variaciones de largo plazo para el caso de nuestro trabajo). Se soluciona realizando todo el estudio considerando estas variables constantes.
- Error en variables desconocidas: Se origina por variaciones del sistema en estudio por causas desconocidas o por alguna variable no incluida en el análisis. Se considera la causa de error más peligrosa, ya que puede conducir a una mala interpretación de los resultados.

Distribución o Histograma:

Al resumir una gran colección de datos es útil distribuirlos en *clases* o categorías, y determinar el número de muestras que pertenecen a cada clase, llamado *frecuencia de clase*. Una disposición tabular de los datos por clases junto con las correspondientes frecuencias de clase, se llama *distribución* o *histograma*. También es posible representar esta misma relación en términos de *frecuencias acumuladas*, es decir a través de la frecuencia total de todos los valores menores que la frontera de clase superior de un intervalo de clase dado. Es muy común encontrar estas relaciones representadas en términos del porcentaje de cada frecuencia de clase con respecto al total de muestras (frecuencia total).

Distribución normal o Gaussiana:

Son distribuciones simétricas o en forma de campana, se caracterizan porque sus propiedades equidistantes del máximo central tienen la misma frecuencia. Esta distribución tiene algunas propiedades de interés:

- El promedio aritmético de la distribución es igual a la moda y a la mediana.
- Se puede estimar el porcentaje de casos probables de la distribución de la relación entre el promedio aritmético (ξ) y la desviación estándar (s) :
 - 68.27% de los casos están entre $\xi - s$ y $\xi + s$, es decir, una desviación típica a cada lado.
 - 95.45% de los caso están entre $\xi - 2s$ y $\xi + 2s$, es decir, dos desviaciones típicas a cada lado.
 - 99.73% de los caso están entre $\xi - 3s$ y $\xi + 3s$, es decir, tres desviaciones típicas a cada lado.

Promedio aritmético:

Es un valor representativo de una distribución , se considera junto con la moda y la mediana como medidas de tendencia central. Es igual a la suma de todos los valores (X_n) dividida por el número total de muestras (N).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} \quad (10)$$

Mediana:

Es el valor central o el promedio aritmético de dos valores centrales de un conjunto de valores ordenados en magnitud.

Moda :

Es el valor que ocurre con mayor frecuencia; es decir, el valor más frecuente. La moda puede no existir, e incluso no ser única en caso de existir. Se puede obtener la moda de una distribución, ubicando el valor que corresponda al máximo (o máximos) de la curva.

Desviación estándar :

Es una medida que permite cuantificar la dispersión de una distribución, es decir, si los datos aparecen sobre todo alrededor de la media o si están distribuidos por todo el rango.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N}} \quad (11)$$

Percentiles:

Son una extensión del concepto de mediana ya que dividen la distribución ordenada por magnitud en muchas partes iguales. Son de gran interés ya que se pueden asociar con la dispersión que la distribución pueda tener. Se enuncian algunas relaciones de interés con otros conceptos estadísticos:

- La mediana de la distribución corresponde al percentil 50° (P50).
- Empíricamente se puede verificar que el $P10^\circ - P90^\circ = 2.56 \cdot S$ [16]

Varianza:

Es el cuadrado de la desviación típica y viene dada por S^2 . Tanto S como S^2 pueden representar la dispersión de una muestra única, como la de una población.

Coeficiente de asimetría:

Caracteriza el grado de asimetría de una distribución con respecto a su media. La asimetría positiva indica una distribución unilateral que se extiende hacia valores más positivos. La asimetría negativa indica una distribución unilateral que se extiende hacia valores más negativos. Se tiene la siguiente relación, donde n es el número de muestras:

$$\text{Coeficiente de asimetría} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_j - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (12)$$

Coeficiente de curtosis:

Representa la elevación o achatamiento de una distribución, comparada con la distribución normal. Una curtosis positiva indica una distribución relativamente elevada, mientras que una curtosis negativa indica una distribución relativamente plana. Se tiene la siguiente relación, donde n es el número de muestras:

$$\text{Coeficiente de curtosis} = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (13)$$

Media móvil:

Herramienta de análisis que proyecta valores en el período de pronósticos, basándose en el valor promedio de la variable calculada durante un número específico de períodos anteriores. Una media móvil proporciona información de tendencias que se vería enmascarada por una simple media de todos los datos históricos

Todos los valores de pronóstico están basados en la siguiente fórmula:

$$F_{(t+1)} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_{t-j+1} \quad (14)$$

Donde, N es el número de períodos anteriores que se incluyen en la media móvil, y A_j es el valor real en la hora j y F_j es el valor pronosticado en la hora j

Grados de libertad:

Es el número de observaciones independientes menos el número de parámetros de la población, que deber ser estimados a partir de las observaciones muestrales.

3.6.2 Procedimientos y métodos utilizados

Para el análisis de las muestras obtenidas se utilizaron diversos procedimientos y metodologías que permiten estudiar las relaciones entre poblaciones y muestras, y estimar las propiedades de una población a partir de estas muestras, con definidos grados de confianza.

Procedimientos de significación: t de Student

Estos son parte de la teoría de la estimación estadística y de la teoría del muestreo, especialmente enfocados hacia una distribución de pequeñas muestras ($N > 30$). Esto se conoce mejor como la *teoría exacta del muestreo*, ya que sus análisis son válidos tanto para pequeñas como grandes muestras. Serán de utilidad en nuestro trabajo para las inferencias estadísticas permitiéndonos:

- Determinar diferencias significativas entre conjuntos de muestras mediante pruebas de significación o test de hipótesis, discriminando entre la variabilidad asociada al error o la variabilidad significativa.

Para tomar decisiones estadísticas resulta útil formular hipótesis o suposiciones que la distribución puede o no cumplir, llamadas *hipótesis estadísticas*, que son en general enunciados acerca de la distribuciones de probabilidad de las poblaciones.

Muchas veces se formulan hipótesis con el propósito de rechazarlas o en algunos casos se plantean hipótesis alternativas. La hipótesis que plantea que no hay diferencia entre muestras, y asocia la variabilidad dentro de la fluctuación propia de las muestras se conoce como *hipótesis nula* y se denota H_0 . Cualquier otra hipótesis que difiera de ésta, denomina entonces hipótesis alternativa.

Al contrastar cualquier hipótesis, la máxima probabilidad con la que estamos dispuestos a correr el riesgo de cometer un error se llama nivel de significación. En la práctica, es frecuente un nivel de significación 0.05 (5%) o un 0.01 (1%) al diseñar una regla de decisión, es decir tenemos un 95% ó 99% de *confianza* que hemos adoptado la decisión correcta.

Para nuestro estudio resulta de gran interés analizar grupos de pequeñas muestras (siempre menores de 30) obtenidos de las distribuciones de las diversas campañas de medición. De esta forma, la distribución de Student es la más adecuada para comparar en promedios en sistemas paramétricos de este tipo que tengan como base la distribución normal con varianzas iguales o distintas.

Si se desean analizar diferencias de promedios de dos muestras de n_1 y n_2 elementos, cuyos promedios aritméticos y desviaciones estándar sean $\bar{X}_1$, S_1 e $\bar{X}_2$, S_2 respectivamente, se puede probar una hipótesis nula H_0 asumiendo que las muestras vienen de la misma población, entonces se usa la prueba t de Student dada por :

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (15) \quad \text{donde } Sp^2 \text{ es la varianza ponderada:} \quad Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)} \quad (16)$$

De esta forma el t de Student calculado que se debe comparar con el t de Student crítico obtenido de la tabla (VER NÚMERO). Los grados de libertad que aquí se requieren se calculan mediante la relación $f = n_1 + n_2 - 2$.

Finalmente será aceptada la hipótesis nula H_0 siempre que $-t_{\text{crítico}} < t_{\text{calculado}} < t_{\text{crítico}}$. (prueba de dos colas), rechazándose de esta forma la hipótesis alternativa. Cuando un test no cumple con 1% de significancia, es altamente probable. Si el resultado se encuentra entre 1% (no lo cumple) y 5%(lo cumple), es significativamente probable. Si el resultado no cumple con el 5% no es probable.

Grados de Libertad	Probabilidad de Error (%)		
	10%	5%	1%
5	2.01	2.57	4.03
10	1.81	2.23	3.17
16	1.75	2.12	2.92
22	1.72	2.07	2.82
34	1.7	2.02	2.71

Tabla 1 Distribución t de Student, en distintos grados de libertad y diversas probabilidades de error.

Análisis de Series en el tiempo :

Las experiencias con muchas series en el tiempo ha relevado ciertos movimientos o variaciones que aparecen a menudo, y cuyo análisis es de gran interés por muchas razones, una de ellas el problema de la predicción de futuros movimientos. Existen herramientas estadísticas que permiten trabajar y analizar este tipo de movimientos. Inicialmente identificamos claramente los siguientes tipos de movimientos:

Movimientos a largo plazo: Se refieren a la dirección en la que el gráfico de una serie en el tiempo parece progresar en un largo período de tiempo.

Movimientos característicos: Estas se refieren a las oscilaciones a largo término en torno a una recta o una curva de tendencia. Estos ciclos, como se les llama pueden ser periódicos o no, es decir pueden seguir o no esquemas repetidos en intervalos iguales de tiempo.

Movimientos estacionales: Estos se refieren a los esquemas idénticos o casi idénticos que una serie en el tiempo parece seguir durante meses correspondientes en años sucesivos.

Movimientos irregulares o aleatorios: Estos se refieren a los movimientos esporádicos de las series en el tiempo debido a sucesos al azar. Si bien se suele suponer que tales sucesos producen variaciones que pierden su influencia tras poco tiempo, cabe la posibilidad de que sean tan intensos que den lugar a nuevos movimientos cíclicos de otro tipo.

Pasos fundamentales en el análisis de serie en el tiempo

- Recoger datos para la serie en el tiempo, procurando que esos datos sean fiables. Relacionar estos datos con otras series de interés, así como con cualquier otra información.
- Representar gráficamente la serie en el tiempo, observando cualitativamente la presencia y los tipos de variaciones.
- Construir curvas de tendencia a largo término, utilizando promedio móviles.
- Si hay variaciones estacionales, ajustar los datos a la tendencia. Los datos resultantes contendrán (teóricamente) sólo variaciones cíclicas e irregulares.
- Representar gráficamente las variaciones cíclicas obtenidas, observando cualquier periodicidad, exacta o aproximada, que esta pueda representar.
- Para predecir futuras situaciones, utilizar estas representaciones gráficas, combinando con toda otra información disponible. Identificar y evaluar todas las posibles fuentes de error y su magnitud.

4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Generalidades

Los estudios sobre ruido comunitario suelen incluir descripciones de las variaciones espaciales y temporales de los niveles de ruido. Tales descripciones son relevantes para conocer los efectos del ruido sobre personas que se encuentran en interiores y exteriores. Debido a la preocupación acerca de los efectos de los ruidos sobre las personas, muchos estudios se han concentrado sobre medidas exteriores en áreas residenciales, con muy pocas medidas en otros lugares. A menudo, los ambientes de ruido interiores se infieren a partir de las medidas exteriores, pero este procedimiento puede dar como resultado errores notables al ignorar el ruido generado por las actividades interiores o por la falta de información precisa acerca de la reducción de ruido que aporta la estructura del edificio.

Para lograr descripciones concisas que expliquen las variaciones temporales se han empleado varias medidas especializadas. Con menor frecuencia se utiliza una descripción de las variaciones mediante el espectro de frecuencias. Además pueden ser importantes las variaciones espaciales y temporales lo largo plazo del ambiente sonoro. Los cambios temporales pueden ir desde las consideraciones de la variabilidad día a día hasta los cambios estacionales y a largo plazo. De esta forma, notamos que la finalidad de los estudios sobre el ruido comunitario influye notablemente sobre el tipo y número de medidas que se deben realizar.

Métodos básicos para describir el ruido comunitario [5], [2]

Los estudios sobre el ruido comunitario suelen dar como resultado una gran cantidad de datos que son difíciles de manejar, asimilar o comparar. Para obtener descripciones significativas y concisas del ruido de la comunidad, suelen usarse índices de número único que son descriptores simplificados, a menudo derivado de análisis o supuestos estadísticos. Sin embargo, estas medidas sencillas son necesariamente representaciones incompletas de las condiciones reales, y a veces, pueden resultar engañosas. Se han desarrollado varias medidas especiales del ruido ambiental, cada una de ellas haciendo énfasis sobre ciertas características estadísticas de variaciones en el tiempo; todas intentan lograr una medida más significativa del modo en que el ruido afecta la respuesta de las personas expuestas a él.

Variaciones en el Espectro

Pueden haber amplias variaciones en el contenido espectral del ruido comunitario, debido a la diversa gama de fuentes presentes. En nuestro caso, donde el ruido es esencialmente producto del ruido de tráfico de superficie, el espectro de ruido presenta una estructura relativamente definida, que no resulta muy útil a la hora de analizar los datos. Para las mediciones de ruido comunitario, las variaciones espaciales y temporales en el ambiente exterior son tan grandes que se evitan las descripciones prolijas de variaciones espectrales mínimas locales por su irrelevancia en la situación global

Es por esta razón que resulta más útil utilizar como descriptor de ruido al los niveles de presión ponderados con el filtro A, ya que evalúa en forma directa la respuesta del oído humano a niveles acústicos bajos y es el descriptor de ruido más utilizado en ruido en la comunidad.

Variaciones temporales

Los niveles de ruido comunitario muestran variaciones temporales que se relacionan con los patrones de las actividades humanas y el uso de las fuentes de ruido. De este modo es importante destacar los siguientes conceptos:

Variaciones temporales según usos de suelo:

La variabilidad en el ambiente sonoro en un área tiene relación con sus fuentes de ruido cercanas. De este modo, lugares no próximos a autovías o autopistas presentan mayores variaciones y desviaciones producto de la irregularidad de sus fuentes principales. Por otro lado, los lugares próximos a autopistas tienen ambientes de ruido muy definidos, condicionados esencialmente a los flujos vehiculares. Con esta misma estructura podemos estudiar las variaciones temporales de lugares próximos a aeropuertos o estaciones ferroviarias, conociendo el funcionamiento de estas fuentes

Variaciones con la hora del día:

En zonas de densidad de población baja, expuestas esencialmente al ruido de tráfico, los niveles sonoros máximos se distribuyen generalmente en horas vespertinas, donde notamos que la diferencia entre un L_{eq} diurno y nocturno oscila entre 8 y 10 dB. Por otro lado, en zonas de alta densidad de población (también expuestas esencialmente al ruido de tráfico de rodado) se muestran menos variaciones entre las horas diurnas y nocturnas, ocurriendo los niveles sonoros máximos durante las horas de tráfico punta en la mañana y en la tarde (ésta en un menor grado). La diferencia entre el L_{eq} diurno y nocturno para este caso oscila entre 4 y 5 dB.

Variaciones diarias:

La variabilidad del ruido comunitario está condicionada a la naturaleza de sus actividades. Para el caso de ruido de tráfico de rodado, es fundamental identificar las variaciones de los flujos vehiculares dentro de un ciclo semanal tipo, identificando sus patrones o características de funcionamiento. Esencialmente, éste se puede clasificar por sus flujos tipo en días hábiles y festivos.

Variación estacional:

Existen variaciones en los ambientes sonoros de una estación a otra, dado principalmente por la variación de las condiciones climáticas (que influyen en la distribución de los niveles), la variación de las actividades de las fuentes y sus receptores.

Variaciones a largo plazo:

Es vital tener en consideración la evolución que presentan las fuentes de ruido con el transcurso del tiempo. Esto se puede evaluar para el ruido de tráfico considerando el incremento en el flujo vehicular debido al aumento del parque automotriz. Para fuentes estacionarias se deben evaluar posibles nuevas construcciones o nuevas fuentes de ruido.

El patrón temporal de los niveles sonoros en un punto determinado se analiza mediante registros continuos de nivel. Esto aporta mucha información, sin embargo, para una comparación cómoda de las situaciones de ruido, es necesario eliminar los detalles temporales y evaluar la situación con mejores descriptores, tales como el Nivel continuo equivalente (L_{eq}), Niveles percentiles (L_n), Nivel sonoro corregido día-noche (L_{dn}), Nivel equivalente del ruido en la comunidad (CNEL), Nivel de contaminación de ruido (NPL), Índice de ruido de tráfico (TNI), Nivel de exposición de ruido (SEL), etc.

La distribución estadística de los niveles sonoros muestra patrones bien definidos que se relacionan con las fuentes de ruido principal. El ruido debido al tráfico ligero moderado o alto (donde no hay presencia de otras fuentes principales) tiene una distribución aproximada a la Gaussiana.

Variaciones Espaciales

Se pueden agrupar estadísticamente las variaciones espaciales de algunos descriptores de ruido, presentándolos generalmente mediante líneas isofónicas. Para realizar esto es importante considerar:

Variaciones de los niveles con la altura:

En áreas metropolitanas el ambiente sonoro puede considerarse como una función de la altura y la horizontalidad. Diversos estudios indican que el nivel de ruido ambiental (excluyendo fuentes locales fuertes) desciende lentamente con la altura. Sin embargo, para las fuentes locales fuertes el ruido puede llegar a decrecer más lentamente o incluso aumentar, debido a las reflexiones múltiples a las cuales pueden estar sometidos (pavimento, edificios vecinos, obstáculos, etc). Dada estas diferencias, los valores del nivel sonoro percentil L_{90} descienden lentamente con la altura, en tanto que los niveles de menores percentiles como L_{10} descienden más rápidamente. Esto da como importante resultado el hecho que se producen entonces pequeñas fluctuaciones de los niveles de ruido al aumentar la altura.

Variaciones de niveles interiores y exteriores:

Los estudios sobre ruido comunitario se basan sobre medidas exteriores, ya que su realización es más cómoda y se relacionan directamente con las fuentes externas. Sin embargo es importante notar que muchas veces esto no tiene relación con los ambientes reales de exposición al ruido, ya que para esto se deben estimar los niveles interiores. Esto resulta inaplicable debido a la dificultad de estimar la aislación acústica de las fachadas de las viviendas y la complejidad para analizar las fuentes internas del hogar producto del ruido de las personas.

4.2 Análisis de diversas metodologías de medición de ruido comunitario

Para poder generar la metodología que se aplicó en nuestro estudio, se analizaron diversas metodologías usadas tanto en Chile como en diversas partes del mundo.

Para cada metodología revisada se observaron las variables, los índices y parámetros descriptores, el criterio de selección de puntos, la observación de estos métodos fue de suma importancia para el desarrollo de este estudio.

A continuación presentamos los factores más relevantes de algunas metodologías estudiadas.

4.2.1 Estudios de ruido comunitarios globales

Método de la retícula [16]

Este método se utilizó en el estudio de ruido de tráfico de Valladolid presentado en el libro del Sr. Sánchez del mismo nombre y consiste en trazar sobre un plano de la ciudad una trama de líneas equidistantes intersectadas con otra trama de similares características en ángulo de 45° con la primera, de modo que resultase una retícula de rombos de 200 metros de lado (en escala real).

La elección de los puntos de medición se realiza al interior de estas retículas de forma aleatoria, intentando obtener las diversas situaciones acústicas por retícula.

Sí al interior de la retícula solamente se muestreó un punto, éste representa el área total de la retícula, sí se midieron varios puntos, el valor final es el promedio de los valores medido.

Metodología del Estudio de Base de Generación de Niveles de Ruido de Santiago, Universidad de Santiago de Chile [19]

En este estudio se optó por una grilla de tamaño variable, en la que cada elemento coincide con un distrito censal de acuerdo al Instituto Nacional de estadística. De este modo las áreas de menor densidad tienen menor cantidad de muestras, el hecho que coincida con el distrito censal facilita la correlación de las mediciones con variables demográficas. Se hace un muestreo en 180 distritos que pertenecen a 23 comunas de la Región Metropolitana.

Se separa el muestreo en dos partes el de fuentes fijas y el muestreo de fuentes móviles. Para las fuentes fijas se agrupa las fuentes según el rubro y se toma un sector aleatorio de ellas, independiente de su ubicación territorial, siendo medidos en la vía pública en los lugares y horas más afectadas. El conjunto de estos casos se denomina Casos Especiales.

En el muestreo por distrito, se agrupan los 180 distritos en 12 zonas dentro de las cuales la oscilación diaria es semejante. En estas zonas se realizan muestreos semanales.

Se realiza también una estación fija que recoge 24 muestras diarias durante 9 meses. Este muestreo es a escala urbana y tiene gran resolución temporal.

Para los distritos se realizan mediciones en el ámbito espacial y temporal. Como evolución temporal se efectúa 6 muestras (2 en la mañana, 2 en la tarde y 2 en la noche) en un mismo lugar llamado punto base. La descripción espacial consiste en 10 muestras de 1 minuto cada 25 metros a la misma hora a lo largo de un perfil transversal.

En todas las mediciones se obtuvieron el L_{eq} , L_{max} , L_{min} y los percentiles L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{99} , y una grabación de ruido del entorno.

Metodología para la Determinación de Índices de Contaminación Acústica, caso comuna de Talcahuano: Comisión Nacional del Medio Ambiente [3]

El primer paso de esta metodología es recopilar una serie de información urbana, de flujo de tránsito, de variables sociales ubicación de fuentes fijas, ubicación de sitios sensibles, de denuncias de la comunidad ante ruidos molestos, demográfica. Una vez recopilada esta información se debe diferenciar los lugares más impactados y los menos contaminados.

Se utiliza como unidad de red de muestreo cada distrito censal.

Los criterios de selección de puntos de muestreo son los siguientes: Los puntos se ubicaron en las aceras en las cercanías de las fachadas de las viviendas, se evitaron las cercanías de las esquinas, los cruces de semáforos, paraderos de locomoción colectiva, se ubicó el punto de medición en el lugar donde se pueda encontrar la peor situación de ruido del área, se consideraron todos los puntos necesarios de modo de evaluar las principales fuentes de ruido en cada distrito.

También se disponen criterios de selección de fuentes fijas (Industrias molestas, fuentes fijas mencionadas en denuncias, etc.) y criterios de selección de sitios sensibles (ubicados en las cercanías de vías de alto flujo vehicular, de fuentes fijas importantes, etc.)

En cada medición como mínimo se obtiene el L_{eq} , L_{max} , L_{min} y se recomienda obtener los percentiles L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{99} .

Las mediciones de fuentes móviles se realizaron durante dos días laborales evitando los anteriores a festivos, en cada punto se toman muestras en las horas punta y silenciosas de la jornada, el tiempo de medición es variable entre 5 y 15 minutos dependiendo del lugar, el tipo de ruido y las condiciones específicas.

Para las fuentes fijas se toman dos muestras una durante el periodo diurno (7 a 21 hr) y una en el nocturno (21 a 7 hr), sí esta fuente fija tiene actividad en doble jornada. El tiempo de medición no puede exceder los 20 minutos.

También se proyectó a instalación de un punto base semanal que representó el ruido presente en todos los sectores de la comuna estudiada.

4.2.2 Estudios de ruido comunitario en entornos de carreteras

Metodología aplicada en el proyecto Sistema Oriente-Poniente: Ministerio de Obras Públicas [9]

Esta metodología fue utilizada en la línea de base realizada para el Ministerio de Obras Públicas por Control Acústico en las zonas próximas al trazado de la futura autopista Costanera Norte.

El descriptor usado fue el L_{eq} registrado durante un intervalo de tiempo de 10 minutos, también se obtuvieron L_{max} , L_{min} y los percentiles L_1 , L_{10} , L_{20} , L_{50} , L_{90} , L_{99} , y como parámetro secundario el componente espectral que prevalece en el sector donde se registra.

Se realizó el muestreo en tres horarios, el horario de mañana (07:00 - 09:00 hr) y de tarde (18:00 - 20:00 hr) estos valores representan el Nivel de Ruido Máximo, el horario nocturno (00:00 - 01:00 hr) representa el Nivel de Ruido de Fondo Mínimo, para estos últimos valores se aplicó un tiempo de integración de 1 minuto.

Se eligieron 10 puntos en función de las diferentes situaciones urbanas.

Metodología propuesta para estudios de ruido en proyectos de carreteras: Universidad de Santiago [15]

Esta metodología se presenta en el artículo llamado Metodologías aplicadas a la elaboración de línea base de ruido para proyectos de carretera escrito por Ricardo Pesse de la Universidad de Santiago de Chile.

El autor recomienda la utilización de un punto base que permita efectuar una correcta caracterización de la evolución temporal del ruido. Este punto base debe incluir al menos el mayor ciclo característico, este puede ser horario, diario, semanal, o bien de mayor periodo.

Los descriptores recomendados para este muestreo son: el L_{eq} y los niveles percentiles L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{99} .

Para realizar el muestreo espacial agrupa el área total en estratos tales como: Zona urbana residencial alta densidad de población, zona urbana residencial con baja densidad de población y zona suburbana residencial.

La separación entre muestras para estos estratos deben ser entre 0.2 y 0.7 Km dependiendo las distancias entre muestras en forma inversa con la densidad de población.

Para zonas rurales la distancia entre muestras fluctúa entre 5 y 10 Km dependiendo de la existencia de áreas de interés ecológico.

Los lugares típicamente sensibles como lo son las escuelas, templos de culto, hospitales, bibliotecas, etc., deben ser identificados como puntos de medición.

En cada uno de los estratos se debe instalar un punto base de las características antes mencionadas, en el resto de los puntos se puede hacer un muestreo en el tiempo durante 10 a 15 minutos registrando L_{eq} , L_{max} y L_{min} .

Las fichas de medición se deben dividir en tres partes. Datos de identificación de la medición (identificación del operador, fecha, hora, coordenadas, croquis, etc.) datos acústicos (calibración del equipo, tipo de ruido, tonos puros, factor de punta, valores obtenidos, etc.) y datos no acústicos (flujo de vehículos, viento, temperatura, etc.)

Metodología adaptada de la OCDE [4]

Ésta es una revisión de una metodología alternativa basada en una adaptación regional de las reglamentaciones aplicadas en los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico, cuyas normas ambientales, en carencia de normativas nacionales, son reconocidas por CONAMA. Esta metodología establece padrones para los instrumentos, técnicas de medición, procedimientos para determinar la Línea de Base de ruido, para el cálculo de niveles a futuro (predicción) y para la evaluación.

Con relación a la instrumentación recomiendan el uso de sonómetros integradores de precisión Clase 1, de acuerdo a las normas IEC 651 y 804 de la International Electrotechnical Commission. Para estimaciones aproximadas, se pueden usar sonómetros de precisión Clase 2. Para los descriptores establece emplear la terminología internacional según la norma ISO R 31 sobre Unidades Acústicas. Recomienda utilizar el sonómetro con filtro de ponderación con filtro de ponderación A, en función de respuesta rápida ($L_{eq.A.F}$).

En cuanto a las técnicas de medición, establece que se tomen a lo menos 2 muestras de 6 minutos por punto, eligiendo de estas la que mejor represente la situación normal de la zona.

Establece dos tipos de medición en función de la distancia al eje de la calzada. La medición del $L_{m(25)}$, que debe ser medido a 25 m del eje de la calzada más próxima, a este descriptor se le llama Nivel de Emisión. El L_{eq} debe ser medido en la línea de edificación más próxima a la calzada, se le llama valor de Inmisión. Además se dispone la medición del Nivel Efectivo Máximo (MAXL) y Nivel Efectivo Mínimo (MINL) o en su defecto el L_{10} , L_{90} .

En relación con la elección de puntos de medición, se eligen las principales fuentes potenciales de emisión de ruido y los puntos de inmisión de ruido potencialmente sensibles.

Se realiza el muestreo en tres horarios distintos: Mañana, tarde y noche, y en tres situaciones características distintas: día de trabajo con actividad normal, día de trabajo con actividad mayor y

día de descanso. También se pueden realizar medidas para distintas intensidades de flujo distintos: Flujo vehicular alto (>900 auto/hora), medio (301 - 900) y bajo (0 - 300).

4.3 Metodología de investigación

4.3.1 Consideraciones Generales.

Se diseñó un procedimiento de investigación que permitiera describir adecuadamente la situación acústica para realizar después diversos análisis sobre ésta. Con estos antecedentes se podrá generar la metodología simple propuesta para la realización de la Línea Base.

La metodología de investigación a usar en este estudio debe ser capaz de entregar información sobre los temas de mayor importancia en la problemática de la realización de una línea base en entornos de futuras carreteras. Dentro de las variables más relevantes se consideró estudiar la elección de los lugares de muestreo, la hora de la realización del muestreo y la cantidad de muestras necesarias para una correcta descripción de la zona afectada.

Nuestra metodología de investigación recoge algunos aspectos comunes de los diversos estudios presentados con la idea de realizar estudios comparables y utilizar las tendencias actuales de los estudios de ruido comunitario, validando de esta forma la elección de algunos criterios específicos. Un estudio más detallado podrá analizar si algunos de los descriptores más utilizados son los más apropiados para esta situación.

El problema de definir una área de influencia y un criterio de impacto asociado, es sumamente complejo, ya que los niveles de ruido generados por la carretera como fuente y la propagación asociada a estos, dependen de muchas variables. De esta forma, un estudio específico debe considerar mediciones en entornos de carreteras y su propagación por diversos escenarios geomorfológicos.

Ya que nuestro trabajo tiene otros objetivos, se definió el área de influencia con un criterio propuesto a priori, enmarcando el muestreo en una zona definida por 300 mts a cada lado de la futura carretera. La variación de este criterio no modifica la esencia de la metodología usada.

4.3.2 Descripción Temporal: Puntos Base

Se diseñó un procedimiento que permita realizar una descripción de la evolución de los niveles de ruido a través del tiempo en esta zona.

Los procedimientos para realizar esta descripción son:

- Se reúnen variables urbanas y acústicas para determinar uno o más puntos fijos, llamados Puntos Base, que logren describir un ciclo semanal de las actividades del escenario mediante su evolución sonora. Para nuestro estudio se consideraron tres Puntos Base (ver figura 3) en función de los diversos tipos de flujo que presenta la zona
- Se midieron una serie de descriptores acústicos (L_{eq} , L_{max} , L_{min} y los percentiles L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{99}) en dB(A) lento cada 10 minutos durante una semana completa, la cual se supone como semana tipo ya que no tiene feriados ni actividades especiales.
- Estos datos no tienen validez para describir los niveles representativos de la zona (según normativas asociadas), ya que sus condiciones de medición no fueron diseñadas para ese efecto, sino más bien para tener valores comparables en sus evoluciones horarias.
- En base al análisis de estos niveles leídos se pretende encontrar un período estable dentro de los días de la semana, para desarrollar el programa de evolución espacial del ruido.

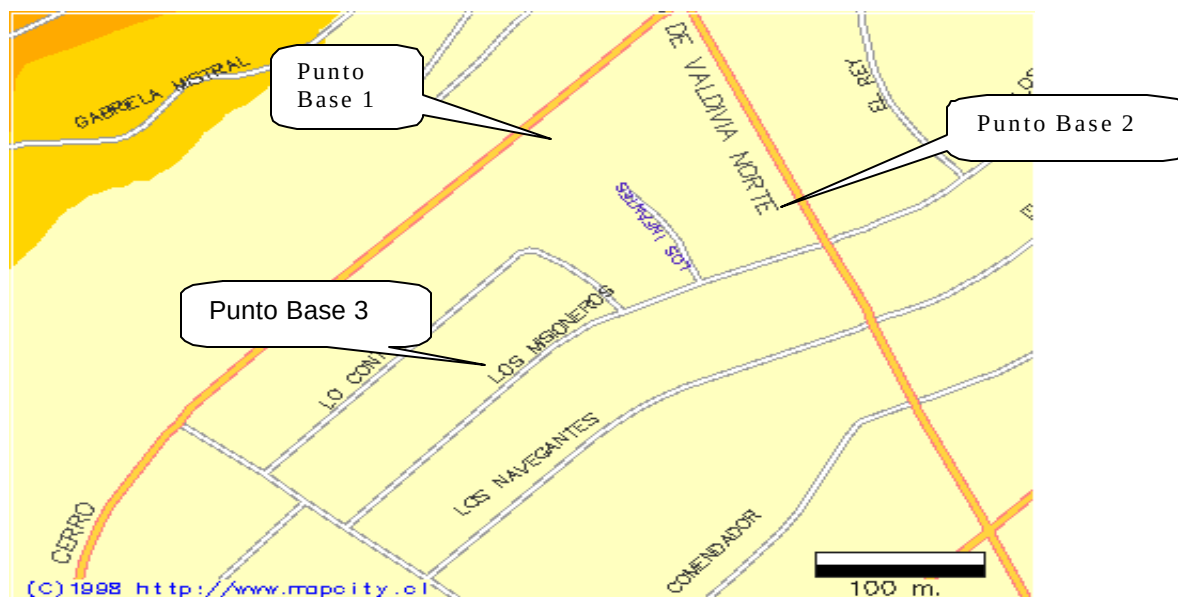


Fig 3 Ubicación de los Puntos Base

4.3.3 Descripción Espacial: Método de la retícula

Ya que la idea es obtener una descripción detallada de la zona y luego poder simplificarla, se eligió el método de la retícula, ya que por el tamaño de la zona en estudio este procedimiento es el más apropiado porque entrega mayor detalle y se acerca a un muestreo aleatorio de interés para un análisis estadístico de las muestras.

Para aplicar este método se considera el siguiente procedimiento:

- El muestreo está apuntado hacia lugares habitados, eligiendo así el costado sur del proyecto de carretera.
- Se reticula un plano del escenario en cuadrados de 100 mts con coordenadas georeferenciadas por la simplicidad que esto presenta.
- Dentro de cada retícula se fijan puntos de medición dependiendo de criterios específicos:
 - Ya que la zona es poblada, cada punto de medición es representativo del ruido exterior de un lugar habitado.
 - Se fijaron puntos de medición en todas las esquinas que estén dentro de las retículas, con el interés de estudiar estas situaciones de ruido, generalmente excluidas de muchos estudios de ruido comunitario.
 - En el caso de no existir una esquina, se fijó un punto por cada vía que cruce la retícula.
 - Se fijó un máximo de tres puntos de medición por cada retícula
 - Para unificar las mediciones se estableció una distancia de 2 mts desde el borde de la acera hacia el interior de la cuneta, manteniendo cuando es posible una distancia de 3,5 mts de las superficies reflectantes más cercanas, y a una altura de entre 1.35 mts y 1.50 mts, donde el equipo apunta hacia el centro de la calzada.
- Estas mediciones deben ser realizadas en un horario estable dado por el análisis de los datos de los Puntos Base

- Estas mediciones además, deben coincidir con algunos puntos sensibles especiales tales como Iglesias, Hospitales, Colegios, etc.
- Por cada punto de medición se realizó una ficha que contenía todos los parámetros de interés tanto acústicos como de otra naturaleza. Estos parámetros son los siguientes:
 - Parámetros Acústicos: L_{eq} , Niveles Percentiles L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{99} , SEL, L_{min} , L_{max} , medidos en dB(A) lento, identificación de las fuentes.
 - Parámetros Ambientales: Temperatura, humedad relativa y velocidad de viento.
 - Parámetros Urbanos: Ubicación, croquis, día, hora, tipo de zona, densidad de población, cantidad de vehículos livianos, pesados y otros, y observaciones varias.
 - Parámetros Técnicos: Instrumento, calibración, operador

Las fichas de medición están adjuntas a este informe con el detalle de todos los puntos de medición.

Análisis mixto

Luego se deben identificar los grupos comunes tanto de variaciones espaciales como temporales y asociarlos con variables urbanas y/o acústicas para luego diseñar un procedimiento simplificado.

En base del análisis estadístico de las variables pertinentes se proyecta una segunda campaña de verificación de resultados.

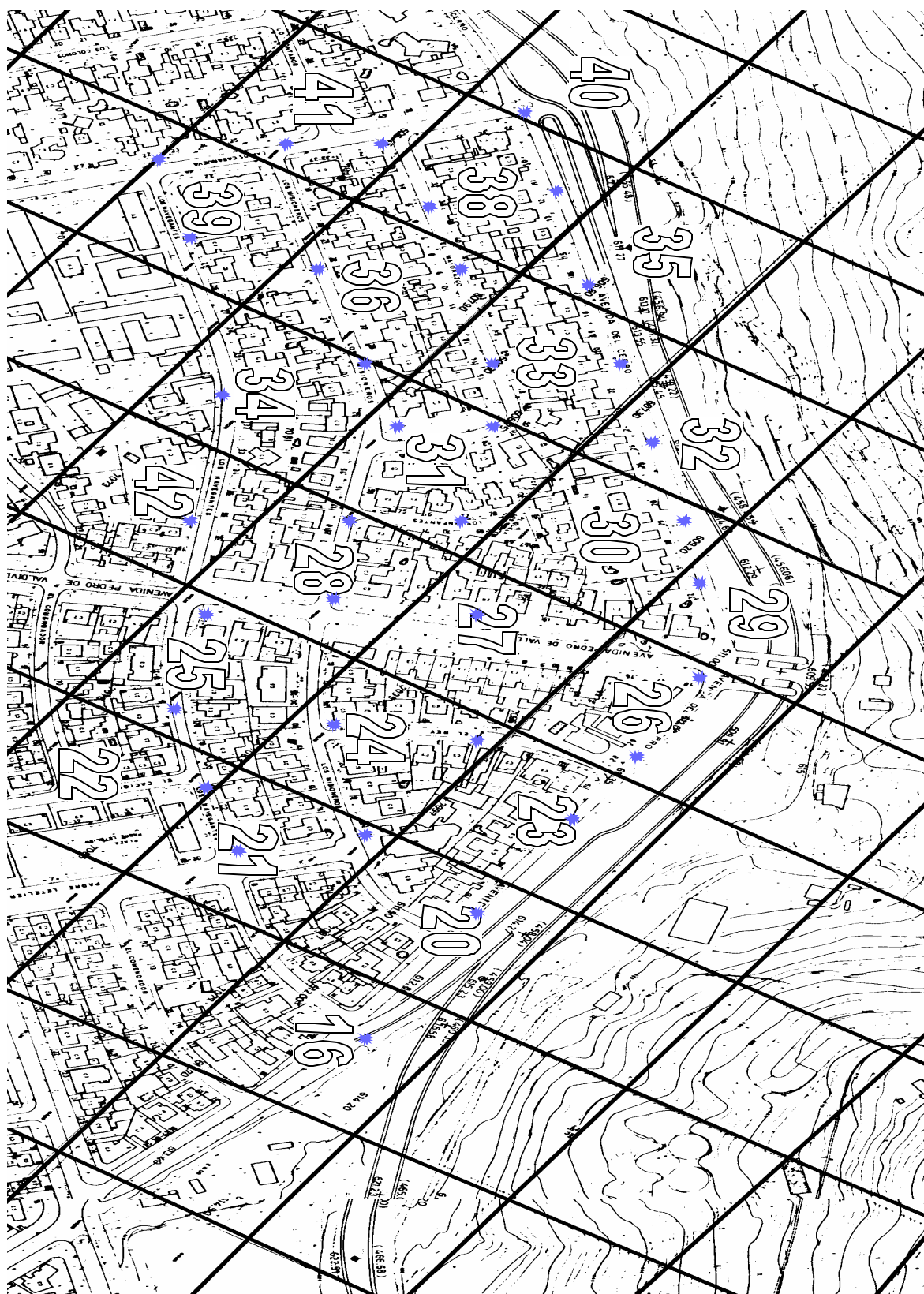


Fig 4 Plano de ubicación de los puntos de medición y las retículas asignadas

PUNTOS	RETICULA	UBICACIÓN
1	40	Av. El Av. El Cerro/Carlos Casanueva
2	41	El Mayorazgo/Carlos Casanueva
3	41	Los Misioneros/Carlos Casanueva
4	39	Los Navegantes/Carlos Casanueva
5	38	Av. El Cerro 1921
6	38	El Mayorazgo 1919
7	39	Los Navegantes 1932
8	35	Av. El Cerro 1941
9	36	El Mayorazgo 1923
10	36	Los Misioneros 1926
11	33	Av. El Cerro 1961
12	33	El Mayorazgo 1939
13	34	Los Misioneros 1962
14	34	Los Navegantes 1955
15	32	Av. El Cerro 1973
16	31	El Mayorazgo 1956
17	31	El Mayorazgo/Los Misioneros
18	30	Av. El Cerro 1983
19	31	Los Infantes 0481
20	28	Los Misioneros/Los Infantes
21	42	Los Navegantes 1992
22	29	Av. El Cerro 1991
23	26	Av. El Cerro/Av. Pedro de Valdivia
24	27	Av. Pedro de Valdivia 0458
25	28	Los Misioneros/Av. Pedro de Valdivia
27	25	Los Navegantes/Av. Pedro de Valdivia
28	26	Av. El Cerro/El Rey
29	24	El Rey 0684
30	24	Los Misioneros/El Rey
31	25	Los Navegantes 2128
32	23	Av. El Cerro 0648
33	22	Los Navegantes 2178
34	21	Los Misioneros/Padre Letelier
35	21	Los Navegantes/Padre Letelier
36	20	Av. El Cerro/Los Misioneros
37	16	Av. El Cerro/Los Navegantes

Tabla 2: Ubicación de los Puntos de medición y las Retículas a los cuales pertenecen

4.3.4. Instrumentación

Las instrumentación utilizada en este estudio consistió en:

- sonómetro de precisión Clase 1 Larson & Davis 814, equipado con micrófono de Campo Libre, n° de serie A0190, de acuerdo a las normas IEC 651 y 804 de la International Electrotechnical Commission.
- Un calibrador Larson & Davis tipo pistófono de 250 Hz 114 dB n° de serie LD2907
- Anemómetro Extech
- higrómetro de precisión Extech
- Brújula Engineer Lensatic Compass
- Atril de fotografía Guest

Observación: El micrófono más adecuado para este tipo de muestreo en terreno debe ser del tipo de incidencia aleatoria, sin embargo esto no perjudica mayormente la precisión de las mediciones.

5. RESULTADOS Y ANALISIS

5.1 Evolución Temporal

Las siguientes son las fichas resumen de cada Punto Base:

Punto Base N° 1	
<i>Ubicación</i>	Av. El Cerro 1969
<i>Fecha de Instalación</i>	Martes 18/08/1998
<i>Hora</i>	19:35
<i>Duración de la Medición</i>	5 días, 3 horas
<i>Condiciones de Medición</i>	Sobre techo, a 3.5 mts de altura y a 30 mts del eje central
<i>Condiciones Climáticas</i>	Clima invernal normal
<i>Observaciones</i>	Día Domingo 23 se suspende por lluvia

Punto Base N° 2	
<i>Ubicación</i>	Av. Pedro de Valdivia 0458
<i>Fecha de Instalación</i>	Miércoles 26/08/1998
<i>Hora</i>	16:25 hrs
<i>Duración de la Medición</i>	7 días, 1 horas
<i>Condiciones de Medición</i>	Sobre techo, a 3.5 mts de altura y a 15 mts del eje central
<i>Condiciones Climáticas</i>	Clima invernal normal
<i>Observaciones</i>	Elevación anormal de niveles día Sábado 29, ruidos del interior

Punto Base N° 3	
<i>Ubicación</i>	Los Misioneros 1926
<i>Fecha de Instalación</i>	Lunes 19/10/1998
<i>Hora</i>	12:10 hrs
<i>Duración de la Medición</i>	10 horas 40 minutos
<i>Condiciones de Medición</i>	Sobre techo, a 3 mts de altura y a 10 mts del eje central
<i>Condiciones Climáticas</i>	Clima primaveral normal
<i>Observaciones</i>	Día Lunes 23 se suspende por problemas técnicos

Nuestro análisis se basará esencialmente en los dos primeros puntos base, ya que estos entregan una mayor cantidad de información sobre la evolución de los niveles de ruido.

La siguiente figura muestra el conjunto de todos los descriptores de ruido medidos para cada Punto Base. Estas figuras se presentarán de distintas formas para realizar nuestro análisis.

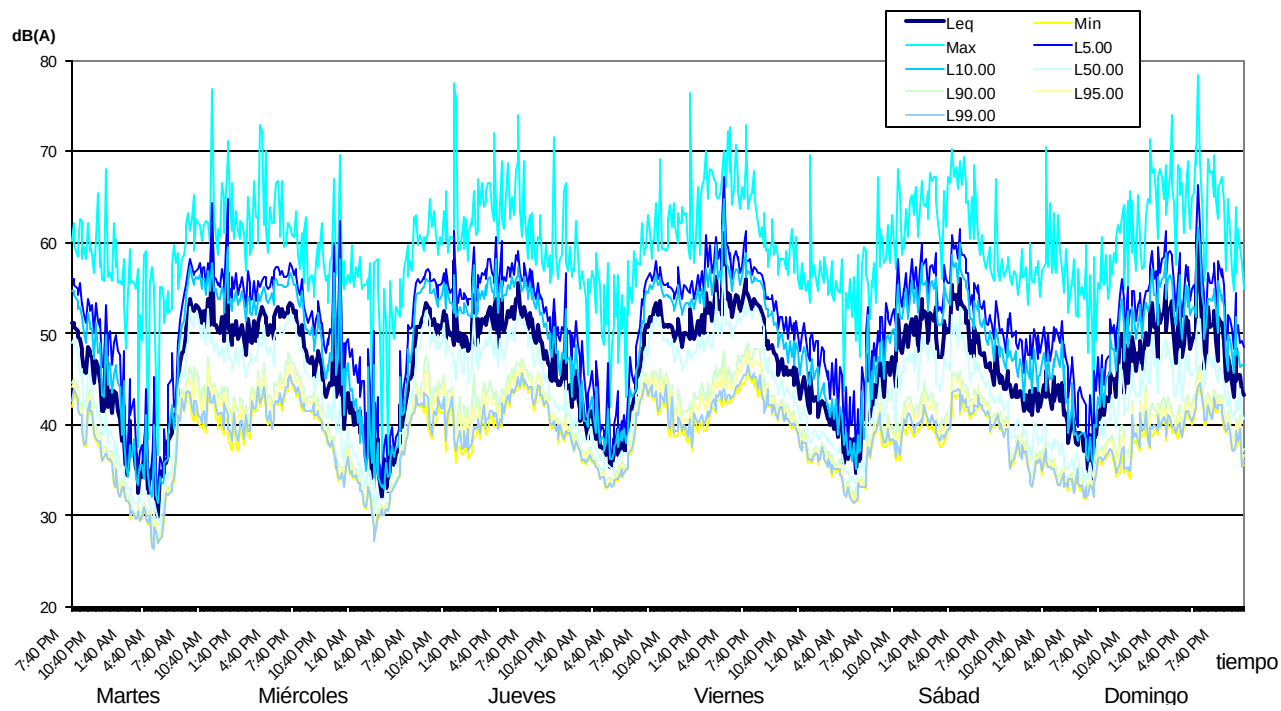


Fig 5 Punto Base N°1: Representación gráfica de todos los descriptores medidos

Observando el Leq se puede apreciar como los ciclos diarios presentan patrones comunes, de la misma forma que sus desviaciones o dispersiones entre las muestras, representados por el Clima de Ruido.

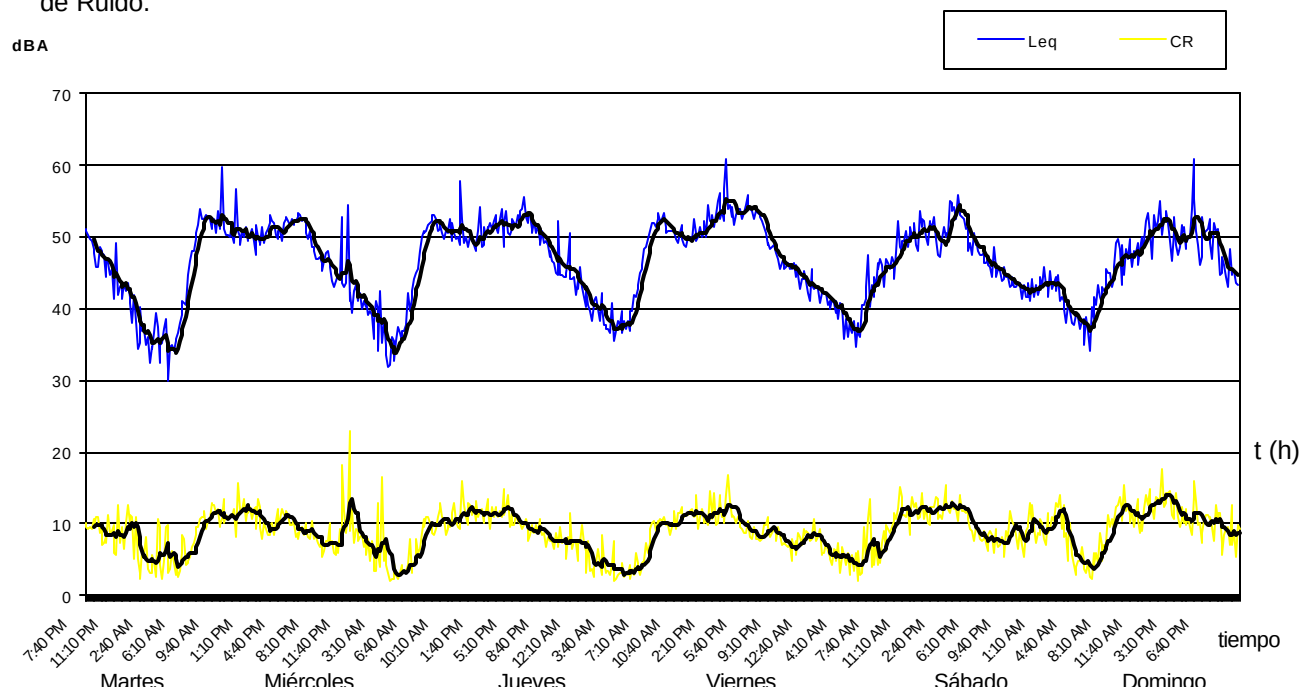


Fig 6 Punto Base N°1: Evolución del Leq y del Clima de ruido, ambas curvas se demarcan con líneas de tendencias obtenidas de un promedio móvil

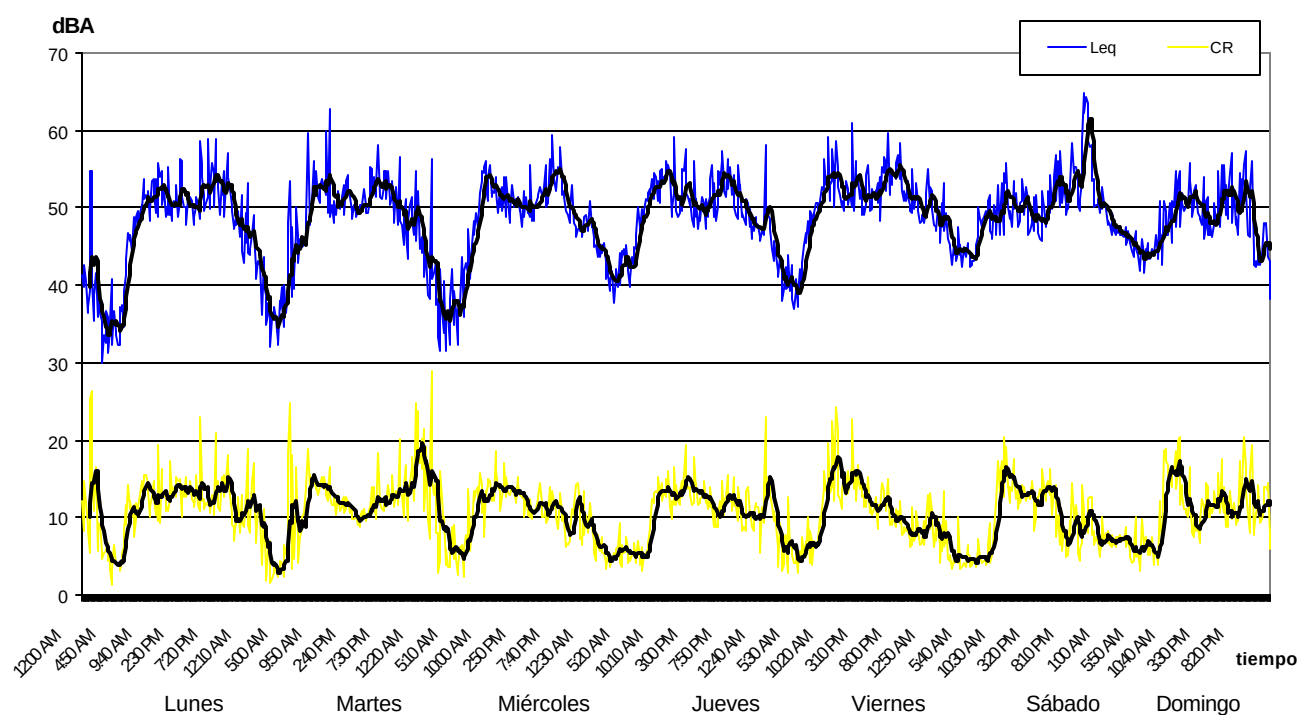


Fig 7 Punto Base N°2: Evolución del Leq y del Clima de ruido, ambas curvas se demarcan con líneas de tendencias obtenidas de un promedio móvil

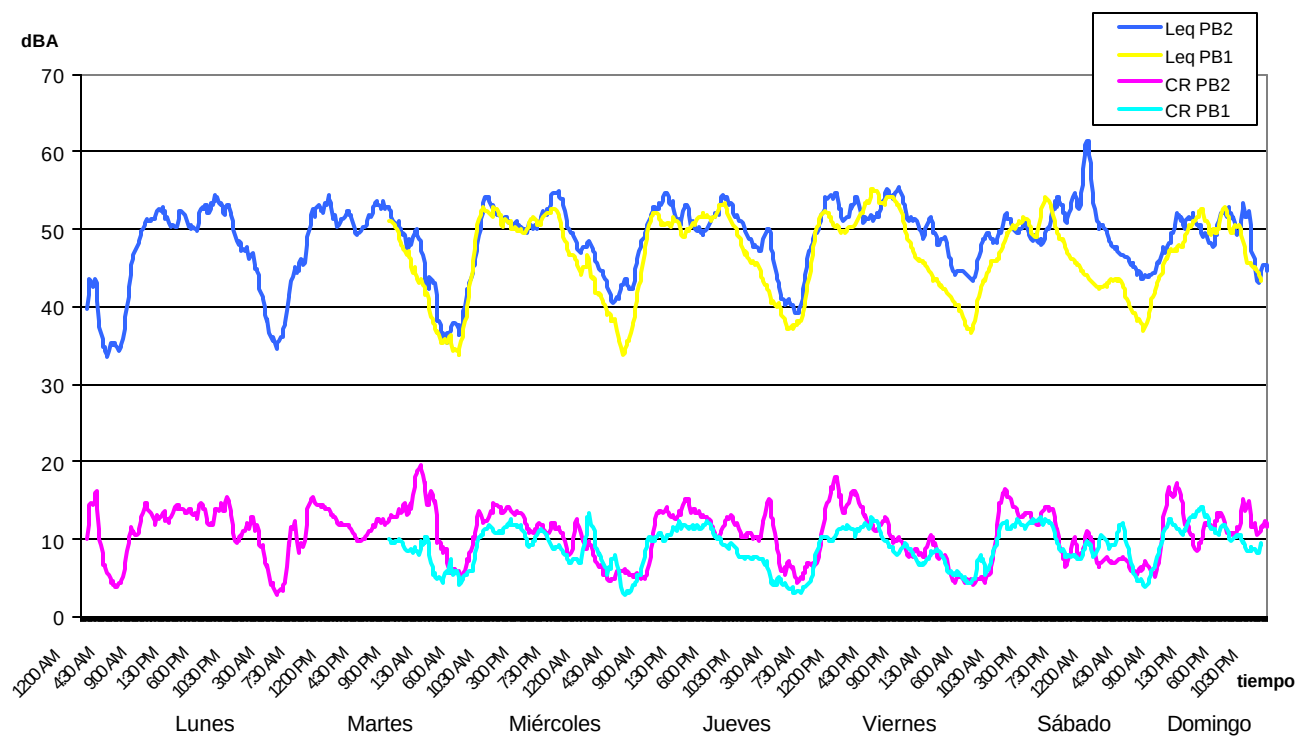
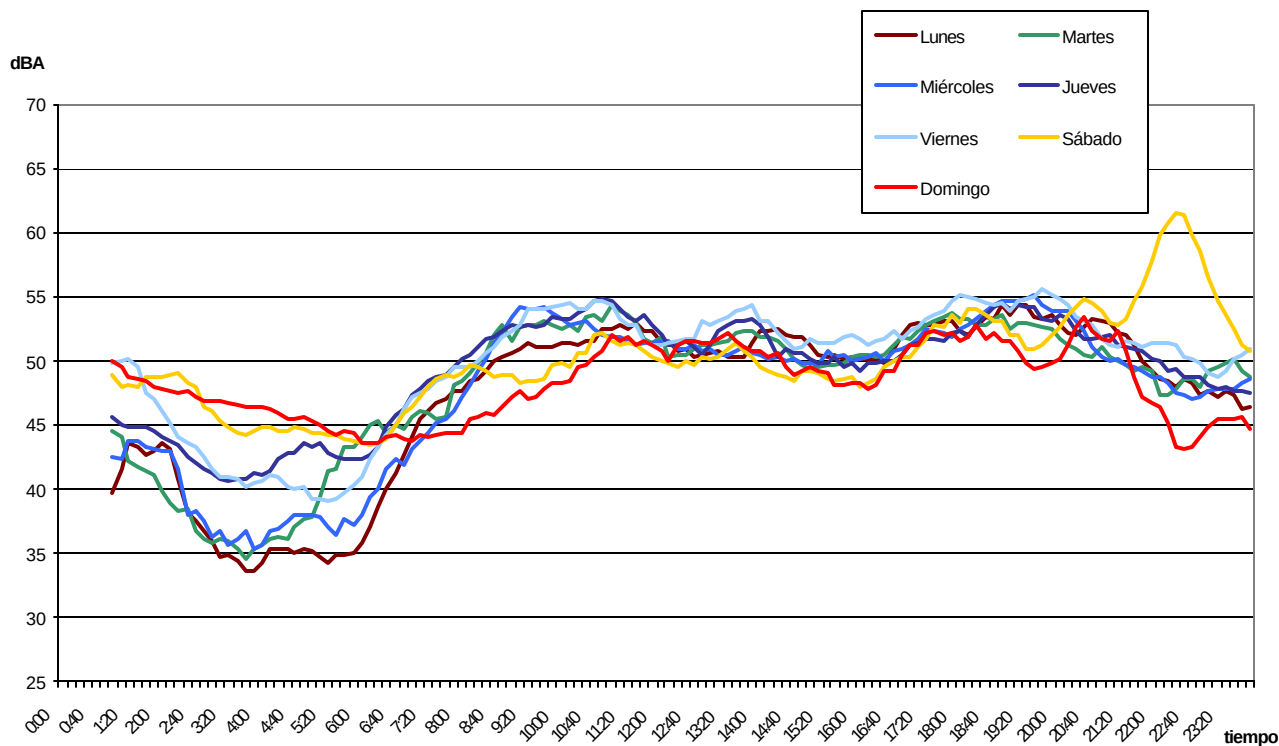
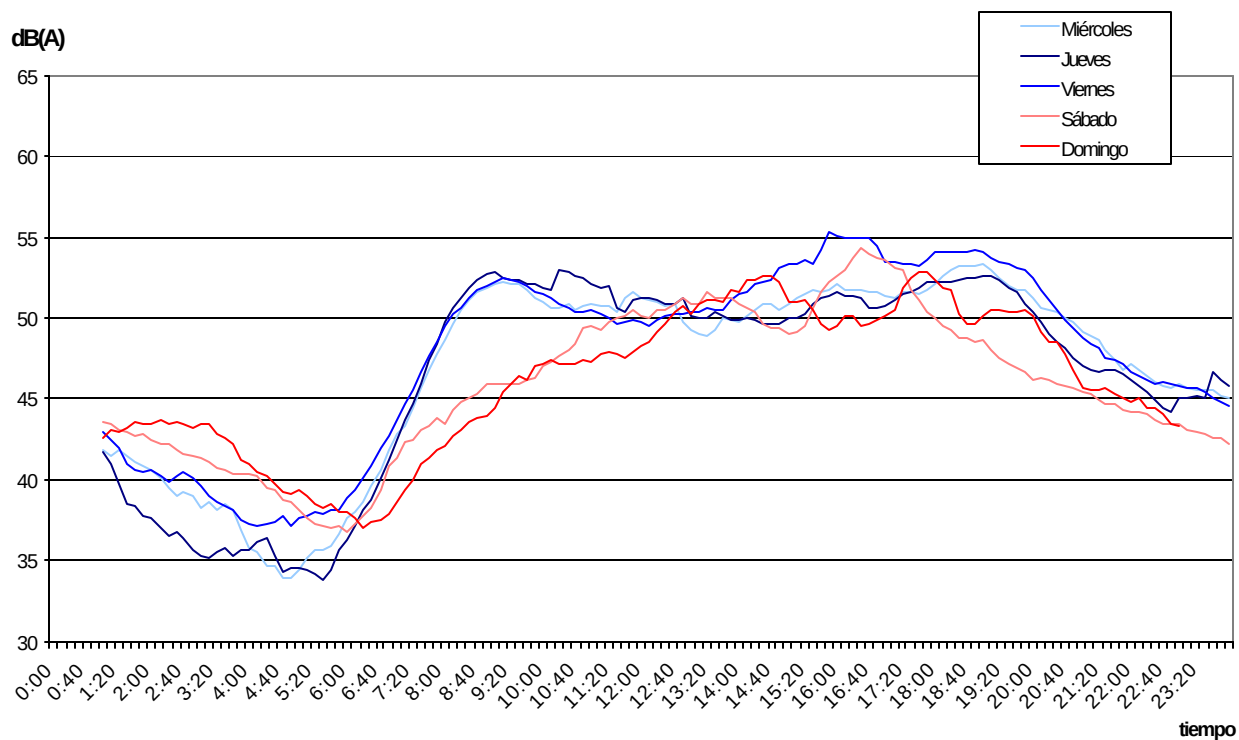


Fig 8 Puntos Base N° 1 y 2 : Superposición de la evolución del Leq y del Clima de ruido, suavizadas con líneas de tendencias obtenidas de un promedio móvil

Notamos también que los días de semana tienen mayor rango de estabilidad que los días de fin de semana como se aprecia en las superposiciones del Leq.



Las siguientes figuras muestran los rangos entre los cuales se ubican el 68 % y el 95 % de los datos medidos, mediante el análisis de rangos de sus desviaciones estándar (ver capítulo 3.6.2). Las curvas se obtienen del promedio del Leq cada 10 minutos en los distintos días hábiles en cada punto Base.

Podemos notar que el Punto Base N°1 tiene un comportamiento más estable que el Punto Base N°2, debido fundamentalmente a que este lugar está expuesto un tráfico más constante. También es posible notar que dentro de los días laborales existe un horario más estable, con una suave pendiente positiva.

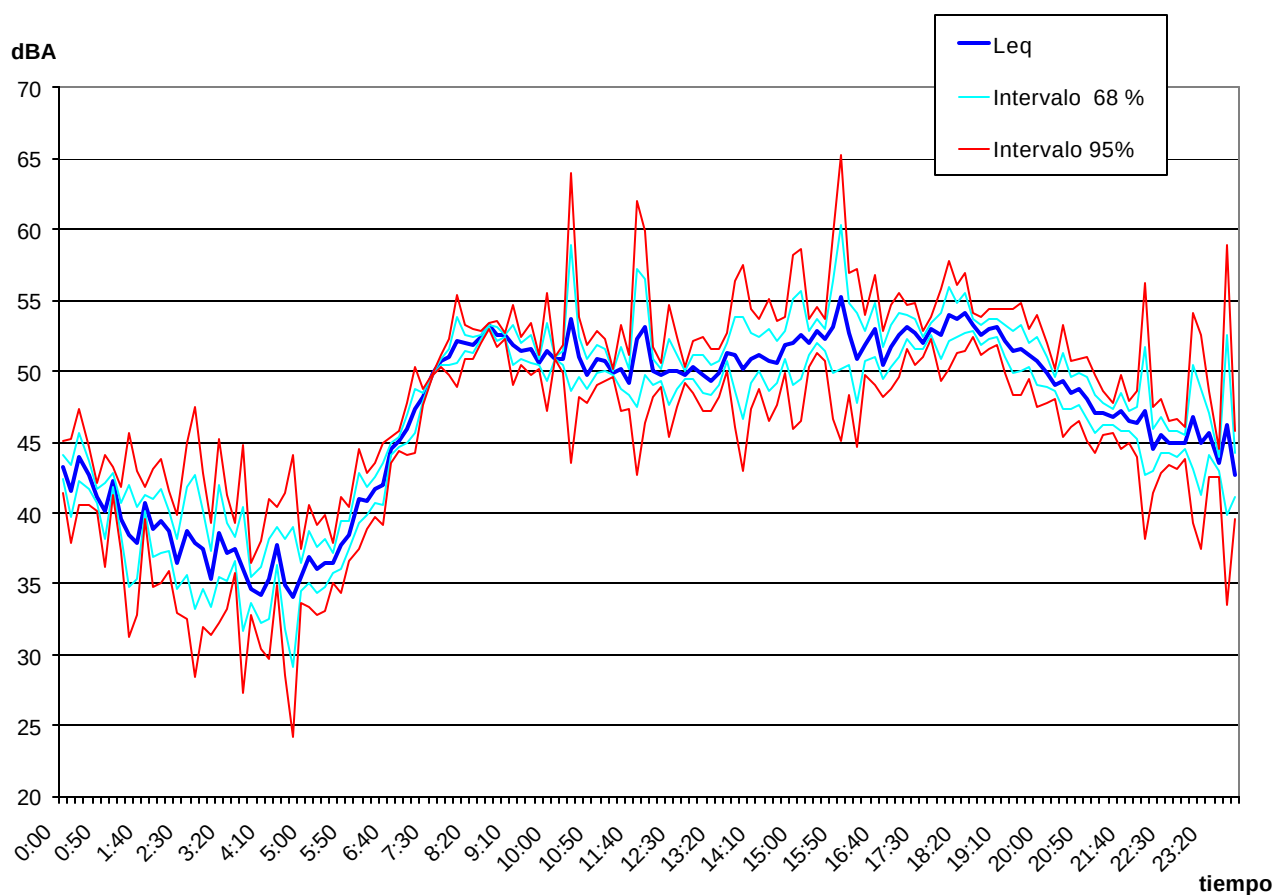


Fig 11 Punto Base N°1: Promedios del Leq en días hábiles para distintas horas, con grados de confianza de un 68% y un 95%

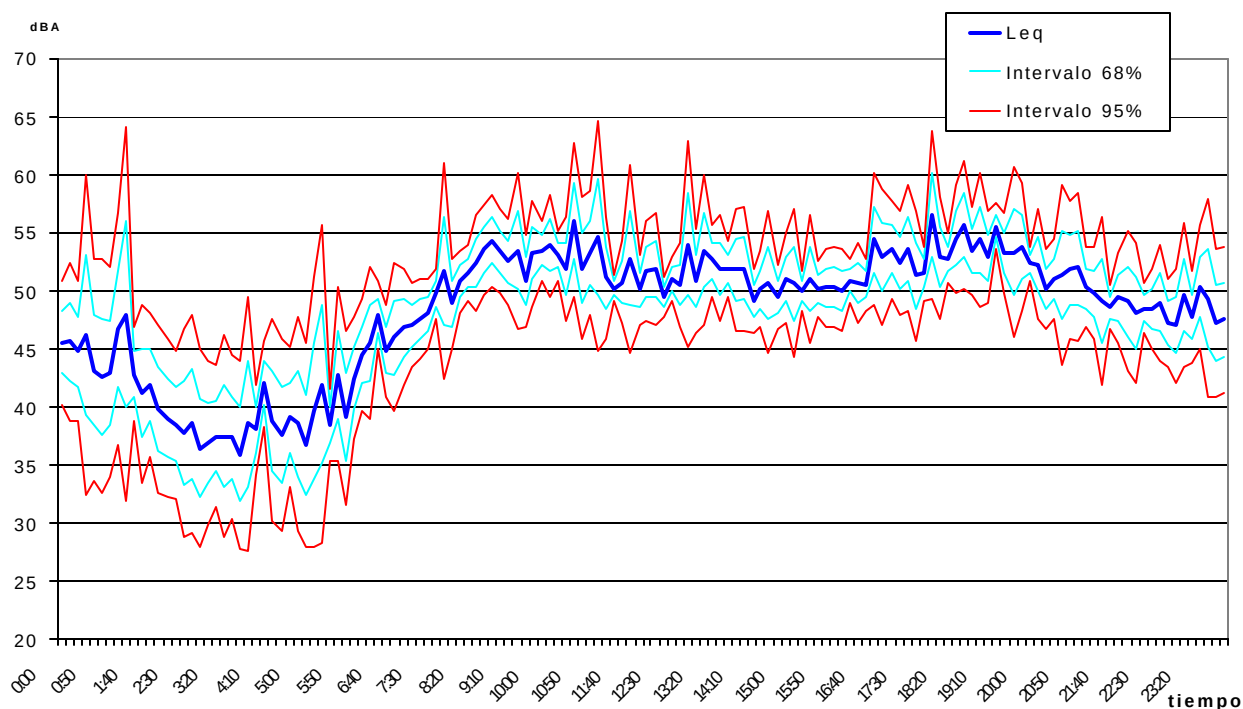


Fig 12 Punto Base N°2: Promedios del Leq en días hábiles para distintas horas, con grados de confianza de un 68% y un 95%

Si comparamos los datos obtenidos en los distintos Puntos Base podemos notar que existen ciertos horarios en los días de semana que presentan mayor rango de estabilidad entre sus niveles, aunque la dispersión entre los datos no sea despreciable. Como se puede ver claramente en estas Figuras, estos horarios corresponden a los comprendidos entre las 11:00 hrs y las 17:00 hrs aproximadamente. Tiempo suficiente para realizar una campaña de mediciones de descripción espacial.

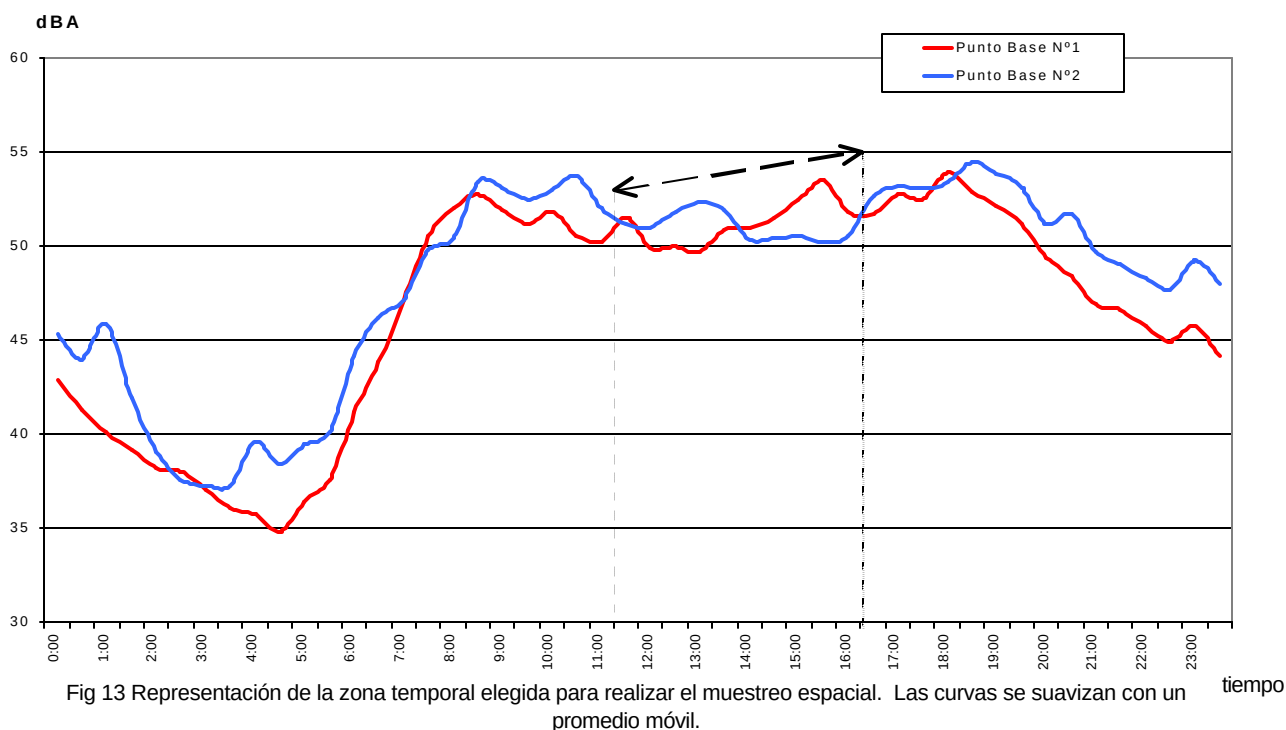


Fig 13 Representación de la zona temporal elegida para realizar el muestreo espacial. Las curvas se suavizan con un promedio móvil.

5.2. Evolución Espacial

5.2.1 Resultados

Observaciones generales

- Los porcentajes de humedad se mantuvieron entre el 30% y 60% valores entre los cuales se pueden desarrollar las mediciones correctamente.
- Todas las mediciones de temperatura fueron realizadas a la sombra y se destacan por los valores elevados que se obtuvieron siendo el más alto de 33,7 °c y el más bajo 25.3°c.

En general no se registraron grandes velocidades de viento, en la mayoría de los puntos el valor fue nulo, sin embargo el valor máximo fue 2.3 m/seg, lo que esta por debajo de los 5 m/seg que es un valor crítico, conocido.

Las fichas de medición están adjuntas a este informe con el detalle de todos los puntos de medición.

PUNTOS	FECHA	HORA	Esquina	Tipo	Nº vehiculos	Leg dBA	Lmin dBA	Lmax dBA	L5 dBA	L10 dBA	L50 dBA	L90 dBA	L95 dBA	L99 dBA
1	19/11/98JUE	17:00	2		96	66.5	45.5	84.1	72.1	70.8	60.3	49.6	47.3	45.9
2	20/11/98VIE	12:49	2		37	62.5	45.3	78.5	68.2	66.1	57.3	49.2	47.9	46.3
3	02/12/98MIE	17:40	2		26	60.2	43.7	77.2	67.2	63.1	51.2	46	45.4	44.6
4	09/12/98MIE	16:35	2		25	54.8	42.4	70.3	61	58.2	48.7	44.6	43.8	43
5	19/11/98JUE	16:43	1		76	70	43.7	86.9	75.6	74.2	63.9	50.7	48.1	44.5
6	20/11/98VIE	12:30	1		6	53.8	41.8	67.4	60	57.3	50	44.1	43	42.1
7	09/12/98MIE	16:20	1		14	59.1	43.6	71.9	67.1	63	48.2	45.1	44.8	44.3
8	14/11/98JUE	16:13	1		154	72.6	47.3	88.7	78.2	76.5	66.9	52.8	50.3	47.6
9	20/11/98VIE	13:10	1		6	55.8	42.5	74.5	60.8	56.5	46.7	44.2	43.7	42
10	02/12/98MIE	15:20	1		6	56.2	44.6	73.8	60.8	55.6	48.1	45.9	45.4	45
11	19/11/98JUE	15:48	1		128	68.2	46.3	80.1	75	73.5	64.4	51.7	49.7	47.7
12	20/11/98VIE	13:27	1		10	55.6	43	70.1	63.4	58.1	45.8	44.1	43.7	43.3
13	02/12/98MIE	17:05	1		8	57.7	45.4	73.5	64.6	60.8	49.1	46.7	46.3	45.7
14	09/12/98MIE	16:05	1		10	59.1	42.7	75.4	65.5	61.7	48.2	44.7	43.8	43.1
15	19/11/98JUE	15:29	1		125	69	43.8	80.5	75.4	73.7	62.6	48	46	44.7
16	20/11/98VIE	16:20	1		3	53.4	49	68.2	57	53.7	51	49.7	49.5	49.3
17	20/11/98VIE	16:43	2		9	61.7	44.6	77.2	68.5	67.1	51.8	47.4	46.8	45.5
18	19/11/98JUE	15:08	1		125	68.6	45	78.8	75.1	73.7	61.2	47.4	46.6	45.6
19	20/11/98VIE	17:20	1		1	52.5	45.7	67.6	57	54.4	50.3	48.2	47.7	46.5
20	20/11/98VIE	17:01	2		13	59.2	44.9	76.8	65.9	61.2	51.8	48	47.4	45.6
21	09/11/98MIE	15:50	1		10	56	41.4	72.6	63.6	58.7	47.2	43.8	43.4	42.1
22	19/11/98JUE	14:50	1		75	66.3	45.2	80.6	72.5	70.9	60.9	48.2	47.6	46.1
23	19/11/98JUE	14:22	3		79	61.6	44.4	79.1	66.1	64.5	57.2	47.6	46.3	44.9
24	02/12/98MIE	16:40	1		37	63.6	44	75.2	70.4	68.7	55.6	47.1	45.8	44.8
25	02/12/98MIE	16:20	3		46	65.8	47.6	81.1	72.1	70.5	58.1	49.9	49.1	48.2
27	09/12/98MIE	13:35	3		73	64.3	45.7	76	70	68.3	61.3	54.1	52.2	48.1
28	18/11/98MIE	17:03	2		58	66.7	47.1	80.5	73.2	70.8	58.3	50.1	49.4	47.8
28	19/11/98JUE	14:03	2		29	62.6	42	76.5	70.8	67.5	47.5	44	43.5	42.8
29	18/11/98MIE	17:58	1		2	60.1	42.6	76.8	67.2	63.4	46.9	44	43.6	43
30	18/11/98MIE	18:15	2		12	56	43.5	73.8	62.3	59.5	49.9	46	45.4	44.1
31	09/12/98MIE	13:15	1		19	58.6	41.5	77.6	64.9	62.4	49.5	45	43.8	42.1
32	19/11/98JUE	13:41	1		21	62.2	41.8	79.2	69.4	65.4	48.1	42.8	42.5	42.1
32	18/11/98JUE	17:35	1		70	67.9	49.3	82.5	73	71	60.8	51.8	51	49.9
33	09/12/98MIE	13:00	1		13	58.6	41.9	73.2	65.5	61.8	52.3	47.2	46.4	43.6
34	18/11/98MIE	14:31	2		22	55.5	42.5	76.6	60.6	58.1	49.4	44.5	43.8	42.9
35	18/11/98MIE	14:15	3		38	60	46.2	75.6	65.9	63.9	54.4	49.1	48.1	46.8
36	18/11/98MIE	13:10	2		35	62	43.9	80.1	68.3	64.5	51.9	46.9	46.6	45
37	18/11/98MIE	13:38	2		58	60.2	43.5	75.9	67.1	64.4	51.5	45.3	44.7	44

Tabla 3: Fichero de los datos obtenidos en el muestreo

5.2.2 Análisis de Resultados

Valoración de la relación entre la cantidad de automóviles y el Leq

En la Figura se ordenan los totales de automóviles contados por punto de medición en forma ascendente con los Leq correspondientes a los mismos puntos. Como se observa, la gráfica resultante muestra claramente la tendencia de proporcionalidad directa que existe entre el Leq y el número de automóviles que circuló durante el tiempo de medición. De esta forma, concluimos que la fuente principal de ruido esta dada por el tráfico motorizado circulante.

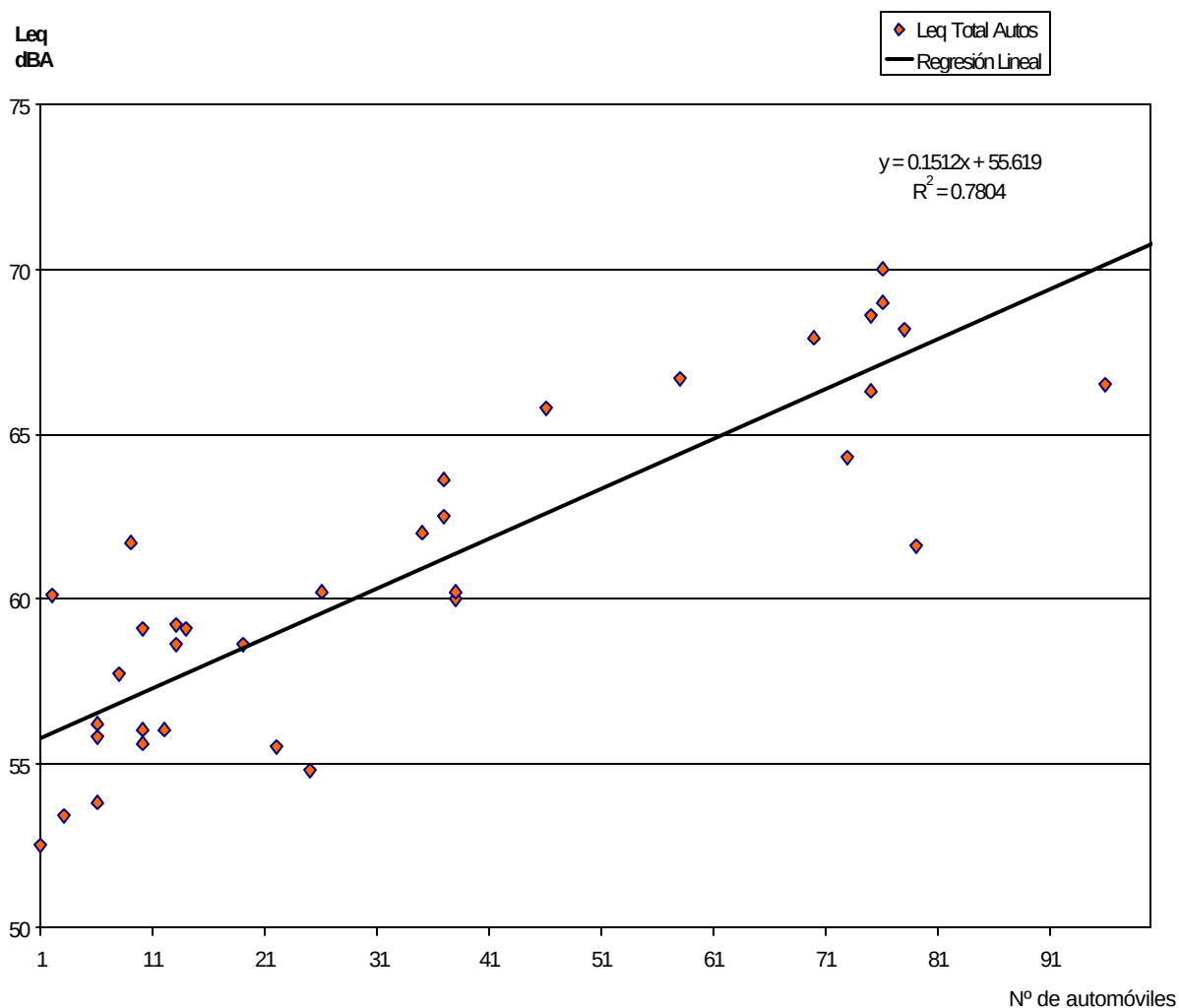


Fig.14: Muestra la relación entre número de autos y el Leq

Análisis temporal de los datos .

En los gráficos se muestra las variaciones del Leq con respecto al tiempo para Avenidas principales y secundarias. Aquí podemos notar que la curva es claramente estable, uniforme y con pendiente positiva, el Leq va aumentando con el número de autos, lo que nos confirma el acierto de haber medido en el horario preestablecido.

De las regresiones lineales realizadas para los datos se observa que:

- En las Av. Principales esta es relativamente estable, uniforme y con pendiente positiva, representando el incremento en los niveles previsto en la descripción temporal
- En las Av. Secundarias el Leq presenta un comportamiento claramente estable con respecto a los horarios de medición elegidos, aunque su dispersión es elevada
Esto confirma las suposiciones previstas anteriormente.

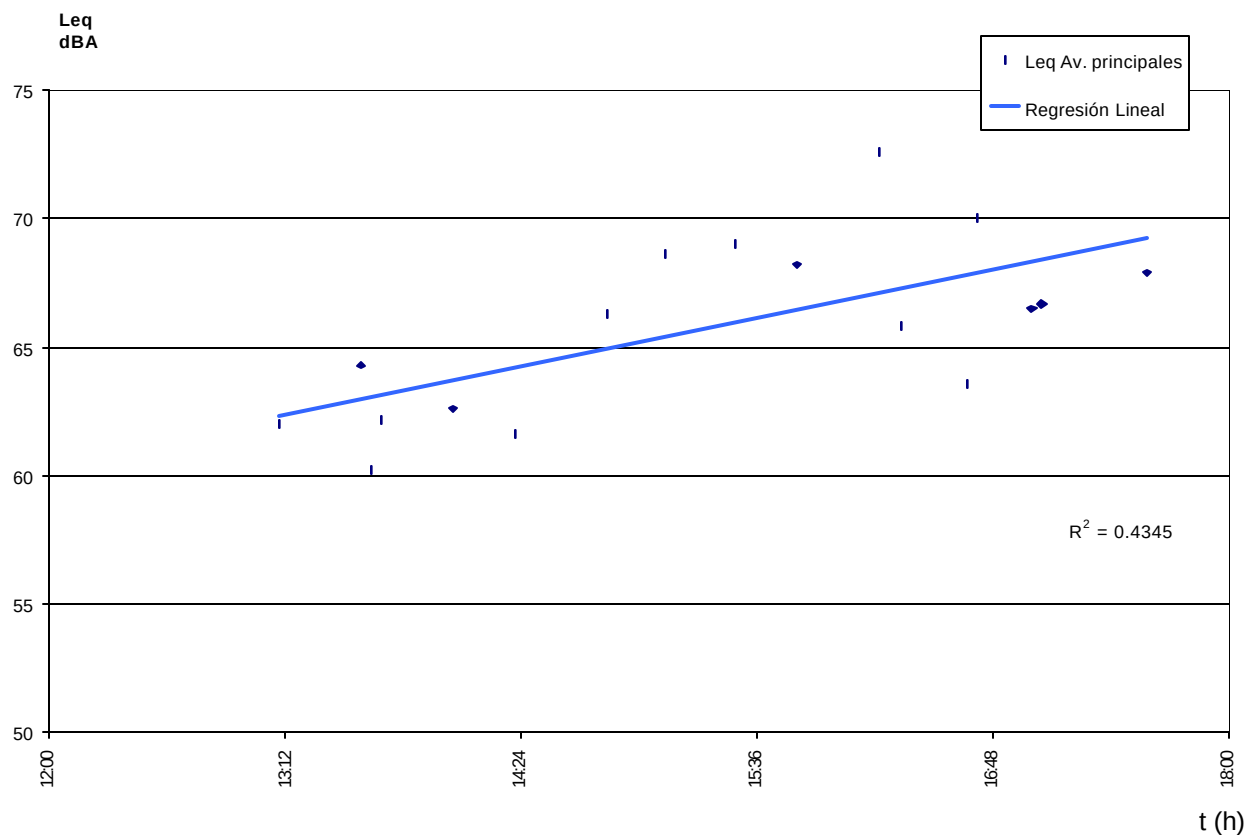


Fig. 15: Se muestra la relación del Leq con la hora para las Avenidas principales

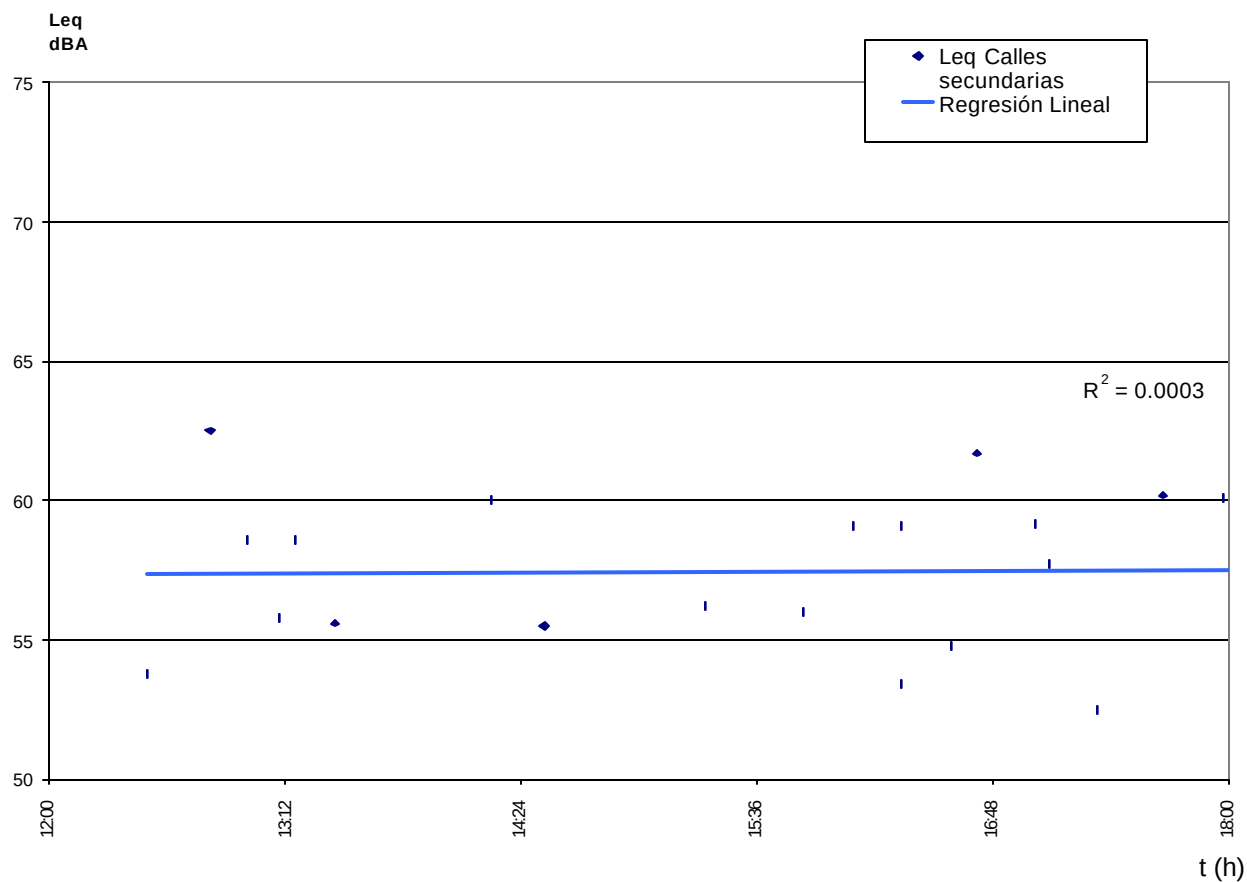


Fig. 16: Se muestra la relación del Leq con la hora para las Avenidas secundarias

Análisis de correlación entre variables urbanas y acústicas

Este análisis tiene como objetivo relacionar los niveles medidos ya sea por punto o retícula con las variables urbanas principales que se dan fundamentalmente por los tipos de flujo y sus cruces.

Inicialmente se analiza las distribuciones en las retículas.

La retícula fue diseñada fundamentalmente para sistematizar la elección de los puntos a medir. Sin embargo, también es de utilidad a la hora de crear regiones de análisis y/o evaluación donde se agrupen uno o más retículas, asociándolas con otras variables urbanas (como tipo de Avenida o flujo, tipo de esquina, etc.) en función de encontrar grupos comunes. De esta forma, se subdividirán los conjuntos de retícula a partir de su distribución estadística.

Reticulas	Nºmediciones	Leq (dBA)	SEL (dBA)
16	1	60	88
20	1	62	90
21	2	58	86
22	1	59	87
23	2	65	93
24	2	58	86
25	2	62	90
26	3	64	92
27	1	64	91
28	2	63	90
29	1	66	94
30	1	69	96
31	3	56	84
32	1	69	97
33	2	62	90
34	2	58	86
35	1	73	101
36	2	56	84
38	2	62	90
39	2	57	85
40	1	67	94
41	2	61	90
42	1	56	84
Promedio	1.7	62	90
Moda	2	62	90
Mediana	2	62	90

Tabla 4: La Tabla muestra la distribución del Leq y SEL por Rétícula

En la tabla anterior y en el siguiente mapa se agrupan las retículas en dos grandes grupos, combinando criterios urbanos y acústicos. Esto se dirige a buscar un criterio de separación en dos grandes zonas; una que involucre a las vías principales (y los altos niveles) , y otra que apunte hacia las vías interiores (con niveles menores). La distribución tanto para el Leq como para el SEL es normal o Gaussiana lo que significa que el promedio es igual a la moda y a la mediana. De esta forma, se utiliza como referencia de separación el valor central de las distribuciones.

Los grupos para separar las retículas, entonces, fueron elegidos en función de lo anterior, quedando las cotas determinadas por los siguientes valores:

Leq:

Grupo 1: Menor o igual de 62 dBA

Grupo 2: Mayor de 62 dBA

SEL:

Grupo 1: Menor de 90 o igual dBA

Grupo 2: Mayor de 90 dBA

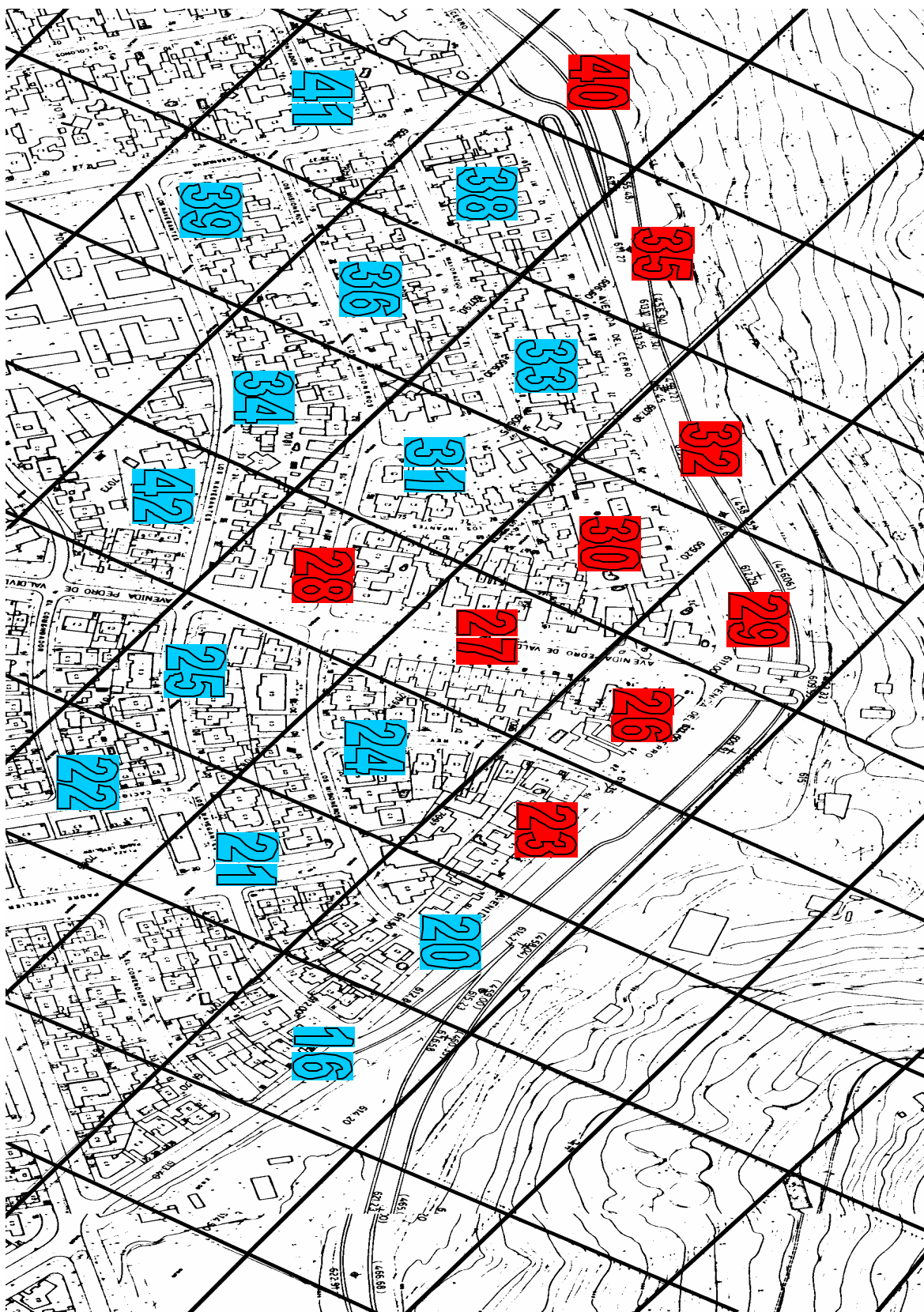


Fig 17: Distribución de Grupos 1 y 2 para Leq por retículas

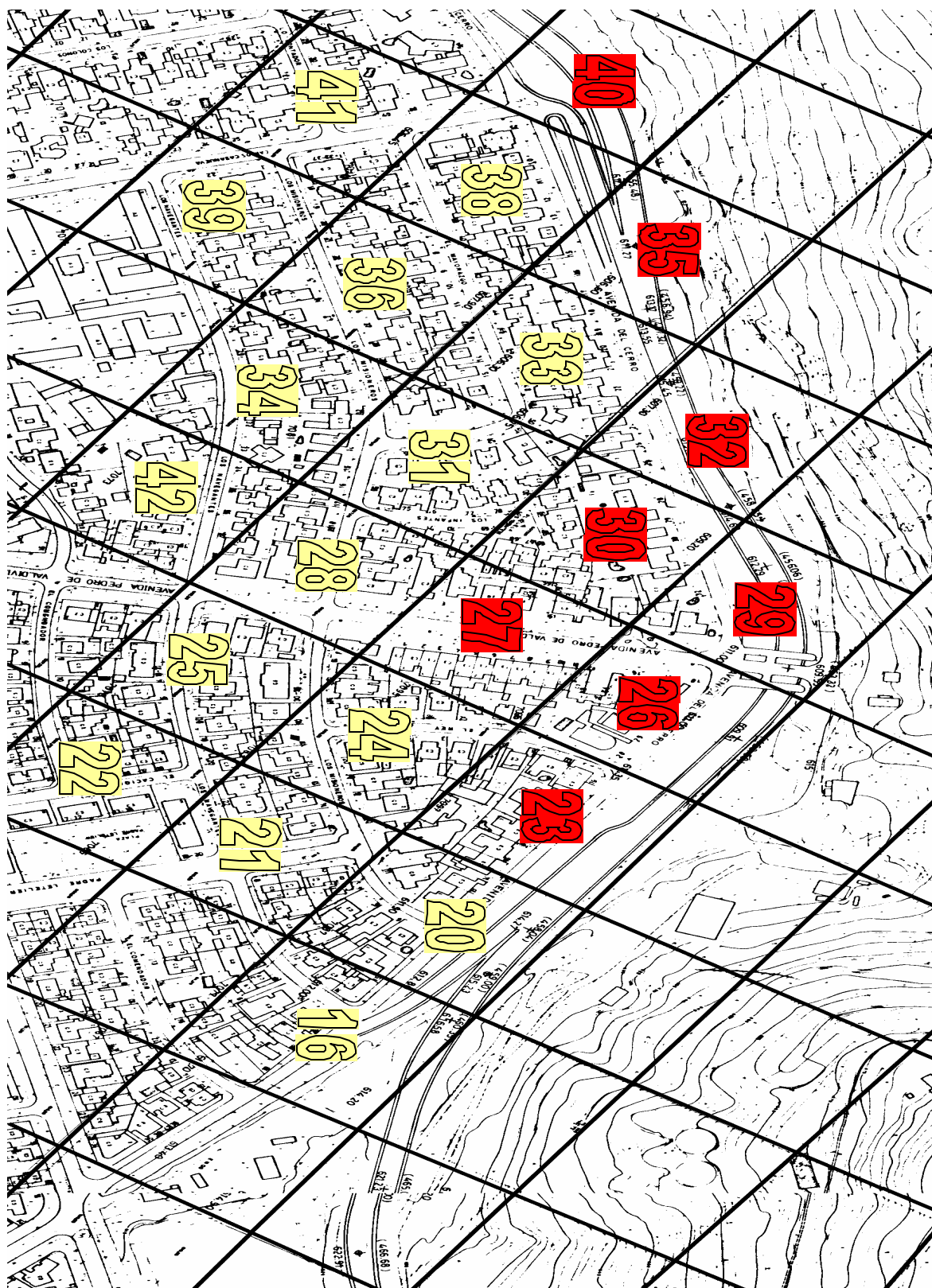


Fig 18: Distribución de Grupos 1 y 2 para SEL por retículas

Luego se realiza el mismo procedimiento con la distribución del total de los puntos de medición.

En este caso la distribución es prácticamente normal, pero para definir una cota entre los dos grupos de diferenciación se utiliza el promedio (aritmético) ya que este representa el centro de gravedad de la distribución.

De esta forma se obtuvieron dos grupos:

Leq

Grupo 1: Menor o igual a 61.2 dB

Grupo 2: Mayor que 61.2 dB

SEL:

Grupo 1: Menor o igual a 81.9 dB

Grupo 2: Mayor que 81.9 dB

PUNTOS	Leq (dBA)	SEL (dBA)
1	66.5	94.3
2	62.5	91.3
3	60.2	88
4	54.8	82.8
5	70	97.8
6	53.8	81.6
7	59.1	87
8	72.6	100.5
9	55.8	83.7
10	56.2	84
11	68.2	97
12	55.6	83.5
13	57.7	85.7
14	59.1	86.9
15	69	96.8
16	53.4	81.3
17	61.7	89.5
18	68.6	96.4
19	52.5	80.5
20	59.2	87
21	56	83.8
22	66.3	94.2
23	61.6	89.5
24	63.6	91.4
25	65.8	93.6
27	64.3	92.3
28	66.7	94.5
28	62.6	90.5
29	60.1	88.1
30	56	83.8
31	58.6	86.7
32	62.2	90
32	67.9	95.7
33	58.6	86.5
34	55.5	84
35	60	87.8
36	62	89.8
37	60.2	88
Promedio	61.2	89.1
Moda	60.2	88.0
Mediana	60.2	88.1

Tabla 5: Leq y SEL por punto

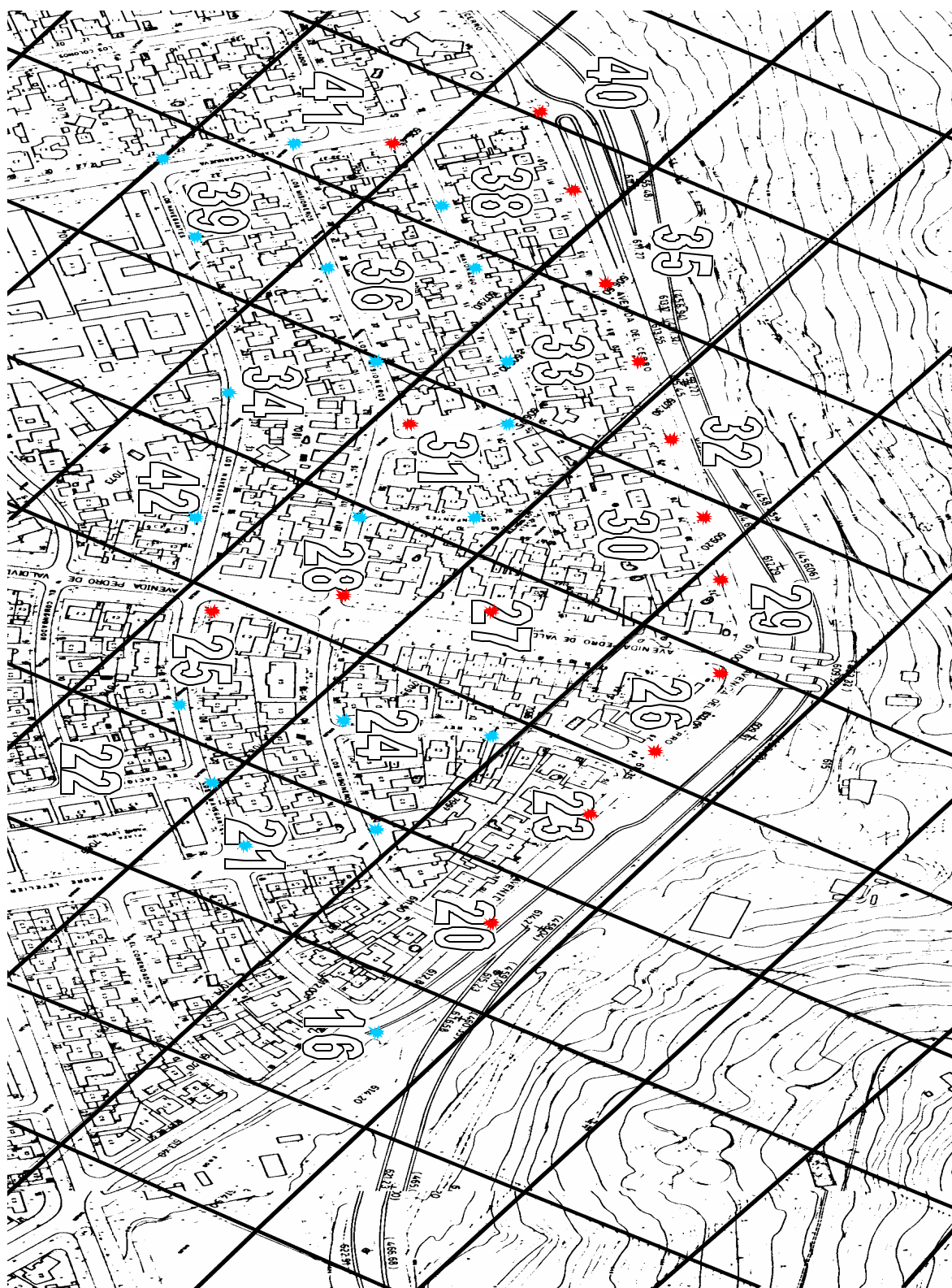


Fig 19: Distribución de Grupos 1 y 2 para Leq por puntos

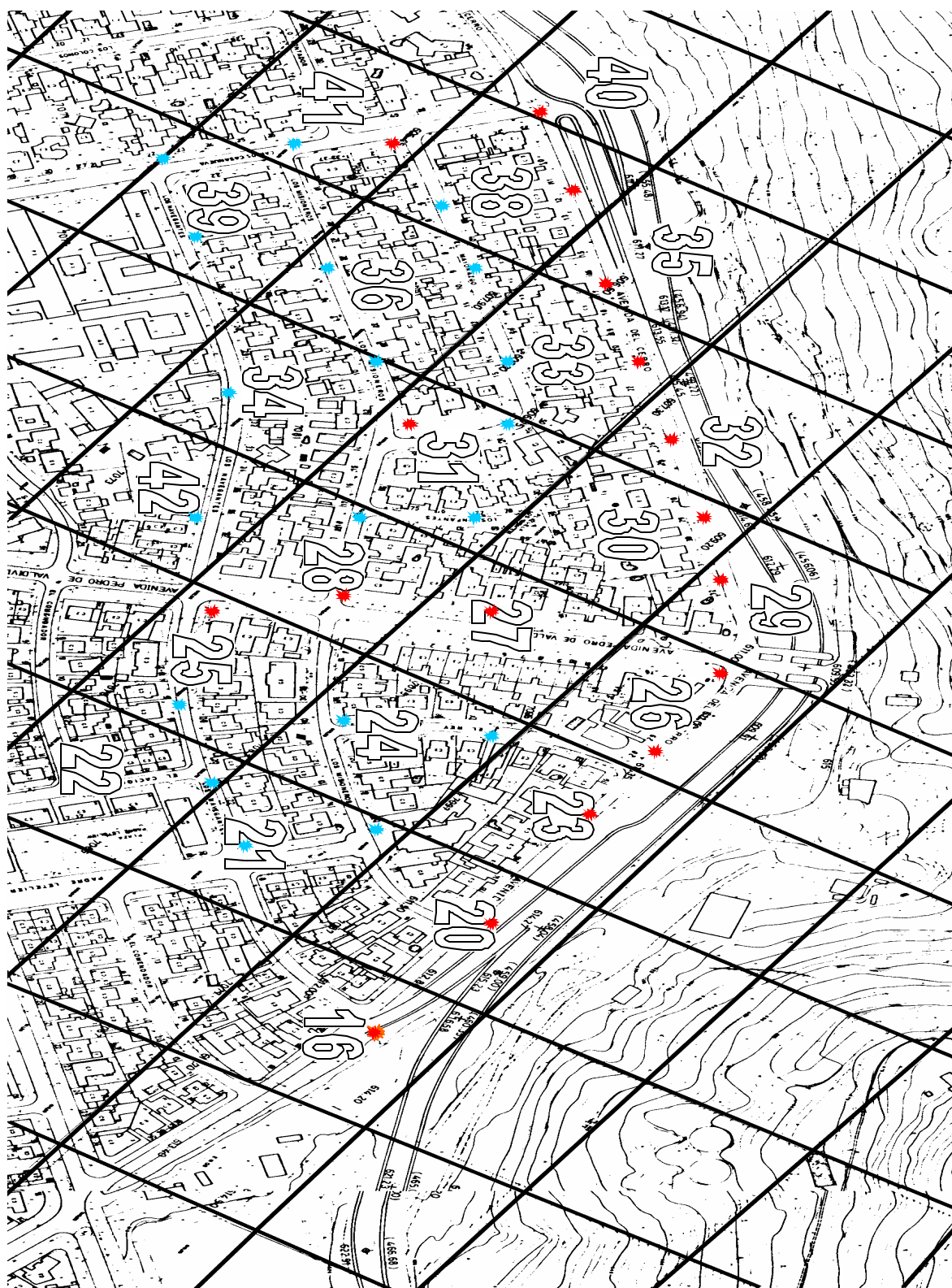


Fig. 20: Distribución de Grupos 1 y 2 para SEL por puntos

Conclusiones del análisis de correlación entre variables urbanas y acústicas:

- En el cruzamiento de las retículas tanto con el Leq como con el SEL se puede definir dos subzonas claramente distinguibles: Una compuesta por las retículas y puntos por las que pasan las dos vías principales (Av. Pedro de Valdivia y Av. El Cerro) y otro conjunto de retículas formadas por vías secundarias.
- Notamos que las agrupaciones por puntos difieren en cierto grado con la de las retículas, producto de la mayor variabilidad a la cual los puntos individuales están sujetos.
- Por otro lado la visualización independiente de los puntos nos dan señales claras de uniformidad al interior del sistema vial. Esto es fundamental a la hora de simplificar el sistema.

Análisis por vías

En esta etapa hemos reunido las mediciones de cada punto en relación a las vías donde éstos se ubican. En las siguientes figuras se agrupan (de acuerdo al Leq y a su desviación estándar) de mayor a menor las distintas vías que componen la zona elegida.

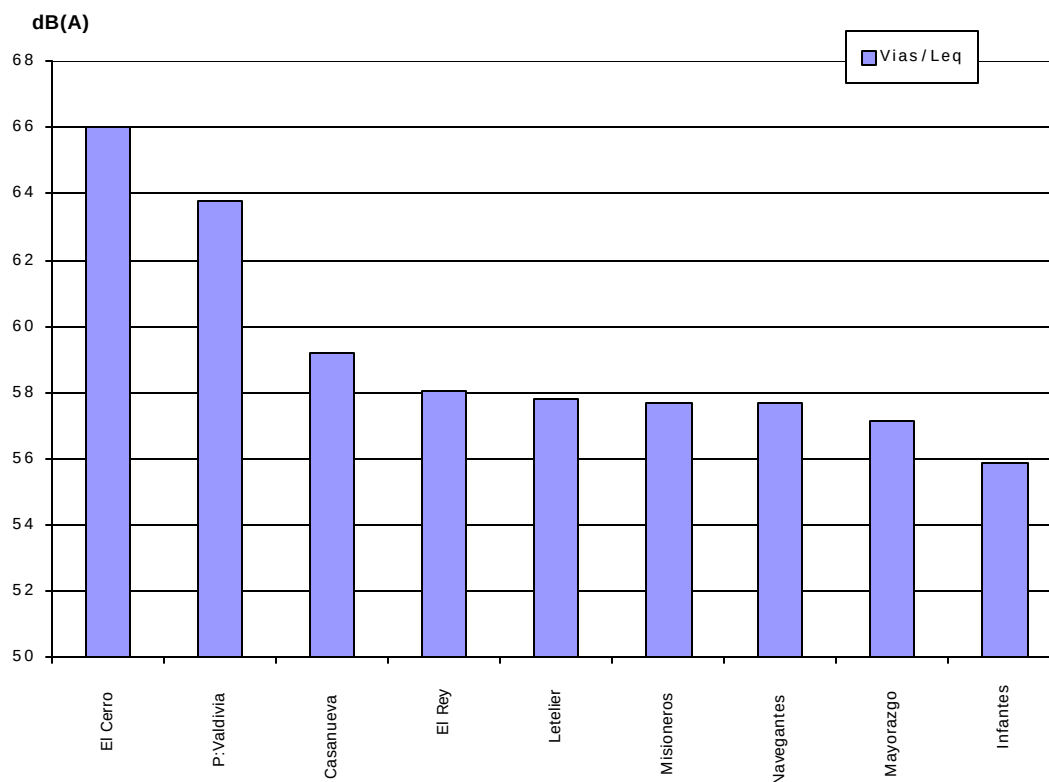


Fig. 21: representación del Leq promedio por vía

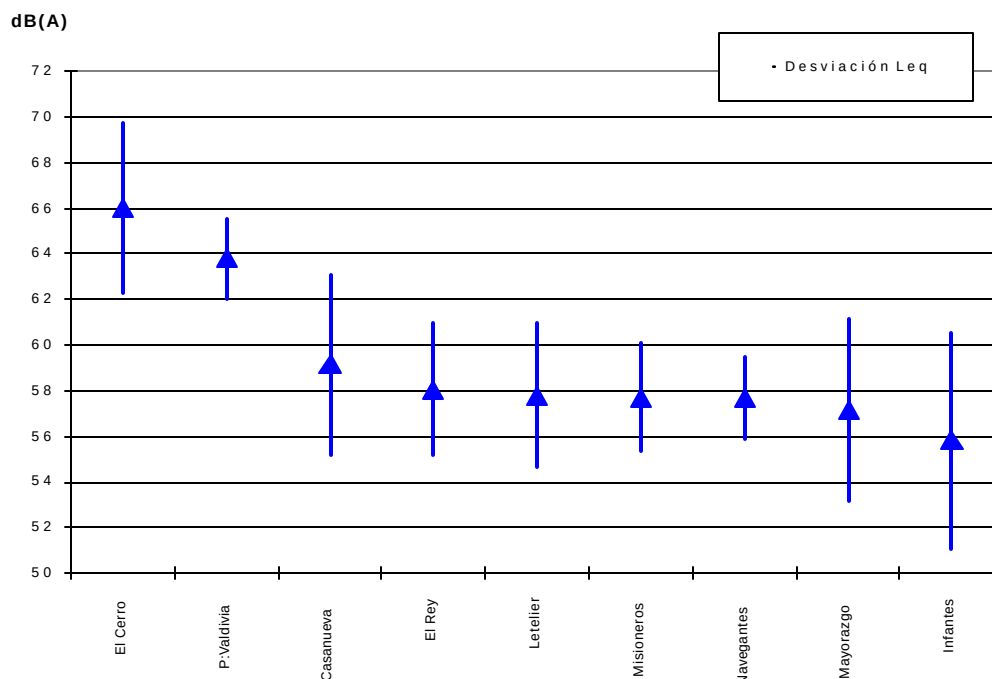


Fig. 22: Desviaciones estándar del Leq para las distintas vías, se representan un 68% de la distribución de los datos

Como podemos apreciar las Av. El Cerro y Pedro de Valdivia presentan niveles altamente superiores a los de las vías secundarias. Por otro lado, notamos que Carlos Casanueva y Los Infantes tienen un comportamiento algo más irregular, alejándose de la media uniforme de las otras vías secundarias. En la siguiente representación se muestra la diferencia entre los Leq de las Av. Principales y Secundarias

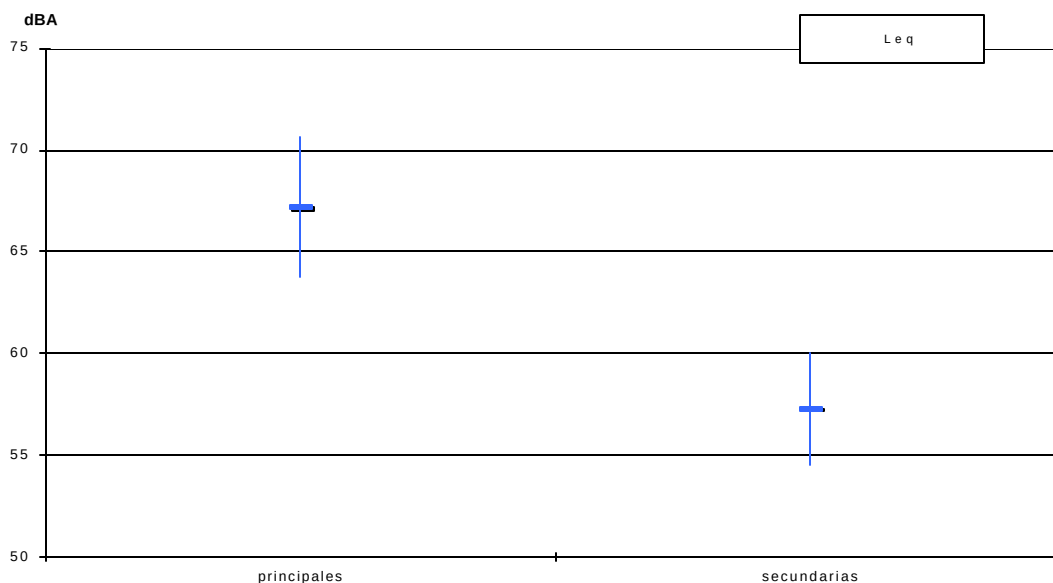


Fig. 23: representación del Leq promedio y desviación estándar para Av. Principales y Secundarias

De la figura 24 se observa que la Av. Pedro de Valdivia mantiene un comportamiento uniforme a lo largo de su trazado muestreado, sin embargo Av. El Cerro cambia notoriamente su

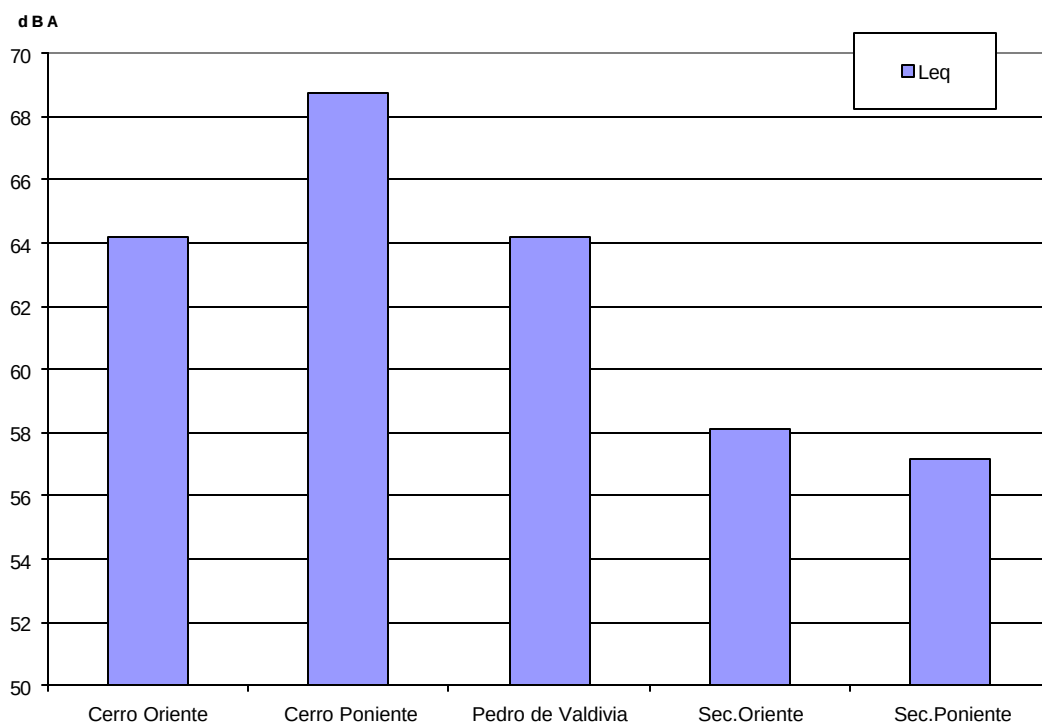
comportamiento al cruzarse con Av. Pedro de Valdivia, por lo tanto podemos dividir esta vía en dos partes que llamaremos Cerro Oriente y Cerro Poniente y en función de esto podemos inferir que una vía principal al cruzar otra vía principal puede cambiar su comportamiento, ya que el flujo en ella es susceptible a cambios radicales.

Para las Avenidas secundarias se opta por dividir las con el criterio que quede cada zona limitada por Avenidas principales ya que estas le inyectan el flujo y puede variar dependiendo de las Avenidas principales.

En los puntos medidos en los cruces de Avenidas principales con vías secundarias observamos que los niveles generados por los flujos de las primeras enmascaran absolutamente los niveles generados por las calles de menor flujo. De esto se deduce que para la correcta caracterización de las vías secundarias, no se deben tomar en cuenta los cruces antes mencionados.

Con las divisiones anteriores podemos dividir el total del sistema vial en 5 grupos definidos:

- Sector Cerro Poniente
- Sector Cerro Oriente
- Sector Pedro de Valdivia
- Sector Secundarias Poniente
- Sector Secundarias Oriente



Fia. 24: representación del Lea promedio por sector

Los niveles medidos al interior de estos sectores o sistemas viales tienen mínimas desviaciones entre sí, como se aprecia en la siguiente tabla:

		Sec.Oriente	Sec.Poniente	Cerro Oriente	Cerro Poniente	P.de Valdivia
Leq (dBA)	Promedio	58.1	57.2	63.2	67.5	64.2
	D.estandar	2.0	3.0	2.6	3.4	1.7
Clima de Ruido (dBA)	Promedio	15.6	13.6	20.4	22.8	18.8
	D.estandar	2.4	4.3	2.6	2.3	3.1
Total de autos	Promedio	17.7	12.3	47.4	103.7	56.2
	D.estandar	12.1	9.8	21.6	31.3	18.6

Tabla 6: Cuadro resumen de la división de sectores

Análisis por tipo de esquina

Leq dBA					
Avenidas	Principales	Prinp/Prinp	Prinp/Sec	Secundarias	Sec/SecS
	70	61.6	66.5	53.8	58.6
	72.6		62.6	59.1	62.5
	68.2		62	55.8	60.2
	69		60.2	56.2	54.8
	68.6		65.8	55.6	61.7
	66.3		64.3	57.7	59.2
	63.6			59.1	56
	62.2			53.4	55.5
				52.5	60
				56	
				60.1	
				58.6	
Promedios	67.6	61.6	63.6	56.5	58.7

Tabla 7: Agrupación por diversos tipos de cruces

De esta tabla notamos que:

- Los distintos tipos de esquina no presentan patrones comunes claros.

- El nivel de las vías Principales no sufre modificaciones de nivel con los distintos tipos de esquina, excepto cuando cruza con otra Av. Principal donde disminuye la velocidad, para esta zona el nivel baja considerablemente
- Aunque en los cruces secundarios se presentan niveles algo mayores, no se considera este incremento significativo. Tanto así que está dentro del rango de las desviaciones propias de cada Vía.
- Se observa que el incremento de nivel en los cruces principales y secundarios está asociado con el tipo de nivel preponderante de las Av. Principales.
- Se requiere más información con diversidad de casos para recopilar información más significativa y conclusiva.

5.3 Aproximación a la Metodología propuesta

Sobre la base de los criterios expuestos anteriormente, se considera apropiado diseñar un procedimiento que genere un nuevo muestreo simplificado que describa adecuadamente el escenario original.

Este segundo muestreo debe ser acorde con el análisis realizado previamente, de manera que pueda representar el área total con igual significancia, manteniendo las relaciones deducidas para el primer muestreo.

5.3.1 Aproximación a la descripción espacial simplificada

Para realizar una simplificación del procedimiento de muestreo en la evolución espacial de niveles se considera fundamental que:

- Se mantenga la relación entre las variables urbanas y acústicas observadas. Según el análisis previo, esto se representa en la relación de dispersión que exista entre el Leq y el N° de vehículos
- Se reconozca y diferencie los puntos de medición que estén sobre Av. principales y secundarias

- Se mantenga la estructura común observada entre vías, manteniendo coherencia con la sectorización definida (Av El Cerro Poniente y Oriente, Av. Pedro de Valdivia, Secundarias Oriente y Poniente)
- Se obtenga una reducción efectiva en la cantidad de muestras.

Con el fin de cumplir con éstas condiciones, se propone una segunda campaña de muestreo que debe contar como mínimo un punto de medición en cada una de los sectores definidos previamente. Se considera ésta cómo la reducción más crítica o radical posible.

La elección de puntos se define en función de poder describir con precisión la fuente predominante: el tránsito. De esta forma se eligen puntos que describan eficientemente el flujo vehicular dentro de cada sector. Estos se ubican en las zonas medias del sector, evitando las esquinas. Para nuestro caso, los puntos que involucraban más de una vía (calles secundarias) se ubicaron en función de lo anterior y además en un punto considerado sensible a priori.

PUNTOS	UBICACIÓN	HORA	N°Autos	Leq dBA	SEL dBA	Lmin dBA	Lmax dBA	L5 dBA	L10 dBA	L50 dBA	L90 dBA	L95 dBA	L99 dBA
11	Av. El cerro1961	17:05	66	70.8	98.7	48.2	86.9	76.7	73.8	63.8	52.5	50.3	48.8
7	Los Navegantes 1932*	16:50	18	59.1	87.1	46.5	73.3	66.2	62.7	50.5	47.3	47.1	46.7
32	Av. El cerro 0648	16:35	37	66.1	93.9	50.7	80.6	73.3	71	58	52.1	51.6	51
34	Los Misioneros/Padre Letellier*	16:05	10	55.7	83.5	43.5	75.2	61.3	58.7	50.3	45.7	45.3	44.2
24	Av. Pedro de Valdivia 0458	15:03	45	64.6	92.5	42.8	81.8	71.4	69.1	53.9	45	44.4	43

Tabla 8: Cuadro resumen de la segunda campaña de mediciones enfocada a la descripción espacial.

Nota * designa un punto sensible

En la siguiente figura podemos notar como la dispersión entre el Leq y el total de vehículos son directamente proporcionales, en concordancia con lo expuesto en 3.2.2, donde se verifica que el tráfico es la fuente de ruido principal. Por otro lado, cabe destacar que aunque los datos de la segunda campaña son menores en cantidad, presentan una mejor correlación, con un R^2 muy cercano a la unidad.

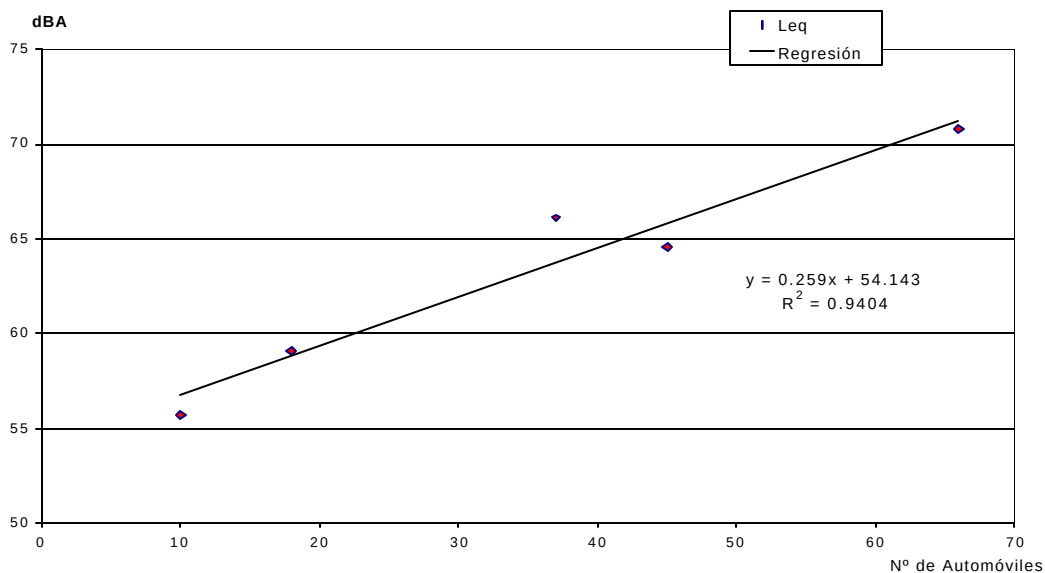


Fig. 25 Dispersión entre Leq y Nº de autos para la segunda campaña de mediciones

En la siguiente figura se aprecia que los promedios de Leq coinciden en el caso de las Secundarias y difieren en 1 dBA para el caso de las Av. Principales, con una desviación estándar asociada de 0.7 dBA .

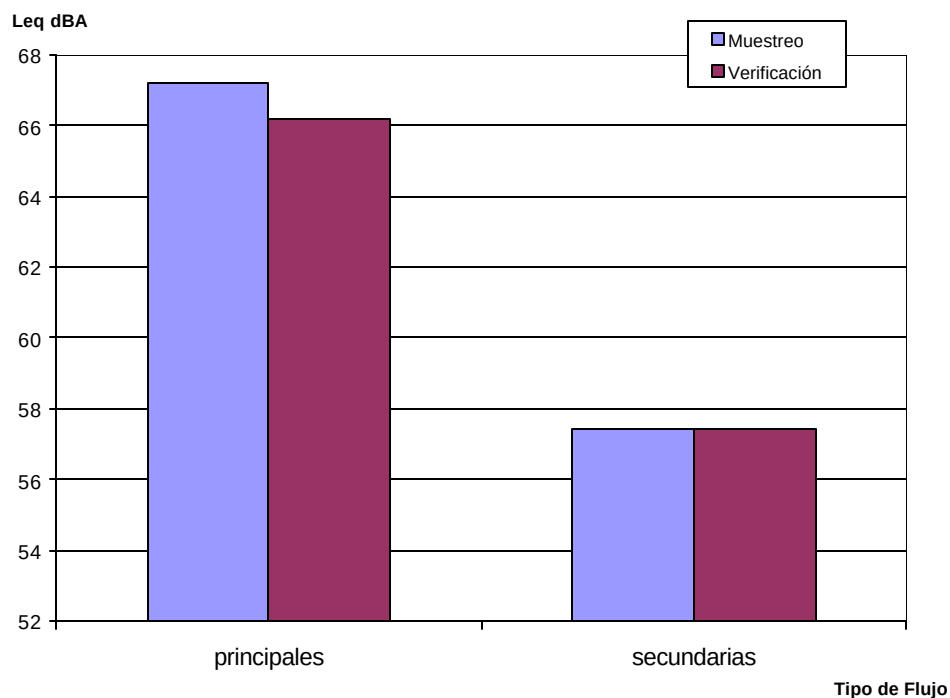


Fig. 26: Comparación de los Leq de la primera con la segunda campaña de mediciones para los dos tipos de flujo

Por otro lado se realiza una prueba de hipótesis a través del T de Student (ver capítulo 3.6.2.) obteniendo los siguientes resultados:

Avenidas Secundarias		
	<i>Leg 1º</i>	<i>Leg 2º</i>
Media	57.4	57.4
Varianza	7.6	5.8
Observaciones	21.0	2.0
Varianza agrupada	7.6	
Diferencia hipotética de las medias	0.0	
Grados de libertad	21.0	
Estadístico t	-0.02	
P(T<=t) una cola	0.49	
Valor crítico de t (una cola)	1.72	
P(T<=t) dos colas	0.98	
Valor crítico de t (dos colas)	2.08	

Avenidas Principales		
	<i>Leg 1ª</i>	<i>Leg 2ª</i>
Media	66.2	67.2
Varianza	11.5	10.5
Observaciones	15.0	3.0
Varianza agrupada	11.4	
Diferencia hipotética de las medias	0.0	
Grados de libertad	16.0	
Estadístico t	-0.44	
P(T<=t) una cola	0.33	
Valor crítico de t (una cola)	1.75	
P(T<=t) dos colas	0.66	
Valor crítico de t (dos colas)	2.12	

Tabla 9: Datos entregados por la prueba de hipótesis a través del T de Student

Estas tablas muestran que los valores estadísticos del t calculado están dentro del rango crítico, ($t < t_{crítico}$, luego no se puede rechazar la hipótesis nula H_0) con un grado de probabilidad de 95%. Esto implica que tanto las Avenidas Principales como secundarias de la segunda campaña presentan distribuciones equivalentes a las de la primera campaña, siendo de esta forma ambas campañas significativamente semejantes.

Como se demostró anteriormente con el análisis de Leq y las pruebas de hipótesis para las Av. Principales y Secundarias, con las 5 muestras se mantiene la estructura de las Av. Principales y Secundarias. Por lo tanto pasamos a analizar estas muestras bajo la perspectiva de la sectorización definida

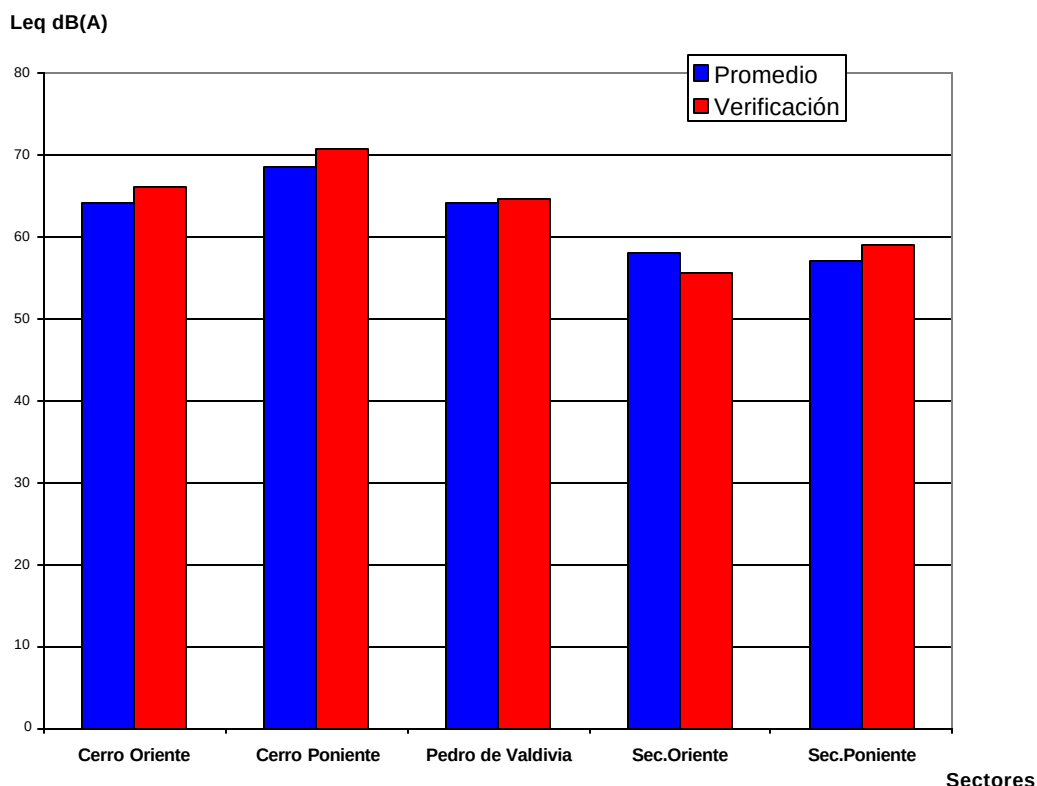


Fig. 27: Comparación del Leq en ambas campañas de medición

En la figura anterior se observa que los valores del Leq medidos en la segunda campaña se aproximan con un alto grado de precisión a los promedios por sector de los valores medidos en la primera campaña.

De esta forma se infiere que la reducción de puntos en un 86%, (de 36 a 5 puntos) fue eficiente.

Sectores	Leq 1ª campaña dBA	Leq 2ª campaña dBA	Desv.stan. dBA
Cerro Oriente	64.2	66.1	1.3
Cerro Poniente	68.7	70.8	1.5
Pedro de Valdivia	64.2	64.6	0.3
SecundariaOriente	58.1	55.7	1.7
Secundaria Poniente	57.2	59.1	1.3

Tabla 10: Valores de Leq de la primera y segunda campaña para los diferentes sectores

5.3.3 Aproximación a la descripción temporal simplificada

Para realizar una simplificación de la descripción temporal del área afectada es necesario:

- Obtener información sobre la evolución del ruido comunitario en la zona, asociada a las actividades humanas en un ciclo semanal tipo. Si la naturaleza de estas actividades tiene un carácter definido y repetitivo, como resulta sobre todo en zonas urbanas, estos patrones de evolución de ruido serán asimilables a otras zonas de características semejantes.
- Los patrones de ruido presentan importantes variaciones en distintas ubicaciones producto de muchas variables, de modo que es necesario verificar si estos patrones evolucionan en el tiempo de la misma forma en los distintos lugares de la zona.
- Verificar si, producto de lo anterior, se puede crear un factor de corrección temporal para cualquier punto de una zona.

Para verificar estos aspectos, se proyectaron mediciones de ruido repetidas en los mismos puntos a diversos horarios como se muestra en la siguiente tabla:

UBICACIÓN	HORA	Leq dBA	Lmin dBA	Lmax dBA	L10 dBA	L90 dBA
Av. El Cerro 1961	17:05	70.8	48.2	86.9	73.8	52.5
	20:40	67.1	48.7	82.8	71.1	49.9
	3:50	45	39.1	66.6	44.7	40.2
Av. Pedro de Valdivia 0458	15:03	64.6	42.8	81.8	69.1	45
	20:20	62.7	47.2	75.8	65.7	49
	4:10	47.5	37.4	71.5	44.9	39
Los Misioneros 1926	15:45	57.1	38.8	81.3	50.3	40.1
	21:05	53.6	46	72.8	53.9	46.9
	3:30	43	40.1	55.4	44.3	41

Tabla 11: Puntos de medición para el análisis temporal en la segunda campaña de mediciones

El objetivo de estas mediciones fue relacionar los niveles de los puntos elegidos en la tabla, medidos en distintos horarios con los Puntos Base, con el fin de encontrar comportamientos comunes.

Esto se realizó mediante la superposición de los niveles medidos en la segunda campaña (temporal) con la curva de tendencia estimada en el capítulo 5.1.2 para cada Punto Base. Esta curva incorpora las desviaciones típicas con un 95% de confianza, para un Leq calculado cada 30 minutos. Esto se eligió para evitar irregularidades.

Después de superponer los niveles en el gráfico del Punto Base, se ajustan los niveles medidos, corrigiéndolos mediante la sustracción o adición de un factor relativo, elegido de modo que los tres puntos se ubiquen de forma equidistante lo más cerca de la curva de tendencia, como se muestra en los siguientes gráficos:

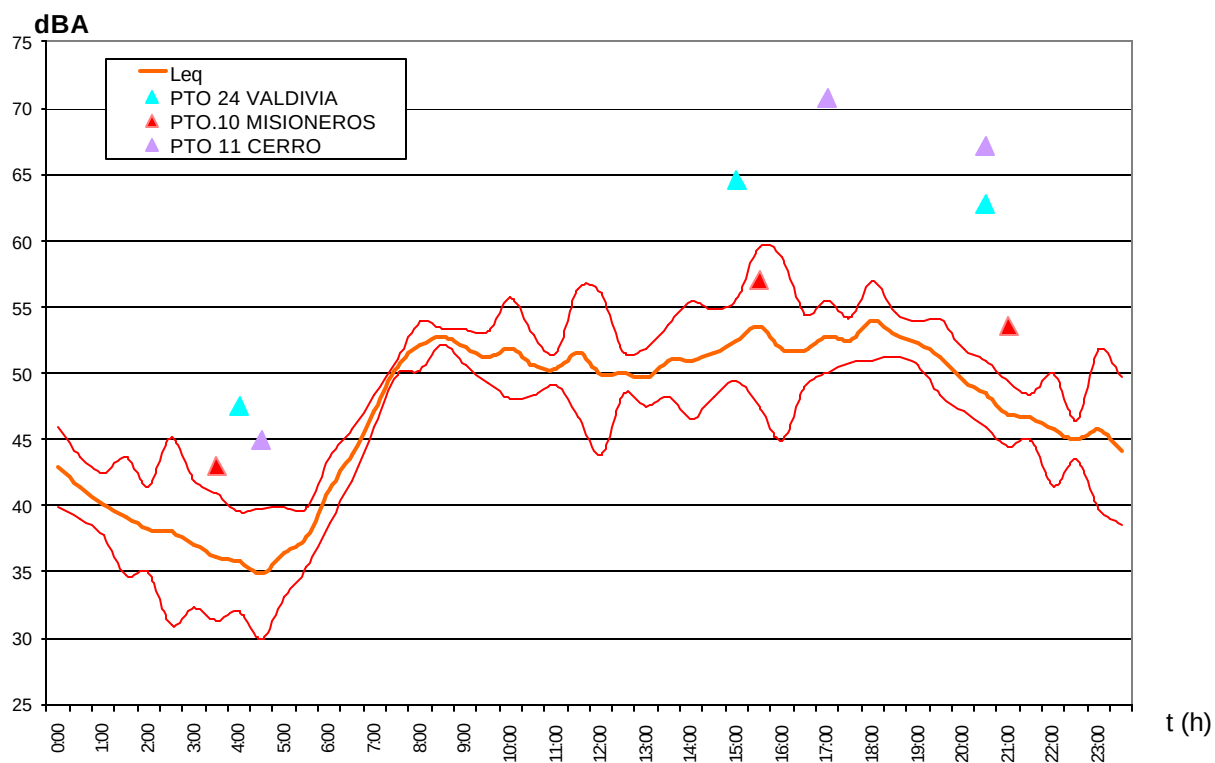


Fig 28: Superposición de los puntos de la segunda campaña con la curva de tendencia del Punto Base N°1. Los Valores no están corregidos

Cada uno de estos puntos fue corregido, ajustándose según lo establecido anteriormente. Esto es útil sólo para la representación de cuán coincidentes son los puntos con cada Punto Base. Para el caso del Punto Base N°1 se obtuvieron los siguientes:

	Factor de Corrección (dBA)
Punto 10:	- 5
Punto 11:	-15.5
Punto 24:	-13

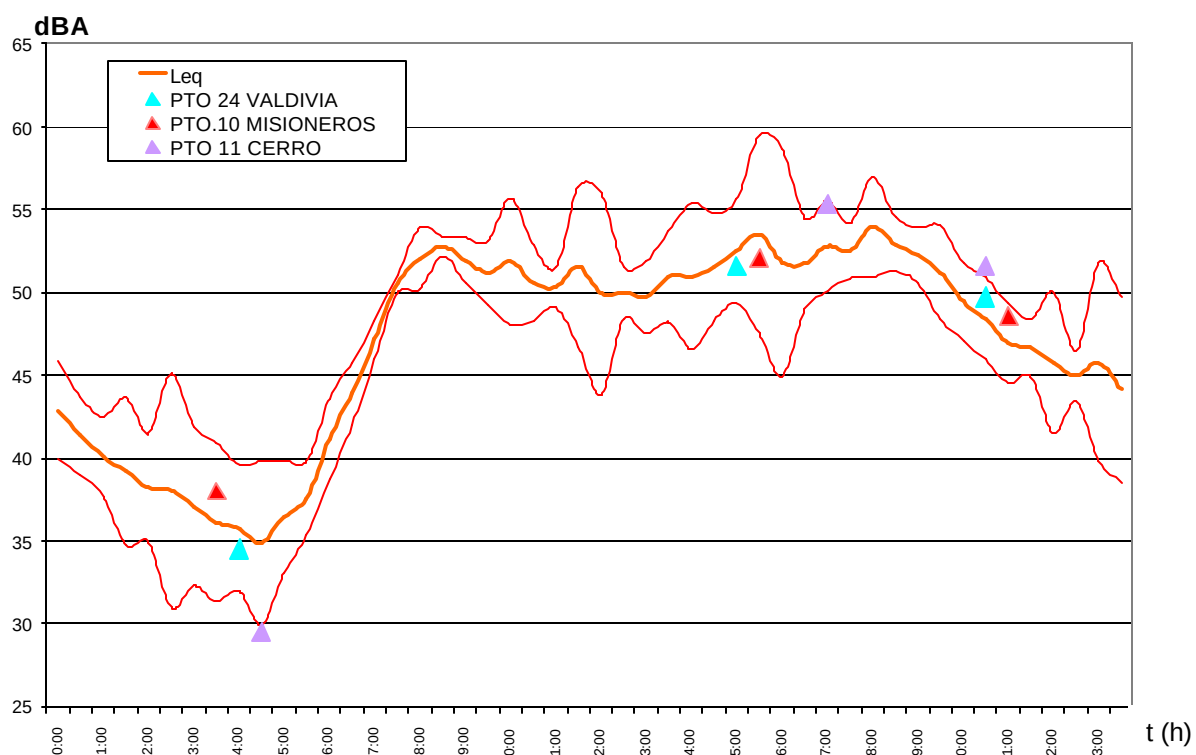


Fig 29 Puntos medidos en la segunda campaña, ajustados a la tendencia del Punto Base N°1.

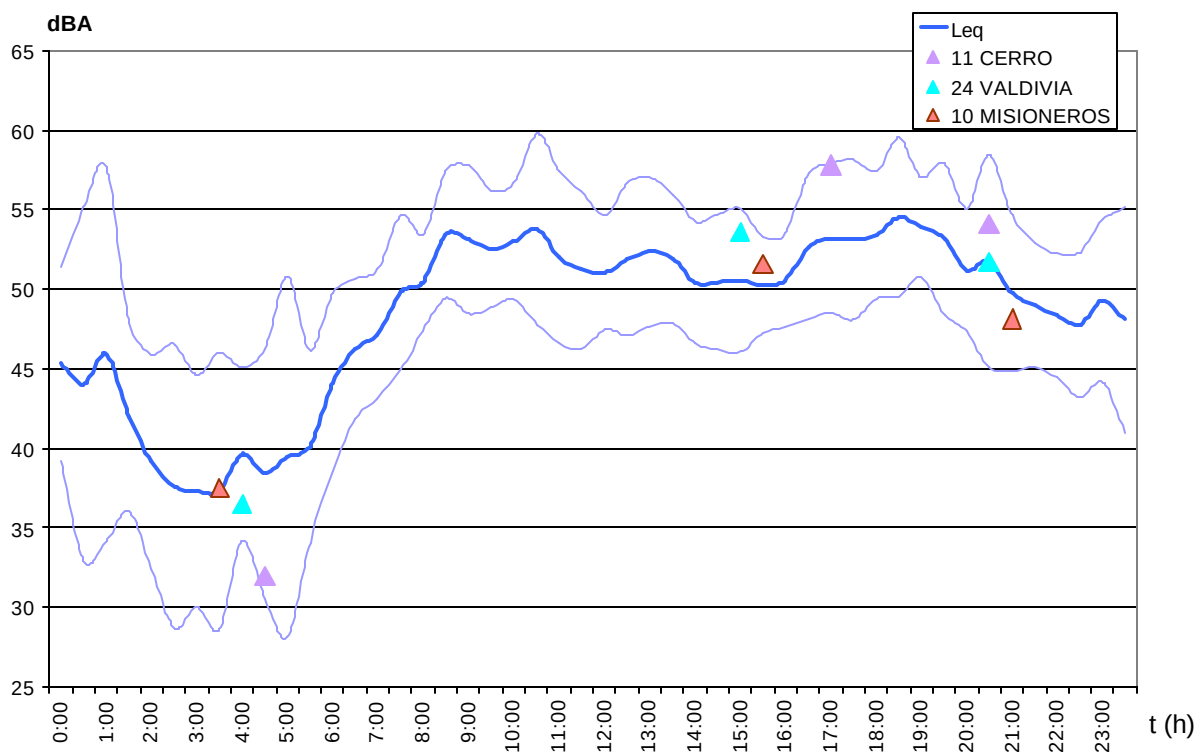


Fig 30: Puntos medidos en la segunda campaña, ajustados a la tendencia del Punto Base N°2.

En los gráficos anteriores se observa que en la corrección de los Puntos de medición 10 y 24 hay un ajuste satisfactorio, ya que quedan todos los valores acotados con holgura por las curvas que dan el 95% de confianza, sin embargo el Punto 11 se comporta de un modo más inestable.

Ilustración práctica del procedimiento

En los siguientes gráficos se proyectará una curva completa a partir de tres puntos medidos, esta será representativa de los niveles, con su respectiva incerteza.

En la primera figura se ilustra la superposición del los niveles (Leq de 10 minutos) medidos en el Punto 24 de Av. Pedro de Valdivia y la tendencia del Leq del Punto Base N° 1

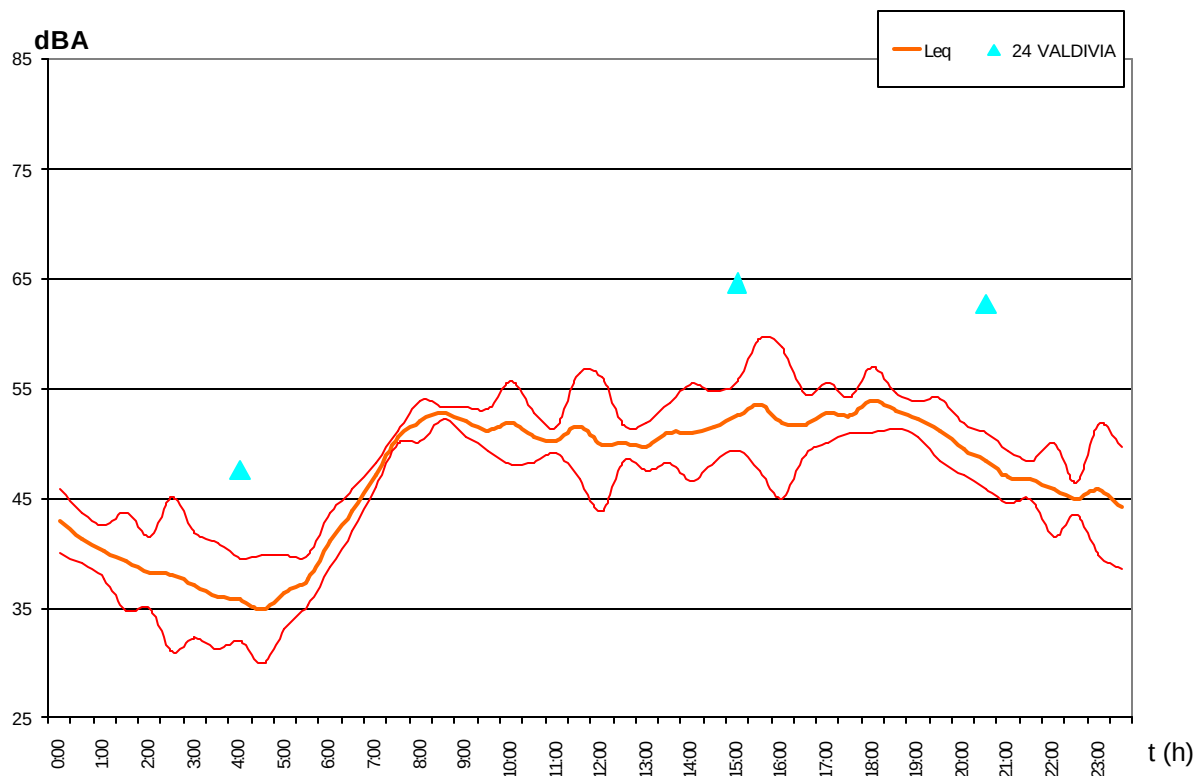


Fig. 31: Superposición de las tres muestras tomadas en el Pto.24 sobre la tendencia del Leq del Punto de Base N°1

A continuación se procede a ajustar la curva de tendencia del Punto Base de modo inverso al realizado inicialmente. En esta corrección se dejan fijas las tres muestras obtenidas para distintos horarios en el Punto 24 y a través de la adición de 13 dB, para este caso, a la curva dada por el Punto Base 1 se obtiene la nueva curva con un ajuste de tendencia dependiente del Punto 24.

Este procedimiento nos permite estimar, extrapolando a partir de la tendencia del Punto Base, los niveles para cualquier hora deseada.

De esta manera podemos tener estimaciones confiables de niveles en horarios en los cuales no se realizaron mediciones.

En el gráfico siguiente se muestra la curva resultante.

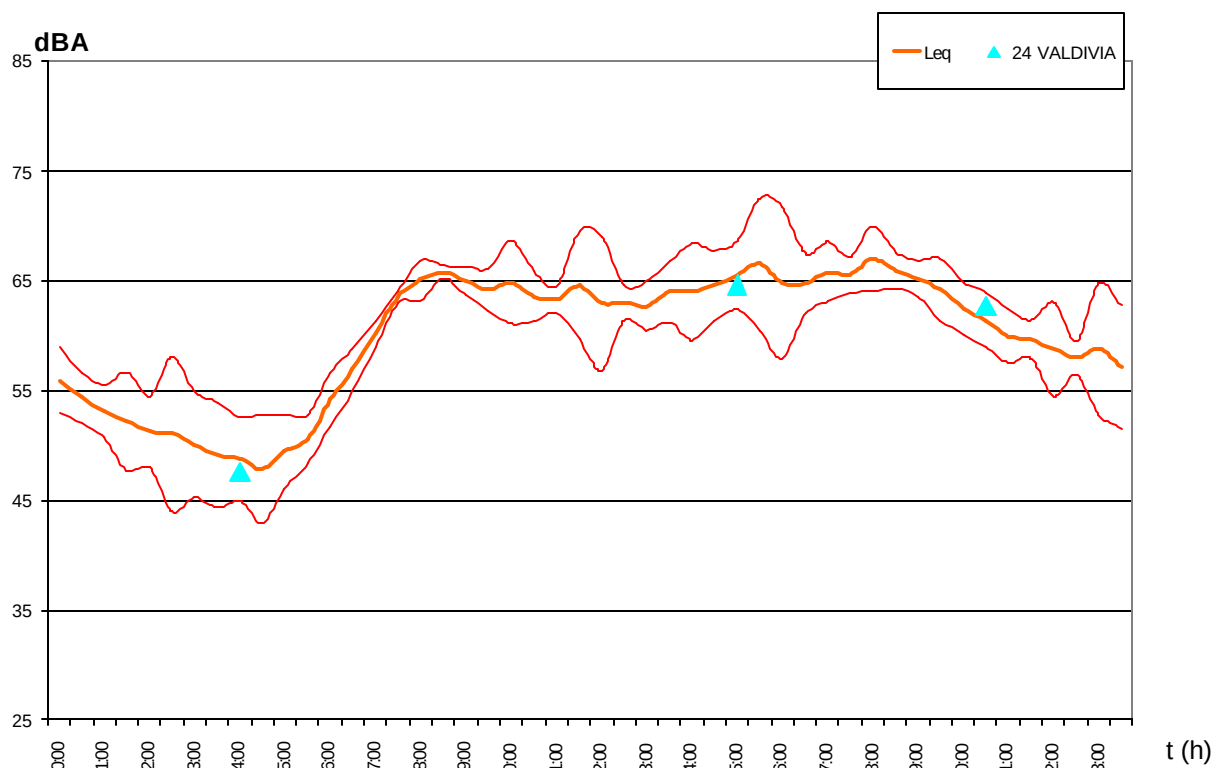


Fig. 32: Superposición de las tres muestras tomadas en el Pto.24 sobre la tendencia del Leq del Punto de Base N°1 ya corregida

Podemos notar por ejemplo que, a partir de este procedimiento, es posible encontrar los niveles Punta mañana y Punta tarde para el Punto 24, con una incerteza que determinaremos a continuación.

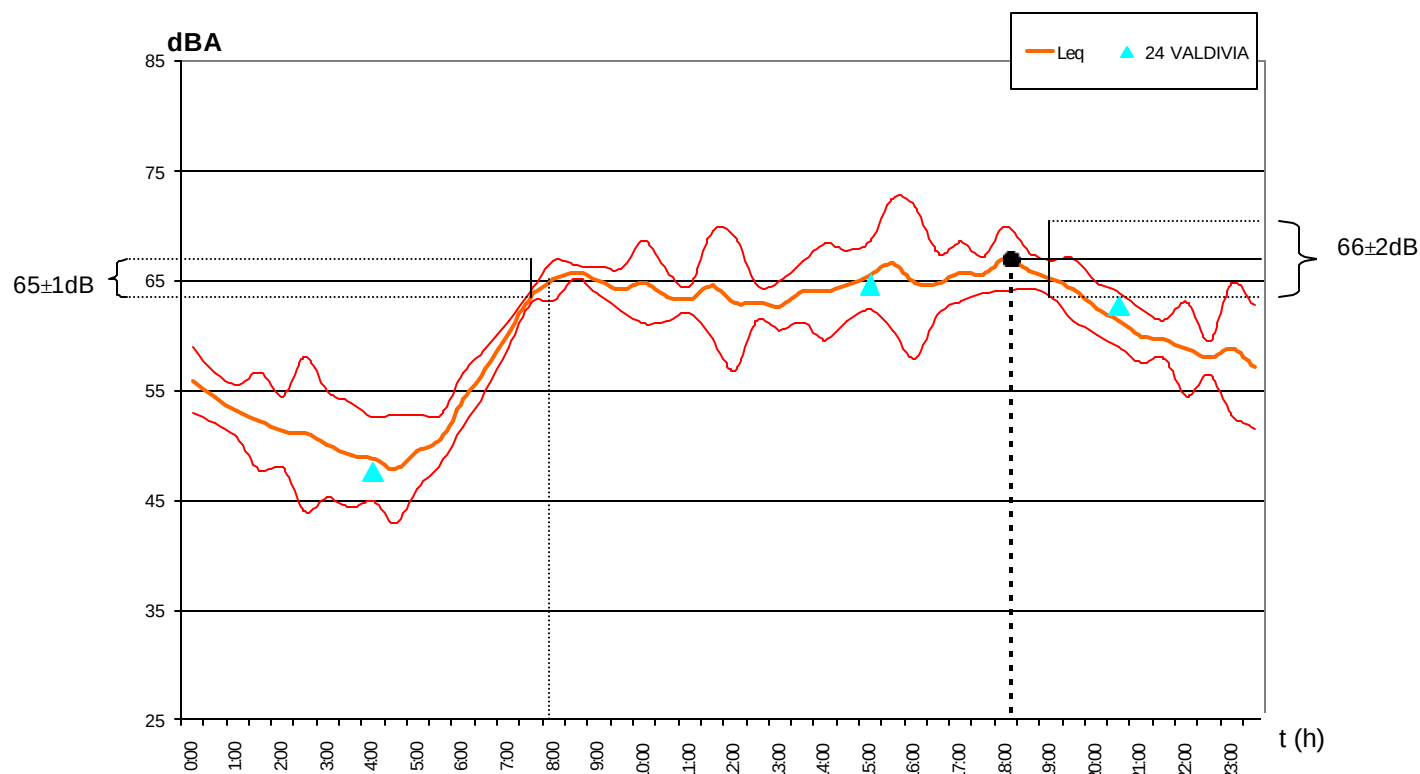


Fig. 34: Niveles estimados para horarios Punta Mañana y Punta Tarde a partir de la relaciones con el Punto Base N°1. Las incertezas mínimas posible se estiman gráficamente.

Podemos notar en este ejemplo que los niveles estimados y sus correspondientes incertezas se calculan gráficamente. Este procedimiento no es del todo exacto ya que no considera con precisión la desviación propia que tenga los puntos ajustados con la curva de tendencia.

Por otro lado, estos procedimientos enunciados incorporan un grado de incerteza dado por las desviaciones totales entre cada día para cada media hora. Esta incerteza es por cierto representativa de una situación global sin embargo no puede considerarse como la máxima desviación posible.

Sin embargo este desarrollo se presenta como una herramienta de inspección, que permitirá estimar en mayor o menor grado las situaciones reales, dependiendo del control de todas las variables de error.

Incerteza asociada al procedimiento

Se consideran como principales fuentes de error en este procedimiento:

- La representatividad del Punto de Base para una determinada zona.
- El error asociado al nivel de ajuste de muestras para diferentes horarios con la curva de tendencia del Punto Base.
- Las desviaciones propias de cada muestra.
- El error asociado al porcentaje de confiabilidad de la curva del Punto Base.
- El error de lectura.

6. CONCLUSIONES

6.1. Metodología Propuesta para la realización de la Línea de Base

Instrumentación Requerida

Se recomienda usar sonómetros integradores de precisión Clase 1, de acuerdo a las normas IEC 651 y 804 de la International Electrotechnical Commission. Para estimaciones aproximadas, se pueden usar sonómetros integradores de precisión Clase 2. Ambos con la capacidad de realizar registros continuos del Leq, mediante almacenamiento autónomo u otro sistema acorde.

Se debe contar además con un calibrador apropiado del mismo tipo.

Se recomienda utilizar el filtro de ponderación A, en función de respuesta lenta.

Condiciones de Medición

Se recomienda que las condiciones ambientales sean las siguientes en el período de medición:

- El % Humedad no deber superar los 90%.
- La temperatura al la cual el equipo se expone no debe ser superior a la especificada por el fabricante del equipo.
- La velocidad del viento no debe superar los 5m/s.

La ubicación del sonómetro debe ser entre 1,2 mts y 1,5 mts, a 2 metros del borde de la acera, a más de 3,5mts de las superficies reflectantes cuando esto sea posible.

Cada punto de medición deberá contar con una ficha correspondiente donde se enuncien los siguientes aspectos:

- Lugar de Medición.
- Ubicación.
- Fecha.
- Hora de inicio y término.
- Uso de suelo según plan regulador.
- Resumen de los principales descriptores acústicos observados.

- Conjunto de variables urbanas y/o ambientales.
- N° de vehículos livianos, pesados, y otros.
- Croquis de Medición.
- Identificación del Operador.
- Instrumental utilizado y la fecha de su última calibración.

Elección de los puntos de medición

Punto Base:

- En este punto se debe instalar un equipo preparado para realizar registros continuos de al menos una semana.
- Debe almacenar el L_{eq} en intervalos de 10 minutos. Opcionalmente se podrán registrar en el intervalo mencionado niveles percentiles.
- La ubicación de este punto no está sujeta necesariamente a las anteriores condiciones de mediciones.
- Todo punto Base deberá tener una Ficha de medición que contemple al menos:
 - lugar de medición.
 - Croquis de ubicación.
 - Fecha de Inicio y Término.
 - Tiempo de medición.
 - Condiciones generales de medición.
- Debe ser instalado al menos un Punto Base por cada sector que muestre características socio-urbanísticas diferentes, en un punto que represente de la mejor manera este sector, sobre una vía de interés (Ej. Zonas centrales o características del sector).

Muestreos puntuales:

- Se debe registrar en cada punto de medición el L_{eq} con un tiempo de muestreo de 10 minutos.
- Los horarios de medición están dados según la evolución espacial que representa el Punto Base, eligiéndose los dos siguientes horarios:
 - Horarios que representen los promedios semanales horarios de L_{eq} máximos y mínimos.
 - Se podrá medir en un tercer punto en otro horario que sea de interés para la zona afectada.
- Se ubica un punto de medición en :
 - Cada tramo de una Av. Principal que esté entre dos Av. Principales.
 - Dentro del conjunto de Vías secundarias que estén limitadas por Av. Principales.
 - En el caso de no existir Av. Principales que delimiten otra Av. Principal o las Secundarias, se considerará como cota el fin del área de influencia.

Categorización de la Zona

- Cada uno de los muestreos puntuales representará:
 - Para el caso de Av. Principales: El nivel del total de la vía a la cual pertenece.
 - Para el caso de Av. Secundarias: El área de muestreo al que pertenece.
- Por otro lado cada uno de estas representaciones puede relacionarse con el Punto Base generando estimaciones de niveles para las 24 horas de los días hábiles.

Procedimiento la para la estimación de Niveles para cualquier período horario

Para estimar los niveles en distintos horarios en un punto del muestreo se requiere:

- Un mínimo de dos muestras por cada punto que se desea proyectar o estimar.
- Un Punto Base que sea representativo de la evolución temporal de la zona.

- Analizar los datos que entrega el Punto Base, definiendo una línea de tendencia de los promedios del Leq, representado en un gráfico de 24 horas. Esto debe incluir además un porcentaje de dispersión considerado sobre y bajo la evolución del Leq. Se recomienda una confianza de 95% calculada con la duplicidad de la desviación estándar ($\pm\sigma$). Otras dispersiones podrán ser utilizadas, siempre y cuando se establezcan los porcentajes de error esperados.
- Una vez realizado este análisis se superponen, en el mismo tipo de gráfico, los niveles puntuales medidos con la línea de tendencia del Punto Base.
- Se ajusta la línea de tendencia, dejando los niveles puntuales fijos, hasta que éstos queden equidistantes y adyacentes a la línea de tendencia del Leq.
- Si el ajuste realizado sitúa a los puntos dentro del rango de confianza, se puede realizar una estimación aproximada de los niveles para cualquier horario del punto en cuestión.

6.2.Conclusiones finales

1. Se generaron los antecedentes básicos para realizar una metodología para un Estudio de Impacto Ambiental en entornos de carreteras.
2. Se concluyó que la Línea de Base en entornos de proyectos de futuras carreteras que atraviesen zonas pobladas es un estudio de ruido comunitario.
3. Se propuso una metodología de investigación que permitió optimizar la descripción del ruido comunitario al interior de un área definida, tanto en sus aspectos espaciales como temporales.
4. Se generó y redactó una metodología de medición que entrega un procedimiento simple para realizar una Línea de Base en entornos de carreteras.
5. Esta metodología propuesta puede ser extendida hacia zonas no residenciales, pero se deben estudiar las diferencias que esto implica.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] BAR, PASCAL – LOYE, BRIGITTE “Bruit et Formes Urbaines”; Ministère Des Transports, France, 1981.
- [2] Centro de Investigación Tecnológica- LABEIN “Talleres de Entrenamiento para Manejo de Contaminación Ambiental – Acústica Ambiental”; 1997.
- [3] COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE “Desarrollo y Aplicación de una Metodología Simple para la Determinación de Índices de Contaminación Acústica en una Zona Urbana: caso Comuna de Talcahuano, Informe Final”; 1997.
- [4] GONZÁLEZ, MILTON “El Impacto Silencioso”; Induambiente Año 3 N°12, Enero-Febrero, 1995.
- [5] HARRIS, CYRIL M. “ Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control”; Third Edition McGraw-Hill, 1991.
- [6] KINSLER “Fundamentos de Acústica”; Cuarta Edición Editorial Limusa ,1995.
- [7] LÓPEZ PLANES, REINALDO “Diseño Estadístico de Experimentos”; Universidad Tecnológica Vicente Pérez Rosales, 1997.
- [8] MARZZANO RÍOS, ANTONIO – SUÁREZ SILVA, ENRIQUE “Evaluación de Impacto Ambiental en Chile: Discusión de Criterios Involucrados para la Contaminación Acústica”; Memorias Ingeacus, 1995.
- [9] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS “Estudio de Impacto Ambiental del Sistema Oriente – Poniente, Línea de Base”; Unidad Ejecutiva de Concesiones Urbanas, 1997.
- [10] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA “Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas DS N° 146-1997”.
- [11] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA Ley N° 19.300 “Aprueba Ley Sobre Bases Generales del Medio Ambiente”; Diario Oficial de la República de Chile, 1994.
- [12] MURRAY R. SPIEGEL “Estadística”; Segunda Edición Mc-Graw Gill, 1991.
- [13] NORMA CHILENA OFICIAL “Acústica- Evaluación del Ruido en Relación con la Reacción de la Comunidad, NCH 1619-1979”.
- [14] NORMA DE LA CONFEDERACIÓN SUIZA “Reglamento 814.41 Sobre la Protección Contra el Ruido”; OPB, 1995.
- [15] PESSE LÖHR, RICARDO “Metodologías Aplicadas a la Elaboración de Línea Base de Ruido para Proyectos de Carreteras”; Seminario Taller CONAMA, 1996.
- [16] SÁNCHEZ RIVERA, JOSÉ IGNACIO “El Ruido de Tráfico en Valladolid”; Secretariado de Publicaciones Universidad de Valladolid, 1991.
- [17] TRANSPORTATION NOISE SUB-COMMITTEE “Strategies for the Control of Road Traffic Noise Using Non-Vehicle Based Methods”; Australian Enviroment Council, 1988.

- [18] UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE "Estudio Base Generación de Niveles de Ruido, Actualización de los Inventarios de Niveles de Ruido"; Primer Encuentro Chileno de Acústica, 1998.
- [19] UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE "Estudio Base Generación de Niveles de Ruido, Resumen"; Programa de Descontaminación Ambiental Región Metropolitana, 1989.
- [20] SCHULTZ T. "Community Noise Rating"; Applied Science Publishers LTD Second Edition, 1982.
- [21] MINISTERIO DE TRANSPORTE "D.S.122 Regula las Condiciones del Transporte"

8. AGRADECIMIENTOS

Al departamento de acústica de la Universidad por generar este proyecto.

A Jaime Delannoy, Christian Gerard y Antonio Marzzano, por su incalculable aporte para la realización de este proyecto.

A Juan Carlos Monetta, Enrique Suarez, Cristian Cárdenas y a los profesores del departamento de acústica, por el apoyo prestado.

A Dirk Fox, Soledad Proaño, Alejandro Porras, Daniel Eisermann, por el apoyo en el trabajo de terreno.

A la Municipalidad de Providencia, junta de vecinos de Pedro de Valdivia y su presidente, por las facilidades en la obtención de los lugares para instalar los instrumentos de medición.

A Mario Glisser, Silvia Donoso e Ygal Glisser mi familia.

A mi abuela Charín por todo.

8. ANEXO: FICHAS DE MEDICION
