



CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN:

El desarrollo económico y social, a veces es excesivamente rápido, que se ha producido en las últimas décadas ha generado una serie de problemas medioambientales generalmente más acuciantes en el entorno de las grandes ciudades. Dentro de este contexto y debido a este desarrollo exponencial de las actividades humanas, la contaminación acústica se ha convertido en uno de los problemas de peor solución, tanto a nivel de reducción como de atenuación, por lo que el diseño de pantallas acústicas está siendo uno de los objetivos prioritarios en la lucha contra la contaminación sonora.

Actualmente el término “Barrera Acústica” se utiliza para designar a los elementos u obstáculos que protegen del ruido a un determinado receptor respecto de una fuente sonora.

Hasta la fecha los avances en el diseño de estas pantallas han sido notables y ya se cuentan por cientos los kilómetros de las mismas que han sido construidas e instaladas, sobre todo en la periferia de las grandes ciudades cerca de las llamadas vías de tráfico rápido.

Actualmente, es fácil darse cuenta que la contaminación acústica produce efectos negativos sobre la salud auditiva, física y mental de las personas. Las principales causas de contaminación acústica son aquellas relacionadas con las actividades humanas como el transporte, la construcción de edificios y obras públicas, las industriales, entre otras. Pero cabe destacar que la principal fuente de ruido que existe hoy es la de ruido de tráfico rodado.

Desde el punto de vista acústico, la correcta ordenación urbanística y de edificación de viviendas requiere el conocimiento previo no sólo de las características físico-acústicas del terreno donde va a tener lugar, sino también de las del ruido ambiental.



Cuando las planificaciones urbanísticas no son las adecuadas, por falta de previsión, o por condicionantes históricos, la consecuencia o aproximación a condiciones de ruido satisfactorias necesita de soluciones adicionales, que actualmente están constituidas por las denominadas pantallas o barreras acústicas.

En carreteras cercanas a las poblaciones existe un gran nivel de ruido continuo bastante molesto y que supera los niveles permitidos, el cual perjudica, a largo plazo, a la salud de las personas que viven en las cercanías a estas carreteras. Por ello, se propuso colocar placas Antirruído o paneles acústicos para aislar los tramos de carreteras pegados a viviendas, escuelas, hospitales, etc., y así poder reducir el nivel de ruido.

El ruido, es sin lugar a dudas, uno de los mayores problemas generados por el tráfico rodado. El hecho de que los ciudadanos y las administraciones hayan tomado conciencia de que la contaminación acústica debida al tráfico es uno de los factores que causan un gran deterioro en la calidad de vida de las personas, hace que la instalación de barreras acústicas a lo largo de las vías de penetración y circunvalación de las grandes ciudades haya sufrido un incremento espectacular en los últimos años. Esto es debido principalmente a que las placas Antirruído constituyen, en la mayoría de los casos, la solución óptima para la reducción del ruido que percibe en toda la vía de estudio.

El ruido de tráfico generado por una vía de circulación, es una secuencia de sumas simultáneas de los niveles sonoros variables generados por los distintos vehículos que forman dicho tráfico. La variación del ruido con el tiempo es la característica principal del ruido ambiental y en particular del ruido de tráfico.

Si la intensidad de tráfico en una carretera es baja, la distancia media entre vehículos es grande y el paso de ellos es prácticamente independiente del resto, con notables periodos de tiempo durante los cuales el ruido se mantiene constante o casi constante, en el nivel de fondo. A medida que la intensidad de tráfico aumenta, la distancia



media entre vehículos disminuye y cada vez se escucha menos el ruido de fondo. Cuando el tráfico es muy elevado el ruido es casi constante.

Las placas Antirruído son las barreras acústicas más ampliamente empleadas como equipamiento Antirruído de las infraestructuras viales. Las placas Antirruído producen un efecto de atenuación del ruido en la zona del receptor. Esta atenuación depende fundamentalmente de las dimensiones de la placa, que son las que determinan la cantidad de energía sonora directa y difractada. La eficacia frente a la transmisión del ruido viene dada por la capacidad de aislamiento de la placa que, además de sus dimensiones, depende del material de construcción, así como de su emplazamiento relativo respecto a la situación de la fuente emisora y de la zona de recepción a proteger.

El uso de diferentes materiales resilientes tales como espumas, moquetas, etc., colocados sobre diferentes tipos de forjados utilizados en la construcción, son práctica habitual para obtener una reducción de las vibraciones estructurales transmitidas mediante ruido de impacto. Estos materiales presentan una serie de propiedades dinámicas, tales como la rigidez dinámica, íntimamente relacionada con la capacidad que presentan para atenuar el ruido de impacto.

Las pantallas constan de una placa matriz de hormigón estructural y otra de hormigón poroso de alta calidad absorbente. Esta capa de hormigón poroso está dispuesta en una sección especial, optimizando la superficie de contacto. De esta manera la onda sonora se introduce por los intersticios y se disipa en forma de calor por efecto del rozamiento. Se pueden fabricar en diferentes medidas y colores, adaptándose a las necesidades paisajísticas de cada zona, aunque la medida estándar es de longitud 3,96 m y 2,40 m de altura. Los niveles de emisión en los primeros 80 cm sobre el suelo suelen ser bajos, lo que permite que el primer elemento no sea adsorbente. Por esta razón, se puede colocar un zócalo que podrá utilizarse para ajustar la pendiente de la rasante, para regular la altura de colocación del primer elemento y como protección de la pantalla.



1.2. JUSTIFICACION:

El problema del Ruido en las vías conlleva a problemas psíquicos y físicos, todos sabemos que la relación entre equilibrio mental y decibeles es sumamente delicada, hasta puede desembocar en la violencia. Para ello debemos abordar distintos tipos de soluciones, "Saneamientos Acústicos" desde la elección del tipo de superficie de la capa de rodamiento del pavimento ya sean porosos o drenantes para evitar el efecto de hidroplaneo de las barreras acústicas, así como el aislamiento hermético de las aberturas de las viviendas.

Porque diferentes tipos de contaminación acústica irrumpen hoy en día en nuestro diario vivir. Desde el punto de vista económico esto implica un costo real por la desvalorización de los espacios afectados, además de costos que por lo general no se tienen en cuenta, como es el caso de la salud.

Se quiere resolver las causas de ruidos más comunes, del ruido de transportes, ya sea de pasajeros o de cargas, terrestre no importando el estado de movimiento del transporte estando parado o en movimiento ambas situaciones presentan decibeles máximos. De todos los medios de transportes en la vía de estudio. El ruido es una sensación auditiva desagradable que puede producir efectos físicos, psicológicos y sociales no deseados.

Se pretende resolver este problema mediante pantallas Antirruído, también llamadas pantallas o barreras acústicas instaladas en las proximidades de las vías de circulación con elevados niveles de ruido, constituyen el medio más eficaz y extendido para la disminución de las afecciones que el ruido a estas fuentes producen en su entorno.

Se quiere estudiar el incremento de la contaminación acústica que presenta la vía y sus efectos perjudiciales para la salud de la población que sufre, se requiere realizar un estudio acústico, una de las técnicas más empleadas en espacios abiertos para evitar la contaminación acústica, para fuentes fijas como para ruido de tránsito, son las pantallas acústicas. Una pantalla acústica es un obstáculo para el ruido, que



interrumpe el camino entre el foco emisor y el receptor. Disminuyendo los niveles de ruido y sus efectos en la salud.

Poder plantear una solución al problema del ruido provocado por fuentes fijas o tránsito rodado en esta avenida, estableciendo una aplicación de placas Antirruído de hormigón ligero en sectores de altos índices de decibeles, la cual no afecte la ubicación de la placa al peatón.

Se vio la necesidad de estudiar este tramo debido al alto flujo vehicular y fuentes de generación acústica que se presenta en toda la vía, produciendo altos índices de decibeles afectando a todo el área como ser en el ambiente, personas que circulan, y familias establecidas alrededor de la zona de estudio.

El estudio a realizar pretende mostrar los efectos debido al autotransporte vigente en nuestro medio accionando fuertes niveles de ruido generando contaminación acústica, presentar una solución mediante Placas Antirruído, el costo que generaría la construcción de placas en la vía sería muy considerable a largo plazo puesto que se evitaría problemas psicológicos, fisiológico, físicos, síquicos.

A diferencia de otros problemas ambientales, la contaminación acústica sigue en aumento y produce un número mayor de reclamos por parte de la población, puesto que afecta a generaciones futuras y tienen repercusiones socioculturales, estéticas y económicas en la población actual.

De la misma manera, este estudio de Aplicación de Placas Antirruído pudieran ser utilizadas por las autoridades competentes y agencias de salud y medio ambiente ya que podrá proveer información que pueda utilizar como punto de partida para estudiar y manejar el problema en otras vías de alto flujo vehicular, utilizando Placas Antirruído disipando los altos niveles de ruido, la población en general serían conscientes de las consecuencias del ruido en la salud, como protegerse y como contribuir a mantener y mejorar el medio ambiente.



A diferencia de otros problemas ambientales, la contaminación acústica sigue en aumento y produce un número mayor de reclamos por parte de la población, puesto que afecta a generaciones futuras y tienen repercusiones socioculturales, estéticas y económicas en la población actual.

Es por esto que el presente trabajo pretende reflejar la realidad de un problema que afecta a la sociedad en general, en especial a aquellas personas que viven en grandes núcleos urbanos. Dado que es un contaminante ambiental y por sus serias implicaciones a la salud requiere de una atención urgente por parte de las autoridades competentes porque las ciudades se expanden a pasos agigantados, pero el ruido ambiental también. Por ello se sugiere avanzar hacia el desarrollo planificado de urbes sin deteriorar el bienestar de las personas, regulando las actividades industriales, comerciales y el flujo vehicular.



1.3. Metodología

Actualmente la zona en estudio (Avenida Circunvalación de la ciudad de Tarija) está siendo parte de un masivo crecimiento vehicular, lo que influye directamente en el aumento del ruido, los que son principalmente provenientes del flujo vehicular ocasionando a ciertas horas del día altos niveles de ruido, mediante el presente trabajo se demostrara la reducción del nivel de ruido Aplicando Placas Antirruído in situ.

La segunda tercera y cuarta fase de la tesis consiste en la aplicación de toda la teoría expuesta en la fase anterior al diseño de Placas o Barreras Antirruído para lo que se prevé el diseño de una metodología secuencial según los condicionantes de la misma. Primeramente se describirá su Ubicación de estudio (Av. Circunvalación), ancho de calzada, longitud del tramo de estudio, tipo de vía.

En el capítulo V se realizará los ensayos de laboratorio de hormigones: granulometría de los agregados grueso y fino (Especificaciones ASTM C-330), peso específicos del cemento, agregados finos y gruesos, pesos unitarios de los agregados finos y gruesos, luego se hará una preparación de los materiales para una dosificación de hormigón ligero Norma ACI- 304, Con las siguientes dimensiones obtenidas, se hará un molde para la placa, luego se pesarán los materiales para la dosificación, Antes de dosificar se hará ensayos de revenimiento para ver si se está haciendo lo correcto, después del proceso de dosificación se hará el curado de la placa y luego el desencofrado.

Ensayo de resistencia del hormigón ligero a los 28 días para luego analizar los resultados y presentar la placa Antirruído de hormigón ligero.

Los materiales que se utilizarán fueron: Cemento, Arena, Grava, Agua, y las Herramientas que se utilizarán Fuentes para el pesado del material, balanza para el pesado de material, herramientas para sacar los pesos específicos del material, humedad optima de los agregados, equipos de laboratorio de hormigones, Mescladora de hormigón, carretilla, martillo de goma, cono para el revenimiento, cuchara de



albañil, enrrazador, probetas cilíndricas, molde para vaciado de la Placas Antirruído, pala, tamiz, reglas metálicas para el enrrazador de las placas, material para el acabado de obra fina.

Medios para este estudio de Aplicación de Placas Antirruído se recolectó información de varios libros, normas, de autores diferentes, entre los más importantes: “Dosificación, mezclado y control del concreto ligero en la obra comité ACI – 304” “Ley N° 1333 Ley del Medio Ambiente” Bolivia. “Manual de laboratorio de Hormigón” UAJMS carrera de ingeniería civil. “Páginas de internet todo sobre el medio ambiente, ruido, pantallas Antirruído”.

La Medición del ruido se lo realizará con un **Sonómetro** la cual se prestará de la Alcaldía Municipal o de las Empresas Constructoras de la Ciudad de Tarija.

Para la fabricación y ensayos de resistencia a compresión de la Placa Antirruído de hormigón ligero, esto se lo realizará en el Laboratorio de Hormigones de la Universidad Juan Misael Saracho.

Para el montaje de placa Antirruído in situ se fabricará una base de soporte para la placa Antirruído, para luego hacer las mediciones en cada tramo y lecturar cada media hora en tiempos de 1 a 2 minutos las lecturas para cada tramo, luego de realizar las mediciones, hacer el trabajo de gabinete, para luego hacer el análisis de resultados, pues ahí se verá si se reduce o no la contaminación acústica con la Aplicación de Placas Antirruído. El montaje y puesta en situ para la medición de ruido con placa y sin placa se lo realizara con una carretilla si es posible una camioneta que tenga grúa para el montaje en situ. La grúa será la adecuada para efectuar la descarga, acopio y posterior montaje, y deberá cumplir las condiciones técnicas para la manipulación mecánica de las placas teniendo en cuenta, que su potencia será la suficiente para el manejo y montaje de de las Placas, en función del peso y distancia. Los equipos para montaje serán: Palancas o barras de uña, cinta métrica, martillo, base de soporte de la placa.



Para la medición de ruido y el análisis se utilizara un Sonómetro digital, este instrumento mide la intensidad de presión en decibeles (dB) es apropiado para el estudio de ruidos urbanos en campo abierto y es fácil de manejar.

También se realizará la ubicación de los puntos de muestreo de acuerdo a los altos índices de decibeles, se definirán los puntos de modo que traten de cubrir toda el área para el estudio y sean lo suficientemente representativos. Luego se procederá la ubicación de las Placas Antirruído.

Las mediciones se realizarán en el mes de agosto de 2012 y finalmente se realizó una revisión de los niveles sonoros en la Avenida Circunvalación. Dentro de esta Avenida se realizó mediciones de niveles sonoros en 15 puntos considerando mayor ruido en estos puntos, donde se las marcó en horarios diferentes.

El análisis de costo de la Placa Antirruído de 1 x 1 x 0.07 m de espesor.

Por último se analizarán los resultados obtenidos tanto en laboratorio, y en las mediciones realizadas en la avenida Circunvalación de Aplicación de Placas Antirruído.



1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL:

Analizar la Aplicación de Placas Antirruído en la Avenida circunvalación debido al alto flujo vehicular y fuentes de generación acústica que se presenta en toda la vía, produciendo altos índices de decibeles afectando a todo el área como ser en el ambiente, personas que circulan, y familias establecidas alrededor de la zona en estudio que comprende un tramo de la Avenida Circunvalación desde la Avenida La Paz hasta la Avenida Colón.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Estudiar, analizar y disponer de información acerca del ruido y emisores de ruido dentro de la vía y proveer los antecedentes necesarios para su correcta evaluación e interpretación.
- Identificar los tipos de ruido existentes en todo el tramo para clasificar el tipo de ruido acústico producido por este.
- Medir el grado de decibeles en todo el tramo identificando sectores de altos índices.
- Determinar los materiales a utilizar para su fabricación si éstos requieran alguna modificación específica.
- Ensayo in situ de la capacidad de absorción acústica de la Placa Antirruído.
- Establecer conclusiones y recomendaciones



1.5. ALCANCE:

En el capítulo I de aplicación de Placas Antirruído en la avenida circunvalación se dará una introducción del tema, también se plantearán una serie de justificaciones, el por qué se lo está realizando este tema en esta avenida, posteriormente los objetivos generales y objetivos específicos de lo que se está queriendo lograr con este tema y por último el alcance de cada capítulo.

En el capítulo II se describen los aspectos generales sobre el medio ambiente, se mencionará la ley 1333 del medio ambiente, también el ruido como problema de la contaminación ambiental acústica, la producción y transmisión del ruido, fuentes de contaminación acústica como ser: ruidos de tráfico, ruidos comunitarios, ruidos accidentales, ruidos industriales, ruidos emitidos por locales públicos. La importancia del control del ruido, como mitigar el ruido y la transmisión del sonido en el aire. se definen todos los conceptos fundamentales para la aplicación de las Placas Antirruído como ser: El sonido, las características físicas del sonido, unidades de medida del sonido, decibel, medidas del sonido y escalas de medición, velocidad del sonido, control del sonido y la vibración como ser; análisis acústico diseño acústico. Que es la audición, sonómetro, análisis de tráfico vehicular, hormigón, solución al problema del ruido como ser: Placas acústicas, pantallas realizadas con placas transparentes, pantallas realizadas con placas de hormigón, pantallas realizadas con placas metálicas, pantallas realizadas con placas de madera.

En el capítulo III se describen los efectos del ruido en las vías urbanas como ser: los efectos auditivos como ser pérdida y deterioro de la audición, interferencia de la comunicación hablada. También se describirá los efectos no auditivos como ser: Efectos psicopatológicos, Efectos psicológicos y sociales, Efectos fisiológicos, Efectos, Efectos sobre la conducta, Efectos en la memoria, Efectos en la atención, Efectos en el embarazo, Efectos sobre los niños. Posteriormente se describirá una



solución a los problemas de los ruidos en vías urbanas, donde se tratara de resolver este problema aplicando pantallas acústicas de placas de hormigón ligero.

En el capítulo IV para el análisis y procesamiento de las Placas Antirruído se describirá el concepto teórico de Placa Antirruído posteriormente se hará el dimensionamiento geométrico de las Placas Antirruído para luego obtener las dimensiones reales de la placa y con las dimensiones la fabricación de la Placa Antirruído, donde para su construcción citaremos los materiales de construcción para la placa, posteriormente la dosificación y preparación, análisis de los resultados, para luego presentar la placa construida. También se darán conceptos teóricos de los ensayos que se pueda realizar con la placa como ser: atenuación de la Placa Antirruído, capacidad de la Placa Antirruído, transmisión sonora a través de la Placa Antirruído, cimientos de las Placas Antirruído in situ

En el capítulo V En aplicación práctica se dará a conocer su ubicación, las características del área de estudio, la medición y análisis de ruido en la avenida circunvalación, técnicas de medición del ruido, donde se tomara en cuenta el comportamiento diario del transporte pesado y liviano y se determinaran los niveles de ruido con ayuda de un sonómetro. Posteriormente se ubicara las Placas Antirruído de acuerdo a altos índices de decibeles obtenidos, para luego realizar el proceso de construcción de la Placa Antirruído de Hormigón Ligero, luego se realizara el montaje de la Placa Antirruído in situ, posteriormente se hará mediciones de ruido Aplicando las Placas Antirruído in situ en diferentes tramos y por último se analizara y discutirá los resultados de medición obtenidas con y sin Placa Antirruído, luego se hará un análisis de aplicabilidad y costos.

Finalmente, en el Capítulo VI se establecerá la conclusión y recomendación de los objetivos trazados de la aplicación de Placas Antirruído en un tramo de la avenida circunvalación (desde la Av. La Paz hasta la Av. Colon).



Analizar la aplicación de placas Antirruído en la avenida circunvalación, Sensibilizando a la población sobre la problemática de la contaminación acústica, para la regulación de la contaminación acústica, para evitar y en su caso reducir, los daños que pueda provocar en la salud humana, los bienes o el medio ambiente. Los efectos del ruido en las vías urbanas es un problema social, económico. El ruido al alcanzar ciertos niveles, origina molestias y efectos perjudiciales sobre la salud de las personas y la calidad de vida en general, es por este motivo el Proyecto de Aplicación de Placas Antirruído, para reducir los efectos del ruido, corregir el impacto ambiental, mitigación del impacto acústico producido por vías de comunicación, como carreteras, autovías o líneas de ferrocarriles.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.

2.1. La ley 1333 del medio ambiente

La Ley del Medio Ambiente **Ley 1333** promulgada el 27 de abril de 1992 y publicada en la Gaceta Oficial de Bolivia el 15 de Junio 1992, en actual vigencia es de carácter general y no enfatiza en ninguna actividad específica. Su objetivo fundamental es proteger y conservar el Medio Ambiente sin afectar el desarrollo que requiere el país, procurando mejorar la calidad de vida de la población.

“El Estado, a través de sus organismos competentes, establecerá, regular y controlará los niveles de ruidos originados en actividades comerciales, industriales, domésticas, de transporte u otras a fin de preservar y mantener la salud y el bienestar de la población”

Por otra parte, el reglamento de la ley del medio ambiente reglamento de contaminación atmosférica en su título III, capítulo V de la evaluación y control de Ruidos y olores contaminantes establece:

Artículo 52: La emisión de ruido no debe exceder los límites permisibles de emisión señalados en el Anexo 6, límites a los que la SNRNMA podrá agregar otros en forma coordinada con los Organismos Sectoriales Competentes.

| FUENTES FIJAS |
|---|
| LIMITE MAXIMO PERMISIBLE |
| ➤ 68 dB (A) de 6:00 hasta las 22:00 horas 65 dB (A) de 22:00 h hasta las 6:00 horas Medidos en forma continua |
| ➤ 115 B (A) no mayor a 15 min. ➤ 140 dB (A) no mayor a 1 seg. |
| ➤ Localizados en áreas cercanas a centros hospitalarios, guarderías, escuelas, asilos, y otros lugares de descanso no deben rebasar los 55 dB (A). |

TABLA N°2.1. Fuente ley 1333 del medio ambiente en Bolivia



| FUENTES MOVILES | | | |
|--|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | | | |
| Peso bruto del vehículo | 3000 Kg. | 3000 kg a 10000 Kg | Mayor a 10000 Kg. |
| Límite máximo permisible dB (A) | 79 | 81 | 84 |
| Medidos a 15 m. de distancia de la fuente | | | |
| Motocicletas, triciclos y cuatriciclos motorizados, el limites es de 84 dB (A). Medido a 7.5 metros de distancia | | | |

TABLA N°2.2. Fuente ley 1333 del medio ambiente en Bolivia

Artículo 53: Los vehículos automotores que circulen en el territorio nacional deben cumplir con las normas emitidas para el control del ruido proveniente de escapes y bocinas, conforme a lo dispuesto en los Códigos de Salud y Tránsito

2.2. Contaminación Ambiental acústica

Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos. La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, el bienestar del público.

El contaminante acústico posee características peculiares respecto de otras formas de polución. En primera instancia, a diferencia de otros contaminantes, el ruido no deja residuos sólidos, líquidos o gaseosos. En segundo lugar, podemos decir que la contaminación acústica tiene un fuerte carácter subjetivo. Por ejemplo, una emanación gaseosa contaminante provocará un efecto negativo en todos los seres vivos que se encuentren a su alcance. Sin embargo, el ruido no se comporta de la misma manera. Esto se debe a que el sonido es un medio de comunicación, de expresión y de comprensión entre los seres vivos y con su entorno. Para ejemplificar



la característica subjetiva del ruido respecto de otros contaminantes, pensemos en la música emitida por un concierto en la vía pública. Ésta podría ser disfrutada por los espectadores y al mismo tiempo ser un contaminante para los vecinos en las inmediaciones.

Las personas afectadas por la contaminación acústica pueden ser trabajadores en el ámbito de su trabajo, ciudadanos al interior de sus viviendas, usuarios de los medios de transportes públicos o privados, transeúntes, etc. Por lo general, las fuentes de ruido causantes de la contaminación no pueden ser controladas por el afectado, y en la gran mayoría de los casos estas fuentes de ruido se deben a algún tipo de actividad humana.

El crecimiento demográfico, la industrialización, el aumento de la movilidad de las personas y la conglomeración en los núcleos urbanos, son factores que incrementan la contaminación acústica. Estas causas provocaron que en el último siglo se hayan elevado mucho los niveles de ruido. En vistas de esto, se han empezado a tomar una serie de medidas políticas, económicas y sociales para luchar contra la contaminación acústica. Algunas de estas acciones incluyen la redacción de normativa que establece procedimientos de medición y análisis del ruido, la elaboración de legislación que regula los máximos niveles sonoros admisibles en los diferentes ámbitos de la sociedad y define las sanciones pertinentes; la creación de mecanismos de fiscalización; la proliferación de los ámbitos y recursos para la investigación en materia de ruido; la creación de espacios de debate e intercambio científico para los distintos actores que conforman las disciplinas relacionadas con el ruido y la contaminación acústica; el desarrollo de nuevas tecnologías, el trazado de mapas de ruido; etc.

2.3. El ruido problema ambiental

El ruido ambiental, como su nombre lo indica, es la totalidad de los sonidos deseados o no, que se encuentran en el ambiente. No se hace distinción si el ruido ambiental es urbano o rural.



En el ruido ambiental destaca el de los vehículos, que es producido fundamentalmente por el motor y la fricción causada por el contacto del vehículo con el suelo y el aire. En general el ruido por contacto con el suelo supera al del motor, cuando las velocidades sobrepasan los 60 km/h.

El ruido puede perturbar el trabajo, el descanso, el sueño y la comunicación de los seres humanos; puede dañar la audición y provocar otras reacciones psicológicas o fisiológicas, tal vez patológicas. El tránsito, es la principal fuente de ruido para la comunidad y puede causar molestias a diferentes sectores de la población urbana. La gente está expuesta al ruido no laboral durante las horas de recreación y descanso.

En comparación con otros contaminantes, el control del ruido ambiental se ha limitado por la falta de conocimiento de sus efectos sobre los seres humanos, la escasa información sobre la relación dosis-respuesta y la falta de criterios definidos. Si bien se considera que la contaminación acústica es principalmente un problema de "lujo" en los países desarrollados, no se puede pasar por alto que la exposición es a menudo mayor en los países en desarrollo debido a la deficiente planificación y construcción de los edificios. Los efectos del ruido y sus consecuencias de largo plazo sobre la salud se están generalizando. Por ello, es esencial tomar acciones para limitar y controlar la exposición al ruido ambiental.

2.4. Ruido

El sonido es cualquier variación de la presión en el aire que puede ser detectada por el oído humano. Por definición, el ruido es un sonido no deseado y molesto. Técnicamente, el ruido es el resultado de la combinación de sonidos de una sola frecuencia o tonos puros, y tiene un espectro de frecuencia continuo, de amplitud y longitud de onda irregulares.

El movimiento ondulatorio se inicia, cuando un elemento pone en movimiento a la partícula de aire más cercana, alejándose gradualmente de la fuente. Dependiendo del



medio, el sonido se propaga a diferentes velocidades. En el aire, el sonido se propaga a una velocidad de 340 m/s, aproximadamente.

2.4.1. Tipos de ruido

- a) **Continuo constante:** Ruido generado con nivel sonoro persistente durante el período de medición, con diferencias entre los valores máximos y mínimos que no exceden a 6 decibeles.
- b) **Continuo fluctuante:** Es el ruido con nivel sonoro que oscila durante la totalidad del período de medición, con diferencias mayores a 6 decibeles entre los valores máximos y mínimos.
- c) **Intermitente:** Es el ruido que cuenta con características estables o con fluctuaciones de un segundo o más, seguidas por interrupciones mayores o iguales a 0,5 segundos.
- d) **Impulsivo o de impacto:** Son los ruidos de corta duración, con altos niveles de intensidad que se incrementan y descienden rápidamente en menos de 1 segundo, con diferencias mayores a 35 decibeles entre los valores máximos y mínimos.

2.4.2. Tipos de fuentes de ruido.

En la vida cotidiana, encontramos numerosas fuentes generadoras de ruido, las cuales pueden ser clasificadas en dos grandes grupos, estas son: fuentes fijas y fuentes móviles.

2.4.2.1. Fuentes fijas

Se considera fuente fija a toda aquella que esté establecida en una propiedad y que produzca o pueda producir sonido o ruido. Actualmente se encuentra normada esta emisión de ruidos molestos en la legislación Boliviana. El documento al cual nos referimos es: Ley N° 1333 “Ley de medio ambiente”



Entonces, según lo anterior algunas fuentes fijas que podemos encontrar en la ciudad.

- **Industrias:** La actividad industrial genera grandes niveles de ruido, siendo mayormente afectada la población aledaña a ellas. La expansión de las ciudades hace que inevitablemente tengan que convivir sectores poblados con industrias.
- **Colegios:** Los gritos en horario de colación o recreos son los más molestos para vecinos cercanos a ellos.
- **Locales públicos:** Los locales de recreación y de diversión, casi siempre, están relacionadas a actividades ruidosas; Pubs, discotecas, fiestas, restaurantes, etc.
- **Viviendas:** Las personas son los propios generadores de ruidos molestos a sus vecinos, con actividades tan cotidianas como cortar el césped, reuniones sociales o con el simple hecho de escuchar música, entre otras.
- **Lugares de culto:** Profesar la fe para la mayoría de las personas resulta ser algo común y cotidiano, pero para otras pueden llegar a resultar molestas por la gran cantidad de niveles generados por sus cánticos.
- **Ferias libres establecidas:** El griterío de los comerciantes ofertando sus productos, más el bullicio de los clientes, no son agradables para los vecinos más próximos a estos lugares.
- **Construcción:** Los trabajos de construcción son otro ejemplo de fuentes fijas de ruido, que debido a la gran envergadura que pueden alcanzar, su condición de temporalidad, más la adhesión de maquinarias móviles utilizadas en estas obras, las cuales no se puede fiscalizar con la Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas, para esto se encuentra en estudio la realización de una norma que permita fiscalizar las emisiones de ruido proveniente de las actividades de construcción. El ruido de la construcción se caracteriza porque sus niveles y espectros de ruido son muy variables. En general, estos ruidos se generan en espacios abiertos que, a menudo, pertenecen a zonas sensibles al ruido.



2.4.2.2. Fuentes móviles

Las fuentes móviles son todos los focos de emisión que se puedan desplazar libremente sin estar confinado a unos lugares, tanto terrestres como aéreos, incluyendo las actividades de difusión con sistemas de alto parlante que circulan libremente.

Algunas fuentes móviles que podemos encontrar en la ciudad son:

- **Tráfico vehicular:** Esta fuente se encuentra en todo los asentamientos urbanos, es el mayor contribuyente a la contaminación acústica. Los vehículos tienen numerosos focos emisores de ruido, siendo el principal el producido por el contacto rueda/pavimento, cuando supera los 50 Km/H.
- **Tráfico ferroviario:** El mayor ruido que se percibe al paso de un tren es el producido por el roce de sus ruedas con los rieles, estos se pueden disminuir utilizando rieles bien cuidados o rieles soldados, y colocando topes elásticos en los vagones. Los ruidos generados son generalmente de baja frecuencia, sobre todo en aquellas máquinas de carga con motor diesel, lo cual, hace ser más lento el desplazamiento, ayudando a que la percepción del ruido sea mayoritariamente el generado por el motor.
- **Tráfico aéreo:** Las emisiones de ruido generadas por aeronaves son de gran nivel. No solo son afectadas las personas que viven alrededor de los aeropuertos sino también, aquellas que viven en la trayectoria de vuelo (cuando hacen a baja altura). En general, el ruido producido por los aviones propulsados a hélices es menor que el ruido producido por los aviones a reacción, cuyo ruido tiene más componentes en frecuencias altas.

2.4.3. Ruido urbano

El ruido urbano (también denominado ruido ambiental, ruido residencial o ruido doméstico) se define como el ruido emitido por todas las fuentes a excepción de las áreas industriales. Las fuentes principales de ruido urbano son el tránsito de



vehículos, ferroviario y aéreo, la construcción y obras públicas y el vecindario. Las principales fuentes de ruido en interiores son los sistemas de ventilación, máquinas de oficina, artefactos domésticos y vecinos.

El ruido producido por las obras públicas o la construcción de las vías de acceso, podría ser considerado como ruido de tráfico, (o previo a este), pero tiene un carácter mucho menos permanente que el producido por otras fuentes, pero su importancia como causa de molestia está suficientemente demostrada. Los compresores, martillos neumáticos, excavadoras y vehículos pesados de todo tipo producen unos niveles de ruido tan elevados que, al margen de la significación de prosperidad y desarrollo que puedan simbolizar, son el blanco de muchas de las quejas de los residentes de nuestras ciudades. En otro sentido, cabe mencionar también la existencia de un número muy elevado de equipos varios, con carácter permanente o semipermanente, tales como los transformadores de distribución eléctrica, acondicionadores de aire, aparatos de calefacción, máquinas lavacoches, etc.

Todas estas instalaciones contribuyen al bienestar de muchas personas, pero, al mismo tiempo, producen en todo su entorno próximo un ruido de fondo y son igualmente objeto de un alto porcentaje de las denuncias de los vecinos a los servicios municipales competentes.

2.4.4. Ruido de tráfico rodado

Las fuentes generadoras de ruido son muy diversas, desde las obras de construcción o las Fábricas industriales hasta los aviones o ciertos fenómenos meteorológicos. Pero, sin duda, el Tráfico se ha convertido hoy en uno de los principales focos de ruido. El espectacular aumento del parque automotor.

Los niveles y composición espectral del ruido de tráfico varían considerablemente en función de numerosos parámetros. En efecto, estos ruidos dependen de los tipos de vehículos que los generan, de las condiciones de utilización, de la carga transportada, etc.; en cualquier caso, el parámetro más importante es la intensidad de tráfico. Las



condiciones de las infraestructuras correspondientes (naturaleza y estado del firme, regulación del tráfico, estructura urbanística, etc.) desempeñan también un papel significativo. En un vehículo automóvil ordinario, las fuentes sonoras son muy diversas: las explosiones del motor, los ruidos producidos por la admisión, los frenos, las vibraciones de la carrocería y, finalmente, el ruido producido por el desplazamiento de los neumáticos sobre el revestimiento de la calzada.

El ruido de tráfico generado por una vía de circulación, es una secuencia de sumas simultáneas de los niveles sonoros variables generados por los distintos vehículos que forman dicho tráfico. La variación del ruido con el tiempo es la característica principal del ruido ambiental y en particular del ruido de tráfico.

Si la intensidad de tráfico en una carretera es baja, la distancia media entre vehículos es grande y el paso de ellos es prácticamente independiente del resto, con notables periodos de tiempo durante los cuales el ruido se mantiene constante o casi constante, en el nivel de fondo.

A medida que la intensidad de tráfico aumenta, la distancia media entre vehículos disminuye y cada vez se escucha menos el ruido de fondo. Cuando el tráfico es muy elevado el ruido es casi constante.

Para tráficos intermedios, hay un agrupamiento de vehículos, que hace que existan momentos durante los cuales el ruido de fondo no está generado por el tráfico de la carretera, mientras durante otros el nivel sonoro es superior al esperado, si no ocurriesen dichos agrupamientos. Esto es en gran parte debido al carácter aleatorio del tráfico, tanto en presencia de vehículos en un punto de la carretera como en la composición de los mismos. Esto hace que las variaciones del nivel sonoro sean aún mayores en estos casos.



Estas continuas variaciones del nivel con el tiempo son debidas a:

- El carácter aleatorio del tráfico en calles y carreteras.
- La existencia en el tráfico de vehículos con muy distintas características mecánicas y con distinta emisión de ruido.
- La distinta velocidad de los vehículos, directamente relacionada con la emisión sonora.
- La influencia de la forma de conducción.
- El estado de conservación del vehículo.
- La fluidez del tráfico.
- La pendiente de la carretera o autopista.
- Las condiciones de propagación sonora desde la vía de circulación al observador.
- El trazado de la carretera.
- Muchas de estas variables son, sin duda, las que determinan el ruido final ambiental.

2.4.4.1. Característica del ruido de tráfico rodado

Uno de los mayores problemas de contaminación acústica a escala mundial es el ruido de Tráfico rodado.

Desde un punto de vista del deterioro del ambiente asociado con los medios de transporte, un factor de real importancia en los últimos tiempos es el ruido de tráfico, tanto en el interior de los vehículos como en el exterior. Esta clase de ruido está presente en todos los espacios de una ciudad, ya sea por el empleo de transporte público o privado. Los grandes desplazamientos que requieren las concentraciones urbanas en una ciudad, acompañado del crecimiento desproporcionado, producen concentraciones del transporte colectivo en ciertos sectores de ella, determinando de esta forma sectores más contaminados que otros.

Los principales factores que determinan el ruido de tráfico rodado son: densidad, velocidad y número de vehículos que circulen por la vía. Generalmente la intensidad del ruido de Tráfico se incrementa por el aumento de vehículos pesados, el ruido de los vehículos es producto de una combinación de ruidos. El ruido de tráfico también sufre un aumento por el uso de bocinas, silenciadores u otros equipos defectuosos en los vehículos, por tanto, si existe un aumento de tráfico, éste implica un aumento de nivel de ruido. A continuación se muestran ejemplos de las distintas influencias del tráfico rodado en los niveles de ruido.

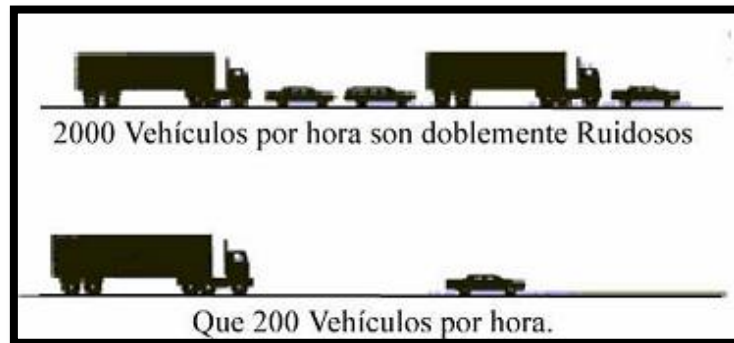


Fig. N°2.1. Alteraciones del ruido debido a la densidad de Tráfico Rodado

Fuente: FHWA Dep. Federal de Transporte. Ruido de Tráfico de Carreteras E.E.U.U. 2003



Fig. N°2.2. Influencia de vehículos pesados en los niveles de ruido.

Fuente: FHWA Dep. Federal de Transporte. Ruido de Tráfico de Carreteras E.E.U.U. 2003



Fig. N°2.3. Alteraciones del ruido producto de la velocidad

Fuente: FHWA Dep. Federal de Transporte. Ruido de Tráfico de Carreteras E.E.U.U. 2003

a). Principales Fuentes de Ruido en los Vehículos

Los sonidos se crean a partir de un objeto en movimiento, el movimiento causa las vibraciones u ondas de moléculas aéreas, tal como ondas en el agua. Cuando estas vibraciones son percibidas por nuestro oído, nuestro cerebro las representa como sonidos. El ruido en su definición más común es un sonido indeseado, Las principales fuentes de Ruido en los Vehículos son:

- Unidad propulsora (motor, toma de aire y escape).
- Ventilador.
- Transmisión (caja de cambios y ejes tractores).
- Rodadura y fuentes aerodinámicas
- Frenos y vibraciones (sistema amortiguador).

b). Características Acústicas de los Vehículos.

Los vehículos dependiendo de sus características se comportan de diferentes formas desde el punto de vista acústico, los vehículos pesados son generalmente más ruidosos que los vehículos livianos. Una de las principales diferencias entre estas dos clases de vehículos es que en su mayoría los pesados son Diesel y los livianos son a Gasolina.

Desde el punto de vista del ruido emitido, es la velocidad de giro de los motores, que por lo general es menor en el motor Diesel que en los de Gasolina, para igualdad de funciones. El ruido emitido en los motores Diesel tiene una mayor riqueza en frecuencias bajas. Además al ser mucho mayor el factor de compresión en los

motores Diesel, las fluctuaciones de presión en el cilindro son mayores, dando lugar a mayores niveles de ruido, debido tanto a fuentes de ruido en la combustión como el producido por fuentes mecánicas.

NIVELES REPRESENTATIVOS DEL RUIDO EMITIDO POR DISTINTOS TIPOS DE VEHÍCULOS EN CONDUCCIÓN NORMAL, A 7,5 M DE DISTANCIA. SEGÚN SEA.

| Tipo de Vehículo y Funcionamiento | Nivel de Presion Sonora |
|-------------------------------------|-------------------------|
| | L [dBA] |
| Motocicletas | 78,0 |
| Automoviles | |
| Motor Gasolina | 70,5 |
| Motor Diesel | 72,0 |
| Furgones | |
| Motor Gasolina | 72,5 |
| Motor Diesel | 75,0 |
| Autobuses | 80,0 |
| Arranque | 77,0 |
| Acelerando (Vel. 30-40 km/h.) | 82,5 |
| Velocidad entre 40-50 km/h. | 81,0 |
| Velocidad Crucero entre 50-80 km/h. | 84,0 |
| Camiones | |
| Potencia \leq 105 kW | 79,5 |
| Potencia \leq 150 kW | 82,5 |
| Potencia $>$ 150 kW | 85,0 |

*Tabla N°2.3. Niveles representativos de ruido emitidos por distintos tipos de vehículos
Fuente: FHWA Dep. Federal de Transporte. Ruido de Tráfico de Carreteras E.E.U.U. 2003*

C) Características de la Superficie de la Vía

La influencia de la superficie de rodadura es producida por dos aspectos principales; la pendiente y el tipo de superficie que ésta tenga. La Fig. N°5. Muestra la influencia de la pendiente en la calzada, ejemplificando se tiene, que con una pendiente del 12% el incremento aproximado del nivel de ruido es del orden de 4 dBA y para un porcentaje de vehículos pesados se encontraría una contribución de 5 dBA. con un 15 % de pendiente [SEA]. El aumento en los niveles de ruido es debido principalmente a la mayor fuerza que realiza el motor, existe un aumento en el consumo de combustible, y por ende un aumento en el gasto de energía, traduciéndose en un incremento de los niveles de ruido.

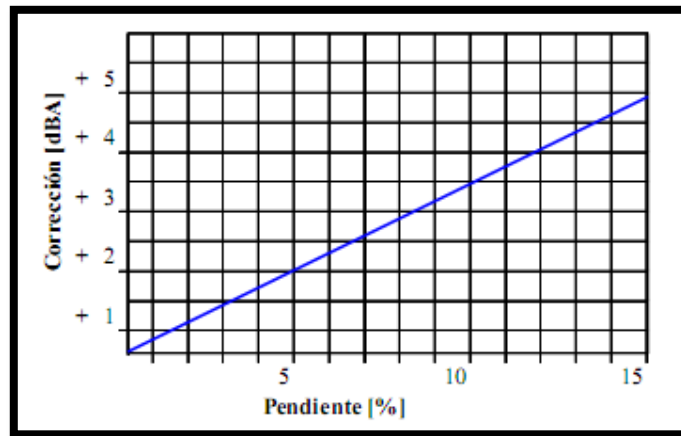


Gráfico N°2.1. Relación para el cálculo del efecto del gradiente en la vía.

Fuente: FHWA Dep. Federal de Transporte. Ruido de Tráfico de Carreteras E.E.U.U. 2003

En la superficie de la calzada la mayor influencia en los niveles de ruido es debido a la interacción del neumático con la calzada, los distintos dibujos en los neumáticos generan ruido aerodinámico. Además la superficie de la vía representa una contribución importante, ya que influye la composición que ésta tenga (adoquines, asfalto, concreto, etc.). Por ejemplo; una superficie de hormigón ranurado, es 3 dB (A) más ruidoso que el mismo pavimento ya desgastado, o que uno de asfalto.

En estudios recientes se están realizando investigaciones respecto de superficies porosas, especificando tanto la textura y la resistencia al desplazamiento.

De esta forma se pretende mejorar los métodos predictivos de los niveles de ruido producto del tráfico, disminuyendo así las variables involucradas en los niveles de ruido de tráfico rodado.

2.4.4.2. Factores que afectan a la generación del ruido de tráfico

Los niveles de ruido generados por el ruido de tráfico dependen en gran medida del tipo de:

- Flujo vehicular
- Velocidad media y porcentaje de vehículos pesados
- Gradiente de la carretera
- Superficie de la carretera



➤ **Flujo vehicular**

Para un amplio rango de flujo de tráfico, las variaciones de los niveles de ruido con el flujo vehicular, Q , pueden ser representadas por la relación logarítmica:

$$\boxed{L = C \log_{10} Q} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde: C es una constante.

Los modelos teóricos basados en los conceptos de fuente lineal y puntual, indican que el valor de la constante C debe tomar el valor 10. Con este valor, el incremento de nivel por cada vez que se dobla el flujo vehicular es de 3 dB(A).

➤ **Velocidad media y porcentaje de vehículos pesados**

Se distinguen dos regiones de velocidad:

- Bajo 50-60 km/h, donde las condiciones de flujo son interrumpidas.
- Sobre 50-60 km/h, donde la mayoría de los conductores está en condiciones de flujo libre.

Dentro de las zonas de menor velocidad hay evidencia que el nivel de ruido promedio es Independiente de la velocidad de tráfico.

En la región de flujo libre, la mayoría de los modelos de predicción han adoptado la siguiente expresión:

$$\boxed{L = B \log_{10} V} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde B es una constante. La forma logarítmica de esta expresión, se justifica porque la mayoría de las fuentes de ruido existentes en un vehículo tienen una relación logarítmica con la velocidad lineal o angular del motor.



➤ **Gradiente de la carretera**

Otro factor que incide en la emisión de niveles de ruido es el gradiente de la carretera. Johnson y Saunders, concluyeron que el efecto de gradiente depende especialmente del porcentaje de vehículos pesados. En sus estudios estimaron que existe un incremento de 4 dB(A) en los niveles de ruido para una condición de gradiente de 1 en 8.

➤ **Superficie de la carretera**

La textura de la superficie de la carretera afecta los niveles de ruido generados porque controla la interacción neumático calzada.

En la percepción del ruido neumático calzada existen dos acciones que influyen en la emisión:

a) Generación

a₁) Vibraciones radiales

Debidas a las irregularidades que presenta la superficie de rodamiento y al impacto del relieve del neumático sobre la calzada. Estas vibraciones al ser transmitidas por la suspensión del vehículo, generan fenómenos de resonancia en el interior y exterior del vehículo.

a₂) Mecanismos de resonancia de aire

Se producen mecanismos de resonancia en las cavidades presentes en la carretera y el neumático, debido a la compresión de aire que se almacena en éstas.

a₃) Mecanismos de adhesión

Debido a la adherencia en la secuencia contacto-separación que se produce entre el caucho y el pavimento. Este contacto entre las dos superficies genera las vibraciones tangenciales.



b) Propagación

b₁) El efecto Horn (bocina) o diedro

Este efecto resulta de la reflexión de las ondas sonoras que se producen entre el volumen curvado del neumático y el pavimento, delante y detrás de las zonas de contacto. Formando así algo parecido a una bocina que amplifica el sonido exponencialmente.

Aprovechando las características de absorción acústica de los pavimentos, en la propagación del ruido neumático - calzada se pueden controlar tres efectos:

- Reducción de la amplificación del efecto Horn y la absorción del ruido emitido por las fuentes mecánicas.
- Reducción de la reflexión de las ondas sonoras entre la parte inferior del vehículo y la capa de rodadura de la calzada.
- Absorción de ondas generadas por el ruido neumático-calzada y que se propagan en el espacio que hay entre la fuente y el receptor.

2.5. Mitigación del ruido.

Con el fin de alcanzar una mayor calidad acústica en las zonas cercanas a la autovía y el cumplimiento de la normativa de ruido, se hace necesaria la aplicación de medidas correctoras para mitigar el ruido, ya sea la aplicación de Pantallas Antirruído.

2.6. Importancia del control del ruido

Cualquier tipo de ruido debe ser tomado como un problema de gran importancia económica. Afecta enormemente la concentración, la comunicación y la salud auditiva.

En la pérdida de concentración se presenta un grave problema y es el error humano que desemboca en accidentes en consecuencias en la producción y la salud del afectado. En la comunicación por la fragmentación en la coordinación de las fuentes



de sonido y la vibración más usuales son el habla y los sonidos de actividades humanas normales como música sonidos y vibración de equipos mecánicos, tránsito vehicular, etc. Las características de esas fuentes son bien conocidas y fácilmente determinables, por tanto el proyectista se interesa principalmente en los medios de transmisión del sonido y la vibración como gases (aire), líquidos (agua aceite) y sólidos (materiales de construcción).

El control del ruido se realiza por medio de barreras acústicas y cerramientos, materiales acústicos absorbentes y otros materiales, estructuras y sistemas adecuadamente formados y ensamblados.

El control de las vibraciones se logra con diversos materiales y estructuras elásticas, así como por medio de materiales amortiguadores, la energía transportada por el aire y las estructuras.

2.7. Sonido

El sonido es un fenómeno producido por la vibración mecánica de un cuerpo que se propaga en un medio elástico y denso (habitualmente el aire) a una velocidad característica de ese medio y que es capaz de producir una sensación auditiva para el oído.

No todos los sonidos son iguales, diferenciándose por las distintas características de frecuencia, intensidad y tiempo.

Cuando hablamos de sonido es importante conocer sus propiedades físicas como la manera en que se produce y propaga, así como la forma en que se mide su intensidad.

A este aspecto dedicaremos los siguientes párrafos:

- El sonido puede ser propagado por cualquier medio: agua, aire o tierra. El más común es el aire. El sonido es producido por vibraciones de la fuente emisora. Las moléculas de aire se comprimen y se expanden alternativamente produciendo



una onda, identificada como onda sonora. La distancia entre dos compresiones se conoce como la longitud de onda. Ésta es determinada por la velocidad de la onda y la frecuencia (longitud de onda = velocidad de onda / frecuencia). La frecuencia de la onda es el número de vibraciones o ciclos que pasan por un punto durante una unidad de tiempo, y depende de varios factores tales como: la rapidez con la que cada partícula perturbe a la partícula adyacente, del medio en que se propague, así como de la elasticidad y la temperatura. La frecuencia es expresada en ciclos por segundo (cps) o hertz (Hz), siendo $1\text{Hz} = 1\text{ cps}$.

- El sonido se propaga en el aire como las ondas en el agua. En campo libre, al doblarse la distancia, la amplitud de la onda se reduce a la mitad, con lo que el nivel de presión sonora disminuye en 6 dB.
- Si hay un obstáculo en el camino del sonido, parte se absorbe, parte se refleja y parte se transmite. La cantidad que se absorbe, refleja y transmite depende de las características acústicas del objeto, de su tamaño y de la longitud de onda del sonido.
- En general, el objeto debe ser mayor de una longitud de onda para afectar al sonido de forma apreciable. Por ejemplo, 10 kHz la longitud de onda es de 3.4 cm, con lo cual un pequeño objeto puede perturbar el campo sonoro y con ello conseguir absorber el sonido. Pero, a 100 Hz, la longitud de onda es de 3.4 m. y el aislamiento es más difícil, esto se observa cuando tocan música en la habitación de al lado, el bajo es muy difícil de tapar. Luego, a mayor frecuencia, menor longitud de onda y resulta más fácil conseguir la absorción de dicho sonido.

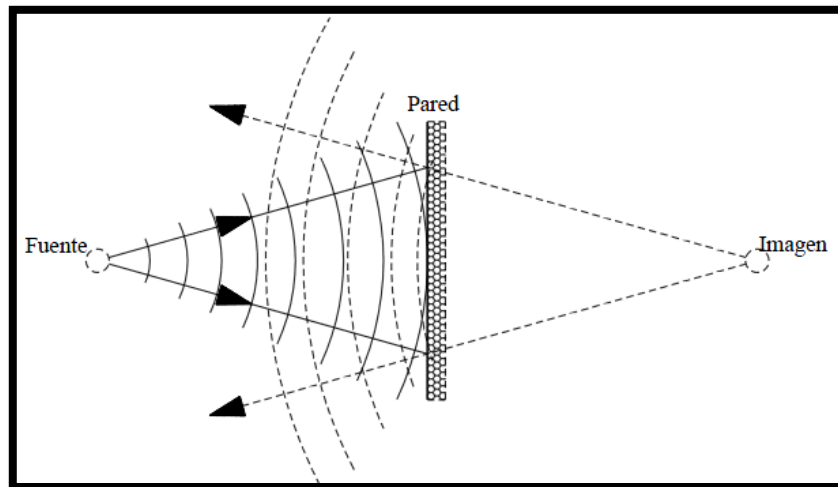


Figura N° 2.4 Reflexión de una onda en una superficie rígida
Fuente: Acústica. Medición del aislamiento acústico UNE-EN ISO. España.

De igual forma, si la superficie no es porosa y es perfectamente rígida, no hay pérdida de energía por la reflexión, de manera que la onda reflejada posee en mismo nivel de presión sonora en un punto determinado que el que produciría la fuente imagen si el muro se retirara y tuviera la misma potencia sonora que la fuente real.

Por supuesto, no existe ninguna superficie física que se comporte como un reflector perfecto, parte de la energía es absorbida.

La intensidad de un sonido es definido como el flujo de energía por unidad de área. Ésta se mide por lo general en decibelios, el decibelio no es una unidad de medida constante como el centímetro o la pulgada, sino que es una escala logarítmica. “Tan sensible es el oído humano que puede percibir una amplia gama de presiones de sonido con un espectro de muchos millones de unidades de presión. Esta gama ha sido comprimida a una escala más manejable de 0 a 140 decibelios. Una característica importante del sistema de decibelios es que, aunque éste comienza en 0 decibelios, ese valor no representa la ausencia de sonido, sino el sonido menos intenso que puede percibir el oído humano.

Los decibelios se miden con una escala del nivel de sonido. Aunque existen varias escalas, la de uso común es la escala de ponderación A ya que es la más que se



aproxima a lo que el oído humano percibe. Los decibelios en esta escala se escriben dB.

2.7.1. Características físicas del sonido

Algunas características del ruido expuestas por la Comisión Nacional del Medio Ambiente y el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA) son:

- Es el contaminante más barato de producir.
- Es complejo de medir y cuantificar.
- No deja residuos (no tiene un efecto acumulativo en el medio, pero sí puede tener un efecto acumulativo en el hombre).
- Es uno de los contaminantes que requiere menos cantidad de energía para ser producido.
- Tiene un radio de acción pequeño, vale decir, es localizado.
- No es susceptible grandes traslados a través de los sistemas naturales, como por ejemplo, el aire contaminado llevado por el viento, o un residuo líquido cuando es trasladado por un río por grandes distancias.
- Se percibe sólo por un sentido: el oído. Esto hace subestimar su efecto, a diferencia de otros contaminantes como en el caso del agua, por ejemplo, donde la contaminación se puede percibir por su aspecto, olor y sabor.
- Características objetivas (parámetros físicos) Intensidad, frecuencia, duración, variabilidad, etc.
- Características subjetivas (apreciación). Por parte del sujeto: biológicas, psicológicas, culturales, costumbres, calidad de vida. Relacionado con el ambiente: depende de la zona donde se encuentra el afectado. Según la actividad que realice: sueño, deporte, concentración.

2.7.1.1. Frecuencia

El número de desplazamientos u oscilaciones que una partícula realiza en un segundo, se llama frecuencia. Cada desplazamiento completo se llama ciclo. La unidad de frecuencia es el Hertz (Hz) que, numéricamente es igual a un ciclo por Segundo (cps). La frecuencia es un fenómeno físico objetivo que se puede medir por instrumentos acústicos.

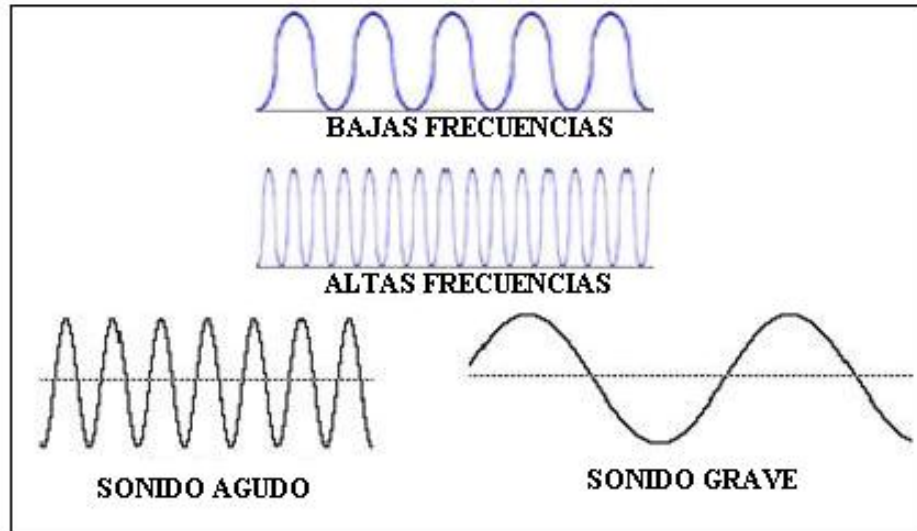


Fig. N° 2.5. Frecuencias

Fuente: Física teoría y problemas J. Jaime Gomes Flores Edición 2007

| FRECUENCIA | SONIDO | VIBRACIÓN |
|------------|--------|-----------|
| BAJA | Grave | Lenta |
| ALTA | Agudo | Rápida |

2.7.1.2. Amplitud de onda

Amplitud es una medida de variación maximizada del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódicamente.

Amplitud de onda es una perturbación física que se propaga en el espacio como una onda armónica.

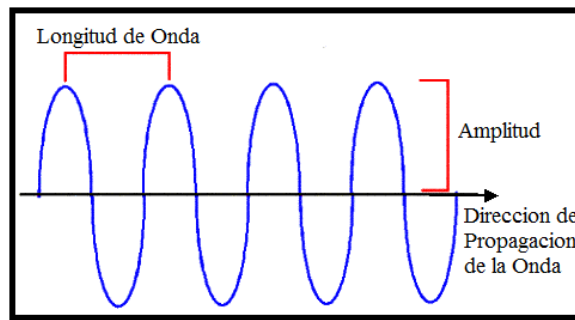


Fig. N° 2.6. Longitud de onda

Fuente: Física teoría y problemas J. Jaime Gomes Flores Edición 2007

2.7.1.3. Intensidad

Es la cualidad que nos permite distinguir entre sonidos fuertes o débiles. La podemos definir como la fuerza con la que se produce un sonido. Además de la amplitud en la percepción de la intensidad, influye la distancia a que se encuentra situado el foco sonoro del oyente y la capacidad auditiva de este.

2.7.2. Unidades de medida del sonido

2.7.2.1. Nivel de intensidad (NI) en dB

La intensidad sonora I , se define como la magnitud de energía por unidad de tiempo transmitida por una onda por unidad de superficie.

El nivel de intensidad sonora se define normalmente por IL . Esta se fórmula como:

$$IL = 10 \log \frac{D}{D_0} = 10 \log \frac{4\pi I}{4\pi I_0} = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ g} \quad \text{Ec 2.3}$$

$$IL = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log I - 10 \log I_0 \quad \text{Ec 2.4}$$

DONDE:

IL = Nivel de intensidad sonora (dB).

I = Intensidad media $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$

I_0 = Intensidad de referencia = $10^{-12} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$. Para el aire.

D = Densidad de energía $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$.

D_0 = Densidad de referencia $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$.

$IL = NIS = L_I = 10 \log I + 120 \text{ dB}$



2.7.2.2. Nivel de presión sonora (NPS) en dB

Se conoce por presión sonora a aquellas fluctuaciones de presión atmosférica (presión el aire sobre la superficie terrestre) que se encuentran sobre y bajo el valor estático que se presenta al propagarse una onda sonora.

Cuando estas ondas sonoras llegan al oído ejercen sobre una presión que no es igual para toda la longitud de onda. El valor mínimo de presión sonora que una persona adulta puede percibir es aproximadamente de [Pa] ó [N/m²].

Para la obtención de los niveles de presión sonora se utiliza una escala logarítmica, debido al amplio rango de esta. El nivel de presión sonora **NPS** se define como:

$$\text{NPS} = 20 \text{Log}_{10} \frac{P_{ef}}{P_{ref}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

DONDE:

P_{ref} = Presión de referencia = $2 * 10^{-5}$ (Pa).

P_{ef} = Presión eficaz (Pa).

NPS = Nivel de presión sonora (dB).

2.7.2.3. Nivel de potencia sonora

Se entiende por potencia sonora a la cantidad de energía emitida por una fuente determinada por unidad de tiempo; su unidad es el Watts.

La potencia sonora es un valor intrínseco de la fuente siendo este igual en todos los espacios físicos en que se encuentre y a su vez está relacionada directamente con la intensidad sonora, por la expresión:

$$W = I * 4\pi r^2 \quad \text{Ec. 2.6}$$

DONDE:

W = Potencia sonora

r = Distancia con respecto a la fuente

El nivel de potencia sonora describe la forma en que es percibida la potencia acústica, y se define normalmente como NWS ó. Su expresión se formula por:

$$\overline{\text{NWS}} = 10 \log \left(\frac{D}{D_0} \right) = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad \text{Ec. 2.7}$$

DONDE:

W = Nivel de potencia sonora en la fuente (W).

W_0 = Potencia umbral de audición = 10^{-12} (W).

NWS = Nivel de potencia sonora (dB).

D = Densidad de energía $\left(\frac{Kg}{m^3} \right)$.

D_0 = MDensidad de referencia $\left(\frac{Kg}{m^3} \right)$.

2.7.3. Cualidades del sonido.

2.7.3.1. Atenuación del sonido.

Es la reducción de nivel de una señal, cuando pasa a través de un elemento de un circuito, o la reducción en nivel de la energía de vibración, cuando pasa a través de una estructura. La atenuación se mide en Decibels, pero también se puede medir en porcentajes. Por lo general, la atenuación depende de la frecuencia como podemos ver en la figura 1.6, eso es la cantidad de atenuación varía en función de la frecuencia. La atenuación de la energía de vibración en estructuras mecánicas generalmente se aumenta si la frecuencia sube, pero puede ser una función muy compleja de la frecuencia.

2.7.3.2. Reverberación del sonido.

Se define como la persistencia del sonido tras la extinción de la fuente sonora debido a las múltiples ondas reflejadas que continúan llegando al oído. Es la continua vuelta del sonido causada por efectos de acústica ambiental.

El sonido producido en una habitación normal se ve algo modificado por las reverberaciones debidas a las paredes y los muebles; por esta razón, un estudio de radio o televisión debe tener un grado de reverberación moderado para conseguir una reproducción natural del sonido siendo representado como se muestra en la figura 1.8.



Para lograr las mejores cualidades acústicas, las salas deben diseñarse de forma que reflejen el sonido lo suficiente para proporcionar una calidad natural, sin que introduzcan una reverberación excesiva en ninguna frecuencia, sin que provoquen ecos no naturales en determinadas frecuencias y sin que produzcan interferencias o distorsiones no deseables. La reverberación determina la buena acústica de un ambiente. Su eliminación se logra recubriendo las paredes de materiales, como corcho o moqueta etc., que absorben las ondas sonoras e impiden la reflexión.

2.17.3.3. Absorción del sonido.

La propagación del sonido no se realiza nunca sin pérdidas, sino que está supeditada siempre a una mayor o menor amortiguación; es decir, la presión o la velocidad disminuyen al aumentar la distancia al foco sonoro. Parte de la energía se convierte en calor cuando viaja a través del medio (hablaré del aire por ser el más habitual). Existen diferentes causas que dependen de la humedad relativa del medio, la frecuencia y, en menor medida, la temperatura.

Los sonidos de alta frecuencia son amortiguados en mayor medida que los de baja frecuencia. En este gráfico podemos ver cómo influye la humedad relativa en la amortiguación, para diferentes frecuencias. El máximo de amortiguación se obtiene para un aire muy seco.

Se conoce por absorción al fenómeno debido al cual una parte de la energía sonora que incide sobre una superficie es absorbida y transformada en otra forma de energía, principalmente calorífica.

Hay tres tipos básicos de materiales absorbentes, los absorbentes disipativos, los de membrana resonante y los resonadores múltiples. Entraremos a analizar más profundamente sólo los primeros, aunque la siguiente figura nos dé una idea de sus distintos comportamientos.

Los materiales con poros abiertos o materiales fibrosos son materiales que presentan multitud de pequeñas cámaras de aire o poros que se comunican entre sí. Las ondas



sonoras incidentes penetran fácilmente y se propagan entre estos intersticios. El aire contenido en el material es puesto en movimiento, y una parte de la energía acústica se transforma en calor por el rozamiento del aire sobre las paredes sólidas.

Para que el rozamiento se realice es necesario que la longitud de onda del sonido sea del orden de tamaño de los poros, ya que sólo en este caso la perturbación motivará la fricción del aire en las paredes de los poros. De ello se deduce que a más alta frecuencia, mayor absorción.

2.7.4. Velocidad del sonido

La velocidad del sonido depende de las características del medio, así el sonido se propaga a diferentes velocidades según el medio que transmita la vibración. En general, la velocidad es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos es mayor que en los gases.

La velocidad del sonido en el aire a una temperatura de 20 °C, es de 340 m/s, lo que equivale a unos 1224 Km/h.

2.7.5. Control del sonido y la vibración

2.7.5.1. Factores acústicos

Para la implementación del control de ruido en los edificios, se requiere conocer el comportamiento de diversos productos, materiales y sistemas acústicos que ayudarán en el proceso de diseño. Así mismo es posible que sea necesario efectuar diversos procedimientos de medición y prueba para determinar el comportamiento efectivo de dichos elementos ó si los resultados son realmente los esperados.

Para el caso de las mediciones que se lleven a cabo, éstas se analizarán dentro del espectro de bandas de 1/3 de octavas desde los 100 Hz hasta los 4000 Hz, siendo en ocasiones necesario bajar hasta los 31 Hz y subir hasta los 15000 Hz.

Dos son las propiedades de los elementos de construcción que debemos tomar en cuenta principalmente: la absorción sonora y la pérdida de transmisión sonora. En el



caso de la maquinaria y los equipos en los edificios, la potencia sonora es el factor importante.

2.7.5.2. Análisis acústico.

La mayoría de los sonidos (habla, música y ruido), contienen una multitud de frecuencias: componentes bajas, medias y altas. Por tal motivo los problemas acústicos son examinados a través de cierto intervalo de frecuencias audibles, llamado análisis espectral. A este espectro se le denomina “espectro de bandas de octavas”, que al igual que en música, está formada por bandas que difieren entre sí por un factor de dos. Para mediciones de mayor precisión, este espectro se divide en “tercios de octava”, es decir, las bandas de octava se dividen por tres.

Un análisis en espectro de banda de tercios de octava para un ruido particular, provee ciertamente de mucha información, pero para algunas personas esto no es tan necesario y en estos casos lo mejor es contar con una clasificación simplificada que de como resultado un solo número. Un modo de obtener un solo número al describir un ruido complejo, es utilizando diversas escalas de evaluación subjetiva, conocidas como curvas de compensación A, B, C y D. Donde la curva A es la de mayor uso.

La respuesta del micrófono de un sonómetro puede ser alterada por medio de un filtro de compensación de nivel A, de tal manera que represente lo más cercano posible la respuesta del oído humano. Los niveles de presión sonora resultantes en este caso se expresan como un número seguido del símbolo dB. De esta manera se consigue obtener un número que evalúa de manera global todo un espectro de frecuencias acústicas, aunque debemos tomar en cuenta que niveles idénticos en dB, pueden tener espectros muy distintos entre sí y pueden evocar respuestas diferentes.

El oído humano no es igualmente sensible a todas las frecuencias. Sonidos del mismo nivel pero con frecuencias diferentes no se perciben igualmente. Un sonido en 3 kHz en un nivel de 54 dB, por ejemplo, sonará tan intenso como un sonido de 50 Hz en un nivel de 79 dB.

2.8. Decibel dB

Unidad física aplicada para medir las diferencias de intensidad sonora. Es una unidad audiométrica que expresa la proporción en una escala logarítmica en que la intensidad de un sonido es mayor ó menor que la de otro. En otras palabras, el decibel, es una unidad logarítmica de medida, se usa para comparar una cantidad con otra llamada de referencia. Normalmente el valor tomado como referencia es el menor valor de la cantidad ó un valor promedio aproximado.

En acústica se utiliza para comparar la presión sonora, en el aire, con una presión de referencia. Este nivel de referencia, es una aproximación a la presión mínimo que hace que nuestro oído sea capaz de percibirlo. El nivel de referencia varía lógicamente según el tipo de medida que estemos realizando. No es el mismo nivel de referencia para la presión acústica, que para la intensidad acústica ó para la potencia acústica.

➤ Nivel de Referencia para la Presión Acústica (en el aire) = $0.00002 = 2E-5Pa$ (r.m.s.)

➤ Nivel de Referencia para la Intensidad acústica (en el aire) = $0.0000000001 = 1E-12 w/m^2$

2.9. Medición del ruido

Existe una amplia gama de aparatos de medición de ruido. La elección del equipo de medición en cada caso dependerá de los datos que se deseen obtener, así como del tipo de ruido que se pretende medir.

Entre los equipos más utilizados están:

2.9.1. El sonómetro

Es una herramienta primordial y básica a la hora de estudiar los ruidos. La medición del ruido, determinar sus niveles, es el primer paso en la identificación de aquellos sonidos, que por sus intensidades pueden ser perjudiciales para la salud.

Los instrumentos de medida abarcan una gran variedad de modelos, desde los más simples a los más complejos.

En líneas generales, un sonómetro es un instrumento compuesto por un micrófono, un Pre-amplificador, filtros de ponderación de frecuencias, un Detector Integrador, Ponderación temporal, Indicador analógico digital.

- **Micrófono:** Transductor de presión sonora a una señal eléctrica equivalente.
- **Pre-amplificador:** Transformador de alta a baja impedancia de la señal.
- **Filtros de ponderación de frecuencia:** Permiten asemejar el registro de medición en función de la respuesta del oído humano.
- **Detector Integrador:** Conversor de señal alterna en continua.
- **Ponderación temporal:** Define la constante de tiempo en los registros definiendo la velocidad de respuesta en la medición como respuesta rápida o lenta con respecto a las variaciones de presión sonora.
- **Indicador analógico digital:** Permite visualizar las mediciones y manipular las configuraciones presentes en el instrumento.

Descripción del medidor

1. Pantalla LCD
2. Micrófono
3. Tecla ON/OFF
4. Tecla REC (Registrar)
5. Tecla MAXHLD (Retención de máximos)
6. Tecla selección ponderación C/A
7. Tecla BA (Absorción de fondo)
8. Tecla F/S selección de respuesta Rápida / Lenta
9. ABAJO
10. Tecla retroiluminación (LCD)
11. ARRIBA
12. Enchufe adaptador CA
13. Tornillo ajuste de calibración
14. Enchufe salida análoga CA
15. Enchufe de salida análoga CD
16. Enchufe de salida RS-232

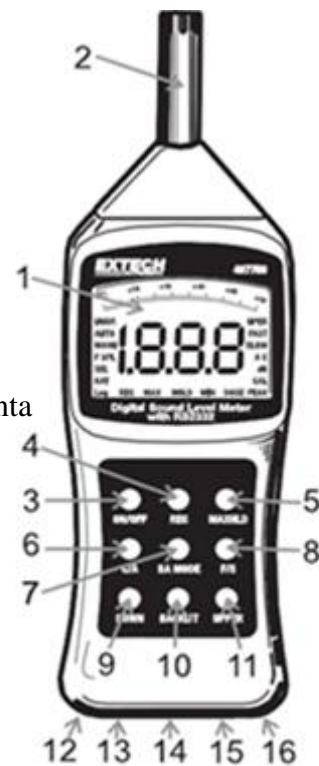


Figura N° 2.7 Sonómetro

Fuente: Manual EXTECH Modelo 407750



Básicamente es como un oído electromecánico, el cual oye y registra lo oído en términos de decibelios, y fue diseñado para apreciar además las diferencias de intensidades para diferentes frecuencias, al igual que el oído humano. Una vez que el sonido es recogido por el micrófono se genera una pequeña carga eléctrica que es proporcional a la presión de sonido que registra.

El micrófono de un sonómetro es una pieza fundamental. Existen diferentes tipos de ellos según sus características de construcción, materiales, de todos los existentes son los micrófonos piezoeléctricos y los condensadores los más utilizados. Estos últimos se caracterizan por una mayor precisión, más alta calidad, y mayor sensibilidad que los piezoeléctricos.

Los sonómetros en general presentan tres o cuatro escalas diferentes, las más usadas son las llamadas escalas A, B y C.

- La escala A fue diseñada para aproximarse lo más posible a la respuesta del oído humano ante niveles bajos de presión sonora, es la escala indicada para el estudio de las frecuencias sonoras que más afectan a la audición humana.
- La escala C responde de manera similar a como lo hace el oído ante elevados niveles de presión sonora.
- La escala B se corresponde con valores intermedios entre las dos anteriores.

2.9.2. Sonómetros integradores.

Estos equipos son similares a los anteriores, pero poseen una función más, que es la de integrar el ruido que llega al aparato, y promediar los resultados puntuales obteniendo un valor llamado nivel continuo equivalente, que es el valor promedio del nivel sonoro que existe durante todo el período de medición.

2.9.3. Dosímetros.

Es un monitor de exposición que acumula el ruido constantemente. Son similares a los sonómetros en cuanto a que están compuestos de un micrófono registrador, filtros



de frecuencias, etc. Su diferencia y utilidad radica en que calculan y registran la dosis de ruido acumulada en un determinado período de tiempo.

Estas unidades son portátiles, lo que nos permiten que sean trasladadas por los trabajadores o las personas que deseemos estudiar, de tal manera que pueden desplazarse normalmente en sus lugares de trabajo donde se registran las fluctuaciones de ruido a las que están sometidos.

2.9.4. Analizadores de frecuencias.

Son equipos de tipo sonómetro dotados de unos filtros que permiten separar las distintas frecuencias que lo componen en bandas; las más típicas son las bandas de octava y de 1/3 de octava.

2.9.5. Medidores de impacto.

Vienen normalmente incorporados en el sonómetro bastando para su utilización seleccionar la respuesta adecuada.

Los equipos usados en la medición pueden ser:

- Sonómetros: cuando el ruido es estable.
- Sonómetros integradores promediadores.
- Dosímetros.

En todos los casos se exige que los equipos utilizados cumplan las normas, teniendo que ser como mínimo del tipo 2, y mejor si lo son del tipo 1.

El estudio de los niveles de ruido y su medición requiere un entrenamiento previo en el manejo de todos estos aparatos de medida y en el cumplimiento de una serie de premisas para evitar la interferencia de ruidos producidos por nosotros mismos, el viento sobre la membrana del micrófono, la incorrecta dirección al elegir el origen de la fuente sonora, de todo lo cual dependerá la precisión de nuestras determinaciones.



En general, para cualquier límite práctico de la exposición al ruido, la mayoría de los trabajadores sufrirían cierta pérdida auditiva en las frecuencias altas hacia fines de su vida laboral y otros presentarían un grado incapacitante de afección auditiva. Una regla común es que cuando los trabajadores están expuestos a un ruido continuo de 80 dB de intensidad, 8 horas al día durante 10-20 años, tienen una probabilidad cero de desarrollar hipoacusia por ruido. La probabilidad aumenta hasta alrededor del 50 % cuando los niveles alcanzan los 95 dB; y a 105 dB se alcanza casi un 100% de afectación.

2.10. Pérdida de Transmisión Sonora.

Este concepto está relacionado directamente con el aislamiento acústico.

Cuando las ondas de sonido alcanzan una cara de un elemento (muro o división), la presión sonora genera vibraciones que son transferidas al elemento, donde toda o parte de esta energía de vibración, dependiendo del tipo de construcción y los materiales, se transmitirá a la cara opuesta donde se radiará como sonido.

La diferencia que existe entre la potencia sonora incidente sobre la cara que recibe en el recinto fuente y la radiada al segundo recinto o recinto receptor, en decibeles, se llama pérdida de transmisión sonora TL (Transmisión loss). En tanto la pérdida de transmisión sonora sea mayor en dB, menor será la cantidad de energía sonora que pasa a través del elemento.

La pérdida de transmisión sonora de un elemento aumenta generalmente con la frecuencia del sonido incidente y también varía con la dirección de las ondas del sonido. La diferencia en el promedio del nivel de presión sonora entre dos recintos se llama reducción de ruido.

2.11. Aislamiento acústico.

Con el progreso tecnológico, el entorno se ha poblado de ruidos que nos impiden escuchar adecuadamente, concentrarnos o incluso descansar. En la actualidad, el uso



de estructuras alivianadas ayuda a controlar los ruidos ambientales absorbiendo y aislándolos al mismo tiempo.

El aislamiento acústico se refiere al conjunto de materiales, técnicas y tecnologías desarrolladas para aislar o atenuar el nivel sonoro en un determinado espacio.

2.11.1. Principio de aislamiento.

Aislar supone impedir que un sonido penetre en un medio, o que salga de él. Por ello para aislar se usan materiales absorbentes y aislantes. Al incidir la onda acústica sobre un elemento constructivo, una parte de la energía se refleja, se absorbe y otra se transmite al otro lado.

- **Factor másico.-** El aislamiento acústico se consigue principalmente por la masa de los elementos constructivos: a mayor masa, mayor resistencia opone al choque de la onda sonora y mayor es la atenuación. Por esta razón, no conviene hablar de aislantes acústicos específicos, puesto que son los materiales normales y no como ocurre con el aislamiento térmico.

- **Factor multicapa.-** Cuando se trata de elementos constructivos constituidos por varias capas, una disposición adecuada de ellas puede mejorar el aislamiento acústico hasta niveles superiores a los que la suma del aislamiento individual de cada capa, pudiera alcanzar. Cada elemento o capa tiene una frecuencia de resonancia que depende del material que lo compone y de su espesor. Si el sonido (o ruido) que llega al elemento tiene esa frecuencia producirá la resonancia y al vibrar el elemento, el sonido se sumará al transmitido. Por ello, si se disponen dos capas del mismo material y distinto espesor, que por lo tanto tendrán distinta frecuencia de resonancia, la frecuencia que deje pasar en exceso la primera capa, será absorbida por la segunda.



- **Factor de disipación.-** También mejora el aislamiento si se dispone entre las dos capas un material absorbente. Estos materiales suelen ser de poca densidad y con gran cantidad de poros y se colocan normalmente siendo estos buenos aislantes térmicos. Así, un material absorbente colocado en el espacio cerrado entre dos tabiques paralelos mejora el aislamiento que ofrecerá dichos tabiques por sí solos.

La reflexión del sonido puede atenuarse también colocando una capa de material absorbente en los paramentos de los elementos constructivos, aunque estas técnicas pertenecen más propiamente al ámbito de la acústica.

2.11.2. Medida de aislamiento.

El aislamiento acústico total de un recinto se determina mediante el aislamiento acústico de todos los límites y depende tanto del nivel de ruido existente en el exterior del recinto como del nivel de ruido máximo admisible en el interior del recinto.

El índice del aislamiento acústico se define como la capacidad de un elemento constructivo de reducir la intensidad acústica de un ruido que se propaga a su vez: (dB)

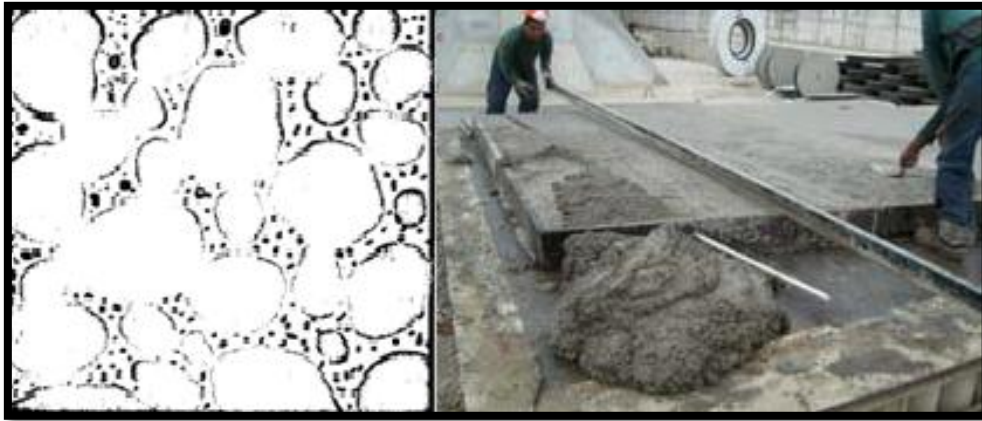
$$\overline{R = LP_1 - LP_2} \quad Ec. \quad 2.8$$

Siendo Lp_1 y Lp_2 los niveles de presión acústica en el emisor y R el receptor respectivamente. La energía acústica transmitida a través de una pared es la diferencia entre el nivel de presión acústica del sonido incidente y el aislamiento acústico del material.

2.12. Hormigón ligero

Los hormigones livianos son el producto de una moderna tendencia destinada a lograr materiales de construcción que reúnan las características de ligereza, aislamiento y economía, conservando las propiedades de un hormigón ordinario.

HORMIGON LIGERO



*Figura N°2.8. Enrasa-miento y alisado final del panelKOSMATKA”
Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto Ligero”*

Existe una innumerable gama de hormigones livianos, que por lo general, se diferencian entre sí solamente por los materiales utilizados en su elaboración, teniendo solamente en común la utilización de cemento y agua.

Para cualquier agregado liviano, la investigación de sus características físicas, la adición de aditivos químicos dosificación en el laboratorio, la metodología para efectuar la mezcla y el tipo de curado, es primordial.

Además se debe tener suficiente y apropiados resultados de las cualidades del hormigón resultante, es importante considerar que también va a influir los diferentes procesos que intervinieron en la fabricación del agregado y la temperatura a la que se le sometió esto es en el caso exclusivo para los agregados livianos artificiales.

Sus aplicaciones son múltiples. Se los utiliza como hormigones aislantes en: contrapisos, rellenos de losas bandejas, paneles livianos aislantes autoportantes y no portantes, bloques o ladrillos huecos, sub-bases anticongelantes para pavimentos rígidos flexibles y como sustituto del balasto en vías férreas, encofrados perdidos, etc.



*Figura N° 2.9. Aplicación del Hormigón Ligero
Fuente: Internet*

El hormigón ligero se puede aplicar en diferentes materiales de construcción ya sea postes para alambrado, placas o paneles, bloques en diferentes medidas, paredes frontales y lozas, etc.

**2.12.1. Graduación de mezclas de concreto de peso ligero**

Los requisitos de graduación para los agregados en concreto de peso ligero para el concreto estructural se dan en la tabla.

**REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA LOS AGREGADOS EN
CONCRETOS LIGEROS (ASTM) C-330**

| Designación del tamaño | Porcentajes (por peso) que pasan los tamices de aberturas cuadradas | | | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | 1 plg (25 mm) | 3/4 plg 19 mm | 1/2 plg 12.5 mm | 3/8 plg 9.5 mm | No 4 4.75 mm | No. 8 2.36 mm | No. 16 1.18 mm | No. 50 300 µm | No 100 1.5µm |
| Agregado fino | | | | | | | | | |
| No 4 a 0 | ----- | ----- | ----- | 100 | 85 - 100 | ----- | 40 - 80 | 10-35 | 5 - 10 |
| Agregado grueso | | | | | | | | | |
| 1 plg a No 4 | 95- 100 | ----- | 25 - 60 | ----- | 0 - 10 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3/4 plg a No 4 | 100 | 90 - 100 | ----- | | 0 - 15 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1/2 plg a No 4 | ----- | 100 | 90 - 100 | | 0 - 20 | 0 - 10 | ----- | ----- | ----- |
| 3/8 plg a No 4 | ----- | ----- | 100 | 80 - 100 | 5 - 40 | 0 - 20 | 0 - 10 | ----- | ----- |
| Agregado grueso y fino combinados | | | | | | | | | |
| 1/2 plg a 0 | ----- | 100 | 95 - 100 | ----- | 50 - 80 | ----- | ----- | 5 - 20 | 2 - 15 |
| 3/8 plg a 0 | ----- | ----- | 100 | 90- 100 | 65 - 90 | 35 - 65 | ----- | 10 - 25 | 5 - 15 |

Tabla N° 2.4. Requisitos de graduación para los agregados en concreto ligeros estructurales ASTM-C-330

Fuente: http://cement.org/basics/concretebasics_concretebasics.asp

2.13. Solución al problema del ruido

2.13.1. Barreras acústicas o pantallas.

Las pantallas o barreras acústicas instaladas en las proximidades de las vías de circulación con elevados niveles de ruido, constituyen el medio más eficaz y extendido para la disminución de las afecciones que el ruido intrínseco a estas fuentes producen en su entorno. Pero, la disposición de nuevos elementos en el entorno de una carretera genera una serie de efectos añadidos, tanto sobre el paisaje en sí mismo como sobre las personas que lo perciben. Es decir, una pantalla acústica puede ser considerada como una medida correctora del impacto sonoro, pero su construcción introduce nuevos impactos sobre el medio ambiente.

Se entiende que una barrera o pantalla acústica es un obstáculo que, por su situación y/o características, protege del ruido proveniente de una fuente sonora a un determinado receptor, dificultando de alguna manera la transmisión del sonido a su través. Usando, entonces esta definición en el término “barrera antirruído” quedan incluidas: las pantallas vegetales, los diques de tierra y las pantallas acústicas.

Son muros o barreras constituidas por elementos de pared relativamente delgada, verticales o inclinados, que presentan distinto grado de absorción acústica y que ofrecen gran resistencia a la transmisión del sonido a su través. Además por razones de seguridad y durabilidad los materiales y elementos de una pantalla antirruído deben ofrecer gran resistencia a los agentes climatológicos y a determinados agentes externos.

Pueden, por estos motivos, adoptar diferentes formas y estar fabricadas con diversos materiales, como puede observarse en la Figura 2.10 Para frenar el impacto perjudicial que la contaminación acústica produce en la población, en la actualidad se dispone de una amplia variedad de pantallas acústicas para reducir dicho impacto.



Figura N° 2.10. Distintos tipos de pantallas acústicas

Fuentes: www.vanguard.es/.../pics/137021b892.jpg www.panrodo.com/imagenes/

2.13.2. Tipos de Pantallas Antirruído

Existen muchas variantes de apantallamientos, plantaciones vegetales, pantallas acústicas propiamente dichas, etc.

Según el material utilizado, podemos clasificarlas como:

a) Pantallas de hormigón

El hormigón es un elemento tradicionalmente presente en todas las obras civiles, por lo que se conocen bien sus procesos de fabricación y comportamiento resistente. Desde el

punto acústico, ha sido ampliamente utilizado para la fabricación de pantallas reflectantes. Estas pantallas se adaptan perfectamente a las necesidades de cada proyecto debido a la amplia variedad de formas, dimensiones y colores, lo que permite obtener buenas soluciones desde el punto de vista estético. Se pueden fabricar en diferentes medidas, adaptándose a las necesidades paisajísticas de cada zona, aunque la medida estándar es de 3,96 m. de longitud y 2,40 m. de altura.

Son resistentes al fuego, al impacto, a las heladas y al salitre, requiriendo muy poco mantenimiento (ver Figura 2.11).



Figura 2.11. Pantallas de hormigón
Fuente: www.nortenh.com/images/familias

Este tipo de pantallas antirruído constan de una placa matriz de hormigón estructural y otra de hormigón poroso de alta calidad absorbente. Esta capa de hormigón poroso está dispuesta en una sección especial, optimizando la superficie de contacto. De esta manera, la onda sonora se introduce por los intersticios y se disipa en forma de calor por efecto del rozamiento.

Características

- Los paneles resisten perfectamente las heladas, la humedad e incluso el fuego.
- Las barreras pueden ser cubiertas por vegetación sin ninguna medida especial, ya que el tratamiento mineralizante de la madera lo hace imputrescible e inalterable.
- Las pantallas son resistentes, al impacto, al moho, a los hongos, a las termitas y al salitre, requiriendo muy poco mantenimiento.
- Su textura rugosa y su dureza hace difícil la pintura de grafitis y permite resistir los actos vandálicos.
- Los paneles son sólidos y ligeros, por lo que resulta muy fácil su montaje. Una vez instaladas los postes de encaje, el ensamble se realiza de forma rápida y sencilla con la ayuda de una grúa. El sistema de fijación permite la sustitución de un elemento en caso de su deterioro.



- Existen paneles especiales para la formación de curvas en caso de ser necesario.
- En el panel se pueden integrar otros elementos como salidas de emergencia, reflectores, huecos acristalados, o cualquier elemento utilizado en construcción.
- Los paneles están compuestos de hormigón y conglomerado de madera y cemento todas las materias primas componentes naturales, y no contaminantes.
- La barrera puede fabricarse con distintos acabados, siendo el acabado estándar en rojizo. También se pueden solicitar otros colores y texturas de acabado.

Ventajas

- Buen aislamiento
- Fácil mantenimiento
- Gran durabilidad

Precauciones ante su prescripción

- Analizar efecto de las reflexiones sonoras (en general son
- Reflectantes o de baja absorción)
- Analizar peligro por impacto de vehículos (mucha rigidez) y
- Riesgo de caída de la pantalla (materiales muy pesados)
- Analizar riesgos por obstaculización de la visión

Uso habitual

- Zonas de gran estabilidad de suelo-cimentación
- Requerimiento de gran durabilidad (>20 años)

- **Pantallas metálicas**

Las pantallas metálicas fonoabsorbentes aportan capacidad de absorción por su pared perforada y aislamiento acústico a través de su espesor. Se componen de paneles fonoabsorbentes tipo sandwich con carcasa metálica en acero galvanizado o aluminio que presenta multitud de perforaciones en una de sus caras y un núcleo absorbente de lana mineral.



Figura 2.12. Pantallas metálicas

Fuente: www.stopson.com/images/imgsprod/antiruido.jpg

Las pantallas metálicas reflectantes más habituales están constituidas por cajones metálicos de paredes delgadas con una lámina de aire en su interior de 10-15 cm de espesor. A los paramentos de las pantallas se les somete a un tratamiento anticorrosión con objeto de que resistan el ataque de los agentes corrosivos de la intemperie.

Los paneles modulares tienen la doble función de aislamiento y absorción acústica y están constituidos por los siguientes elementos:

- **Carcasa:** realizada con chapa plegada, de acero o de aleación de aluminio de alta resistencia, con acabado pintado. Confiere al módulo su capacidad de aislamiento acústico.
- **Placa o material absorbente:** constituida por lana mineral o fibra de vidrio baquelizada, utilizables en condiciones de saturación de humedad con un velo protector de agua y erosión eólica. Confiere al módulo su capacidad de absorción acústica y junto con la carcasa, la capacidad de aislamiento a ruido aéreo.



- **Rejilla de protección:** realizada con chapa perforada, de acero o de aleación de aluminio de alta resistencia, con acabado pintado. Su misión es proteger el material absorbente y aportar el acabado superficial a la pantalla.

Este tipo de pantallas, permite ofrecer elevados índices de absorción acústica (hasta 13 o 14 dB A), para el conjunto de la pantalla instalada.

Ventajas

- poca reflexión
- gran ligereza
- fácil mantenimiento y reposición
- buen comportamiento a impacto de vehículo
- posibilidad de colores y plasticidad

Precauciones ante su prescripción

- analizar riesgos por obstaculización de la visión
- sensibilidad al vandalismo
- vida media moderada (15 -20 años)

Uso habitual

- Tableros puentes y zonas altas taludes
- Cuando existen zonas sensibles en margen contrario,
- Pantallas enfrentadas y/o ubicación muy cercana a los
- Carriles o vías de circulación (riesgo de interacción pantalla carrocerías)
- Pantallas de gran altura

b) Pantallas transparentes

Las pantallas de vidrio, junto con las de materiales plásticos transparentes, son las soluciones utilizadas cuando, por seguridad o razones estéticas se quiere disponer de un amplio grado de visibilidad a través de las pantallas.

Son del tipo reflectante (sólo aportan aislamiento) y están compuestas por planchas de PMMA (polimetilmetacrilato) además de romper la monotonía y dejar visible el paisaje que de otra manera quedaría cubierto por la barrera opaca, mitigan

notablemente el impacto medioambiental de la barrera. Con menor frecuencia se usa también el policarbonato y el vidrio. El policarbonato ofrece una buena resistencia a choques, a los cambios climatológicos y al fuego. También es capaz de soportar deformaciones de cierta magnitud sin deteriorarse. Su coste de mantenimiento es elevado frente al del vidrio, aunque éste es menos resistente a los impactos. El vidrio, es un material que posee magníficas cualidades de durabilidad, aunque como ya hemos dicho tiene como inconveniente su escasa resistencia a los impactos.

Las pantallas transparentes constituyen **paneles antirruído** perfectos para aligerar las estructuras más pesadas. Construidos en poli metacrilato constituyen una auténtica **barrera acústica** que además deja pasar la luz. Igualmente se puede aplicar para la protección y el aislamiento acústico de carreteras, ferrocarriles, industrias y obras.

Este tipo de barrera de sonido se coloca normalmente a lo largo de las autopistas para limitar la contaminación acústica de los que viven a su alrededor.

Algunas de estas pantallas transparentes se muestran en las Figuras 2.13 y 2.14.



Figura 2.13.: Pantallas transparentes
Fuente: www.hiasa.com/imagenes/2/Acustico%201.jpg

En ocasiones, puede usarse también metacrilato. Este material es más barato que el policarbonato, y ofrece mejores condiciones de durabilidad y transparencia, aunque es bastante sensible a las variaciones de temperatura, y puede estallar ante un choque brusco. Los materiales plásticos transparentes se usan en la construcción de pantallas acústicas en paneles de espesores comprendidos entre 8 y 10 mm.



Figura 2.14.: Pantallas transparentes

Fuente: www.metroacustic.es/imagenes/transparentes01.jpg

Si la obra a realizar tiene una considerable magnitud, es frecuente la realización de diseños especiales que confieren un carácter arquitectónico diferenciador a la pantalla.

Los módulos absorbentes suelen tener forma plana o curva y están constituidos por:

- Una placa de hormigón armado de espesor suficiente para asegurar su comportamiento mecánico. Esta placa confiere al módulo su capacidad de aislamiento acústico.
- Sobre la placa anterior se dispone una capa realizada con hormigón poroso, a la que se le suele dar un acabado en relieve, generalmente estriado, que le confiere un mejor aspecto estético. Esta capa es la que confiere al módulo su capacidad de absorción acústica, en diferente grado, según sean los elementos y dosificación empleados en su realización. Este tipo de módulos raramente alcanza coeficientes de absorción elevados, presentando generalmente unos índices del orden de 4 a 5 dBA.

Ventajas

- Buen aislamiento
- Gran permeabilidad visual
- Fácil integración



- Buena apariencia estética
- Posibilidad de curvar

Precauciones ante su prescripción

- Analizar efecto de las reflexiones sonoras
- Analizar peligro por impacto de vehículos
- Analizar comportamiento al riesgo de incendio
- Analizar riesgo de accidentes de fauna
- Considerable sensibilidad al vandalismo
- Vida media moderada (15 -20 años)

Uso habitual

- Tableros puentes y zonas altas de taludes
- Ubicación cercana viviendas sin otras en frente
- Partes altas de otro tipo pantallas

c) Pantallas de GRC (Glass Reinforced Concrete, Hormigón reforzado con fibra de vidrio)

Se trata de un micro hormigón en el que el armado metálico ha sido sustituido por una masa aleatoria de pequeñas hebras de fibra de vidrio –12 a 36 mm de longitud- que se encargan de absorber los esfuerzos a tracción, dotando al material e una elevada resistencia a la flexión, de tal manera que se puede realizar con espesores mínimos. Es un hormigón en el que la armadura metálica es sustituida por fibra de vidrio, absorbiendo ésta los esfuerzos de tracción ("Glass Fibre Reinforced Cement"). De esta manera, se consigue un elemento ligero, debido a su escaso espesor (1 cm) al no ser necesario proteger los elementos metálicos contra la corrosión, lo que permite ser utilizado sin grandes series de fabricación, ni costosas inversiones de moldeo y curado.

Se compone de cemento, áridos finos, aditivos y fibra de vidrio resistente a los álcalis del cemento.

La principal ventaja del prefabricado de GRC frente a otros materiales viene dada por su ligereza, pesando sólo entre 20 y 30 kg/m² debido a su reducido espesor (10-15mm) lo que permite la fabricación de elementos de grandes dimensiones, facilitando por tanto su manipulación y transporte.

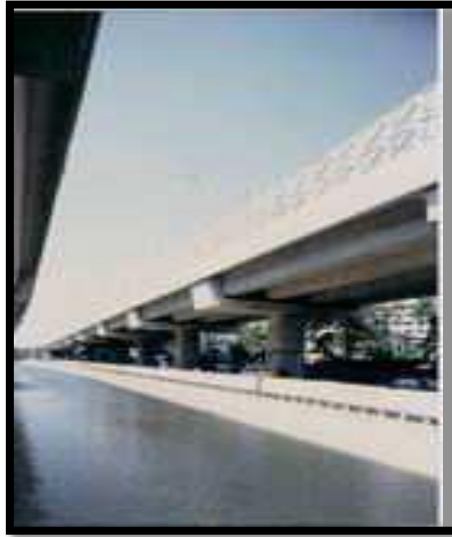


Figura 2.15.: Pantallas de GRC

Fuente: www.gel.co.th/product/Noise%20Barrier1.jpg

d) Pantallas de madera

Son usadas ampliamente en los países nórdicos y centroeuropeos, debido principalmente el valor estético del material. Estas pantallas son barreras protectoras contra los ruidos fabricadas en madera, muchas veces se trata de pino nórdico de alta absorción acústica. (Ver Figura 2.16).

En ocasiones, se utilizan también maderas de alta densidad, maderas exóticas, normalmente tropicales que resisten bien a la intemperie.

Existen también otra clase de pantallas antirruído fabricadas en madera (troncos). Se trata de una doble pared de troncos que alberga tierra en su interior. Su durabilidad es escasa, salvo que sea tratada químicamente.

Este tipo de pantallas se construyen a base de paneles modulares realizados en madera tratada convenientemente para asegurar su conservación a la intemperie. El tratamiento de preservación que se da a la madera empleada en los paneles se suele realizar en autoclave (Impregnación profunda) una vez mecanizadas y conformadas las diferentes piezas de los elementos que constituyen el panel.

Los paneles modulares pueden ser reflectantes o absorbentes, según lleven o no, un material altamente absorbente adosado por su cara expuesta al tráfico.

En el caso de ser absorbentes, generalmente los módulos están constituidos por una carcasa ciega de madera que alberga unas planchas de lana mineral y un enrejado de protección a base de semi-redondos de madera, dispuestos en diferentes posiciones (vertical, inclinada,...) para obtener distintas combinaciones decorativas.

En ciertos productos, el material absorbente va adosado directamente sobre la carcasa de madera y se protege con tratamientos endurecedores de su superficie que a la vez la conforman para darle un cierto relieve y coloración que contribuyan a su inserción estética.

Estos paneles modulares, ofrecen al igual que los anteriores unas elevadas prestaciones de absorción acústica (por encima de 8 dBA).



Figura 2.16.: Pantallas de madera
Fuente: www.solarmarkt.com/assets/adb/img_50_16.jpg



Figura 2.16.: Pantallas de madera
Fuente: www.solarmarkt.com/assets/adb/img_50_16.jpg

Ventajas

- Posibilidad de alta absorción acústica
- Gran integración medio ambiental en entornos naturales
- Buenas posibilidades estéticas

Precauciones ante su prescripción

- Analizar riesgos por obstaculización de la visión
- Analizar comportamiento al riesgo de incendio
- El mantenimiento puede resultar costoso
- Sensibilidad al vandalismo
- Vida media moderada (15 -25 años)

Uso habitual

- Zonas de integración específica en el entorno

e) Pantallas mixtas

Constituyen soluciones que aportan simultáneamente capacidad de absorción acústica y cierto grado de transparencia.

Mediante combinación de los paneles metálicos y las planchas de metacrilato se pueden conseguir diversos diseños de gran calidad estética. Las placas o paneles de aluminio y fibras minerales ofrecen una absorción acústica inmejorable en relación al origen del ruido más contaminante. Sus materiales también le confieren un carácter

ignífugo y perfecta resistencia a los fenómenos atmosféricos, como puede verse en la Figura 2.17.



Figura 2.17.: Pantallas mixtas

Fuente: www.hiasa.com/imagenes/2/Acustico%201.jpg

f) Pantallas de espuma de arcilla

Es un material cerámico de porosidad abierta, en pantallas acústicas es necesario combinarla con otros materiales que le servirán de estructura portante.

g) Pantallas de ladrillos absorbentes

Se trata de ladrillos perforados en una de sus caras, consiguen sus propiedades de absorción acústica funcionando como resonadores. Son particularmente eficaces para reducir el sonido reflejado.

Las pantallas acústicas para la colocación en vías con un tráfico pesado y un nivel de sonoridad alto se realizan mediante el “ladrillo monolítico acústico”. Estas pantallas antirruído autoportantes aseguran un aislamiento fónico continuo recomendable en este tipo de condiciones. Se muestran en la Figura 19.

h) Pantallas “muro jardinera”

Sólo son factibles en zonas con el suficiente espacio, y donde se garantice el mantenimiento de la vegetación.

Son muros cuyo paramento exterior está compuesto por módulos prefabricados de hormigón a modo de jardinera. El muro tiene una flexibilidad que le permite adaptarse a los asentamientos diferenciales que puedan producirse. La altura máxima a la que pueden llegar es unos quince metros (ver Figura 2.18).



Figura 2.18.: Distintos tipos de pantallas jardinera
Fuente: www.metroacustic.es/imagenes/hormigon-vegetac

2.14. Uso de las pantallas antirruído

Las pantallas anti-ruído suponen una respuesta actual al nivel sonoro en zonas urbanas de la periferia sometidas al impacto directo del tráfico. En Europa existe una dilatada experiencia de más de 30 años en la construcción de este tipo de soluciones para mitigar los ruidos que el tráfico produce. Alemania posee más de 1800 kilómetros de pantallas antirruído. Francia, Reino Unido, Italia y los países del Benelux construyen a lo largo de sus vías de transporte pantallas acústicas muy avanzadas, respondiendo de este modo a una exigente demanda social en materia de ruidos.



En España, durante los últimos años, el uso de barreras acústicas a lo largo de las vías de penetración y circunvalación de las grandes ciudades ha sufrido un incremento espectacular, aunque debemos ser conscientes que si desde una planta de un edificio puede “verse” el tráfico, también éste se oirá perfectamente.

Para estudiar la viabilidad de una pantalla antirruído, es necesario analizar el binomio coste-eficacia, por lo que previo a la instalación de una pantalla acústica, debe determinarse la topografía de los emplazamientos del emisor y del receptor, así como las características acústicas del terreno y los condicionantes climatológicos y atmosféricos de dicho lugar, ya que todo ello repercutirá en la eficacia final de la pantalla.

Las pantallas acústicas son las barreras acústicas más ampliamente empleadas como equipamiento antirruído de las infraestructuras viales.

Debido a sus características constitutivas y a su geometría pueden aumentar el riesgo de accidente, además al ser obras de grandes dimensiones podrían producir un fuerte impacto visual en el entorno, es por eso por lo que: «Habría que cuidar extremadamente su diseño para evitar cualquier afección a la seguridad vial...»

Es por todo lo descrito con anteriormente, que en la actualidad el estudio y desarrollo de pantallas acústicas de todo tipo está en auge, sin embargo, el análisis del borde superior de la pantalla, que es el principal causante de la difracción que evita que la atenuación de la intensidad sonora sea la necesaria es por todos el gran olvidado.

Los sistemas de barreras ofrecen una eficaz protección respecto a una amplia gama de fuentes de contaminación sonora.

Estas incluyen:

- **Transporte:** Ferrocarriles, carreteras y aeropuertos

- **Servicios públicos:** Centrales de energía, transformadores eléctricos, centros reguladores de gas, estaciones de bombeo de agua
- **Instalaciones mecánicas:** Generadores, compresores, bombas, motores y refrigeradores
- **Fabricación y distribución:** Fábricas y otras instalaciones industriales, naves de carga y descarga, obras de construcción de edificios



Figura N° 2.19 Diferentes usos de pantallas Acústicas
Fuente: www.metroacustic.es/imagenes/hormigon-vegetac



CAPÍTULO III

EFECTOS DEL RUIDO EN LAS VÍAS URBANAS.

3.1. Salud y ruido

Cabe mencionar que el ruido tiene efectos muy perjudiciales para la salud. Estos perjuicios varían desde trastornos puramente fisiológicos, como la conocida pérdida progresiva de la audición, hasta los psicológicos, al producir una irritación y un cansancio que provocan disfunciones en la vida cotidiana, tanto en el rendimiento escolar como en la relación con el resto de las personas.

Es preciso señalar que la lista de posibles consecuencias de la contaminación acústica es larga, veamos algunos ejemplos: interferencias en la comunicación, perturbación del sueño, estrés, irritabilidad, disminución de rendimiento y de la concentración, agresividad, cansancio, dolor de cabeza, problemas de estómago, alteración de la presión arterial, alteración de ritmo cardíaco, depresión del sistema inmunológico, etc.

3.2. Efectos del ruido en la salud y el bienestar

Los parámetros meramente acústicos no sirven por sí solos para evaluar el impacto del ruido, pues la medición de una energía acústica no significa casi nada si no se pone en relación con su traducción biológica y psicológica en las personas. En este sentido, es la posibilidad de que el ruido ambiental provoque efectos negativos sobre la salud humana lo que ha estimulado en gran medida las investigaciones en este campo, de manera que la mayoría de los estudios se han centrado en conocer cuáles son los niveles de contaminación acústica del medio ambiente y en qué medida afectan a la salud y al bienestar de las personas.

La situación general de degradación ambiental acústica puede incidir sobre la salud y el bienestar de los individuos, y es esta posibilidad el motivo principal que ha impulsado las investigaciones. Los resultados de las mismas han permitido conocer con bastante exactitud los efectos de la exposición a niveles sonoros elevados sobre la

capacidad auditiva de los individuos, pero hasta el momento es mucho más incierta la relación entre el ruido ambiental y sus repercusiones no auditivas en la población.

3.2.1. Efectos auditivos

La exposición a niveles de ruido intenso durante un período de tiempo, genera pérdidas de audición, que si en un principio son recuperables cuando el ruido cesa, con el tiempo pueden llegar a hacerse irreversibles. A su vez, la exposición a niveles de ruido de mediana intensidad, pero con una prolongación mayor en el tiempo, repercute en forma similar, traduciéndose ambas situaciones en desplazamientos temporales o permanentes del umbral de audición. Hay que precisar sin embargo, que los estudios hasta ahora desarrollados muestran diversas relaciones entre los niveles de ruido y la pérdida de audición, de allí lo complejo que resulta medir este fenómeno.

3.2.1.1. Desplazamiento temporal de umbral auditivo.

Consiste en una elevación del umbral de audición producida por la presencia de un ruido, existiendo recuperación total al cabo de un período de tiempo, siempre que no se repita la exposición al mismo.

| Nivel Sonoro (dBA) | Efectos |
|--------------------|--|
| 70 – 80 | Seguro. |
| 85 | Principio de pérdida auditiva. |
| 90 | Principio de pérdida seria. |
| 95 50% | 50% de probabilidad de deterioro auditivo. |
| 105 | Perdida en todos los individuos expuestos. |

Tabla N° 3.1. Niveles sonoros de riesgo para la audición.

Fuente: Estudio acústico generado por el tráfico. David García Bosca. Gandía, 2010

Sobre la pérdida temporal de audición, la *Tabla 3.1* muestra niveles de ruido riesgosos para la audición de las personas.

3.2.1.2. Desplazamiento permanente de umbral auditivo

a₁) Traumatismo acústico. Es el resultado de una o pocas exposiciones a ruidos sumamente intensos (por lo general, arriba de 120 dB) durante periodos relativamente cortos; por ejemplo, durante una explosión. Se traduce en una



lesión física inmediata e irreversible del órgano auditivo como dislocación de los huesecillos del oído medio, pérdida de células pilosas o hasta ruptura del tímpano.

a₂) Aumento temporal del umbral de audición. Ocurre cuando hay exposición a un ruido intenso, (arriba de 85 dB) por cierto tiempo. Como resultado, aumenta la intensidad mínima percibida pero, al cabo de algún tiempo, este efecto se detiene.

a₃) Aumento permanente del umbral de audición. Ocurre en el caso de una exposición similar a la anterior, pero no hay retorno a la sensibilidad inicial y la lesión ocasionada al órgano de Corti es permanente.

Cabe mencionar que la capacidad auditiva se pierde con la edad, independientemente de la exposición a ruidos intensos. Este aumento se acelera al exponer regularmente a un individuo al ruido. Se han detectado otras reacciones del organismo cuando es expuesto a medios ruidosos. Estas consisten en modificaciones al funcionamiento del sistema endocrino y del sistema nervioso autónomo. Los efectos inmediatos son: aumento de la presión sanguínea, dilatación de las pupilas, sequedad de la boca, calor y contracción en los músculos de las piernas, el abdomen y el tórax, inhibición de las secreciones gástricas y excitación cardíaca. Con el tiempo, el ruido ocasiona la pérdida de la capacidad auditiva y alteraciones de conducta.

3.3.2. Efectos no auditivos

La señal acústica que percibe el cerebro repercute en el conjunto del organismo, produciendo diversos efectos no específicos y, a veces, muy difíciles de determinar y evaluar. Se sabe con certeza que el ruido conlleva efectos negativos de tipo fisiológico que afectan a la visión, al estrés, la presión sanguínea, la tensión muscular.

La contaminación acústica, además de afectar al oído puede provocar efectos psicológicos negativos y otros efectos fisiopatológicos. Por supuesto, el ruido y sus



efectos auditivos no auditivos sobre el comportamiento y la salud mental y física dependen de las características personales, al parecer el estrés generado por el ruido se modula en función de cada individuo y cada situación.

3.3.2.1. Efectos psicopatológicos

A más de 60 dB

- Dilatación de las pupilas y parpadeo acelerado.
- Agitación respiratoria, aceleración del pulso y taquicardias.
- Aumento de la presión arterial y dolor de cabeza.
- Menor irrigación sanguínea y mayor actividad muscular. Los músculos se ponen tensos y dolorosos, sobre todo los del cuello y espalda.

A más de 85 dB

- Disminución de la secreción gástrica, gastritis o colitis.
- Aumento del colesterol y de los triglicéridos, con el consiguiente riesgo cardiovascular. En enfermos con problemas cardiovasculares, arteriosclerosis o problemas coronarios, los ruidos fuertes y súbitos pueden llegar a causar hasta un infarto.
- Aumenta la glucosa en sangre. En los enfermos de diabetes, la elevación de la glucemia de manera continuada puede ocasionar complicaciones médicas a largo plazo.

3.3.2.2. Efectos psicológicos y sociales

La exposición a altos niveles de ruido trae como consecuencia efectos negativos en la salud mental de las personas, la salud mental en investigaciones de ruido cubre una variedad de síntomas, desde la ansiedad, estrés emocional, inconformidad e inestabilidad, náuseas, dolor de cabeza, impotencia sexual, cambios de humor, conflictos sociales y en un rango de categoría psiquiátrica incluso neurosis, psicosis e histeria.

Cuando los factores psicológicos repercuten de forma negativa en la sociedad se habla de problemática psicosocial producto del ruido. Éstos pueden causar ineficiencia laboral, molestia en el comportamiento residencial, producto de una mayor irritabilidad de las personas.

Los efectos negativos del ruido se extienden, por otra parte, al trabajo y a la realización de actividades cotidianas. El ruido afecta a la capacidad de concentración y al rendimiento en el trabajo, produciendo irritación, fatiga, estrés y problemas de relación social.

Algunos patrones de comportamiento y su efecto social son causados por elevados niveles de ruido, muchos de éstos deben ser asumidos por los resultados de interacciones con número de variables no auditivas, como las mostradas en la tabla.

| Patrón Psicosocial | Consecuencia Comunitaria |
|---|--|
| Comportamiento diario | Ventanas abiertas, uso de balcones y jardines, Televisión y radio (derivando en un mayor número de quejas ante las autoridades). |
| Desempeño humano en las tareas específicas | Menor tiempo de reacción, y pérdida de memoria reciente. |
| Comportamiento social | Mayor agresividad, enemistad, poco compromiso y Participación. |
| Indicadores sociales | Pérdida del valor inmueble, mayor admisión en Hospitales, mayor tasa de accidentes. |

Tabla N°3.2. Patrón psicosocial y consecuencia en la comunidad a causas de elevados niveles de ruido. Fuente: Estudio acústico generado por el tráfico. David García Boscá. Gandía, 2010

❖ Efectos sobre el sueño

El ruido produce dificultades para conciliar el sueño y despierta a quienes están dormidos. El sueño es una actividad que ocupa un tercio de nuestras vidas y nos permite descansar, ordenar y proyectar nuestro consciente. El sueño está constituido por dos tipos: el sueño clásico profundo, el que a su vez se divide en cuatro fases distintas, y por otro lado está el sueño paradójico. Se ha demostrado que sonidos del



orden de aproximadamente 60 dB A, reducen la profundidad del sueño, acrecentándose dicha disminución a medida que crece la amplitud de la banda de frecuencias, las cuales pueden despertar al individuo, dependiendo de la fase del sueño en que se encuentre y de la naturaleza del ruido. Es importante tener en cuenta que estímulos débiles sorpresivos también pueden perturbar el sueño.

❖ **Efectos sobre la conducta**

El ruido produce alteraciones en la conducta momentáneas, las cuales consisten en agresividad o mostrar un individuo con un mayor grado de desinterés o irritabilidad. Estas alteraciones, que generalmente son pasajeras se producen a consecuencia de un ruido que provoca inquietud, inseguridad o miedo en algunos casos.

❖ **Efectos en la memoria**

En aquellas tareas en donde se utiliza la memoria se ha demostrado que existe un mayor rendimiento en aquellos individuos que no están sometidos al ruido, debido a que este produce crecimiento en la activación del sujeto y esto en relación con el rendimiento en cierto tipo de tareas, produce una sobre activación traducida en el descenso del rendimiento. El ruido hace que la articulación en una tarea de repaso sea más lenta, especialmente cuando se tratan palabras desconocidas o de mayor longitud, es decir, en condiciones de ruido, el individuo se desgasta psicológicamente para mantener su nivel de rendimiento.

❖ **Efectos en la atención**

El ruido hace que la atención no se localice en una actividad específica, haciendo que esta se pierda en otros. Perdiendo así la concentración de la actividad.

❖ **Efectos en el embarazo**

Se ha observado que las madres embarazadas que han estado desde comienzos de su embarazo en zonas muy ruidosas, tienen niños que no sufren alteraciones, pero si la exposición ocurre después de los 5 meses de gestación, después del parto los niños no

soportan el ruido, lloran cuando lo sienten, y al nacer tienen un tamaño inferior al normal.

❖ **Efectos sobre los niños**

El ruido repercute negativamente sobre el aprendizaje y la salud de los niños. Cuando los niños son educados en ambientes ruidosos, éstos pierden su capacidad de atender señales acústicas, sufren perturbaciones en su capacidad de escuchar, así como un retraso en el aprendizaje de la lectura y la comunicación verbal. Todos estos factores favorecen el aislamiento del niño, haciéndolo poco sociable.

3.3.2.3. Efectos fisiológicos

Además de las afecciones producidas por el ruido en el oído interno, existen otras de tipo fisiológicas. A esto se puede plantear la duda sobre si un ruido cuyo nivel no daña la audición puede actuar negativamente sobre otras partes del organismo. La respuesta a esta interrogante es que si puede causar daño al organismo humano, a continuación se exponen algunos de éstos efectos.

❖ **Efectos Sobre el Sistema Nervioso Central**

Ruidos del orden de 130 dB modifican las corrientes cerebrales, asemejándose a la curva encontrada en estado agónico. Los vasos sanguíneos centrales presentan espasmos y los periféricos dilatación. Además altera la coordinación del sistema nervioso central.

❖ **Efectos Sobre el Sistema Cardiovascular**

Se producen alteraciones en el ritmo cardiaco, presentándose en personas mayores a 40 años. Con una larga exposición sonora, existe un aumento significativo de mortalidad cardiovascular, por infarto al miocardio. La duración e intensidad da la vasoconstricción de los vasos sanguíneos periféricos es directamente proporcional a la intensidad y duración del estímulo sonoro.

❖ **Efectos Sobre el Aparato Respiratorio**



En general se produce un aumento de la frecuencia respiratoria y aunque la influencia del ruido sobre el sistema respiratorio es real, éste no se manifiesta hasta el término del tiempo de exposición a altos niveles de ruido, cuando el ruido cesa, la frecuencia respiratoria vuelve a la normalidad. Descartando que estos efectos sean de origen emocional, ya que aparecen aunque la persona esté dormida [SEA 1991].

❖ **Efectos Sobre el Aparato Digestivo**

Existe una mayor alteración en la secreción ácida del estómago, incidiendo en úlceras duodenales, cólicas y otros trastornos gastrointestinales en personas sometidas a ruido.

En investigaciones se han visto dolores gástricos en personas sometidas a niveles de ruido e incluso se han detectado espasmos intensos sobre el píloro, para un gran número de personas que no las tenían en ausencia del ruido.

❖ **Efectos Sobre el Equilibrio**

La presencia a niveles altos de ruido del orden de los 110 dB puede producir vértigo, pérdida del equilibrio, marcha inestable y náuseas. Sobre éstos niveles incluso puede producirse vómito abundante, y cesado estos niveles las náuseas y mareos pueden persistir por un periodo de tiempo.

❖ **Efectos Sobre la Visión**

En personas expuestas a niveles sobre los 110 dB se observa un estrechamiento del campo visual y una modificación en la percepción del color, existiendo un déficit aproximado del 10% en la tonalidad roja. Además se presentan problemas y molestias para la visión nocturna, afecta a los músculos ciliares disminuyendo la movilidad en ciertos ángulos.

3.3. Soluciones a los problemas de los ruidos en vías urbanas

Dada la existencia de estos elevados niveles de ruido generados principalmente por el tráfico rodado, la aviación, la actividad industrial y el propio vecindario, resulta cada



vez mayor el número de reclamaciones y litigios legales. En la actualidad, cada vez hay más denuncias y quejas de particulares, sobre todo en núcleos urbanos, y es más urgente la necesidad de tomar medidas contra este problema.

Los ruidos producidos por la circulación viaria tienen su origen en el vehículo, que es la fuente emisora. Puede originarse en los propios elementos mecánicos que lo componen o en su movimiento. El ruido de la circulación rodada está formado por la acumulación del conjunto de los niveles de ruido producidos de forma individual por cada uno de los vehículos que hay en funcionamiento.

Construcción de barreras o pantallas acústicas que dificulten la propagación del sonido, haciendo más difícil que éste llegue al receptor.

Para reducir el impacto acústico de una vía de circulación cercana a una urbanización, las soluciones van desde el empleo de pantallas acústicas, semicubiertas a lo largo del tramo de vía en cuestión, el empleo de diques de tierra y el atrincheramiento de la vía, mecanismos que dificultan la transmisión del ruido.

A continuación se proyectan algunas medidas a emplear en la fase de diseño y otras posteriores basadas en las propiedades de las fuentes de ruido de tráfico y en su transmisión:

La elección del trazado (deprimido, pendientes, curvas, etc).

- El distanciamiento de la traza.
- La disposición en pendiente o rampa según la proximidad al núcleo habitado.
- La utilización de pavimentos poco ruidosos.

Según las propiedades de los sonidos:

- Concentrar el tráfico en pocas vías, si la capacidad de estas lo permiten.
- Proyectar las vías principales por las zonas con niveles más elevados.

En zonas urbanas:

- Limitar la velocidad.
- Sincronizar semáforos.
- Supresión nocturna del funcionamiento de los semáforos.



Por otra parte, el ruido de rodadura también puede ser reducido evitando los empedrados irregulares, baches, etc. Utilizar pavimentos más porosos permite reducir la emisión secundaria causada por las reflexiones del sonido en la calzada.

Controlar los vehículos que superen los niveles máximos recomendados, bien por circular con escape en mal estado o por otras causas mecánicas o de falta de mantenimiento, tomando medidas punitivas con aquellos vehículos que infrinjan dicho nivel. Se tendrá que insistir en el control de las motocicletas que circulen con escapes libre o en mal estado, ya que son éstas una de las fuentes de ruido más molestas e importantes dentro del ruido producido por el tráfico rodado.

Reducir las velocidades de los vehículos y hacer que no circulen vehículos pesados por la población.

3.3.1. Pantallas acústicas de placas de hormigón ligero

Interponer una pantalla o barrera entre el foco de emisión y el elemento receptor constituye uno de los sistemas básicos de control de ruido. Consiste en un medio sólido interpuesto entre el foco de emisión y el elemento receptor. Tiene la misión de evitar que las ondas sonoras directas afecten al receptor, reflejando gran parte de la energía que le incide, y absorbiendo y transmitiendo una fracción de ésta.

La utilización de las pantallas acústicas está orientada a situaciones donde el sonido directo es el más importante. Éstas proporcionan diferentes atenuaciones.

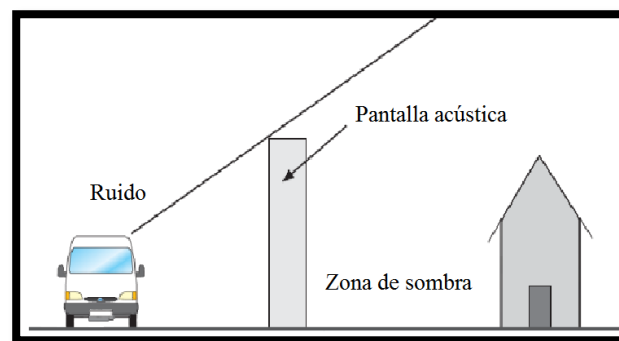
El material más utilizado en la fabricación de pantallas acústicas es el hormigón, por lo que el conocimiento de su funcionamiento acústico puede ayudar a mejorar las condiciones de diseño de las pantallas.

El hormigón es un elemento tradicionalmente presente en todas las obras civiles, por lo que se conocen bien sus procesos de fabricación y comportamiento resistente. Desde el punto acústico, ha sido ampliamente utilizado para la fabricación de pantallas reflectantes. Estas pantallas se adaptan perfectamente a las necesidades de

cada proyecto debido a la amplia variedad de formas, dimensiones y colores, lo que permite obtener buenas soluciones desde el punto de vista estético. Se pueden fabricar en diferentes medidas, adaptándose a las necesidades paisajísticas de cada zona, aunque la medida estándar es de 3,96 m. de longitud y 2,40 m. de altura.

Se entiende que una barrera o pantalla acústica es un obstáculo que, por su situación y/o características, protege del ruido proveniente de una fuente sonora a un determinado receptor, dificultando de alguna manera la transmisión del sonido a su través.

La instalación de barreras acústicas o pantallas con capacidad para obstaculizar la propagación de las ondas sonoras desde la fuente a la zona habitada, es una eficaz intervención para disminuir la contaminación acústica.



*Figura N°3.1. Barrera Acústica un obstáculo.
Fuente: www.basel.es*

El principio de funcionamiento de una pantalla antirruído se basa en que al transmitirse una onda sonora a través de una pantalla acústica, esta onda es en parte absorbida, reflejada, o se transforma en otra de mayor o menor intensidad, dependiendo del tipo de obstáculo que se encuentre:

- Parte de la onda se refleja.
- Parte de ella es absorbida por la pantalla.
- Parte de ella es transmitida.
- Parte de la onda es difractada en los bordes de la pantalla, generando ondas idénticas a la incidente en todas las direcciones.

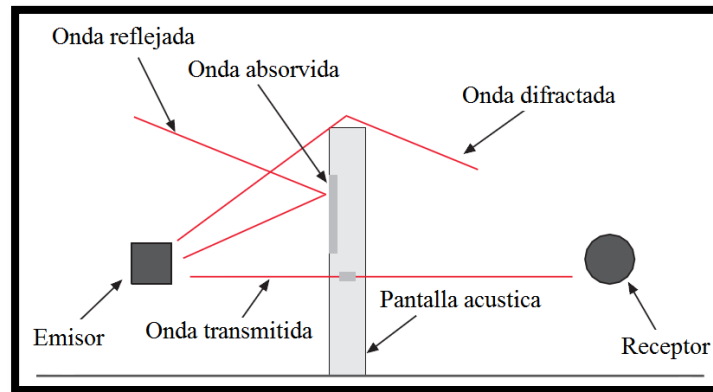


Figura N°3.2. Propagación de la onda sonora.

Fuente: www.basel.es

Además del diseño de la pantalla existen otros factores que contribuyen al buen funcionamiento de las pantallas acústicas como son el flujo de vehículos, los factores ambientales, el diseño de la carretera, el terreno, etc.

Es muy importante la situación de la pantalla en el espacio, así como la altura de la misma ya que ambos conceptos repercuten en su rendimiento. Para valorar la reducción sonora o la pérdida de inserción de las pantallas acústicas utilizamos los programas y métodos más avanzados, como Abaco de maekana, el número de fresnel o el Abaco de kurze.

Existen dos tipos de aislamiento a la hora de elegir una pantalla acústica:

- **Aislamiento por transmisión:** Depende de la masa del panel. La pérdida por transmisión aumenta cuanto más aumentemos la masa del panel.
- **Aislamiento por absorción:** depende de la absorción del panel, es decir depende de la absorción del material que enfrentemos al foco emisor.

En conclusión se entiende que una barrera o pantalla acústica es un obstáculo que, por su situación y/o características, protege del ruido proveniente de una fuente sonora a un determinado receptor, dificultando de alguna manera la transmisión del sonido a su través.

La utilización de las pantallas acústicas está orientada a situaciones donde el sonido directo es el más importante. Éstas proporcionan diferentes atenuaciones según las frecuencias sean altas o bajas, de acuerdo con la siguiente figura 3.3. (de aquí se deduce que las pantallas pueden ser poco eficaces si las frecuencias dominantes son las bajas):

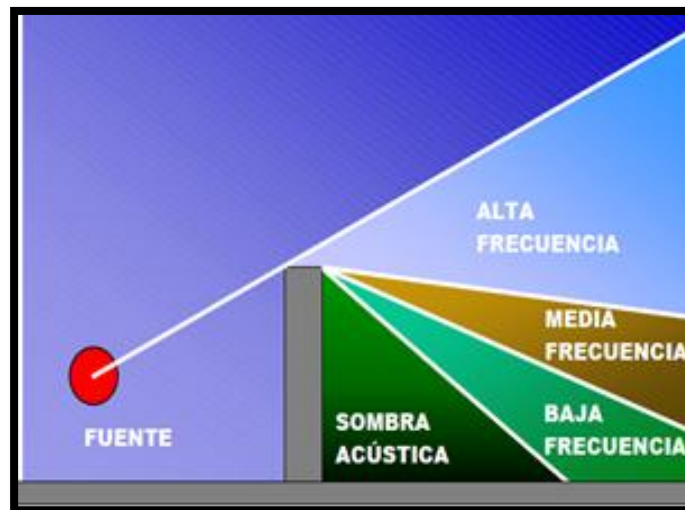


Figura N°3.3. Tipos de Frecuencias propagada
Fuente: www.basel.es

Respecto a la figura anterior, conviene mencionar el fenómeno de la difracción que se produce en las barreras enunciado por Huygens. Los distintos frentes de onda se convierten en centros emisores en los puntos que son interceptados por el obstáculo, por lo que se ciñen al mismo envolviéndolo, sobre todo si su tamaño es parecido o inferior al de la longitud de onda del sonido en cuestión.

3.3.2. Planes de acción

Los planes de acción contra el ruido deben ser instrumentos que permitan, una vez conocido el medio ambiente sonoro actual y futuro de una determinada zona, acometer actuaciones concretas destinadas a evitar y disminuir el número y gravedad de las situaciones acústicamente no deseadas.

Las actuaciones, como ya se ha visto anteriormente, pueden ser de muy diversa índole:

- Regulación del tráfico, por ejemplo desviación de la circulación.



- Establecimiento y aplicación de límites de velocidad, promoción del transporte público y del cambio modal (para, por ejemplo pasar del transporte rodado al transporte por ferrocarril), etc.
- Ordenación del territorio.
- Aplicación de medidas técnicas en las fuentes emisoras, por ejemplo en relación con el revestimiento de carreteras y las vías férreas.
- Selección de fuentes más silenciosas.
- Reducción de la transmisión de sonido (pantallas acústicas, túneles, aislamiento de viviendas, etc.).
- Limitación en las autorizaciones para determinadas actividades.
- Campañas públicas de información y sensibilización.
- Seguimiento del ruido (medición del ruido en uno o varios puntos para comprobar si el ruido percibido o emitido cumple un requisito dado).
- Medidas económicas tales como tasas y sanciones.

En general, un plan de actuación debe centrarse en los siguientes apartados:

a) Análisis de la situación actual y prevista

- En este apartado se recomienda contar con mapas de ruido que sinteticen los niveles sonoros resultantes en cada uno de los escenarios contemplados en el plan.

b) Establecimiento de objetivos de calidad acústica

- De acuerdo con las legislaciones vigentes deben establecerse unos objetivos que se pretenden alcanzar con la aplicación del plan. No siempre es posible alcanzar los objetivos más ambiciosos, por lo que no hay que descartar las actuaciones de mejora de la calidad del ambiente sonoro y recuperación de puntos negros que incluyan medidas correctoras interesantes, aún cuando no se alcance la calidad óptima.

c) Posibles actuaciones

- Decidir sobre aquellas más adecuadas y viables desde el punto de vista técnico y económico.

**d) Programa de actuaciones**

- Debe establecerse un calendario de actuaciones lo más detallado posible y un sistema para el control y seguimiento de las mismas.

e) Coste y Financiación de las actuaciones

Según lo establecido en la Directiva sobre evaluación y gestión del ruido ambiental los planes de acción o actuación contra el ruido deben incluir como mínimo, los elementos siguientes:

- Descripción de la zona a la que se refiere el plan
 - Aglomeración (dimensiones, ubicación, número de habitantes, usos del suelo, principales fuentes de ruido y tipo de edificios y su función).
 - Eje viario principal.
 - Eje ferroviario principal
- Aeropuerto principal (ubicación, dimensiones, datos relativos al tráfico y al entorno).
- Autoridad responsable de la elaboración y ejecución del plan.
- Contexto jurídico.
- Valores límite para la determinación de la calidad del ambiente sonoro.
- Resumen de los resultados de la labor de cartografiado del ruido.
- Análisis de la situación con respecto a la salud sobre la base de los mapas de ruido y las relaciones dosis-efecto.
- Determinación de los problemas.
- Medidas que ya se aplican con respecto al ruido y acciones en curso.
- Situaciones que deben mejorar.
- Acciones previstas por las autoridades competentes para los próximos años, incluso por lo que se refiere a las medidas para proteger las zonas relativamente tranquilas.
- Presupuesto de las acciones.
- Estrategia a largo plazo.
- Relación de las consultas públicas.
- Evaluaciones coste-eficacia o costes-beneficios.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE PLACAS ANTIRUIDO.

4.1. Pantallas o Barreras Antiruido

El término barrera acústica se utiliza para designar a los elementos u obstáculos que por su situación y características protegen del ruido a un determinado receptor respecto de una determinada fuente sonora. Existen en la literatura técnica y en el lenguaje hablado de uso corriente multitud de términos para denominar a las barreras acústicas: pantallas acústicas, barreras o pantallas Antiruido, obras de protección contra el ruido, dispositivos Antiruido, muros de protección contra el ruido, etc.

El término más extendido es el de **Pantallas Acústicas**, si bien algunos técnicos prefieren designar como **Barreras Acústicas** al conjunto de dispositivos de protección contra el ruido reservando el término pantallas acústicas para los muros de espesor relativamente pequeño concebidos como barreras acústicas, con el objeto de diferenciarlas de otro tipo de barreras (diques de tierra, cubriciones de calzada, soluciones mixtas, etc.)

La instalación de barreras acústicas o pantallas con capacidad para obstaculizar la propagación de las ondas sonoras desde la fuente a la zona habitada, es una eficaz intervención para disminuir la contaminación acústica.

El principio de funcionamiento de una Pantalla Antiruido se basa en que al transmitirse una onda sonora a través de una pantalla acústica, esta onda es en parte absorbida, reflejada y también difractada.

En el planteamiento de la fabricación de Pantallas Antiruido se contempla la influencia de distintos factores, que no son solo de tipo acústico, sin embargo, son estos mismos que imponen determinadas selecciones, como son lo ancho de la



barrera, su altura y el tipo de materiales a usar. En este último es el que nos centramos en este documento.

Es importante subrayar que el objetivo a alcanzar mediante la instalación de una barrera contra el ruido es que se reduzcan los niveles sonoros producidos hasta por debajo de los límites fijados por la ley.

Una pantalla acústica trata de una barrera natural o artificial, situada por ejemplo a lo largo de las carreteras, entre la fuente de ruido y el punto de observación, de modo que detrás de la barrera se crea un área de niveles de ruido reducido llamada sombra acústica. El área de la sombra se establece mediante métodos idénticos a los aplicados para áreas de sombra en la óptica; sin embargo, aquí, esta zona se reduce a ondas de ruido de mayor longitud, debido a su difracción

Las pantallas deben su eficacia a dos parámetros básicos de la física: el aislamiento acústico y el coeficiente de absorción acústica. El primero es responsable de la cantidad de energía acústica que atraviesa la pantalla hacia la zona protegida por la misma, y el segundo parámetro consiste en la cantidad de energía producida por la onda sonora que se refleja hacia la fuente del ruido. Para que la eficacia de las barreras acústicas sea elevada, ambos parámetros deben ser máximos, es decir, la cantidad de energía reflejada de onda acústica, así como la energía que atraviesa la capa de material de aislamiento de la pantalla debe ser lo menor posible.

Si bien en el diseño de la pantalla se toma en consideración sobre todo su altura, longitud y ubicación en relación con la fuente de ruido (por ejemplo, en relación a la calzada a fin de crear una sombra acústica adecuada), una cuestión especialmente importante es el material del que se compone la pantalla así como la estructura de su superficie, la cual limita la reflexión del sonido.

Las pantallas para alrededor de carreteras se fabrican a base de paneles de vidrio transparentes o translúcidos, en su mayoría de policarbonato o vidrio acrílico (su



funcionamiento consiste normalmente en la reflexión de las ondas de sonido) o también con materiales absorbentes que reflejan las ondas, tales como hormigón, madera, así como diferentes variedades de hormigón como hormigón de serrín y hormigón ligero, también de cerámica, y, finalmente, se usan también placas acústicas con relleno a base de lana mineral colocada entre dos capas de red metálica de acero (el llamado Muro Verde), y que tienen dentro una lámina metálica perforada o un panel de PVC. Estos tipos de pantalla acústica permiten, gracias a su diversidad de diseños, el crecimiento y Nuevas pantallas acústicas a partir de materiales reciclados el mantenimiento de plantas enredaderas. Se construyen también las llamadas pantallas verdes, es decir terraplenes con vegetación plantada en ellos.

Las pantallas acústicas de carretera pueden tener forma de pared, pasillo, o incluso de túnel.

4.1.1. Efecto de apantallamiento, Transmisión del sonido a través de una pantalla.

Al interponer un obstáculo sólido entre el foco emisor y el receptor se produce en la zona en que este último está situado un efecto de atenuación del ruido, debido a ciertos fenómenos inducidos por la presencia del obstáculo. La energía acústica incidente sobre el obstáculo es en parte disipada o encaminada en otras direcciones, por lo que la energía que alcanza la zona del receptor es inferior a la que lo haría si no estuviera el obstáculo. Los fenómenos que se producen son los siguientes:

- Parte de la energía acústica se refleja al incidir sobre el obstáculo, siguiendo leyes similares a las de la Óptica.
- Parte de la energía acústica puede ser absorbida por el obstáculo, disipándose en otras formas de energía.
- Parte de la energía es transmitida al otro lado del obstáculo
- Parte de la energía es difractada por los bordes del obstáculo, produciéndose un cambio de trayectoria en la propagación del sonido

La energía que recibe un receptor situado tras el obstáculo es la resultante de la energía de la onda directa que recibe, la energía de la onda transmitida y la energía de la onda difractada.

En el caso de que el obstáculo o barrera tenga unas dimensiones tales que la energía recibida directamente por el receptor sea despreciable, la atenuación del ruido que proporciona la barrera al receptor depende fundamentalmente de la energía difractada y de la energía transmitida. En la práctica, las barreras acústicas son capaces de conseguir que la energía de la onda transmitida sea muy inferior a la aportación de energía por parte de la onda difractada.

Como resultado de todos estos fenómenos, las barreras acústicas producen un efecto de atenuación del sonido en la zona del receptor. Esta atenuación depende fundamentalmente de las dimensiones de la barrera que son las que determinan la aportación de la energía directa y la difractada, y del aislamiento que aporta la barrera al oponerse a la transmisión del sonido, que depende fundamentalmente de sus materiales y, en menor medida, de su espesor.

4.1.2. Tipos de barreras acústicas

Existen numerosas clasificaciones de las barreras acústicas en función de criterios tales como su comportamiento acústico frente a la absorción, sus características estructurales, sus materiales constitutivos, su altura, su forma, etc.

En general se suelen clasificar según dos criterios: su comportamiento acústico en relación con la absorción y sus características constructivas.

La absorción (**A**) de una barrera acústica se **define** como:

$$\mathbf{A = 10 \log (E_i / (E_i - E_a))} \quad \mathbf{Ec. 4.1}$$

Donde **A** se expresa en decibelios, E_i es la energía incidente sobre la pantalla, y E_a , la energía absorbida. En función del valor de **A**, las barreras serán más o menos absorbentes. La clasificación más extendida es la que considera como barreras



absorbentes a las que presentan un índice de absorción A igual o superior a 4 dB(A) y reflectantes a las que tienen un índice inferior a 4dB(A). Sin embargo, la tendencia actual es considerar que cada barrera ofrece un cierto grado de absorción en función del valor de A, y se evita referirse a ellas simplemente como absorbentes o reflectantes.

Las clasificaciones según sus características constructivas son las más extendidas, aunque difieren notablemente de unos autores a otros. Una posible clasificación es la siguiente:

4.1.2.1. Pantallas acústicas: son las barreras o muros constituidos por elementos de pared relativamente delgada, vertical o inclinada, con distinto grado de absorción y que ofrecen gran resistencia a la transmisión del sonido. Son las más usuales. Las pantallas pueden adoptar numerosas formas y utilizar diversos materiales: hormigón, elementos metálicos, madera, vidrio, materiales plásticos, materiales cerámicas, elementos prefabricados con material absorbente (fibra de vidrio, lana mineral), etc.

- Diques de tierra: son los obstáculos formados por tierra con grandes espesores en la base, que en general están recubiertos de tierra vegetal donde pueden crecer las plantas.
- Cubriciones parciales o totales de la calzada o vía de circulación.
- Construcciones especiales: se trata de soluciones mixtas dique de tierra + pantalla acústica, muros con relleno de tierra y vegetación, etc. Proceden de la combinación de alguno de los tipos anteriores.
- Pantallas vegetales: son las constituidas por masas de vegetación muy densas. No son eficaces salvo que se implanten en una banda de anchura considerable.



4.2. Eficacia acústica de las pantallas

La eficacia acústica de una pantalla está determinada por la atenuación sonora que ésta proporciona frente a una determinada fuente. Los factores que influyen en la eficacia de una pantalla son los siguientes:

- a) El aislamiento acústico y el carácter absorbente o reflectante de la pantalla, determinados principalmente por sus materiales constitutivos.
- b) Sus dimensiones geométricas, fundamentalmente su altura y su longitud.
- c) Su situación relativa con relación a la fuente y a la zona a proteger, y la presencia de obstáculos en el lugar de su implantación.

Así pues, la elección de materiales adecuados para el diseño de los elementos que constituyen la pantalla, no condiciona por sí sola la eficacia acústica de la misma. De hecho, la finalidad de las pantallas acústicas es obtener una limitación en el ruido percibido en la zona que se desea proteger, evitando en la medida de lo posible que la energía sonora alcance de manera directa al receptor, por lo que además de asegurar la calidad de aislamiento acústico de los materiales de la pantalla, es preciso dotarla de una altura y longitud suficientes, evitar que se produzcan reflexiones no deseadas, y situarla en la posición en la que su eficacia sea máxima.

4.2.1. Elección de los materiales. Transmisión y absorción

La elección de los materiales viene condicionada por dos propiedades acústicas exigibles a las pantallas: su comportamiento frente a la transmisión sonora y las cualidades de absorción del conjunto de la pantalla.

4.2.1.1. Comportamiento frente a la transmisión

En presencia de una pantalla, la onda sonora emitida por la fuente (S) será parte en varios trayectos elementales. Uno de ellos es el de la transmisión de la onda a través de la pantalla (Figura 4.1).

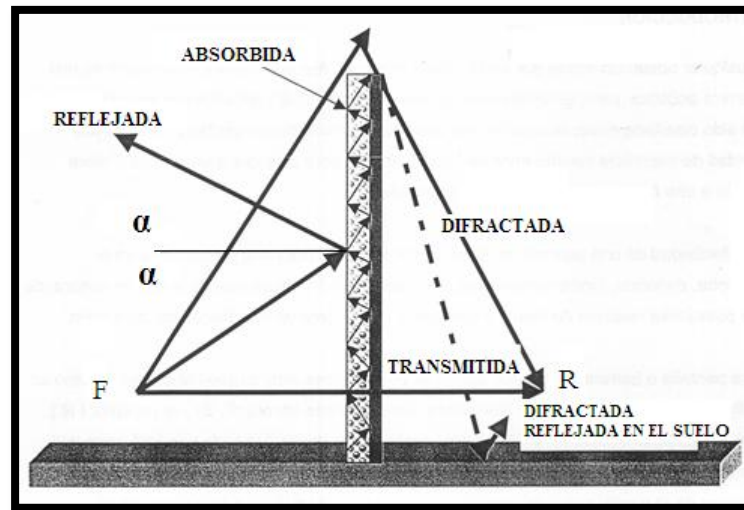


Fig. N° 4.1. Transmisión de una onda a través de una pantalla

Fuente: José del campo Yagüe, Madrid, diciembre de 2001

El receptor (R) Percibe una parte de la energía sonora que ha sido transmitida a través del obstáculo. Para que la protección del receptor sea máxima hay que conseguir que la energía transmitida sea lo más pequeña posible. Esta energía transmitida depende fundamentalmente de las características de los materiales que constituyen el dispositivo protector.

Se define como pérdidas en la transmisión TL al valor resultante de la expresión:

$$T_L = 10 \log \left(\frac{E_I}{F} \right) \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde, E_I , es la energía incidente sobre la pantalla y F, la energía transmitida

TL se expresa en decibelios, y refleja la cantidad de energía perdida en la transmisión, del sonido a través de una pared o superficie cualquiera. La norma 150R-144 **define el índice de reducción acústica R** de una partición como:

$$R = SPL1 - SPL2 + 10 \log Sw / A \quad \text{Ec. 4.3}$$

donde, R se expresa en decibelios, SPL1 es el nivel de presión sonora en la zona de emisión, SPL2 es el nivel de presión sonora en la zona de recepción, S, la superficie



del elemento separador, y A la absorción total del local receptor. En condiciones de propagación del sonido en campo libre.

$$TL = R = SPL1 - SPL2 \quad \text{Ec. 4.4}$$

El índice TL caracteriza la capacidad de una pantalla para oponerse a la transmisión de ruido, y depende del espectro de la onda incidente. Este índice se expresa en dB (A), por bandas de frecuencia, o bien de manera global para un espectro de ruido determinado.

En el caso del ruido del tráfico de carretera se utiliza para definir el coeficiente global TL, el denominando espectro del ruido de carretera normalizado, cuyas características varían según los diferentes países.

En la práctica, no es necesario intentar obtener atenuaciones en la transmisión muy fuertes, ya que se puede admitir que una pantalla acústica se opone suficientemente a la transmisión cuando la energía transmitida es despreciable frente a la energía que llega al receptor por otros caminos (difracción, reflexión, directamente). Se considera que la energía transmitida es despreciable cuando su nivel de presión sonora es inferior en 10 dB(A) al nivel sonoro resultante de los restantes caminos acústicos que llegan hasta el receptor.

En la actualidad, la eficacia total de las pantallas acústicas es raramente superior a 15 dB(A), por lo que suele ser suficiente exigir a las pantallas un índice de atenuación en la transmisión R igual o superior a 25 dB(A) para el espectro del ruido de carreteras normalizado.

4.2.1.2. Características absorbentes

En presencia de una pantalla, una parte de la energía sonora puede ser absorbida por transformación en energía calorífica. La cantidad de energía absorbida depende del material que constituye la pantalla y del espesor de la misma. En el caso límite, los



materiales que presentan excelentes características de absorción, son capaces de absorber prácticamente toda la energía acústica, resultando despreciable la energía que se refleja en la pantalla.

Todos los materiales absorben parte de la energía que contiene la onda sonora incidente. Esta absorción se caracteriza por un factor denominado coeficiente de absorción α , que depende de la frecuencia, y se define como la relación existente entre la energía acústica absorbida y la energía acústica incidente.

$$\alpha = \text{Energía Absorbida} / \text{Energía incidente} \quad \text{Ec.4.5}$$

El coeficiente de absorción de un material depende del espectro sonoro de la onda incidente, de la naturaleza del material, y, en menor medida, de las condiciones de humedad y temperatura.

Generalmente se distinguen tres grandes categorías de materiales absorbentes:

- Materiales fibrosos de porosidad abierta
- Materiales elásticos o absorbedores de membrana
- Resonadores

El poder de absorción de los distintos materiales se determina midiendo el coeficiente de absorción (denominado α - Sabine) para cada una de las bandas de frecuencia normalizadas.

En la actualidad, los absorbentes empleados son esencialmente materiales fibrosos o porosos: lanas minerales de fibras, expandidos o paneles perforados con dimensiones de los orificios adecuadas. En principio, las cualidades absorbentes de una pantalla acústica, pueden ser descritas cuantitativamente, por medio del índice denominado absorción (A), que se define como:

$$A = 10 \log (E_i / (E_i - E_a)) \quad \text{Ec. 4.6}$$



Donde, A se expresa en decibelios, E_i es la energía incidente sobre la pantalla, y E_a la energía absorbida. A es conocido también como "pérdidas por reflexión".

En función de los valores de A , se pueden clasificar las pantallas según su comportamiento frente a la absorción. ¡-a clasificación más extendida es la de la norma alemana ZTV-LSW 88:

- **Altamente absorbentes** **$A > 8 \text{ dB}$**
- **Absorbentes** **$4 < A < 8 \text{ dB}$**
- **Reflectantes** **$A < 4 \text{ dB}$**

El hecho de que una pantalla sea muy absorbente no indica en principio que se trate de una pantalla de mayor calidad. En cada caso el encargado del diseño de la barrera Antirruído deberá decidir cuál es el grado de absorción exigible según las circunstancias concretas.

4.2.1.3. Pantallas reflectantes y pantallas absorbentes

El problema de las reflexiones producidas por las pantallas acústicas adquiere una importancia fundamental cuando existen posibles receptores del ruido situados, con relación a la pantalla, en el mismo lado de la fuente sonora. La instalación de una pantalla no debe implicar un crecimiento de las molestias por efecto de las reflexiones en la población situada frente a la pantalla (Figura 4.2). Por lo tanto, cada vez que exista la posibilidad de que las ondas reflejadas alcancen zonas sensibles al ruido que se desea proteger, será preciso adoptar alguna de las siguientes precauciones:

- Inclinarse la pantalla para orientar adecuadamente las posibles reflexiones
- Utilizar materiales absorbentes en la fabricación de la pantalla
- Proteger la zona afectada por las reflexiones con una nueva pantalla

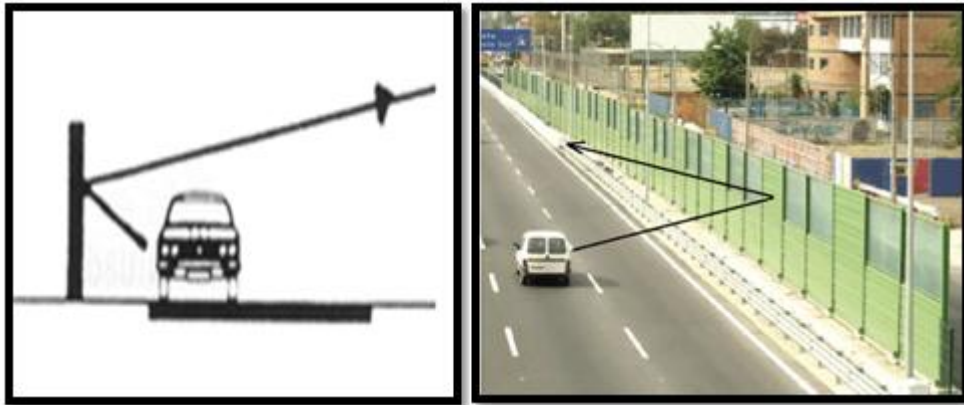


Fig.4.2. Reflexiones a evitar en pantallas acústicas

Fuente: José del campo Yagüe, Madrid, diciembre de 2001

En general, la solución más eficaz para evitar los efectos perjudiciales de ondas reflejadas por las pantallas consiste en utilizar en sus construcciones materiales altamente absorbentes. Esta solución implica un aumento considerable en el coste de las pantallas. En algunos casos, una solución aceptable puede consistir en inclinar una pantalla poco absorbente, de manera que las reflexiones sean encaminadas hacia zonas poco sensibles al ruido. En este caso se recomienda que la inclinación sea de al menos 15 grados con relación a la vertical.

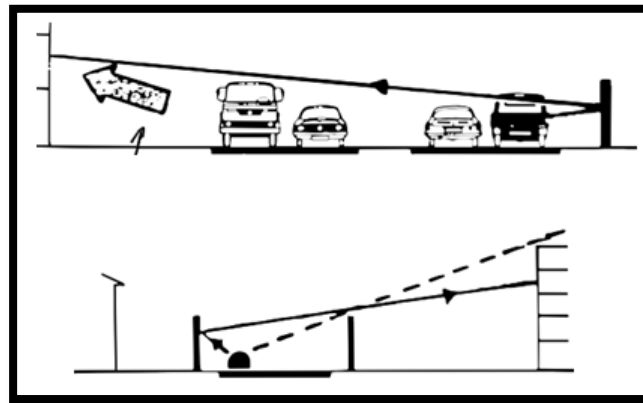


Fig.4.3. Reflexiones a evitar en pantallas acústicas

Fuente: José del campo Yagüe, Madrid, diciembre de 2001

Uno de las situaciones típicas en las que los efectos de las reflexiones sobre las pantallas pueden producir efectos no deseados es el caso de dos pantallas frente a frente a ambos lados de una vía de circulación (Figura 4.3). El "Centre Scientifique et Technique du Batimentent" (C.S.T.B.) de Grenoble (Francia) ha establecido una serie



de recomendaciones en cuanto a los sistemas de protección a adoptar en estas situaciones, las cuales se resumen a continuación.

- a) $H > L/5$: Es recomendable utilizar materiales absorbentes en las pantallas.
- b) $L/5 > H > L/10$: La decisión de utilizar material absorbente depende del entorno y de la posibilidad de inclinar las pantallas. Es recomendable estudiar la eficacia de ambas soluciones.
- c) $L/10 > H > L/20$: La inclinación de las pantallas es preferible a la utilización de los materiales absorbentes, ya que resulta en general más eficaz.
- d) $H < L/20$: La utilización de materiales absorbentes o la inclinación de las pantallas apenas afecta al resultado final.

Donde:

H = altura de las pantallas

L = distancia entre dos pantallas situadas frente a frente

Es preciso recordar que al inclinar una pantalla hacia el exterior, la altura eficaz de la misma disminuye, por lo que para conseguir la misma eficacia acústica que una pantalla vertical, es preciso aumentar ligeramente la altura de las mismas. Por otra parte, si la inclinación de la pared reflectante se consigue mediante el fraccionamiento de la superficie en planos inclinados consecutivos, conviene tener presente que para que la eficacia de las reflexiones sea la adecuada, tanto para las altas frecuencias como para las bajas frecuencias, los planos inclinados deberán tener una altura mínima de 2,50 metros.

4.2.2. Dimensionamiento geométrico

Se han realizado ensayos a escala real, modelos a escala reducida y modelación matemática para comprobar la eficiencia de cada diseño de barrera acústica.



Científicos han determinado los descriptores necesarios para la evaluación del obstáculo difractante. Gracias a esto, han realizado comparaciones con respecto a otros tipos de barrera o del mismo tipo con modificaciones en su diseño. La necesidad de aumentar la eficiencia de la barrera acústica sin aumentar considerablemente los costos ni dañar la parte estética del paisaje, lleva inevitablemente a la creación de nuevos diseños.

Se ha determinado que en carretera el incremento de la altura de la barrera acústica en un metro, entrega un exceso de pérdida de inserción de 1.5 dB.

Watts, Crombie y Hothersall. del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Bradford, Inglaterra, compararon barreras a escala real que seleccionaron luego de un trabajo matemático. Los tipos de barreras seleccionadas fueron barreras dobles, forma de T, barrera de múltiple cumbrera, para ser evaluadas frente a una barrera simple reflectante.

Las mediciones fueron realizadas con un sistema de altavoz portátil y un arreglo de micrófonos hasta 80 metros tras la barrera. El promedio de cada arreglo sirvió para valorar globalmente la eficiencia de cada barrera y así poder compararla.

Basados en mediciones sobre un suelo similar sin barrera, encontraron que el promedio de pérdida de inserción de una barrera reflectante de 2 m de altura fue 10.3 dB. La medición de pérdida de inserción relativa de los otros tipos de barrera respecto a ésta, se resume en la Tabla 4.1.

La barrera en forma de T aportó una mejora de la pérdida de inserción en incidencia normal de 1.4 a 3.1 dB(A). Para las barreras de cumbrera múltiple la mejora fue de 2.4 a 2.7 dB(A), y para las barreras dobles de 2 m de altura la pérdida de inserción relativa fue de 2.6 a 2.8 dB(A). Sin embargo, las barreras dobles de 1.25 y 2 m de altura generaron un aumento de los niveles de ruido medidos en la zona de sombra.



La instalación de material absorbente tuvo un pequeño efecto de 0.6 dB en la pérdida de inserción de barrera en forma de T de 1 m de ancho en incidencia normal. Doblando el ancho de la capa se percibió una mejora de 1.1 dB.

| Opción | Pérdida de Inserción relativa comparada con barrera de 2 m |
|--|--|
| Reflectante simple | |
| ▪ 2 m de altura | --- |
| ▪ 2.5 m de altura | +1.7 |
| ▪ 3 m de altura | +3.6 |
| Forma de T (2 m de altura) | |
| ▪ 1 metro de ancho reflectante | +1.4 |
| ▪ 1 m de ancho absorbente | +2.0 |
| ▪ 2 m de ancho absorbente | +3.1 |
| Cumbrera múltiple (2 m de altura) | |
| ▪ 1 m ancho reflectante, paneles 0.5 m | +2.4 |
| ▪ 1 m ancho absorbente, paneles 0.5 m | +2.5 |
| ▪ 1 m ancho absorbente, paneles 1 m | +2.6 |
| ▪ 2 m ancho absorbente, paneles de 0.5 m | +2.7 |
| Barreras dobles | |
| ▪ separadas 8 m, 1.25 y 2 m de altura | -0.2 |
| ▪ separadas 4 m, ambas 2 m de altura | +3.1 |
| ▪ separadas 8 m de altura, ambas 2 m de altura | +3.7 |

Tabla N°4.1 Pérdida de inserción relativa a incidencia normal.

Fuente: Esteban David Olmos Cancino Valdivia Chile 2002

Una conclusión importante en este trabajo es el hecho de que el comportamiento de la barrera es similar tanto para una fuente lineal como para una fuente puntual. Esto se basa en que la pérdida de inserción relativa a 30° es ampliamente similar a la medida en incidencia normal. La Tabla 4.2 muestra el promedio de la pérdida de inserción relativa, resultante de las mediciones realizadas a 10 y 40 metros detrás de la barrera.



| Opción | Pérdida de inserción a incidencia normal (promedio 20 y 40 m) | Pérdida de inserción a 30 ° (promedio 20 y 40 m) |
|--|---|--|
| Reflectante simple | | |
| ▪ 2 m de altura | --- | |
| ▪ 2.5 m de altura | +1.9 | +2.6 |
| ▪ 3 m de altura | +3.9 | +4.3 |
| Forma de T (2 m de altura) | | |
| ▪ 1 metro de ancho reflectante | +1.2 | +1.6 |
| ▪ 1 m de ancho absorbente | +2.0 | +2.1 |
| ▪ 2 m de ancho absorbente | +3.1 | +3.8 |
| Cumbrera múltiple (2 m de altura) | | |
| ▪ 1 m ancho reflectante, paneles 0.5 m | +2.4 | +1.9 |
| ▪ 1 m ancho absorbente, paneles 0.5 m | +2.7 | +2.3 |
| ▪ 1 m ancho absorbente, paneles 1 m | +2.7 | +2.6 |
| ▪ 2 m ancho absorbente, paneles de 0.5 m | +2.8 | +2.6 |
| Barreras dobles | | |
| ▪ separadas 8 m, 1.25 y 2 m de altura | -1.0 | -0.4 |
| ▪ separadas 4 m, ambas 2 m de altura | +3.1 | +2.6 |
| ▪ separadas 8 m de altura, ambas 2 m de altura | +3.6 | +2.8 |

Tabla N° 4.2 Pérdida de inserción relativa a incidencia normal y 30°. Promedio de mediciones realizadas a 20 y 40 m.

Fuente: Esteban David Olmos Cancino Valdivia Chile 2002

May y Osman, investigadores del Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Canadá, también estudiaron la eficiencia de las llamadas nuevas formas de barreras acústicas, logrando uno de los trabajos de mayor aporte en el tema.

Describieron una típica situación de una autopista en un modelo a escala 1/16, en las cuales simulaban los fenómenos acústicos que se producían cuando el receptor estaba detrás de la barrera simple, en el lado opuesto de la autopista y entre barreras paralelas.

Los tipos de barrera fueron ancha reflectante, ancha con un lado absorbente, convencional con un lado absorbente, forma de T, con cumbrera cilíndrica y en forma de Y. La comparación se hace ante una barrera delgada completamente reflectante, de 4.9 m de altura.

Se consideró una altura de 1.2 m para la fuente, que correspondía a un típico espectro ruido de tráfico compuesto de 8 % de vehículos pesados. La distancia fuente-barrera fue de 12.2 m y la distancia barrera-receptor, fue de 6.1, 12.2, 24.4 y 36.6 m.

Un resumen de los resultados más relevantes respecto a la Pérdida de Inserción de 14.8 dB(A) alcanzada por la barrera acústica de referencia, se indican en la Tabla 4.3.

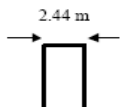
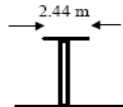
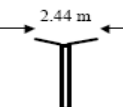
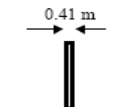
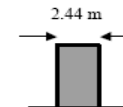
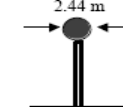
| Opción | Pérdida de inserción relativa comparada con barrera de 4.9 m |
|--|--|
| Ancha reflectante  | +3.1 |
| Forma de T  | +4.2 |
| Forma de Y  | +3.5 |
| Convencional un lado absorbente  | +1.5 |
| Ancha absorbente  | +5 |
| Cumbrera cilíndrica  | +2.5 |

Tabla N° 4.3. Pérdida de inserción relativa obtenida de un modelo de escala 1/16.

Fuente: Esteban David Olmos Cancino Valdivia Chile 2002

4.2.2.1. Longitud de la pantalla

Los métodos anteriormente mencionados permiten evaluar la atenuación debida a la difracción pura, es decir, para una fuente en presencia de una pantalla de longitud infinita. Sin embargo, el dimensionamiento de una pantalla acústica consiste, no solamente en la determinación de su altura, sino también en el de su longitud.

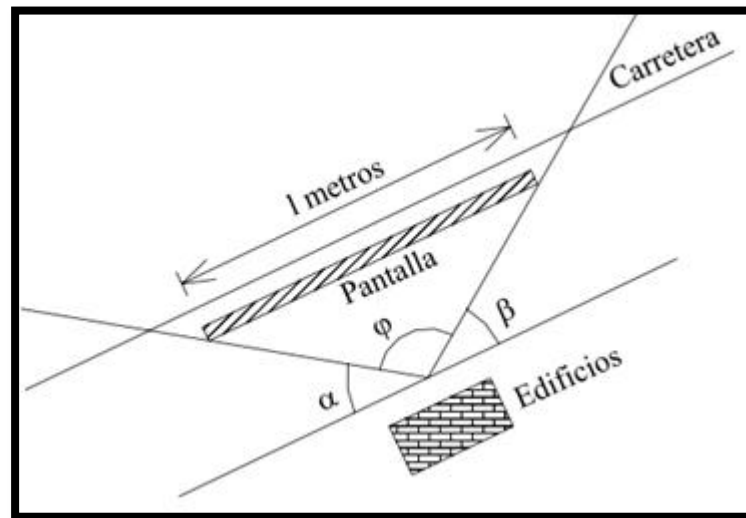


Figura 4.4. Esquema de Protección de un Edificio Contra el Ruido que Provoca una Carretera Mediante una Barrera Artificial.

Fuente: José del campo Yagüe, Madrid, diciembre de 2001

En la práctica, el dimensionamiento de la longitud de las pantallas se realiza mediante la adopción de simplificaciones que permiten una estimación rápida de la longitud en función de la atenuación deseada.

El método más utilizado consiste en considerar que el nivel sonoro que se alcanza en el punto donde está situado el receptor es el resultado de la suma energética de los niveles correspondientes a tres segmentos de fuente lineal (Figura): dos segmentos que corresponden a una propagación directa del ruido a ambos lados de la pantalla, y un segmento que corresponde a la zona de protección de la pantalla.

La energía correspondiente a los segmentos laterales se calcula a partir de la expresión:



$$\boxed{L(\alpha + \beta) = L_d + 10 \log((\alpha + \beta)/180)} \quad \text{Ec. 4.7}$$

donde, L_d es el nivel sonoro producido por la carretera a la distancia d a la que está situado el receptor, y α y β los ángulos de recepción directa del sonido.

La energía correspondiente a la zona protegida por la pantalla se calcula:

$$\boxed{L(p) = L_d + (10 \log p/180) - \text{Atenuación (inf.)}} \quad \text{Ec. 4.7}$$

Donde, L_d tiene el mismo significado que en la expresión anterior, p es el ángulo de cobertura de la pantalla, y la atenuación expresada en db(A) es la resultante de aplicar cualquiera de los métodos anteriores de cálculo de la eficacia de una pantalla de longitud infinita.

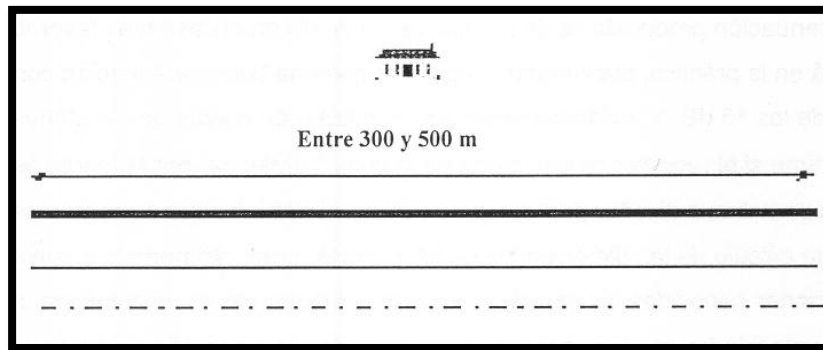
El nivel sonoro resultante como consecuencia del efecto de una pantalla de longitud finita será:

$$\boxed{L = L(\alpha + \beta) + L(\rho)(\text{SUMA ENERGETICA})} \quad \text{Ec. 4.8}$$

Dado que $\alpha + \beta = 180 - \rho$, conociendo el nivel sonoro deseado para el punto receptor y la atenuación proporcionada por la pantalla considerada infinita, podemos obtener el valor de ρ y por tanto la longitud l de la pantalla.

Existen ábacos simplificados como el que incluye la “Guide du bruit transports terrestres” (CENTUR, Francia) con ayuda de los cuales se puede calcular la eficacia de una pantalla y la atenuación que produciría en las mismas circunstancias una pantalla de longitud infinita.

La fig. muestra las dimensiones mínimas que debe tener una pantalla, siendo el emisor una fuente rectilínea (carretera ferrocarril.....)



*Fig.4.5. Dimensiones mínimas de una pantalla de longitud finita
Fuente: José del campo Yagüe, Madrid, diciembre de 2001*

4.2.2.2. Ubicación de la pantalla con respecto a la vía de Circulación

Para obtener un máximo de eficacia acústica conviene que las pantallas se hallen situadas lo más próximo posible a la fuente sonora. En gran parte de los casos, la colocación de las pantallas estará condicionada por la disponibilidad de terreno y por la necesidad de garantizar ciertas condiciones de seguridad para el tráfico de la vía de circulación.

Siempre que sea posible, y dependiendo de las características de la zona que se desee proteger, se tenderá a colocar las pantallas en el borde de las plataformas de las carreteras, de modo que no se afecte a la circulación. En las vías de circulación en las que exista un desmante o una trinchera, la eficacia máxima se obtendrá situando las pantallas en la parte alta del desmante o en la coronación de los muros de contención de tierras.

En la figura 4.3 vemos una simulación en 3D de la ubicación de una pantalla mediante el modelo Mithra V-4.01, y en la figura 4.4. Podemos observar la ubicación de una pantalla en relación a la zona a proteger. Se puede observar la variación en el diseño geométrico respecto de ambas pantallas, tratándose este punto en el epígrafe siguiente.

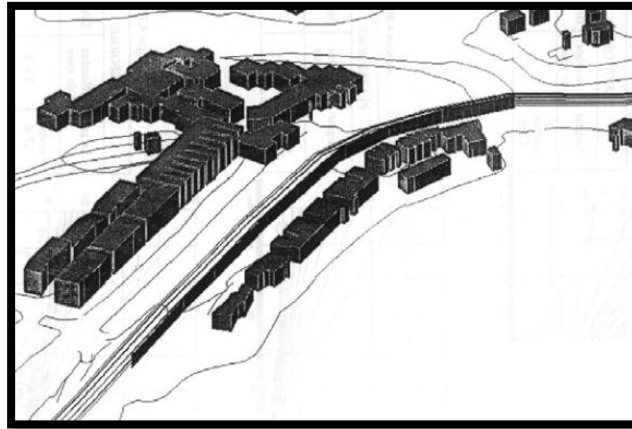


Fig.4.6. Esquema de ubicación de una pantalla
Fuente: José del campo Yagüe, Madrid, diciembre de 2001

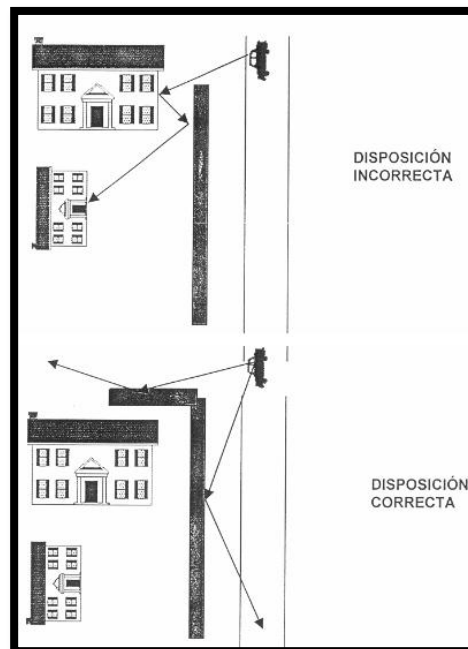


Fig.4.7. Esquema de ubicación de una pantalla
Fuente: José del campo Yagüe, Madrid, diciembre de 2001

4.2.3. Recomendaciones sobre el diseño geométrico de una pantalla.

La eficacia de una pantalla acústica depende entre otros factores, de su altura y de su longitud. En principio este par de factores, h y l , se pueden combinar de multitud de maneras para obtener la eficacia deseada. En general, el proceso de diseño geométrico de las pantallas, comienza por establecer la longitud de la pantalla en función de la extensión de la zona a proteger. Se considera que la longitud de la

pantalla en función de la extensión de la zona a proteger, se considera que la longitud tiene que ser tal que el ángulo protegido sea superior al 90 por ciento. Cuando se realizan pantallas acústicas paralelas a las vías de circulación, una buena atenuación del ruido exigirá que la longitud de las pantallas sea tal que en los extremos de la zona a proteger, la pantalla se prolongue hasta al menos una longitud superior a 150 m, y que para proteger un único edificio difícilmente se conseguirán buenas eficacias con longitudes de pantallas inferiores a 300 m, como vimos anteriormente en la fig 4.3. Para reducir la longitud será preciso cerrar los laterales del receptor con muros perpendiculares a la vía de circulación para atenuar la energía directa recibida por los extremos laterales de la pantalla fig 4.6



Fig. 4.8. Diseño geométrico de una pantalla
Fuente: José del campo Yagüe, Madrid, diciembre de 2001

En lo referente a la altura de las pantallas, de una manera general, debe ser tal que desde la zona a proteger la pantalla oculte la carretera, es decir, que los posibles receptores estén situados en la zona interior limitada por la línea de sombra, con lo que se asegura que la energía recibida por el receptor proviene de fenómenos de difracción y reflexión, y no de propagación libre directa. En la práctica, salvo en casos excepcionales, la altura mínima de la pantalla no debe ser inferior, en general, a 2 m. Por lo que respecta a las alturas máximas, no se suelen sobrepasarlos 6-7 m, ya que a partir de estas alturas, además del enorme costo que supone la obra, la gran



intrusión visual en el entorno que supone la presencia de la pantalla, desaconseja su instalación.

Un adecuado diseño geométrico de las pantallas acústicas incluye así mismo un tratamiento de las extremidades de las mismas. En general es recomendable crear zonas de transición en los extremos de las pantallas, bien sea en forma de pendientes regulares que disminuyan progresivamente la altura de la pantalla, bien por medio de elementos discontinuos de alturas decrecientes.

Se pueden fabricar en diferentes medidas, adaptándose a las necesidades paisajísticas de cada zona, aunque la medida estándar es de 3,96 m. de longitud y 2,40 m. de altura.

En esta aplicación de placas antirruído se fabricara una placa de hormigón ligero de 1 metro por 1 metro y de espesor de 7 cm.

4.3. Construcción de las Placas Antirruído de hormigón ligero

4.3.1. Elementos y materiales constructivos

El tipo de barrera acústica a utilizar presentará ventajas y debilidades asociadas a las exigencias de cada proyecto. Los materiales se seleccionarán tomando en cuenta factores como la vida útil, seguridad y estética, entre otros.

La elección del tipo de material o materiales para una pantalla está determinada por varios factores:

- Por razones acústicas los elementos constitutivos de una pantalla deben presentar buenas características de aislamiento.
- Dependiendo de los casos, podrá exigirse a los materiales que tengan una cierta absorción.



- Por razones de seguridad y durabilidad, los elementos deben ofrecer una resistencia a los agentes climatológicos y otros agentes externos (fuego, agentes contaminantes, etc.)
- En determinadas situaciones, y por razones medioambientales los materiales deberán presentar un color y una textura determinada, ser transparentes o translúcidos, o presentar una apariencia determinada.

Las primeras pantallas acústicas estaban realizadas básicamente con un único material: hormigón, metal, madera, plástico, ladrillo, etc. Con el paso del tiempo y con la finalidad de obtener un mejor comportamiento acústico de las pantallas, se introdujeron elementos nuevos, resultantes de la combinación de varios materiales: paneles tipo sándwich con material absorbente, mezclas vegetalizadas de tierra y materiales sintéticos, mezclas de hormigón y de virutas de madera, etc.

En la actualidad las firmas fabricantes desarrollan y patentan sus propios elementos y materiales constructivos, existiendo una amplia gama de opciones en el mercado. Los materiales más utilizados tradicionalmente en la construcción de pantallas acústicas son el hormigón, la madera, los materiales metálicos, los compuestos plásticos, el vidrio, y los Materiales cerámicos, y como elementos absorbentes la lana mineral y la fibra de vidrio.

4.3.2. Pantallas de hormigón ligero

El hormigón es un elemento tradicionalmente presente en las obras civiles, y se conocen bien sus procesos de fabricación y comportamiento resistente. Desde el punto de vista acústico, el hormigón ha sido utilizado con profusión en la realización de **Pantallas Reflectantes**, aunque en la actualidad existen elementos de hormigón combinado con otros materiales que presentan características de absorción considerables.

La gran mayoría de las pantallas de hormigón se construyen a partir de paneles prefabricados, de fácil ensamblaje y colocación. El espesor medio de las pantallas

suele oscilar entre los 4 y 6 cm. Las pantallas de hormigón ofrecen enormes posibilidades de tratamiento de sus paramentos (Pinturas, Relieves, granulares, fácil acoplamiento de otros materiales, etc.) lo que permite obtener buenas soluciones desde el punto de vista estético fig .4.9



Figura 4.9 Pantallas prefabricadas de hormigón ligero

Fuente: Fuente: www.nortenph.com/imagenes/familias

Según la tabla podemos ver el tamaño máximo de los agregados que se utilizara en la dosificación de la Placa Antirruído.

Ventajas

- buen aislamiento
- fácil mantenimiento
- gran durabilidad

Precauciones ante su prescripción

- analizar efecto de las reflexiones sonoras (en general son Reflectantes o de baja absorción)
- analizar peligro por impacto de vehículos (mucha rigidez) y Riesgo de caída de la pantalla (materiales muy pesados)
- analizar riesgos por obstaculización de la visión

Uso habitual

- Zonas de gran estabilidad de suelo-cimentación
- requerimiento de gran durabilidad (>20 años)



4.3.3 Dosificación, mezclado y control de concreto ligero en la obra (comité ACI-304.

Las especificaciones son las siguientes para la dosificación de agregados gruesos y agregados finos. (Hormigón ligero)

Requisitos de graduación para los agregados en concretos ligeros estructurales (ASTM C-330)

| Designación del tamaño | Porcentajes (por peso) que pasan los tamices de aberturas cuadradas | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | 1 plg (25 mm) | 3/4 plg 19 mm | 1/2 plg 12.5 mm | 3/8 plg 9.5 mm | No 4 4.75 mm | No. 8 2.36 mm | No. 16 1.18 mm | No. 50 300 µm | No 100 1.5µm |
| Agregado fino | | | | | | | | | |
| No 4 a 0 | ----- | ----- | ----- | 100 | 85 - 100 | ----- | 40 - 80 | 10-35 | 5 - 10 |
| Agregado grueso | | | | | | | | | |
| 1 plg a No 4 | 95- 100 | ----- | 25 - 60 | ----- | 0 - 10 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3/4 plg a No 4 | 100 | 90 - 100 | ----- | | 0 - 15 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1/2 plg a No 4 | ----- | 100 | 90 - 100 | | 0 - 20 | 0 - 10 | ----- | ----- | ----- |
| 3/8 plg a No 4 | ----- | ----- | 100 | 80 - 100 | 5 - 40 | 0 - 20 | 0 - 10 | ----- | ----- |
| Agregado grueso y fino combinados | | | | | | | | | |
| 1/2 plg a 0 | ----- | 100 | 95 - 100 | ----- | 50 - 80 | ----- | ----- | 5 - 20 | 2 - 15 |
| 3/8 plg a 0 | ----- | ----- | 100 | 90- 100 | 65 - 90 | 35 - 65 | ----- | 10 - 25 | 5 - 15 |

Tabla N° 4.4. Requisitos de graduación para los agregados en concreto ligeros estructurales ASTM-C-330
Fuente: http://.cement.org/basics/concretebasics_concretebasics.asp

Para propósitos ilustrativos en tabla 2.3.1 se muestra una mezcla típica de concreto de peso ligero preparado en el laboratorio. Esta mezcla se proporcionó mediante los métodos de peso descritos en el ACI 211.2 Los requerimientos de las especificaciones dara concreto de peso ligero, y las propiedades de los agregados gruesos de peso ligero, así como los agregados finos se dan del siguiente modo:



Especificaciones: 210 Kg/cm^2 (20.7 Mpa.) a 28 días Revenimiento de 7.5 a 10 cm, entrada de aire de 6 ± 1 porciento, peso máximo de secado al aire $1602 \frac{\text{K}}{\text{m}^3}$ peso máximo húmedo $1682 \frac{\text{K}}{\text{m}^3}$, Tamaño máximo de los agregados $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm).

Propiedades de los agregados en las muestras de laboratorio: agregados gruesos de peso ligero: La granulometría satisface el ASTM C 330, La pérdida de peso por secado en horno = $730 \frac{\text{K}}{\text{m}^3}$, Facto de peso específico (seco) 1.4, absorción del 12.6 por ciento, 24 horas.

Agregados finos de peso ligero: la granulometría satisface el ASTM C- 330, La pérdida de peso por secado en horno = $956 \frac{\text{K}}{\text{m}^3}$, Factor de peso específico (seco) 1.74, Absorción del 13.4 por ciento en 24 horas.

DATOS DE LABORATORIO

| Concepto | Vol. Suelto | Vol. Abs. |
|-------------------------|-------------|-----------|
| Peso específico Cemento | 1,52 | 3,16 |
| Peso específico Grava | 0,73 | 1,40 |
| Peso específico Fino | 0,96 | 1,74 |

Tabla N° 4.5. Datos se laboratorio Norma ACI-304

Fuente: Norma ACI-304

PROPORCIONES EN LAS MEZCLAS DE LABORATORIO DE CONCRETO LIGERO ACI-304

| Concepto | Peso kg | Vol. suelto m3 | Vol. absoluto m3 |
|-----------------------------|---------------------|----------------|------------------|
| | Cantidades para 1m3 | | |
| Cemento | 335 | 0,22 | 0,106 |
| Agua libre | 181 | 0,181 | 0,181 |
| Aire atrapado | Del fabric. | 6 | 0,06 |
| Agregado grueso (seco) | 459 | 0,63 | 0,328 |
| Agregado fino ligero (seco) | 565 | 0,59 | 0,325 |
| Total | 1674 | | 1 m3 |

Tabla N° 4.6. Proporciones en las mezclas de laboratorio de concreto ligero ACI-304

Fuente: Norma ACI-304 Concreto ligero

4.4. Aislamiento de la Placa Antirruído

Se entiende por Aislamiento la capacidad de no transmitir la energía sonora. Lógicamente el mecanismo mas normal para no transmitir energía es reflejarla. Se entenderá que un material es aislante si es capaz de reflejar una parte importante dela



intensidad acústica que recibe. El aislamiento puede definirse de varias formas, en una barrera por ejemplo puede definirse como:

La intensidad transmitida puede serlo mediante dos mecanismos, el primero que ya ha sido citado es la difracción, el segundo la transmisión a través de la propia barrera. Cuando el sonido llega a la barrera esta vibra y su vibración se transmite al otro lado en forma nuevamente de ruido.

Cuando se habla de Aislamiento de la barrera se entiende que nos referimos a la transmisión “a través” de la barrera. En general el aislamiento por difracción de una barrera acústica en la práctica no es nunca superior a los 24 dB.

Aislamiento de paneles controlados por la Ley de Masa: En esta zona el aislamiento sigue prácticamente la Ley de Masas y sólo posee una variante con respecto al planteamiento teórico, que es la incidencia del sonido.

Para una incidencia aleatoria, que es la que se da normalmente en espacios cerrados, puede estimarse una disminución de 5 dB en las pérdidas por transmisión TL con respecto a su valor teórico, quedando la fórmula como sigue:

$$\boxed{TL_{\text{real}} = 20\log M + 20\log f - 47\text{dB}} \quad \text{Ec. 4.9}$$

Siendo:

TL = Pérdidas por transmisión (dB)

M = Masa por unidad de superficie (Kg/m²)

f = Frecuencia (Hz)

Aislamiento de paneles en zona controlada por amortiguación interna (damping): Esta zona se caracteriza por proporcionar un aislamiento acústico muy inferior al esperado por la Ley de Masas y variable en el ancho de banda.

Al ser excitado el panel mediante un haz de ondas sonoras planas, éste transmite la energía en forma de ondas de flexión, las cuales se caracterizan por transmitirse transversalmente. Estas ondas de flexión del panel sólido poseen una frecuencia de vibración que es función del tipo de material y de las características físicas de este (directamente proporcional a la masa y al espesor e inversamente proporcional a la rigidez).

Cuando la frecuencia de la onda de flexión es igual a la frecuencia del sonido incidente, se produce un acoplamiento entre las ondas aéreas y la de flexión, al ser ambas de la misma frecuencia y transmitir a la misma velocidad, lo que lleva a producir un aislamiento teórico de cero para esta frecuencia que se denomina frecuencia crítica f_c (Efecto de Coincidencia). Se incluye a continuación un gráfico en el que se dan los espesores mínimos de distintos materiales para que la frecuencia de coincidencia quede fuera de margen.

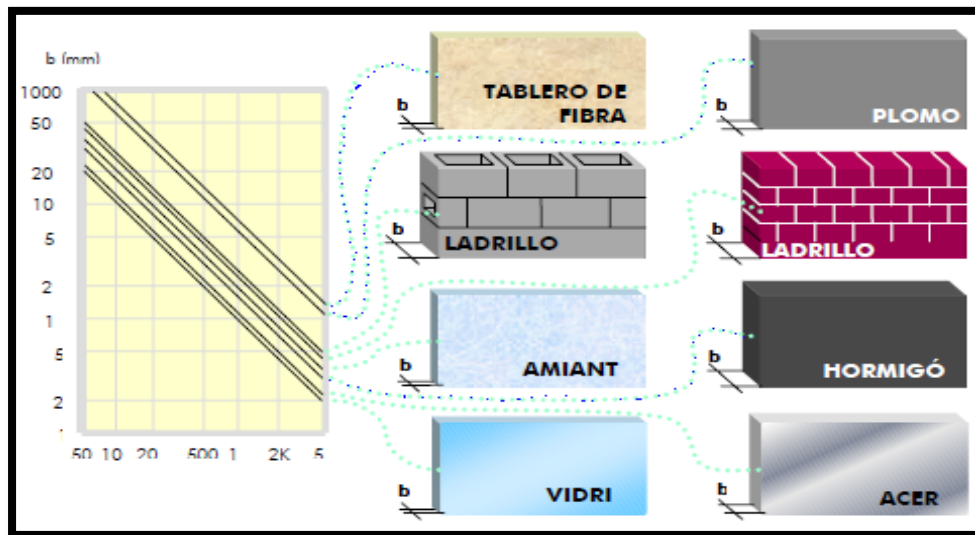


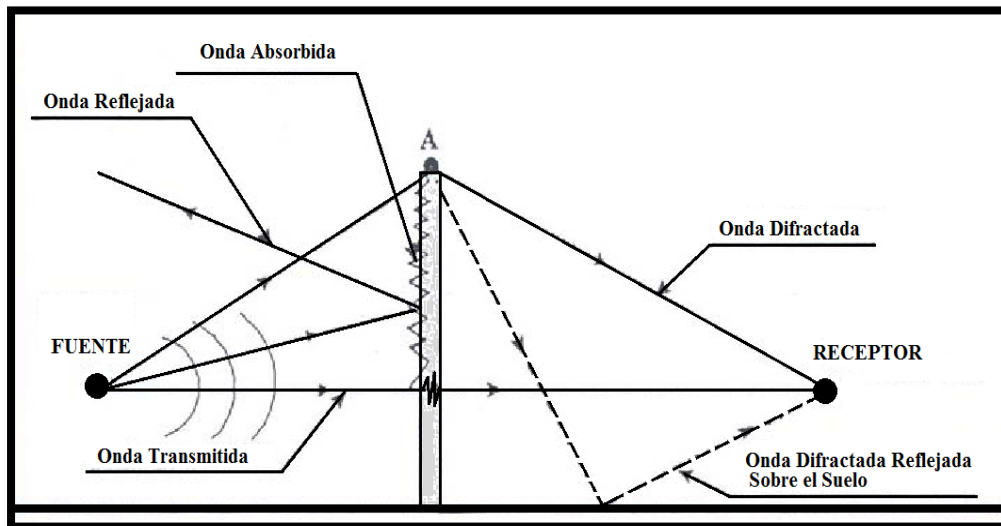
Figura N° 4.10 materiales acústicos
Fuente: Materiales Acústicos (damping)

Debido básicamente a las fuerzas de rozamiento y amortiguación internas (damping), el aislamiento acústico para la frecuencia crítica es distinto de cero. Para frecuencias superiores a la frecuencia crítica, hay siempre un ángulo de incidencia para el cual los sucesivos frentes de ondas alcanzan la pared a distancias iguales a la longitud de la

onda de flexión del panel (suponiendo incidencia aleatoria del sonido), de ahí que para frecuencias superiores a la frecuencia crítica el aislamiento de un panel siga siendo inferior al esperado por la Ley de la Masa.

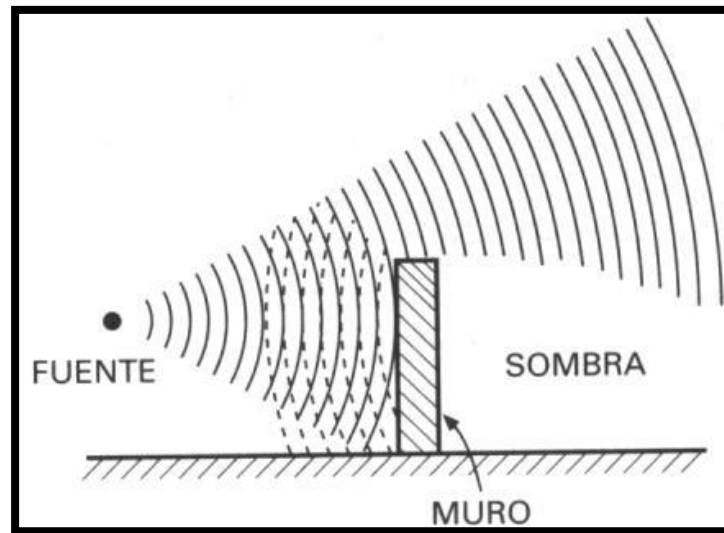
4.5. Transmisión sonora a través de la Placa Antirruído

Todos los materiales cuando reciben ruido producen tres tipos de respuesta desde el punto de vista acústico. Reflejan y transmiten parte de la energía que reciben y también la transforman en calor. Se dice que son materiales absorbentes del sonido. Naturalmente la capacidad absorbente de un material acústico también es función de la frecuencia. La utilización de material absorbente en las barreras acústicas es de importancia fundamental.



*4.11. Transmisión del sonido a través de una pantalla
Fuente: Evaluación de Impacto Acústico. Chile Septiembre 2009*

La atenuación del ruido sobre la propagación, puede lograrse mediante la obstaculización a la transmisión del sonido con distintos sistemas, tales como pantallas acústicas verticales, diques de tierra, trincheras, sembrado de árboles, se presenta el rango de amortiguación sonora dependiendo del tipo de protección que se utiliza.



4.12. Apantallamiento de una Barrera Acústica
Fuente: Evaluación de Impacto Acústico. Chile Septiembre 2009

Al interponer un obstáculo sólido entre el foco emisor y el receptor se producen la zona en que este último está situado un efecto de atenuación del ruido, debido a ciertos fenómenos inducidos por la presencia del obstáculo. La energía acústica incidente sobre el obstáculo es en parte disipada o encaminada en otras direcciones, por lo que la energía que alcanza la zona del receptor es inferior a la que lo haría sino estuviera el obstáculo. Los fenómenos que se producen son los siguientes:

- Parte de la energía acústica se refleja al incidir sobre el obstáculo, siguiendo leyes similares a las de la Óptica.
- Parte de la energía acústica puede ser absorbida por el obstáculo, disipándose en otras formas de energía.
- Parte de la energía es transmitida al otro lado del obstáculo
- Parte de la energía es difractada por los bordes del obstáculo, produciéndose un cambio de trayectoria en la propagación del sonido

La energía que recibe un receptor situado tras el obstáculo es la resultante de la energía de la onda directa que recibe, la energía de la onda transmitida y la energía de la onda difractada.

En el caso de que el obstáculo o barrera tenga unas dimensiones tales que la energía recibida directamente por el receptor sea despreciable, la atenuación del ruido que proporciona la energía difractada y de la energía transmitida. En la practica las barreras acústicas son capaces de conseguir que la energía de la onda transmitida sea muy inferior a la aportación de la energía por parte de la onda difractada.

Como resultado de todos estos fenómenos, las barreras acústicas producen un efecto de atenuación del sonido en la zona del receptor. Esta atenuación depende fundamentalmente de las dimensiones de la barrera que son las que determinan la aportación de la energía directa y la difractada, y del aislamiento que aporta la barrera al oponerse a la transmisión del sonido que depende fundamentalmente de sus materiales y, en menor medida, de su espesor.

| PROTECCIÓN | AMORTIGUACIÓN SONORA (dB) |
|------------------------|--|
| Arbolado | Depende del tipo de la especie utilizada y de la estrategia de siembra |
| Trincheras | 3 a 8 |
| Pantallas artificiales | 5 a 16 |
| Diques de tierra | 20 |
| Semitúnel | 14 a 20 |
| Falsos túneles | 40 |

Tabla 4.7. Rango de amortiguaciones

Fuente: Juan Tiktin

4.6.Cimientos de las Placas Antirruído in situ

Para el diseño de los cimientos las siguientes consideraciones son importantes:

- Los efectos del viento afectan la estabilidad de la estructura dada la gran superficie de las barreras acústicas.
- Las juntas en los puntos de contacto entre los elementos de la barrera pueden reducir las capacidades de atenuación.

- Los cimientos pueden tener una proporción importante en el costo total. En zonas donde existe una gran carga de viento, los cimientos pueden representar un 30 % del costo del conjunto de la barrera.

Los tipos de cimientos más utilizados en los países que han instalado barreras acústicas son:

- Fundación de concreto reforzado con postes anclados en su borde superior. La fundación puede ser un cilindro de concreto o de base continua y los postes de acero, concreto reforzado o madera. La profundidad está en función de la altura de la barrera y la carga de los vientos locales. La fundación cilindro de concreto y base continua se muestra en la Figura 4.13.



Figuras 4.13. Cimientos y anclajes
Fuente: Esteban David Olmos Cancino Valdivia Chile 2002

Fundación de concreto no reforzado con postes empotrados totalmente. Esta fundación está basada en cilindro de concretos con postes de acero o concreto reforzado. Los postes son usualmente empotrados en la fundación de concreto 300 mm desde el fondo del cimiento. Un ejemplo de poste metálico empotrado se muestra en la Figura 4.14.



Figura 4.14 Poste Metálico Empotrado

Fuente: Esteban David Olmos Cancino Valdivia Chile 2002

4.7. Las soluciones tipo

La experiencia existente en el contexto europeo sobre la utilización de pantallas acústicas como solución a los problemas derivados de la contaminación sonora originada por las infraestructuras de transporte se caracteriza por una general aprobación en cuanto a su eficacia, y por la existencia de una gran heterogeneidad en las soluciones y tipos de materiales adoptados.

Las investigaciones y programas emprendidos en la actualidad se orientan hacia la homogeneización de los tipos de pantallas a utilizar. Se pretende, aprovechando la experiencia adquirida, optimizar las soluciones existentes, creando “soluciones tipo” que permitan una racionalización de los procesos de fabricación de los elementos constituyentes de las pantallas y una reducción en sus costes finales. Por otra parte, la existencia de estas soluciones tipo permitirá un mayor control sobre las características mecánicas y acústicas de las pantallas, garantizando su eficacia.

La utilización de los materiales para este tipo de pantalla de Hormigón Ligero ofrece un gran número de ventajas. Ofrecen enormes posibilidades de tratamiento de sus paramentos (pinturas, relieves, granulados, fácil acoplamiento de otros materiales,



etc.), lo que permite obtener buenas soluciones desde el punto de vista Estético, resistentes al fuego, etc.

Otra característica deseable para las soluciones tipo de pantallas, es que sean adecuados, es decir, capaces de adaptarse a distintas situaciones medioambientales, ofreciendo una buena calidad de inserción en el entorno.

La solución es la instalación de pantallas de hormigón ligero se componen de una estructura de 7 cm de espesor revestida por dos capas de conglomerado de madera mineralizada y cemento, un material de elevada absorción acústica y durabilidad. Los modelos de pantalla de hormigón están disponibles en dos formatos, es decir, una capa absorbente y la otra lisa, o las dos caras absorbentes, dependiendo del modelo deseado. En sus extremos se cuenta con una banda maciza de hormigón que permite el encaje en cualquier viga de acero de perfiles estándar.

Características

- Los paneles resisten perfectamente las heladas, la humedad e incluso el fuego.
- Las barreras pueden ser cubiertas por vegetación sin ninguna medida especial, ya que el tratamiento mineralizante de la madera lo hace imputrescible e inalterable.
- Las pantallas son resistentes, al impacto, al moho, a los hongos, a las termitas y al salitre, requiriendo muy poco mantenimiento.
- Su textura rugosa y su dureza hace difícil la pintura de grafitis y permite resistir los actos vandálicos.
- Los paneles son sólidos y ligeros, por lo que resulta muy fácil su montaje. Una vez instaladas los postes de encaje, el ensamble se realiza de forma rápida y sencilla con la ayuda de una grúa. El sistema de fijación permite la sustitución de un elemento en caso de su deterioro.
- Existen paneles especiales para la formación de curvas en caso de ser necesario.



- En el panel se pueden integrar otros elementos como salidas de emergencia, reflectores, huecos acristalados, o cualquier elemento utilizado en construcción.
- Los paneles están compuestos de hormigón y conglomerado de madera y cemento todas las materias primas componentes naturales, y no contaminantes.
- La barrera puede fabricarse con distintos acabados, siendo el acabado estándar en rojizo. También se pueden solicitar otros colores y texturas de acabado.

CAPÍTULO V APLICACIÓN PRÁCTICA

5.1.Ubicación

El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de Tarija provincia Cercado, al Nor-Este de la ciudad de Tarija, entre los barrios Florida, San Bernardo, sobre la Avenida circunvalación, (Trayecto de la avenida Colón y Avenida La Paz)

Localización en la macro región

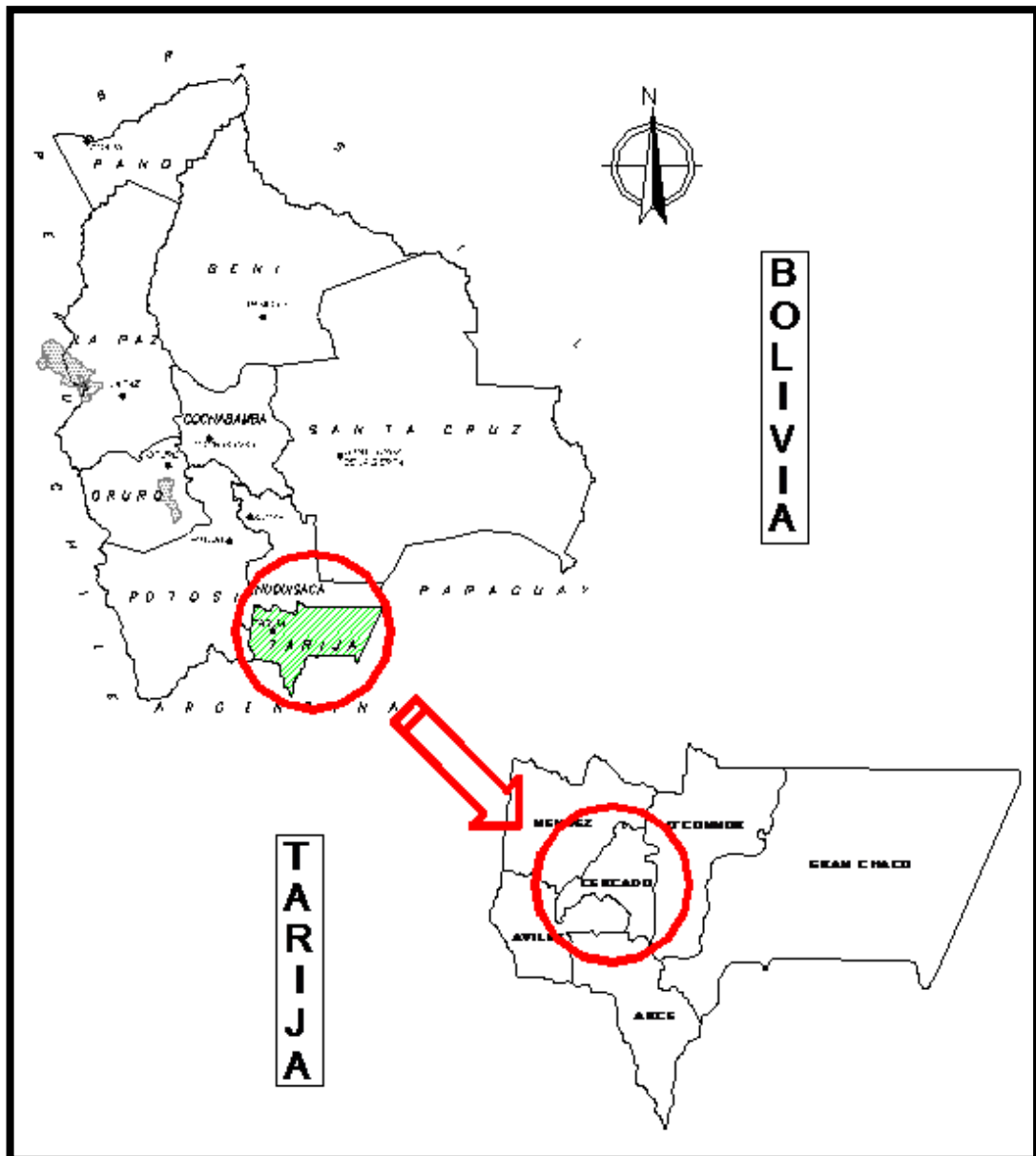


Figura N° 5.1 Localización en la macro región. Fuente Propia

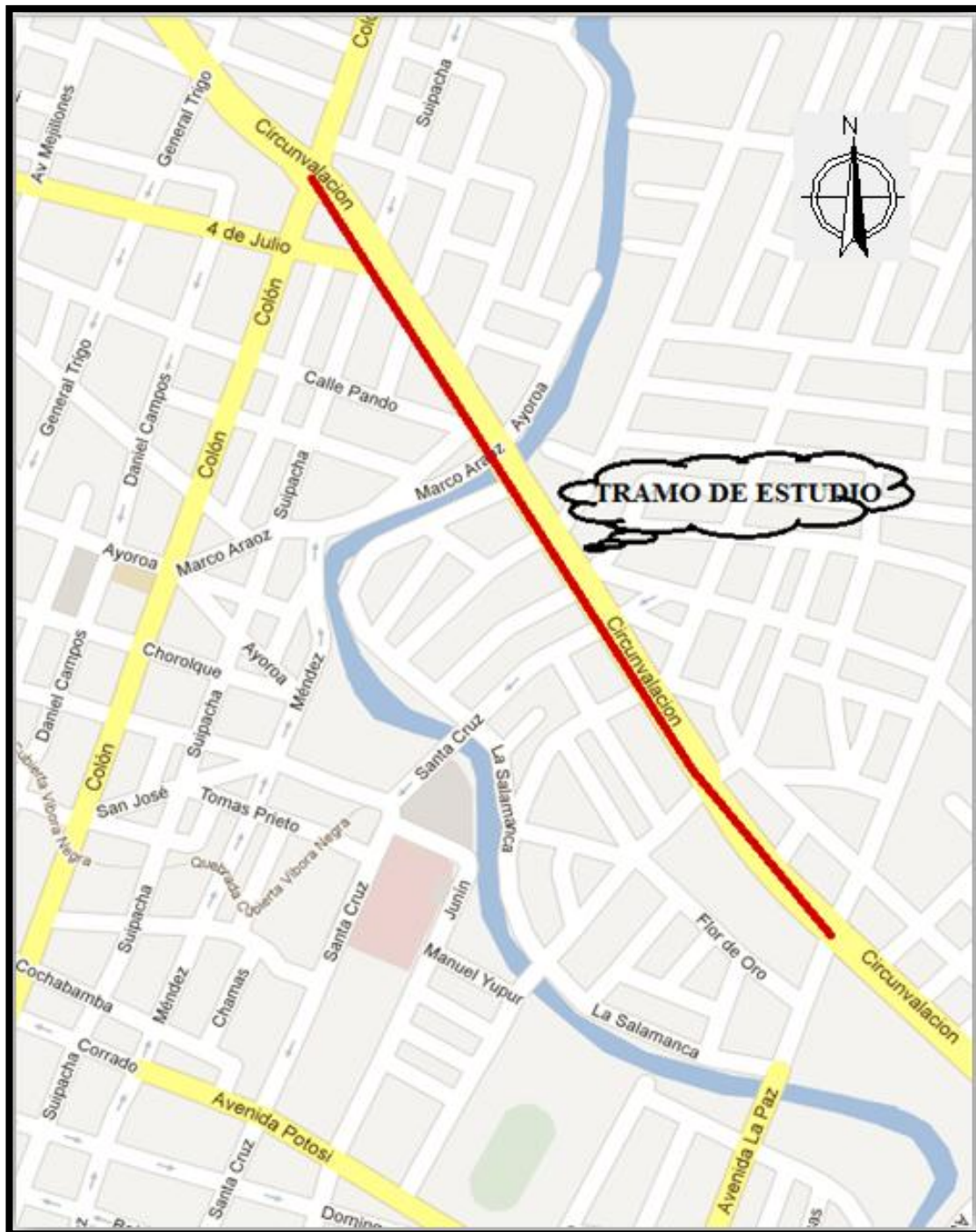


Figura N° 5.2 Plano de la zona: localización en la microrregión. Fuente Propia

Se muestra la ubicación en casi todo el trayecto de la circunvalación, desde la avenida La Paz hasta la Avenida Colón donde se aplicará las Placas Antirruído de Hormigón Ligero.



5.2. Características del área de estudio

5.2.1. Servicios básicos existentes

El área de estudio cuenta con los servicios básicos:

➤ Agua Potable

Más del 90 % de la Avenida Circunvalación cuenta con agua por cañería, (agosto a diciembre) solo se cuenta con este servicio de dos a tres horas por día. La administración y control del suministro de agua en todo el municipio de Tarija está a cargo la Empresa COSAALT.

➤ Luz Eléctrica

Más del 90 % de la Avenida Circunvalación cuenta con este servicio. La administración y control del suministro de energía eléctrica en todo el municipio de Tarija está a cargo de la empresa de Servicios Eléctricos de Tarija (SETAR).

➤ Gas Domiciliario

En este tramo de la Avenida Circunvalación (desde la avenida La Paz hasta la Avenida Colón), en un 90 % de las familias que viven en este lugar tienen este servicio. La administración y control del suministro de gas domiciliario en todo el municipio de Tarija está a cargo Empresa Tarijeña del Gas (EMTAGAS).

➤ Alcantarillado Sanitario

Más del 80 % del área de estudio cuentan con el sistema de servicio de Alcantarillado Sanitario. La administración y control lo realiza COSAALT.

5.2.2. Características de ruido en el área de estudio

En un tramo de la Avenida Circunvalación, desde la avenida La Paz hasta la Avenida Colón, podemos ver muchas fuentes de ruido, pero sin embargo en el fondo acústico destacan algunos elementos que por su distribución y abundancia, el tráfico rodado es el causante del 99 % del ruido urbano en particularmente las fatigadas



neuronas de los sufridos e indefensos ciudadanos que conviven cotidianamente con la avalancha sonora. Algunos de estos elementos son los siguientes:

- **Tráfico rodado**

En especial las motocicletas y sobre todo aquellas con escapes libres. Se ha deducido que una sola de estas motocicletas, en una noche cualquiera, en esta zona de estudio de tipo medio, en un solo recorrido por una avenida puede despertar a miles de personas.

Los principales fuentes de ruido que hay en esta Avenida son: “Tráfico Vehicular” conformado por: vehículos pesados, vehículos livianos, bocinazos, frenadas, aceleraciones, discusión entre conductores y peatones.

- **Actividades de ocio**

Bares, discotecas, etc. Aunque generalmente los locales suelen respetar las ordenanzas municipales, el solo traslado de personas que entran a Obras y construcción, el ruido causado por un martillo neumático o periodos prolongados de obras (levantamiento de calles, construcción de viviendas, etc.) puede adquirir fácilmente una dimensión compleja de soportar.

- **Voces, parques infantiles**

Acontecimientos culturales o deportivos, verbenas, etc., el ruido que supone en ocasiones puede dar lugar a situaciones puntuales muy estresantes.

- **Aviones**

Numerosos aviones sobrevuelan la zona de estudio, de manera que han contribuido a que la contaminación acústica haya aumentado de forma espectacular en su radio de acción.



- **Industrias**

Aunque las grandes fábricas por lo general han abandonado la ciudad, son numerosos los talleres y pequeñas industrias las integradas en el tejido urbano con el consiguiente aumento del nivel sonoro.

- **Animales**

Son muy numerosos los animales que viven en la zona de estudio y algunos de ellos especialmente ruidosos, como los perros con sus ladridos nocturnos, los gatos con sus maullidos, etc. salen o que se quedan en la calle, gritos, voces, etc. hacen que el descanso y el sueño sean difícil de conciliar.

5.2.3. Situación actual del tráfico rodado y el medio ambiente en la avenida circunvalación

La principal fuente de ruido es el tráfico rodado. Como se puede apreciar en el siguiente Tabla N° 5.1, el parque automotor en la Ciudad de Tarija ha aumentado en los últimos años.

El Instituto Nacional de Estadística (INE) pone a disposición de analistas, investigadores, responsables de la toma de decisiones y público usuario, la publicación «*Estadísticas del Parque Automotor, 1998 - 2010*», que contiene información estadística confiable, oportuna y consistente sobre el desempeño de este sector económico.

Este documento presenta datos referidos al Parque Automotor, considerando las variables de desagregación, como ser: Departamento y Municipio, Uso de Combustible, Capacidad de Carga, Número de Cilindrada y Modelo.



PARQUE AUTOMOTOR DE LA CIUDAD DE TARIJA

| Cuadro N° 2.6 | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| TARIJA: PARQUE AUTOMOTOR, SEGÚN TIPO DE SERVICIO Y CLASE DE VEHÍCULO, 1998 - 2010 | | | | | | | | | | | | | |
| (Número de vehículo) | | | | | | | | | | | | | |
| SERVICIO/VEHÍCULO | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 ^(a) |
| TOTAL | 5.316 | 15.995 | 22.823 | 23.844 | 24.247 | 25.189 | 27.254 | 28.612 | 31.711 | 37.529 | 43.910 | 48.884 | 53.668 |
| Particular | 4.519 | 12.915 | 18.455 | 19.067 | 21.314 | 22.649 | 25.076 | 26.114 | 29.026 | 34.605 | 41.196 | 45.854 | 50.428 |
| Automóvil | 1.284 | 3.784 | 5.208 | 5.327 | 6.078 | 6.387 | 6.859 | 7.009 | 7.567 | 8.472 | 9.358 | 10.015 | 10.786 |
| Camión | 553 | 1.645 | 2.341 | 2.344 | 2.794 | 3.010 | 3.451 | 3.577 | 3.757 | 4.364 | 5.159 | 5.463 | 5.642 |
| Camioneta | 1.274 | 3.288 | 4.485 | 4.674 | 4.838 | 5.014 | 5.328 | 5.448 | 5.660 | 6.099 | 6.573 | 6.975 | 7.433 |
| Furgón | 9 | 12 | 17 | 17 | 19 | 20 | 24 | 25 | 29 | 33 | 39 | 42 | 48 |
| Jeep | 363 | 837 | 1.177 | 1.241 | 1.260 | 1.318 | 1.438 | 1.487 | 1.666 | 1.842 | 1.949 | 2.019 | 2.101 |
| Microbús | 61 | 190 | 263 | 241 | 442 | 510 | 646 | 631 | 669 | 743 | 885 | 893 | 924 |
| Minibús | 86 | 270 | 351 | 357 | 434 | 472 | 535 | 553 | 567 | 621 | 698 | 758 | 849 |
| Moto | 70 | 236 | 533 | 666 | 717 | 885 | 1.120 | 1.292 | 1.516 | 1.937 | 2.675 | 3.604 | 4.671 |
| Ómnibus | 16 | 31 | 54 | 51 | 111 | 136 | 173 | 183 | 181 | 212 | 241 | 256 | 249 |
| Quadra Track | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 6 | 7 | 12 |
| Torpedo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tracto - Camión | 4 | 7 | 13 | 14 | 17 | 14 | 23 | 56 | 98 | 107 | 146 | 178 | 212 |
| Trimóvil - Camión | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Vagoneta | 799 | 2.615 | 4.013 | 4.135 | 4.604 | 4.882 | 5.477 | 5.851 | 7.312 | 10.171 | 13.464 | 15.640 | 17.496 |
| Público | 762 | 2.976 | 4.163 | 4.547 | 2.638 | 2.194 | 1.803 | 1.969 | 2.084 | 2.187 | 1.829 | 1.978 | 2.050 |
| Automóvil | 278 | 967 | 1.277 | 1.364 | 689 | 538 | 420 | 445 | 415 | 402 | 318 | 323 | 325 |
| Camión | 166 | 647 | 906 | 1.030 | 626 | 508 | 413 | 479 | 559 | 637 | 538 | 554 | 568 |
| Camioneta | 21 | 120 | 161 | 188 | 113 | 98 | 102 | 102 | 98 | 94 | 81 | 80 | 79 |
| Furgón | 0 | 0 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jeep | 0 | 2 | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Microbús | 108 | 465 | 640 | 684 | 490 | 451 | 370 | 399 | 397 | 374 | 332 | 379 | 386 |
| Minibús | 23 | 137 | 160 | 174 | 102 | 82 | 77 | 78 | 78 | 81 | 71 | 81 | 77 |
| Moto | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ómnibus | 54 | 146 | 171 | 183 | 126 | 108 | 95 | 107 | 123 | 128 | 135 | 151 | 170 |
| Quadra Track | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Torpedo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tracto - Camión | 0 | 2 | 5 | 6 | 4 | 7 | 8 | 13 | 24 | 60 | 76 | 116 | 144 |
| Trimóvil - Camión | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Vagoneta | 112 | 490 | 836 | 906 | 483 | 395 | 314 | 342 | 387 | 408 | 277 | 293 | 300 |
| Oficial | 35 | 104 | 205 | 230 | 295 | 346 | 375 | 529 | 601 | 737 | 885 | 1.052 | 1.190 |
| Automóvil | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Camión | 7 | 16 | 27 | 28 | 38 | 40 | 43 | 58 | 85 | 114 | 158 | 193 | 200 |
| Camioneta | 16 | 40 | 73 | 77 | 88 | 97 | 104 | 117 | 129 | 152 | 170 | 195 | 210 |
| Furgón | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Jeep | 6 | 11 | 21 | 23 | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 36 | 50 | 50 |
| Microbús | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Minibús | 0 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Moto | 2 | 14 | 36 | 51 | 78 | 113 | 120 | 245 | 263 | 337 | 395 | 468 | 571 |
| Ómnibus | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Quadra Track | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 15 |
| Torpedo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tracto - Camión | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 4 | 5 | 5 |
| Trimóvil - Camión | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Vagoneta | 2 | 16 | 39 | 41 | 58 | 62 | 72 | 73 | 81 | 89 | 104 | 114 | 122 |

Tabla N° 5.1 Parque Automotor de la ciudad de Tarija

Fuente: Registro único para la administración tributaria municipal instituto nacional de estadística-Bolivia

También el transporte representa hoy uno de los principales problemas para la sostenibilidad del modelo de desarrollo en Bolivia. La participación del transporte en las emisiones de contaminantes, en la ocupación del suelo, en la fragmentación del territorio, en la contaminación acústica, en la congestión de ciudades, en la pérdida de



hábitat y biodiversidad y en las muertes por accidentes aparecen como características comunes y Preocupantes en todos los países.

El transporte es uno de los principales sectores económicos que presenta, además, un carácter horizontal con influencia en el resto de las actividades económicas. Se caracteriza por un crecimiento elevado.

El tráfico rodado, se ha convertido en poco tiempo en la fuente de contaminación acústica más importante de la ciudad de Tarija. Esta afirmación se basa en el aumento espectacular que ha experimentado el parque automovilístico (Tabla 5.2). Los vehículos no son una fuente sonora excesivamente ruidosa si se consideran individualmente, pero sí en su conjunto.

Los niveles y composición espectral del ruido de tráfico varían considerablemente en función de numerosos parámetros. En efecto, estos ruidos dependen de los tipos de vehículos que los generan, de las condiciones de utilización, de la carga transportada, etc.; en cualquier caso, el parámetro más importante es la intensidad de tráfico. Las condiciones de las infraestructuras correspondientes (naturaleza y estado del firme, regulación del tráfico, estructura urbanística, etc.) desempeñan también un papel significativo. En un vehículo automóvil ordinario, las fuentes sonoras son muy diversas, considerándose como principales las explosiones del motor y el ruido producido por el desplazamiento de los neumáticos sobre el revestimiento de la calzada.

En resumen este trabajo de Aplicación de Placas Antirruído es para reducir el ruido de tráfico, sobre todo de los vehículos pesados, motos, que circulan por la avenida circunvalación, de esta manera las viviendas cercanas al área de estudio verán reducir el impacto del ruido de tráfico tanto de día como de noche cuando es especialmente molesto para el descanso.



5.3. Medición y análisis de ruido en la avenida circunvalación

5.3.1. Instrumento de Medición

El instrumento de medición utilizado fue un Sonómetro Tipo 2 de la línea EXTECH modelo 407750, perteneciente al Gobierno Municipal de la Ciudad de Tarija y la Provincia Cercado, se utilizó el filtro ponderación de frecuencia “A” y el tiempo de respuesta Lento del instrumento, los resultados de las mediciones se expresaron en dB(A). Lento.

| ESPECIFICACIONES | |
|-----------------------------------|--|
| Pantalla | LCD retro iluminada de 2000 cuentas, gráfica de barras análoga |
| Tasa de actualización de pantalla | Dígitos primarios LCD: 0.5 segundos; Gráfica de barras: 50 m |
| Gráfica de barras análoga | En incrementos de 1dB con amplitud de 50dB |
| Micrófono | Condensador Electret (0.5” diámetro) |
| Amplitud de banda de medición | 31.5 Hz a 8 kHz |
| Escala de medición | Ponderación A: 30 a 130 dB; Ponderación C: 35 a 130 dB 6 escalas en incrementos de 10 dB: 30 a 80dB, 40 a 90dB, 50 a 100dB, 60 a 110dB, 70 a 120dB, 80 a 130dB |
| Precisión / Resolución | ± 1.5dB / 0.1dB |
| Selección del tiempo de respuesta | Rápido (125 ms) y Lento (1 segundo) |
| Salidas análogas CA y CD | 0.707 VCA rms en toda la escala; 10m VDC / dB; Enchufes de salida de 3.5 mm |
| Normas | Cumple con ANSI y IEC Tipo 2 |
| Calibrador externo | Modelos Extech 407766 o 407744 |
| Tensión | Batería de 9V; Vida de la batería 20 horas (típica) con indicación de batería débil |
| Dimensiones / peso | 80 x 256 x 38 mm (3.2 x 10.1 x 1.5”) / 240 g (8.5 oz.) |

*Tabla N° 5.2 Especificación del Sonómetro
Fuente: Manual EXTECH. Modelo 47750.*

Descripción del medidor

1. Pantalla LCD
2. Micrófono
3. Tecla ON/OFF
4. Tecla REC (Registrar)
5. Tecla MAXHLD (Retención de máximos)
6. Tecla selección ponderación C/A
7. Tecla BA (Absorción de fondo)
8. Tecla F/S selección de respuesta Rápida / Lenta
9. ABAJO
10. Tecla retroiluminación (LCD)
11. ARRIBA
12. Enchufe adaptador CA
13. Tornillo ajuste de calibración
14. Enchufe salida análoga CA
15. Enchufe de salida análoga CD
16. Enchufe de salida RS-232

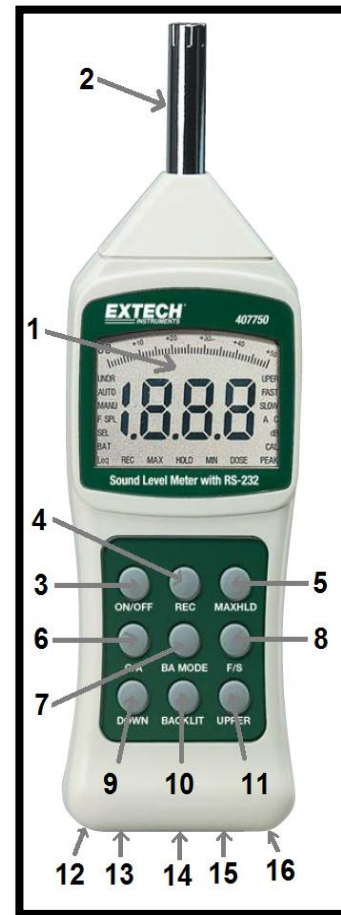


Figura N° 5.3 Sonómetro.
Fuente: Manual EXTECH. Modelo 47750.



Figura N° 5.4 Sonómetro EXTECH Modelo 4775. Digital.
Fuente Propia



Para la ubicación se lo realizo de la siguiente forma:

- Primero se determino los altos índices de ruido y los elevados flujos vehiculares en la Avenida.
- Se ubicaron los puntos aleatoriamente, de tal manera que el número de puntos determinados represente/cubra el área de estudio.
- Es importante que los puntos que se definan para el estudio traten de cubrir todo el área de modo que los resultados sean lo suficientemente representativos, para ello es necesario hacer un recorrido previo e identificar puntos que a simple vista tienen los mayores ruidos, son de igual importancia todos los puntos sobre el área de estudio debido a que se trata de una investigación que nos determinara técnicamente cuales son los puntos con más ruido cuyos decibeles sean los más altos.
- La propuesta para seleccionar puntos de muestreo, se basó en la cercanía a centros hospitalarios, educativos, asilos, guarderías, iglesias, y otros donde los niveles deberían ser más bajos de los normales.

Para obtener un máximo de eficacia acústica conviene que las Placas Antirruído se situé lo más próximo posible a la fuente sonora. En gran parte de los casos, la colocación de las Placas estará condicionada por la disponibilidad de terreno y por la necesidad de garantizar ciertas condiciones de seguridad para el tráfico de la vía de circulación.

Siempre que sea posible, y dependiendo de las características de la zona que se desee proteger, se tenderá a colocar las Placas en el borde de las plataformas de las Avenidas, Carreteras, de modo que no se afecte a la circulación.



La medición de sonido juega un rol importante en el desarrollo del control sistemático de ruido. Las mediciones pueden ser utilizadas para verificar el cumplimiento de las regulaciones o criterios de ruido. Las mediciones pueden también utilizarse para evaluar la efectividad de diversos métodos de control y establecer metas realistas.

5.3.3. Determinación del horario de medición

Las mediciones se realizaron conforme a la Norma Boliviana NB-62006, los puntos de medición se ubicaron a una altura de 0.6 - 0.7 metros sobre el nivel del suelo y a una distancia de 1 - 2 metros o más del cordón de la acera. Se eligió tres horarios de medición: 8:00-9:00, 12:30-13:30 y 18.00-19:00, estos horarios pertenecen al período diurno. con el fin de ver las variaciones correspondientes en horas clave de circulación vehicular. El tiempo de medición fue de 1 - 2 minutos y cada medición se la realizó en condiciones favorables de: precipitación, velocidad de viento y humedad.

5.3.4. Proceso de Medición sin Placa.

Las mediciones de ruido en la Avenida Circunvalación se lo realizó de la siguiente forma:

- Primero se ubica los puntos de medición donde hay mayor flujo de vehículos y mayor ruido. En total son 15 puntos de medición de ruido.
- Luego se hace pruebas de medición máximos y mínimos, donde se leerá sólo los máximos dBA.
- La altura del micrófono se eligió de acuerdo con la altura real (o esperada) del receptor de 50 a 60 cm.
- Las posiciones preferidas son de 1 a 2.5 m de la vía de circulación a la calzada.

- Luego de las mediciones realizadas, se analizarán los resultados obtenidos en la Avenida circunvalación.
- También las lecturas realizadas se midieron en dBA.
- Los intervalos de tiempo de la medición se escogió de 40 a 60 seg. y de 1 a 2 min. de tal manera que abarquen todas las variaciones significativas de la emisión y transmisión del ruido. El intervalo de medición es el tiempo transcurrido entre una medición y la siguiente, en el área de estudio de campo fue de 2 minutos. La máxima medición.



Figura N° 5.6 medición de ruido ambiental. Fuente Propia

5.4. Proceso de construcción de la Placa Antirruído de Hormigón Ligero

5.4.1. Dimensiones de la Placa Antirruído

Se seleccionó de estas medidas para el manipuleo fácil y para la medición o simulación de ruido que se hizo en la avenida circunvalación. En realidad las Pantallas Antirruído son de medidas mayores como ser de 2x3, 2x1, 2.4x3.9, etc. Y espesores variados desde 6 cm hasta 12cm.

Las medidas adoptadas son de:

- Medidas de la placa son: $1 \times 1 \times 0.07 \text{ m}$
- $\text{Area} = 1 \text{ m}^2$
- $\text{Volumen} = 0.07 \text{ m}^3$

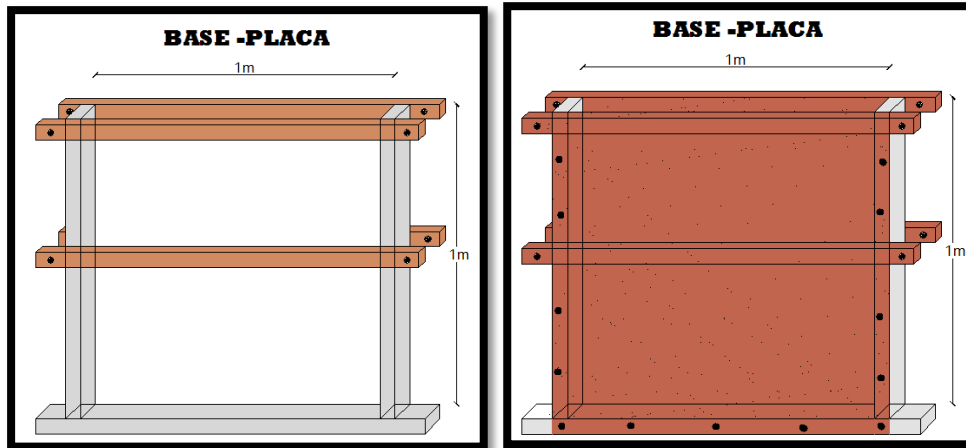


Figura N° 5.7. Medidas de Placa Adoptado. Fuente Propia

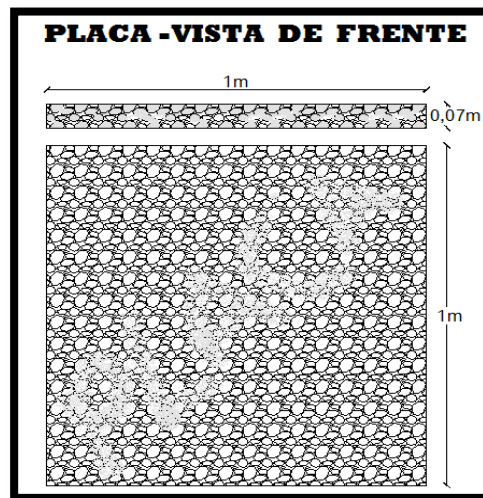


Figura N° 5.8 Placa vista de Frente. Fuente propia

5.4.2. Construcción de la Placa Antirruído

5.4.2.1. Caracterización de los Materiales

La Placa Antirruído Consta de los siguientes materiales, Cemento, Grava, Arena, agua. Los agregados son provenientes del río Erquis de la ciudad de Tarija

Cemento:

Se utilizó cemento el puente de TIPO IP-30 donde el peso específico del cemento es de 3.14 g/cm^3 .

El cemento Pórtland se define como un cemento hidráulico porque fragua y endurece al reaccionar con el agua, producido por la pulverización de escoria que consiste esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos, que en forma usual contienen una o más formas de sulfato de calcio que se añade y se muele con ella.

Agua:

Debe ser potable, sin sabor, ni olor, limpia y libre de sustancias perjudiciales al concreto (álcalis, sales y materia orgánica).

El agua cumple con dos funciones vitales en el desarrollo del concreto, como agua de mezclado y la segunda como agua de curado

Agregados:

Deben cumplir con la ASTM C-330; deben estar limpios, sin contaminación por materia orgánica y deben acopiarse de manera que se garanticen tales características.



Figura N° 5.9 Muestra de Agregados grueso y fino. Fuente propia.

Como se muestra en la figura N°5.12 se utilizó cemento el puente, y agregados gruesos tanto el fino como el grueso donde la extracción de las muestras son del río Erquis y los materiales son prestados de laboratorio de suelos.



5.4.2.1.1. Análisis de resultados

El objetivo al diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de su uso. Para lograr tal objetivo, una mezcla de concreto bien proporcionada deberá poseer las propiedades siguientes:

- En el concreto fresco, trabajabilidad aceptable.
- En el concreto endurecido, durabilidad, resistencia y presentación uniforme.
- Economía.

La mejor trabajabilidad de la mezcla permite reducir los tiempos de colocación y compactación del hormigón en el encofrado.

La elección de las características de los materiales para la mezcla de concreto ligero la granulometría satisface la norma ASTM-C330 y para la dosificación del hormigón ligero la norma ACI –304 que es una norma Mexicana, en el cual se realiza en base al uso que se quiera dar, en este caso un concreto ligero de buena trabajabilidad y de buena resistencia.

También se recomienda tener sumo cuidado con la vibración de los encofrados, ya que el exceso de este produciría separación y exudación del árido en la mezcla.

Para esta investigación de Placas Antirruído se utilizaran los siguientes materiales que son agregado grueso del río Erquis, Agregado fino del río Santana y cemento el puente de Tipo IP-30

**5.4.2.2. Dosificación y preparación Norma ACI-304****5.5.4.1. Ensayos de laboratorio**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGÓN

| | |
|--|---|
| Proyecto: Aplicación de placas Antirruído | Identificación muestra: Cemento Tipo IP-30 |
| Procedencia: Tarija | Observaciones o Marca: "EL PUENTE" |
| Solicitante: Univ. Constancio Acho | Laboratoristas: Univ. Constancio Acho |

FINURA DEL CEMENTO

| ENSAYO N° | PESO MUESTRA A (gr) | RETENIDO EN TAMIZ N° 40 (gr) | RETENIDO EN TAMIZ N° 200 (gr) | PASA DEL TAMIZ N° 200 (gr) | SUMATORIA DE PESOS TAMIZADOS (gr) | PÉRDIDA DE MUESTRA (gr) | FINURA DEL CEMENTO (%) |
|-----------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 50,00 | 0,015 | 1,390 | 47,880 | 49,285 | 0,715 | 2,851 |
| 2 | 50,00 | 0,016 | 1,540 | 47,940 | 49,496 | 0,504 | 3,144 |
| 3 | 50,00 | 0,014 | 1,450 | 47,790 | 49,254 | 0,746 | 2,972 |
| PROMEDIO | | | | | | | 2,989 |

*Tabla N°5.3. Finura del cemento. Fuente propia***PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO**

| MUESTRA N° | PESO DE LA MUESTRA (gr) | PESO DE MATRÁZ CON KEROSENE (gr) | PESO DE MATRÁZ CON KEROSENE Y MUESTRA (gr) | VOLUMEN DESPLAZADO (cm ³) | PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO (gr/cm ³) |
|------------|-------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| 1 | 64,00 | 513,70 | 562,10 | 20,26 | 3,159 |
| 2 | 64,00 | 521,10 | 569,32 | 20,49 | 3,123 |
| 3 | 64,00 | 517,30 | 565,61 | 20,38 | 3,141 |
| PROMEDIO | | | | | 3,141 |

Tabla N°5.4. Peso específico del cemento. Fuente propia



Proyecto: Aplicación de Placas
Antirruído

Fecha: 26 / 06 / 2012

Procedencia Agregados: Rio Erquis

Laboratorista: Univ. Constancio Acho

GRANULOMETRÍA - AGREGADO GRUESO

| Peso Total (gr.) = | | 5000 | | | | | |
|--------------------|---------------------|-------------|--------------------|--------|----------------------------|---------------------------------------|-----|
| Tamices | Tamaño o (mm) | Peso Ret. | Retenido Acumulado | | % Que pasa del total | % Que pasa s/g Esp. ASTM C- 330 | |
| | | | (gr) | (%) | | | |
| 2 1/2" | 63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,0 | 100 | 100 |
| 2 | 50,8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,0 | 100 | 100 |
| 1 1/2 | 38,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,0 | 100 | 100 |
| 1 | 25,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,0 | 100 | 100 |
| 3/4 | 19,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,0 | 95 | 100 |
| 1/2 | 12,50 | 2250,00 | 2250,00 | 45,00 | 55,0 | 25 | 60 |
| 3/8 | 9,50 | 1450,00 | 3700,00 | 74,00 | 26,0 | 10 | 35 |
| Nº4 | 4,80 | 765,00 | 4465,00 | 89,30 | 10,7 | 0 | 20 |
| BASE | 0 | 535,00 | 5000,00 | 100,00 | 0,0 | | |
| SUM = | | 5000,00 | | | | | |
| PÉR = | | 0,00 | | | | | |
| MF = | | 6,63 | | | | | |

Tabla n°5.5. Granulometría - agregado grueso. Fuente propia

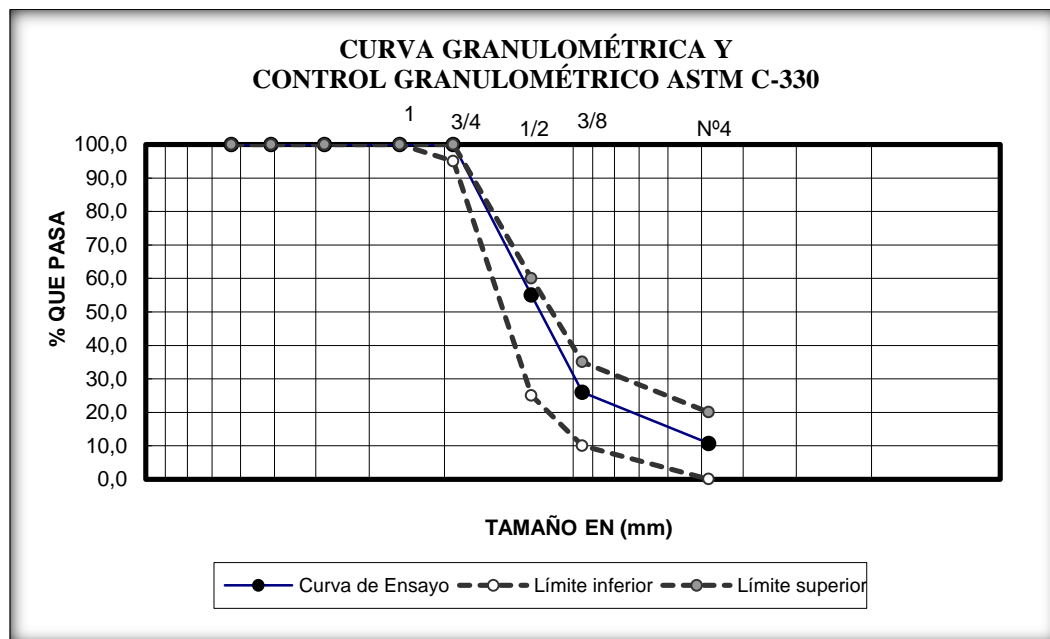


Grafico N° 5.1. Curva granulométrica del agregado grueso



GRANULOMETRÍA-AGREGADO FINO

| Peso Total (gr.) | | 1000 | | | | | | |
|------------------|-------------|-----------|-----------|-------|----------------------|---------------------------|-----|--|
| Tamices | tamaño (mm) | Peso Ret. | Ret. Acum | % Ret | % que pasa del total | Especificación ASTM C-330 | | |
| 3/8 | 9,50 | 1,14 | 0,00 | 0,00 | 100,0 | 100 | 100 | |
| N°4 | 4,75 | 95,00 | 95,00 | 9,50 | 90,5 | 85 | 100 | |
| N°8 | 2,36 | 75,00 | 170,00 | 17,00 | 83,0 | 75 | 100 | |
| N°16 | 1,18 | 250,00 | 420,00 | 42,00 | 58,0 | 40 | 80 | |
| N°50 | 0,30 | 385,00 | 805,00 | 80,50 | 19,5 | 10 | 35 | |
| N°100 | 0,15 | 115,00 | 920,00 | 92,00 | 8,0 | 5 | 10 | |
| BASE | | 72,10 | 992,10 | 99,21 | 0,8 | | | |
| SUMA | | 993,2 | | | | | | |
| PÉRDIDAS | | 6,8 | | | | | | |
| MF = | | 2,37 | | | | | | |

Tabla N°5.6. granulometría-agregado fino. Fuente Propia

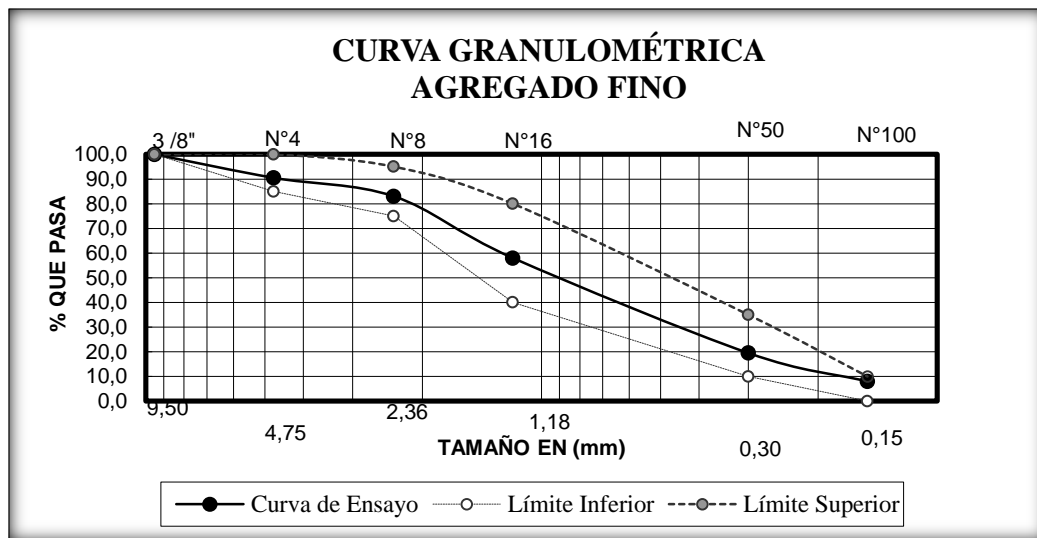


Grafico N° 5.2 Curva Granulométrica agregado fino. Fuente Propia

PESO ESPECÍFICO - AGREGADO GRUESO NATURAL

| MUESTRA N° | PESO MUESTRA SECADA "A" (gr) | PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr) | PESO MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA "C" (gr) | PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm ³) | PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³) | PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm ³) | % DE ABSORCIÓN |
|-----------------|------------------------------|--|--|--|--|--|----------------|
| 1 | 4920,66 | 5000,00 | 3096,00 | 2,58 | 2,63 | 2,70 | 1,61 |
| 2 | 4909,89 | 5000,00 | 3067,15 | 2,54 | 2,59 | 2,66 | 1,84 |
| 3 | 4915,23 | 5000,00 | 3085,22 | 2,57 | 2,61 | 2,69 | 1,72 |
| PROMEDIO | | | | 2,56 | 2,61 | 2,68 | 1,72 |

Tabla N°5.7. Peso Especifico-Agregado grueso natural. Fuente Propia

**PESO UNITARIO - AGREGADO GRUESO NATURAL**

| MUESTRA N° | PESO RECIPIENTE (gr) | VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³) | PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr) | PESO MUESTRA SUELTA (gr) | PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³) |
|-----------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--|
| 1 | 5660,50 | 10000,00 | 20745,00 | 15084,50 | 1,508 |
| 2 | 5660,50 | 10000,00 | 20685,00 | 15024,50 | 1,502 |
| 3 | 5660,50 | 10000,00 | 20675,00 | 15014,50 | 1,501 |
| PROMEDIO | | | | | 1,504 |

*Tabla N° 5.8. Peso unitario suelto-Agregado grueso. Fuente propia.***PESO UNITARIO COMPACTADO**

| MUESTRA N° | PESO RECIPIENTE (gr) | VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³) | PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr) | PESO MUESTRA SUELTA (gr) | PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³) |
|-----------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--|
| 1 | 5660,50 | 10000,00 | 21470,00 | 15809,50 | 1,581 |
| 2 | 5660,50 | 10000,00 | 21730,00 | 16069,50 | 1,607 |
| 3 | 5660,50 | 10000,00 | 21515,00 | 15854,50 | 1,585 |
| PROMEDIO | | | | | 1,591 |

*Tabla N° 5.9. Peso unitario compactado-Agregado grueso. Fuente propia.***PESO ESPECÍFICO - AGREGADO FINO**

| MUESTRA N° | PESO MUESTRA SECADA "A" (gr) | VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml) | PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr) | PESO ESPECÍFICO O A GRANEL (gr/cm ³) | PESO ESPECÍFICO O SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³) | PESO ESPECÍFICO O APARENTE (gr/cm ³) | % DE ABSORCIÓN |
|-----------------|------------------------------|-----------------------------|--|--|--|--|----------------|
| 1 | 493,88 | 500,00 | 307,67 | 2,57 | 2,60 | 2,65 | 1,22 |
| 2 | 494,37 | 500,00 | 301,21 | 2,49 | 2,52 | 2,56 | 1,13 |
| 3 | 491,00 | 500,00 | 305,05 | 2,52 | 2,56 | 2,64 | 1,80 |
| PROMEDIO | | | | 2,52 | 2,56 | 2,62 | 1,4 |

Tabla N° 5.10. Peso específico - agregado fino. Fuente Propia.

**PESO UNITARIO - AGREGADO FINO**

| MUESTRA N° | PESO RECIPIENTE (gr) | VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³) | PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr) | PESO MUESTRA SUELTA (gr) | PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³) |
|-----------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--|
| 1 | 2681,00 | 3000,00 | 7600,00 | 4919,00 | 1,640 |
| 2 | 2681,00 | 3000,00 | 7570,00 | 4889,00 | 1,630 |
| 3 | 2681,00 | 3000,00 | 7530,00 | 4849,00 | 1,616 |
| PROMEDIO | | | | | 1,629 |

*Tabla N° 5.11. Peso unitario suelto-Agregado fino. Fuente propia.***PESO UNITARIO COMPACTADO**

| MUESTRA N° | PESO RECIPIENTE (gr) | VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³) | PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr) | PESO MUESTRA SUELTA (gr) | PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³) |
|-----------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--|
| 1 | 2681,00 | 3000,00 | 7825,00 | 5144,00 | 1,715 |
| 2 | 2681,00 | 3000,00 | 7890,00 | 5209,00 | 1,736 |
| 3 | 2681,00 | 3000,00 | 7900,00 | 5219,00 | 1,740 |
| PROMEDIO | | | | | 1,730 |

*Tabla n° 5.12. Peso unitario compactado-Agregado fino. Fuente propia.***5.4.2.2.1. Análisis de resultados:**

Las características del los agregados son:

PESOS ESPECÍFICOS - DOSIFICACIÓN

| Concepto | Suelto | Compactado |
|---|--------|------------|
| Peso específico Cemento | 1,52 | 3,14 |
| Peso Unitario Agregado grueso (seco) | 1,50 | 1,591 |
| Peso Unitario Agregado fino ligero (seco) | 1,63 | 1,730 |

Tabla N° 5.13. Pesos Específicos para dosificación. Fuente propia.

Las especificaciones son las siguientes, para la dosificación de agregados gruesos (Hormigón ligero).

Para propósitos ilustrativos en tabla 5.15 se muestra una mezcla típica de concreto de peso ligero preparado en el laboratorio. Esta mezcla se proporcionó mediante los



métodos de peso descritos en el ACI 211. Los requerimientos de las especificaciones dará concreto de peso ligero, y las propiedades de los agregados gruesos de peso ligero, así como los agregados finos se dan del siguiente modo:

Especificaciones: 210 Kg/cm^2 (20.7 Mpa) a 28 días Revenimiento de 7.5 a 10 cm, entrada de aire de 6 ± 1 por ciento, peso máximo de secado al aire $1602 \frac{\text{K}}{\text{m}^3}$ peso máximo húmedo $1682 \frac{\text{K}}{\text{m}^3}$, Tamaño máximo de los agregados $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm).

Propiedades de los agregados en las muestras de laboratorio: agregados gruesos de peso ligero: La granulometría satisface el ASTM C 330, La pérdida de peso por secado en horno = $730 \frac{\text{K}}{\text{m}^3}$, Facto de peso específico (seco) 1.4, absorción del 12.6 por ciento, 24 horas.

Agregados finos de peso ligero: la granulometría satisface el ASTM C- 330, La pérdida de peso por secado en horno = $956 \frac{\text{K}}{\text{m}^3}$, Factor de peso específico (seco) 1.74, Absorción del 13.4 por ciento en 24 horas.

PESOS ESPECÍFICOS - DOSIFICACIÓN

| Concepto | Suelto | Compactado |
|--|--------|------------|
| Peso específico Cemento | 1,52 | 3,16 |
| Peso Unitario Agregado grueso (seco) | 0,73 | 1,40 |
| Peso Unitario Agregado fino ligero (seco) | 0,96 | 1,74 |

Tabla N° 5.14 Pesos específicos Fuente Norma ACI-304

PROPORCIONES EN LAS MESCLAS DE LABORATORIO DE CONCRETO LIGERO

| Concepto | Peso kg | Vol. suelto m3 | Vol. absoluto m3 |
|------------------------------------|---------------------|----------------|------------------|
| | Cantidades para 1m3 | | |
| Cemento | 335 | 0,22 | 0,106 |
| Agua libre | 181 | 0,181 | 0,181 |
| Aire atrapado | Del fabric. | 6 | 0,06 |
| Agregado grueso (seco) | 459 | 0,63 | 0,328 |
| Agregado fino ligero (seco) | 565 | 0,59 | 0,325 |
| Total | 1674 | | 1 m3 |

Tabla N° 5.15. Proporciones de las mezclas de laboratorio de concreto ligero Fuente Norma ACI-304

PESOS ESPECÍFICOS - DOSIFICACIÓN

| Concepto | Suelto | Compactado |
|---|--------|------------|
| Peso específico Cemento | 1,52 | 3,14 |
| Peso Unitario Agregado grueso (seco) | 1,50 | 1,591 |
| Peso Unitario Agregado fino ligero (seco) | 1,63 | 1,730 |

Tabla N° 5.16. Pesos Unitarios-Reales para Dosificar. Fuente Propia.

DOSIFICACION NORMA ACI-304

| Concepto | Peso kg | Vol. suelto m ³ | Vol. absoluto m ³ | 0,095 m ³ | 0,095 m ³ | 0,07m ³ | 0,07 |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------|
| | Cantidades para 1m ³ | | | Peso kg | m ³ | Peso kg | m ³ |
| Cemento | 347,94 | 0,23 | 0,111 | 33,06 | 0,01 | 24,36 | 0,01 |
| Agua libre | 187,99 | 0,19 | 0,188 | 17,86 | 0,02 | 13,16 | 0,01 |
| Agregado grueso (seco) | 476,73 | 0,32 | 0,300 | 45,29 | 0,03 | 33,37 | 0,02 |
| Agregado fino ligero (seco) | 586,83 | 0,36 | 0,402 | 55,75 | 0,04 | 41,08 | 0,03 |
| Total | 1599,50 | | 1,000 | 151,96 | 0,10 | 111,97 | 0,07 |

Tabla N°5.17. Proporciones de mezclas-Dosificación de hormigón ligero Fuente Propia.

En la tabla 4.4 podemos ver el resultado final de dosificación para 0.095 m³ esto con el 15% de perdidas donde la Placa Antirruído es de 0.07 m³ y lo que sobra para los testigos o probeta que sería de 0.025 m³

5.4.2.3. Proceso de ejecución de la placa Antirruído de (H°L°)

5.4.2.3.1. Preparación de las muestras y equipo a utilizar

a) **materiales para dosificar 0.095m³**: Con esto se dosificara una placa de 0.07m³ y dos probetas de testigo.

- Cemento 34 kg
- Agua 18 litros
- Grava 45.29 kg
- Arena 55.75 kg



Figura N° 5.10. Muestras. Fuente propia

b) **Material de encofrado**

- 1 Tubo cuadrado de 7 x 3 cm
viene de 6 m y se utilizo 3.3 m
- 1 hoja de venesta de 17 mm
- 4 maderas de 2" x 1.5" de 1.2 m de largo
- 12 Pernos sin fin de 6"



Figura N° 5.11. Encofrado. Fuente propia

c) Equipo utilizado

- Martillo
- Plomada
- Nivel de manguera
- Dos moldes cilindro
- Cono y varilla
- Una mezcladora
- Varilla para el apisonado
- Dos taras grandes
- Dos baldes
- Balanza de precisión



Figura N° 5.12. Equipo Utilizado. Fuente propia

5.4.2.3.2. Encofrado de la placa

La misión de este encofrado es de contener y soportar el hormigón fresco hasta su endurecimiento, sin experimentar asientos ni deformaciones, dándole la forma deseada. También se la puede llamar al encofrado (molde).

Este encofrado o molde está construido de madera y metal, exigiéndoseles como cualidades principales la de ser rígido, resistente, cerrado y limpio. Como se muestra en la (figura 5.15.)

El encofrado de madera para la Placa se impregnó con aceite o grasa antes de la colocación del hormigón, para que no absorban el agua de éste. La superficie interior de este encofrado debe estar limpia en el momento del hormigonado.

Para la construcción del molde se necesitó los siguientes materiales:

- 1 Tubo cuadrado de 7 x 3 cm viene de 6 m y se utilizo 3.3 m
- 1 hoja de Venesta de 17 mm
- 4 maderas de 2" x 1.5" de 1.2 m de largo
- 12 Pernos sin fin de 6"



Figura N°5.13 Preparación del molde Fuente Propia



Fig. N° 5.14. Encofrado Fuente Propia



Figura N° 5.15. Encofrado. In situ. Fuente propia.



Este encofrado se lo realizo en una pared para que la Placa sea vaciado en forma vertical por su propio peso, también se puede ver en esta (Fig.5.16) el apuntalado del encofrado y la nivelada y plomada del encofrado para que este entre el piso y la placa a 90 grados bien alineado.

5.4.2.3.3. Hormigonado en el encofrado in situ

De acuerdo al volumen de hormigón que es de 0.095 m^3 la preparación fue dos veces y los pasos a seguir son:

- a) Preparación del material para 0.07 m^3 donde se prepararon 25 Kg. de cemento el puente tipo IP-30, Agua 13 litros, Grava 34 Kg. Arena 42 Kg. estos provenientes del rio Erquis.
- b) Para luego la instalación de la hormigonera y limpieza de las taras grandes, para luego el amasado y mezclar a todos los componentes hasta conseguir una masa uniforme.
- c) Los pasos que se realiza en la hormigonera o amasadora, introduciendo los distintos componentes en el siguiente orden:
 - $\frac{1}{2}$ dosis de agua.
 - Arena y cemento
 - Árido grueso.
 - Resto de agua.

La duración del amasado debe ser lo suficiente para conseguir una mezcla íntima y homogénea de los distintos componentes El árido estará bien recubierto de la pasta de cemento en un tiempo no inferior a 2 minutos o más.

Pasos de hormigonado en fotografías:



Paso N°5.16. Preparación de muestra. Fuente propia



Paso N°5.17. Preparación vaciado del hormigón ligero, revenimiento. Fuente propia



Figura N° 5.18. Testigos y Revenimiento. Fuente Propia



Paso N°5.19. Transporte del hormigón en el encofrado y golpeteo y apisonado Fuente Propia



Paso N° 5.20. Placa vaciada o terminado. Fuente Propia

5.4.2.3.4. Desencofrado y Curado de la placa

El curado de la placa se lo realizo durante los 28 días, los primeros 7 días en especial para que el hormigón endurezca bien.



Figura N° 5.21. Desencofrado. Fuente propia

5.4.2.3.1. Rotura de las probetas

La resistencia a la compresión fue determinada por medio de ensayos destructivos, consiste en la rotura de las probetas cilíndricas. Para tal efecto se utilizó la prensa hidráulica que es de propiedad del Laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Juan Misael Saracho



TESIS DE GRADO
ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN
DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN LIGERO ACI-304

| | |
|--|------------------------------------|
| TITULO: | Ra/c 0,5 |
| APLICACIÓN DE PLACAS ANTIRRUIDO | Tiempo de Transporte: 2 min |
| Laboratorio: U.A.J.M.S. | Fecha : 17/08/2012 |

| Cilindro N° | Asentamiento (cm) | Fecha de Vaciado | Fecha de Rotura | Edad (días) | Sección (cm ²) | Lectura (KN) | Carga (kg) | Resistencia (kg/cm ²) | Proyección 28 días (kg/cm ²) |
|---------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--------------|------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 0,8 | 21/07/2012 | 17/08/2012 | 28 | 176,71 | 370 | 37740 | 214 | 214 |
| 2 | 0,8 | 21/07/2012 | 17/08/2012 | 28 | 176,71 | 355 | 36210 | 205 | 205 |
| Prom = | | | | | | | | | 209 |

Tabla n° 5.18. Ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón ligero. Fuente propia



Figura N°5.22. Rotura de Probetas. Fuente propia.

OBSERVACIONES:

1. Las dimensiones de las probetas son Standares 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.
2. El Muestreo y curado de probetas fue realizado en laboratorio de Hormigones
3. El cemento utilizado es de clasificación Puente tipo IP 30
4. La rotura de probetas fue realizada directo.

Presentación de la Placa Antirruído de Hormigón Ligero

La placa está encima de un molde de madera quina representado como el sobrecimiento de la placa podemos ver que la placa es de 1m por 1m de 7cm de espesor y pesa 174.5 Kg es de color plomo oscuro, superficie casi lisa.



Figura N° 5.23 Placa Antirruído de H•L•. Fuente propia

5.5. Montaje de la Placa Antirruído in situ Para medición de ruido

El equipo de trabajo para el montaje, estará compuesto por:

- Una carretilla o una camioneta grúa, en este caso se lo realizó de forma sencilla, con una carretilla, donde se traslado a los 15 puntos de medición (fig.) y el montaje se lo realizó con el manipuleo de 3 personas como se puede apreciar en las fotos.



Figura N° 5.24. Montaje de las Placas Antirruído. Fuente propia.



DATOS Y CÁLCULOS REALIZADOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Tabla N°5.19. Mediciones con Sonómetro punto N° 1. Fuente Propia

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 1 | |
|---|---------------|---------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| COLON Y CIRCUNVALACION 8:00 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 87,8 | 83,9 | 3,9 | 0,3136 | 0,0000 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 87,4 | 82,8 | 4,6 | 0,9216 | 1,2100 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 87 | 84 | 3,0 | 1,8496 | 0,0100 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 84 | 79,5 | 4,5 | 19,0096 | 19,3600 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 95,6 | 89,3 | 6,3 | 52,4176 | 29,1600 | 84 | NO CUMPLE |
| Suma Total | 441,8 | 419,5 | | 74,5120 | 49,7400 | | |
| Media Arit. | 88,36 | 83,90 | | | | Media | 84 |
| Desv. Est. | 4,3160 | 3,5263 | | | | | CUMPLE |
| RANGO + | 97,0 | 91,0 | | | | | |
| RANGO - | 79,7 | 76,8 | | | | | |

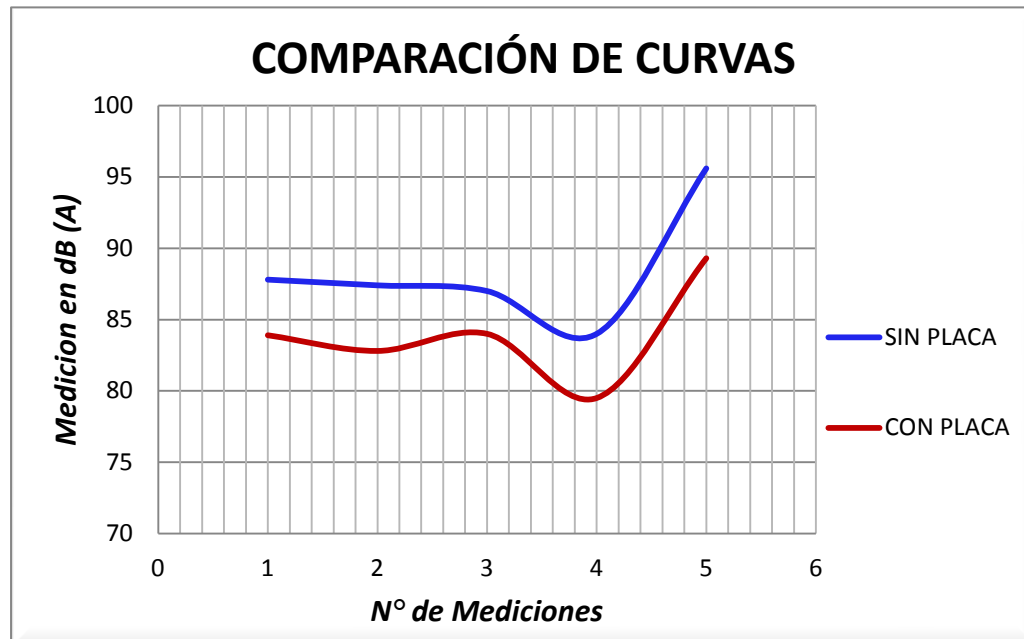
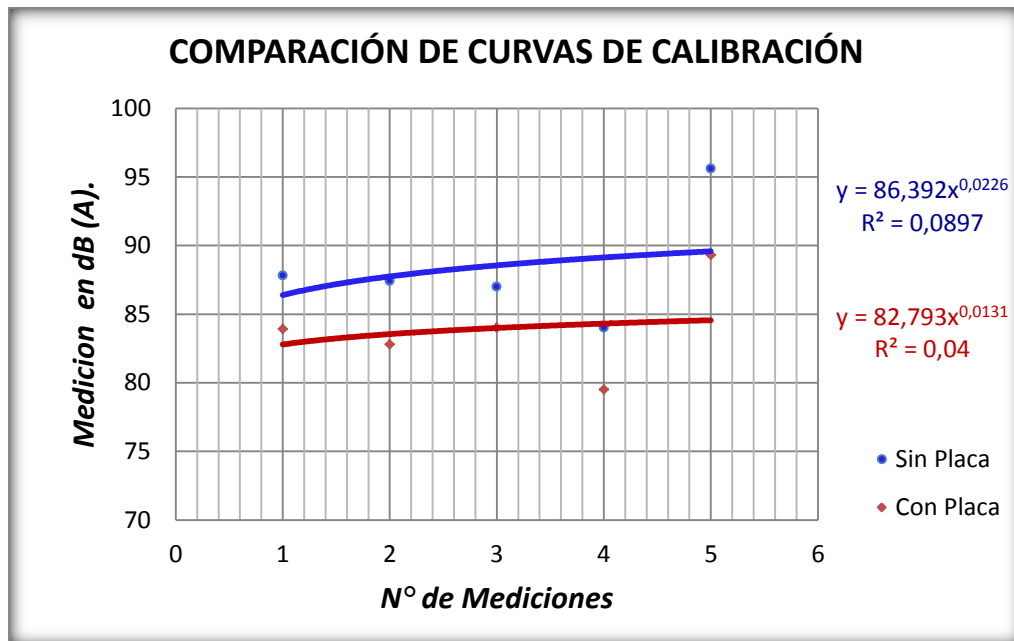


Gráfico N° 5.3. Comparación de curvas. Punto N° 1. Fuente propia.



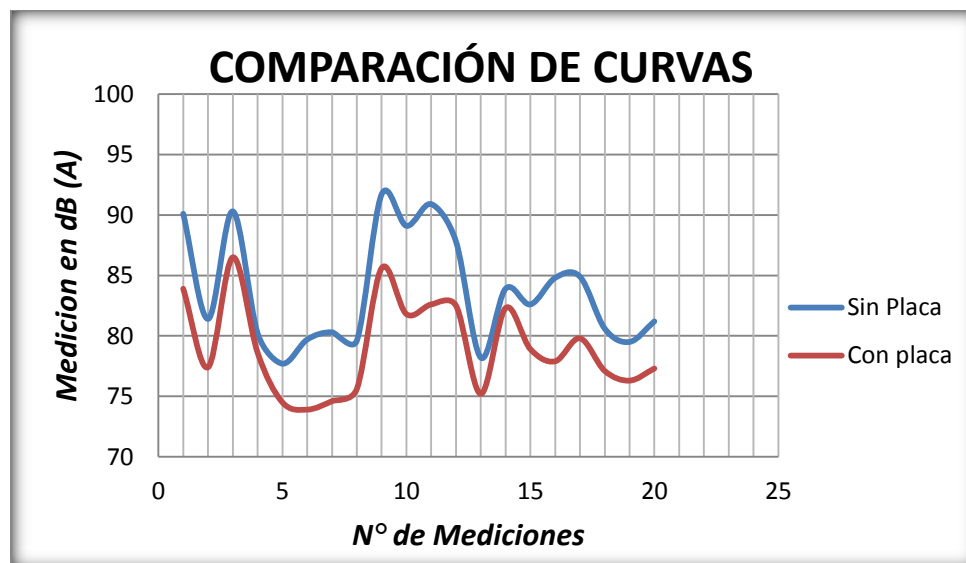
*Gráfico N° 5.4. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 1.
Fuente propia.*

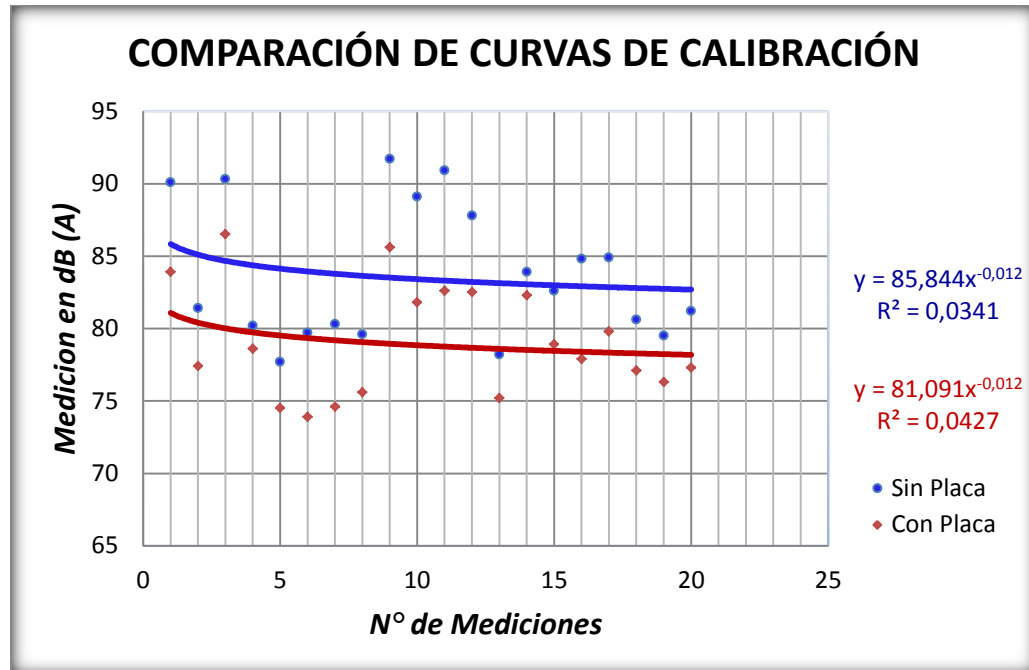


*Figura Nª 5.26. Esquina colon y circunvalación.
Fuente propia*

**Tabla N° 5.20. Mediciones con Sonómetro. Punto N°2. Fuente propia**

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 2 | |
|---|---------------|---------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Kínder "José Manuel Ávila" y Circunvalación 11:00 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 90,1 | 83,9 | 6,2 | 40,6406 | 22,8962 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 81,4 | 77,4 | 4,0 | 5,4056 | 2,9412 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 90,3 | 86,5 | 3,8 | 43,2306 | 54,5382 | 84 | NO CUMPLE |
| 4 | 80,2 | 78,6 | 1,6 | 12,4256 | 87,8000 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 77,7 | 74,5 | 3,2 | 36,3006 | 21,2982 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 79,7 | 73,9 | 5,8 | 16,2006 | 27,1962 | 84 | CUMPLE |
| 7 | 80,3 | 74,6 | 5,7 | 11,7306 | 20,3852 | 84 | CUMPLE |
| 8 | 79,6 | 75,6 | 4,0 | 17,0156 | 12,3552 | 84 | CUMPLE |
| 9 | 91,7 | 85,6 | 6,1 | 63,6006 | 42,0552 | 84 | NO CUMPLE |
| 10 | 89,1 | 81,8 | 7,3 | 28,8906 | 7,2092 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 90,9 | 82,6 | 8,3 | 51,4806 | 12,1452 | 84 | CUMPLE |
| 12 | 87,8 | 82,5 | 5,3 | 16,6056 | 11,4582 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 78,2 | 75,2 | 3,0 | 30,5256 | 15,3272 | 84 | CUMPLE |
| 14 | 83,9 | 82,3 | 1,6 | 0,0306 | 10,1442 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 82,6 | 78,9 | 3,7 | 1,2656 | 0,0462 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 84,8 | 77,9 | 6,9 | 1,1556 | 1,4762 | 84 | CUMPLE |
| 17 | 84,9 | 79,8 | 5,1 | 1,3806 | 0,4692 | 84 | CUMPLE |
| 18 | 80,6 | 77,1 | 3,5 | 9,7656 | 4,0602 | 84 | CUMPLE |
| 19 | 79,5 | 76,3 | 3,2 | 17,8506 | 7,9242 | 84 | CUMPLE |
| 20 | 81,2 | 77,3 | 3,9 | 6,3756 | 3,2942 | 84 | CUMPLE |
| Suma Total | 1674,5 | 1582,3 | | 411,878 | 365,020 | | |
| Media Arit. | 83,73 | 79,12 | | | | Media | 84 |
| Desv. Est. | 4,6559 | 4,3831 | | | | | CUMPLE |
| RANGO + | 93,0 | 87,9 | | | | | |
| RANGO - | 74,4 | 70,3 | | | | | |

**Gráfico N° 5.5. Comparación de curvas. Punto N° 2. Fuente propia.**



*Gráfico N° 5.6. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 2.
Fuente propia.*

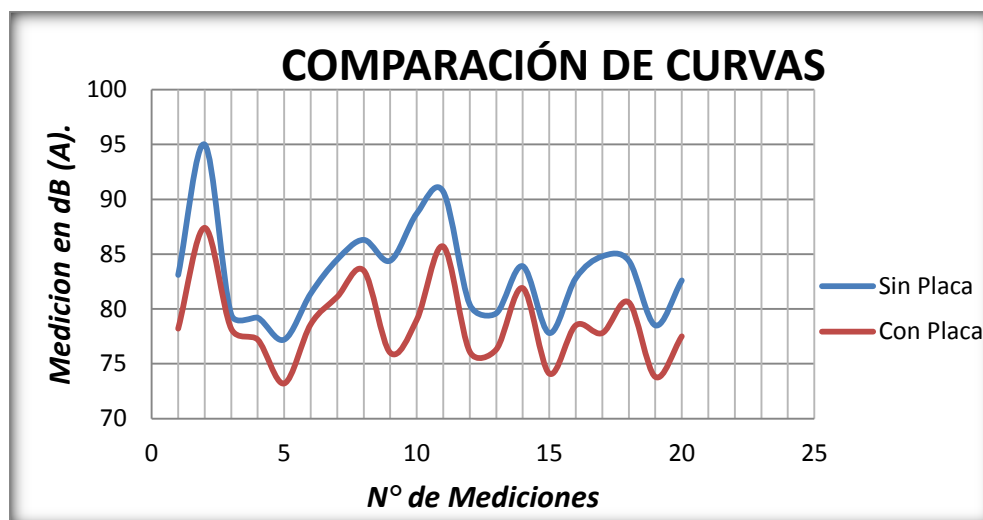


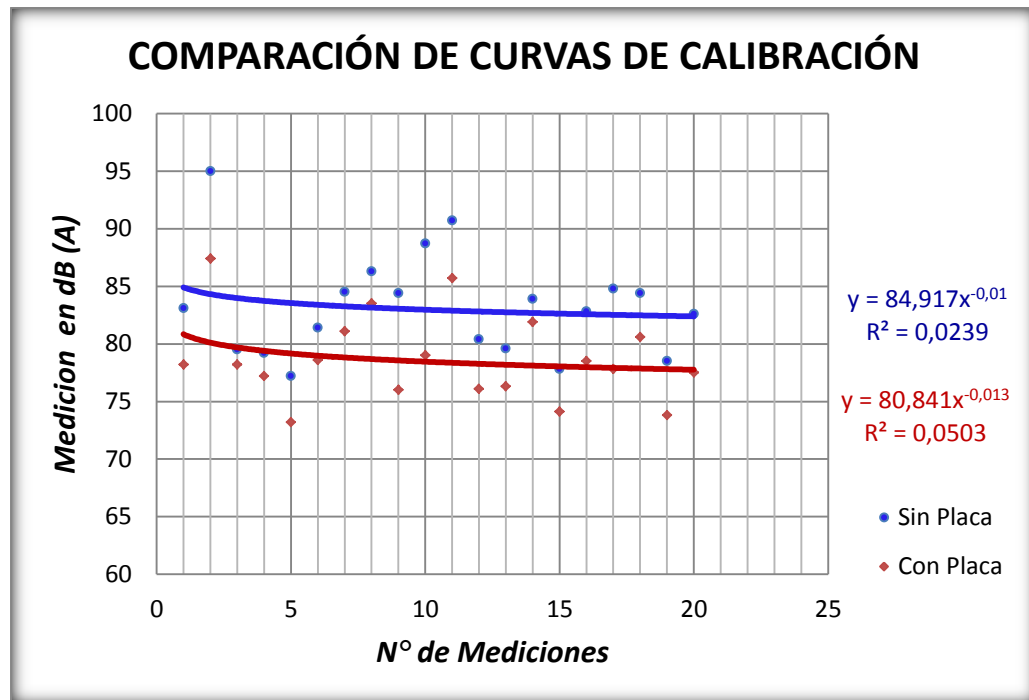
Figura 5.27. Kínder "José Manuel Ávila" y circunvalación.

Fuente propia

**Tabla N° 5.21. Mediciones con Sonómetro. Punto N°3. Fuente propia**

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 3 | |
|--|---------------|---------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Kínder "José Manuel Ávila" y circunvalación salida sur y calle Suipacha 12:00 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 83,1 | 78,2 | 4,9 | 0,0196 | 0,2862 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 95 | 87,4 | 7,6 | 138,2976 | 75,0822 | 84 | NO CUMPLE |
| 3 | 79,5 | 78,2 | 1,3 | 13,9876 | 0,2862 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 79,2 | 77,2 | 2,0 | 16,3216 | 2,3562 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 77,2 | 73,2 | 4,0 | 36,4816 | 30,6362 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 81,4 | 78,6 | 2,8 | 3,3856 | 0,0182 | 84 | CUMPLE |
| 7 | 84,5 | 81,1 | 3,4 | 1,5876 | 5,5932 | 84 | CUMPLE |
| 8 | 86,3 | 83,5 | 2,8 | 9,3636 | 22,7052 | 84 | CUMPLE |
| 9 | 84,4 | 76 | 8,4 | 1,3456 | 7,4802 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 88,7 | 79 | 9,7 | 29,8116 | 0,0702 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 90,7 | 85,7 | 5,0 | 55,6516 | 48,5112 | 84 | NO CUMPLE |
| 12 | 80,4 | 76,1 | 4,3 | 8,0656 | 6,9432 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 79,6 | 76,3 | 3,3 | 13,2496 | 5,9292 | 84 | CUMPLE |
| 14 | 83,9 | 81,9 | 2,0 | 0,4356 | 10,0172 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 77,8 | 74,1 | 3,7 | 29,5936 | 21,4832 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 82,8 | 78,5 | 4,3 | 0,1936 | 0,0552 | 84 | CUMPLE |
| 17 | 84,8 | 77,8 | 7,0 | 2,4336 | 0,8742 | 84 | CUMPLE |
| 18 | 84,4 | 80,6 | 3,8 | 1,3456 | 3,4782 | 84 | CUMPLE |
| 19 | 78,5 | 73,8 | 4,7 | 22,4676 | 24,3542 | 84 | CUMPLE |
| 20 | 82,6 | 77,5 | 5,1 | 0,4096 | 1,5252 | 84 | CUMPLE |
| Suma Total | 1664,8 | 1574,7 | | 384,4480 | 267,6855 | | |
| Media Arit. | 83,24 | 78,74 | | | Media | 84 | CUMPLE |
| Desv. Est. | 4,4982 | 3,7535 | | | | | |
| RANGO + | 92,2 | 86,2 | | | | | |
| RANGO - | 74,2 | 71,2 | | | | | |

**Gráfico N° 5.7. Comparación de curvas. Punto N° 3. Fuente propia.**



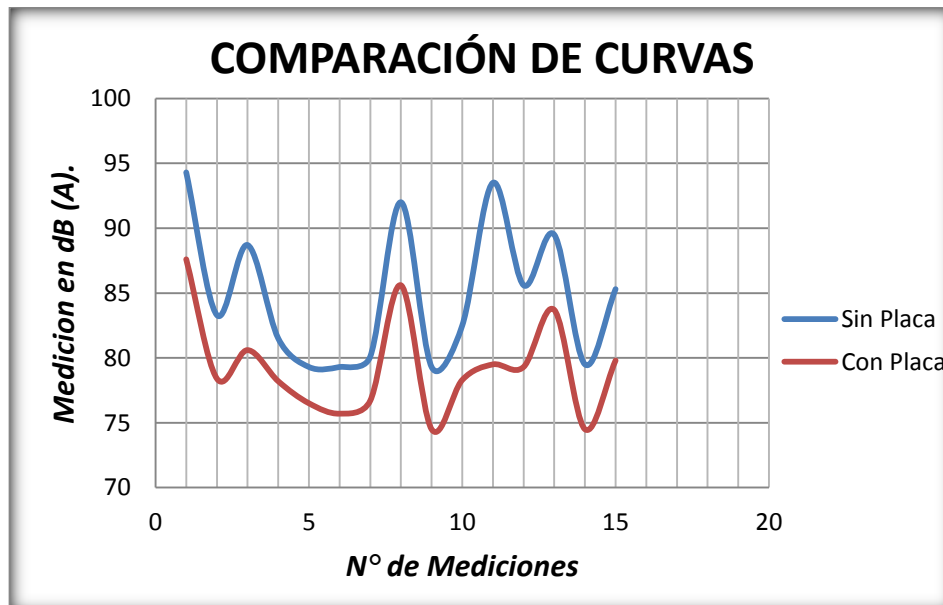
*Gráfico N° 5.8. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 3.
Fuente propia.*

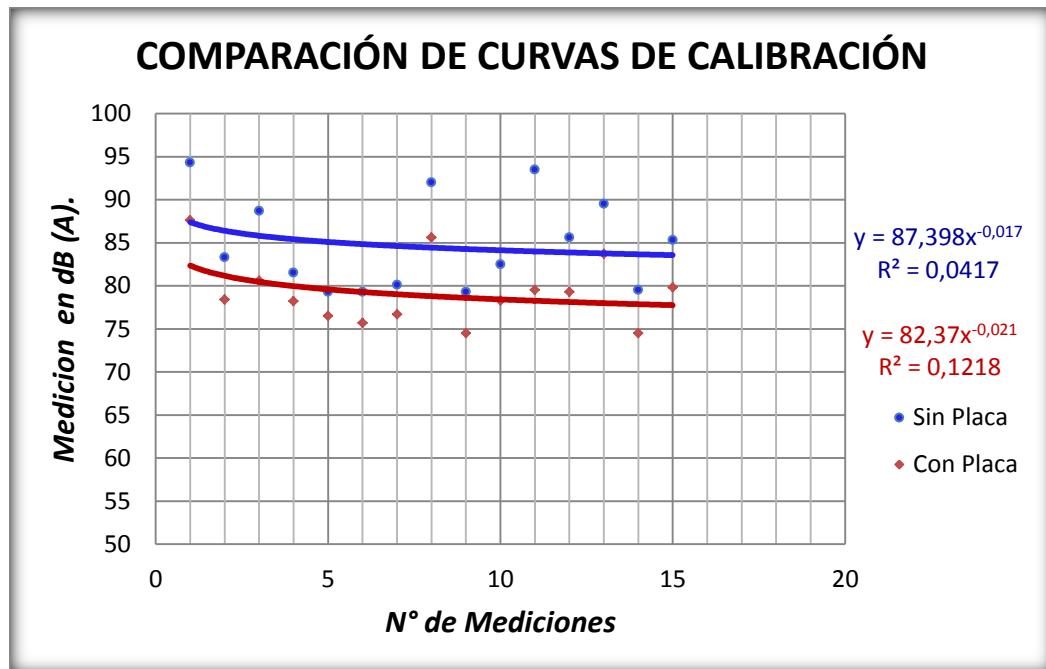


*Figura 5.28. Kinder “José Manuel Ávila” y circunvalación salida sur y calle Suipacha.
Fuente propia.*

**Tabla N° 5.22. Mediciones con Sonómetro. Punto N°4. Fuente propia**

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 4 | |
|---|---------------|---------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Bajada sur cerca lavadero y circunvalación frete a la calle 17 de agosto 12:40 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 94,3 | 87,6 | 6,7 | 88,1095 | 69,5556 | 84 | NO CUMPLE |
| 2 | 83,3 | 78,4 | 4,9 | 2,6028 | 0,7396 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 88,7 | 80,6 | 8,1 | 14,3388 | 1,7956 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 81,5 | 78,2 | 3,3 | 11,6508 | 1,1236 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 79,3 | 76,5 | 2,8 | 31,5095 | 7,6176 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 79,3 | 75,7 | 3,6 | 31,5095 | 12,6736 | 84 | CUMPLE |
| 7 | 80,1 | 76,7 | 3,4 | 23,1682 | 6,5536 | 84 | CUMPLE |
| 8 | 92 | 85,6 | 6,4 | 50,2208 | 40,1956 | 84 | NO CUMPLE |
| 9 | 79,3 | 74,5 | 4,8 | 31,5095 | 22,6576 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 82,5 | 78,3 | 4,2 | 5,8242 | 0,9216 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 93,5 | 79,5 | 14,0 | 73,7308 | 0,0576 | 84 | CUMPLE |
| 12 | 85,6 | 79,3 | 6,3 | 0,4715 | 0,0016 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 89,5 | 83,7 | 5,8 | 21,0375 | 19,7136 | 84 | CUMPLE |
| 14 | 79,5 | 74,5 | 5,0 | 29,3042 | 22,6576 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 85,3 | 79,8 | 5,5 | 0,1495 | 0,2916 | 84 | CUMPLE |
| Suma Total | 1273,7 | 1188,9 | | 415,1373 | 206,5560 | | |
| Media Arit. | 84,91 | 79,26 | | | | Media | 84 |
| Desv. Est. | 5,4454 | 3,8411 | | | | | CUMPLE |
| RANGO + | 95,8 | 86,9 | | | | | |
| RANGO - | 74,0 | 71,6 | | | | | |

**Gráfico N° 5.9. Comparación de curvas. Punto N° 4. Fuente propia.**



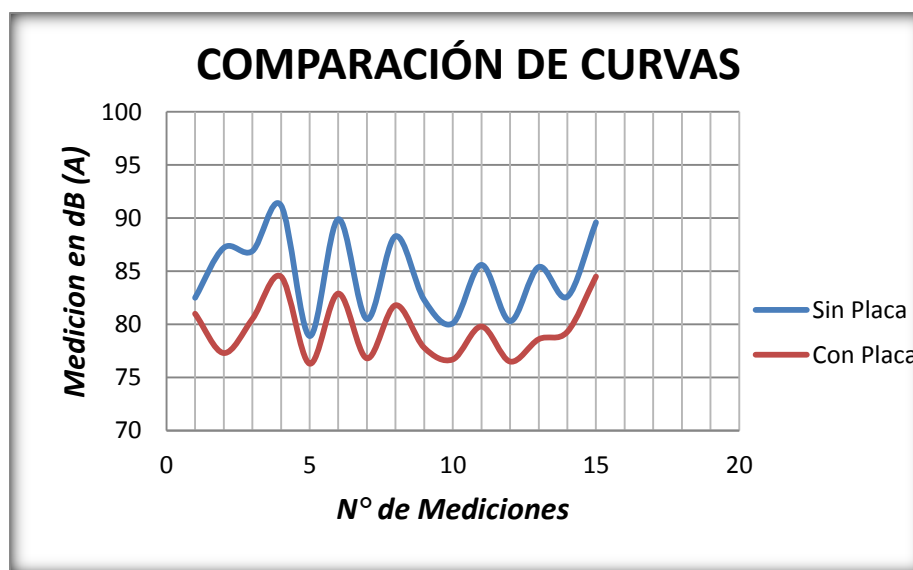
*Gráfico N° 5.10. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 4.
Fuente propia.*

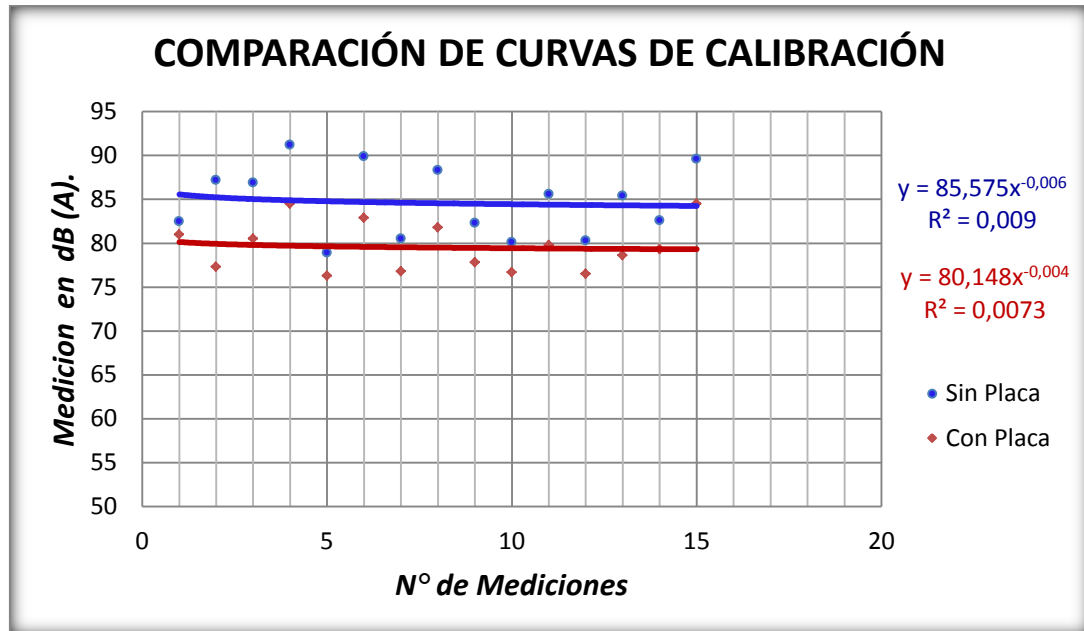


*Figura 5.29. Bajada sur cerca lavadero y circunvalación frete a la calle 17 de agosto.
Fuente propia.*

Tabla N° 5.23. Mediciones con Sonómetro. Punto N°5. Fuente propia

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 5 | |
|---|---------------|---------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Subida norte cerca lavadero y circunvalación y calle 17 de Agosto 13:20 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 82,5 | 81 | 1,5 | 5,0775 | 1,9044 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 87,2 | 77,3 | 9,9 | 5,9862 | 5,3824 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 86,9 | 80,5 | 6,4 | 4,6082 | 0,7744 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 91,2 | 84,5 | 6,7 | 41,5595 | 23,8144 | 84 | NO CUMPLE |
| 5 | 78,9 | 76,3 | 2,6 | 34,2615 | 11,0224 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 89,9 | 82,9 | 7,0 | 26,4882 | 10,7584 | 84 | CUMPLE |
| 7 | 80,5 | 76,8 | 3,7 | 18,0908 | 7,9524 | 84 | CUMPLE |
| 8 | 88,3 | 81,8 | 6,5 | 12,5788 | 4,7524 | 84 | CUMPLE |
| 9 | 82,3 | 77,8 | 4,5 | 6,0188 | 3,3124 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 80,1 | 76,7 | 3,4 | 21,6535 | 8,5264 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 85,6 | 79,8 | 5,8 | 0,7168 | 0,0324 | 84 | CUMPLE |
| 12 | 80,3 | 76,5 | 3,8 | 19,8322 | 9,7344 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 85,4 | 78,6 | 6,8 | 0,4182 | 1,0404 | 84 | CUMPLE |
| 14 | 82,6 | 79,3 | 3,3 | 4,6368 | 0,1024 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 89,6 | 84,5 | 5,1 | 23,4902 | 23,8144 | 84 | NO CUMPLE |
| Suma Total | 1271,3 | 1194,3 | | 225,4173 | 112,9240 | | |
| Media Arit. | 84,75 | 79,62 | | | | Media | 84 |
| Desv. Est. | 4,0126 | 2,8401 | | | | | CUMPLE |
| RANGO + | 92,8 | 85,3 | | | | | |
| RANGO - | 76,7 | 73,9 | | | | | |


Gráfico N° 5.11. Comparación de curvas. Punto N° 5. Fuente propia.



*Gráfico N° 5.12. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 5.
Fuente propia.*



*Figura N° 5.30. Subida norte frente cerca lavadero y circunvalación y calle 17 de Agosto.
Fuente propia*

**Tabla N° 5.24. Mediciones con Sonómetro. Punto N°6. Fuente propia**

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 6 | |
|---|---------------|---------------|------|------------------------------|------------------------------|--------------|-----------|
| Esquina San Bernardo y circunvalación yendo al norte 13:50 | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | (X- \bar{X}) ² | (X- \bar{X}) ³ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 85,1 | 79,1 | 6,0 | 0,4225 | 4,1209 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 94,9 | 87,6 | 7,3 | 83,7225 | 41,8609 | 84 | NO CUMPLE |
| 3 | 82 | 78,9 | 3,1 | 14,0625 | 4,9729 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 81,7 | 78,3 | 3,4 | 16,4025 | 8,0089 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 86,1 | 82,3 | 3,8 | 0,1225 | 1,3689 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 81,3 | 75,8 | 5,5 | 19,8025 | 28,4089 | 84 | CUMPLE |
| 7 | 79,3 | 76,8 | 2,5 | 41,6025 | 18,7489 | 84 | CUMPLE |
| 8 | 83,4 | 80 | 3,4 | 5,5225 | 1,2769 | 84 | CUMPLE |
| 9 | 81,8 | 78,1 | 3,7 | 15,6025 | 9,1809 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 92,6 | 86,7 | 5,9 | 46,9225 | 31,0249 | 84 | NO CUMPLE |
| 11 | 84,3 | 82,9 | 1,4 | 2,1025 | 3,1329 | 84 | CUMPLE |
| 12 | 81,5 | 78,5 | 3,0 | 18,0625 | 6,9169 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 83 | 81 | 2,0 | 7,5625 | 0,0169 | 84 | CUMPLE |
| 14 | 88,7 | 78,4 | 10,3 | 8,7025 | 7,4529 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 86,1 | 80 | 6,1 | 0,1225 | 1,2769 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 83,7 | 81,2 | 2,5 | 4,2025 | 0,0049 | 84 | CUMPLE |
| 17 | 92,7 | 85,7 | 7,0 | 48,3025 | 20,8849 | 84 | NO CUMPLE |
| 18 | 85,9 | 81,9 | 4,0 | 0,0225 | 0,5929 | 84 | CUMPLE |
| 19 | 91,5 | 87,8 | 3,7 | 33,0625 | 44,4889 | 84 | NO CUMPLE |
| 20 | 79,1 | 77,2 | 1,9 | 44,2225 | 15,4449 | 84 | CUMPLE |
| 21 | 85,9 | 81,3 | 4,6 | 0,0225 | 0,0289 | 84 | CUMPLE |
| 22 | 81,5 | 79,6 | 1,9 | 18,0625 | 2,3409 | 84 | CUMPLE |
| 23 | 80,6 | 78,4 | 2,2 | 26,5225 | 7,4529 | 84 | CUMPLE |
| 24 | 88,8 | 85,6 | 3,2 | 9,3025 | 19,9809 | 84 | NO CUMPLE |
| 25 | 85,5 | 80,2 | 5,3 | 0,0625 | 0,8649 | 84 | CUMPLE |
| 26 | 92 | 84,6 | 7,4 | 39,0625 | 12,0409 | 84 | NO CUMPLE |
| 27 | 89,9 | 81,1 | 8,8 | 17,2225 | 0,0009 | 84 | CUMPLE |
| 28 | 92,7 | 84,8 | 7,9 | 48,3025 | 13,4689 | 84 | NO CUMPLE |
| 29 | 85,6 | 79,5 | 6,1 | 0,0225 | 2,6569 | 84 | CUMPLE |
| 30 | 85,3 | 80,6 | 4,7 | 0,2025 | 0,2809 | 84 | CUMPLE |
| Suma Total | 2572,5 | 2433,9 | | 569,3350 | 308,3030 | | |

| | | |
|--------------------|--------------|--------------|
| Media Arit. | 85,75 | 81,13 |
|--------------------|--------------|--------------|

| | | |
|--------------|-----------|---------------|
| Media | 84 | CUMPLE |
|--------------|-----------|---------------|

| | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| Desv. Est. | 4,4308 | 3,2605 |
|-------------------|---------------|---------------|

| | | |
|----------------|-------------|-------------|
| RANGO + | 94,6 | 87,7 |
|----------------|-------------|-------------|

| | | |
|----------------|-------------|-------------|
| RANGO - | 76,9 | 74,6 |
|----------------|-------------|-------------|

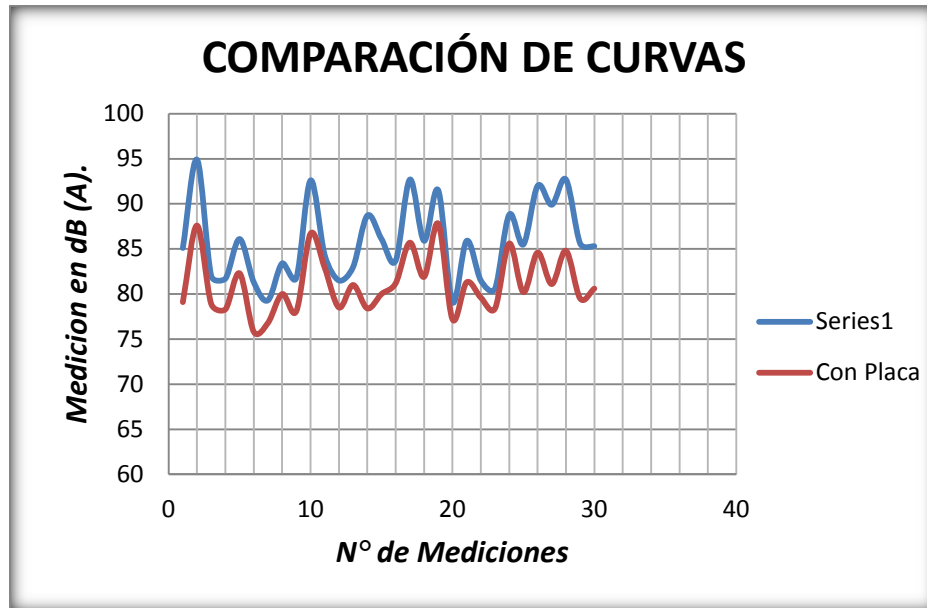


Gráfico N° 5.13. Comparación de curvas. Punto N° 6. Fuente propia.

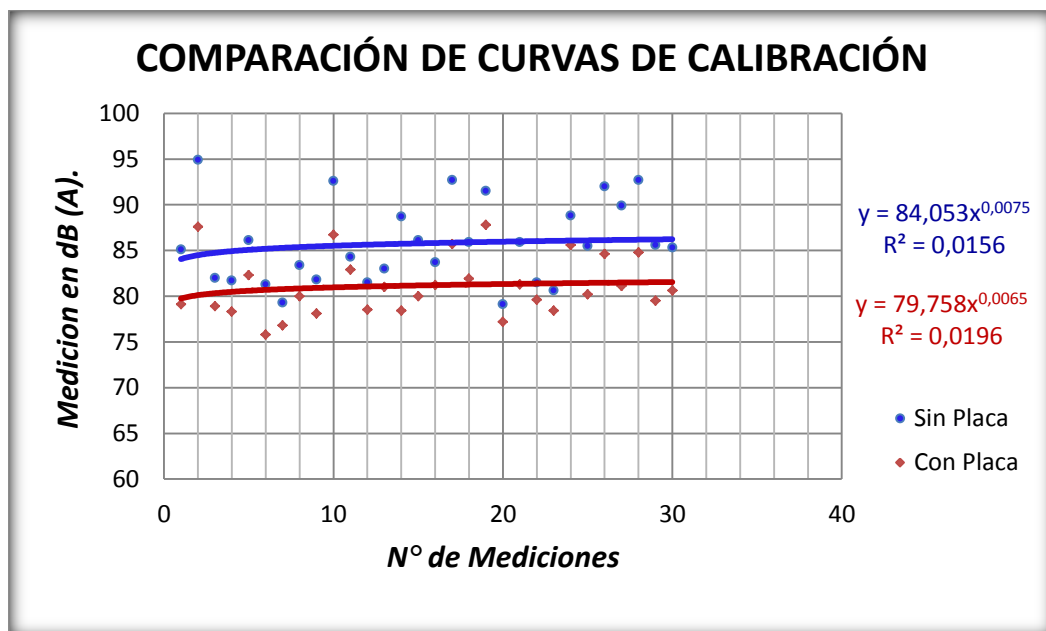


Gráfico N° 5.14. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 6. Fuente propia.



Figura 5.31. Esquina San Bernardo y circunvalación yendo al norte. Fuente propia.

Tabla N° 5.25. Mediciones con Sonómetro. Punto N°7. Fuente propia

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 7 | |
|---|----------------|----------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Guardería Calle Patria y circunvalación subid sur 14:30 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 92,8 | 84,5 | 8,3 | 47,4220 | 14,5092 | 84 | NO CUMPLE |
| 2 | 90,6 | 83,9 | 6,7 | 21,9620 | 10,2983 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 89,1 | 81,5 | 7,6 | 10,1529 | 0,6546 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 79,1 | 76,3 | 2,8 | 46,4256 | 19,2801 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 78,9 | 74,2 | 4,7 | 49,1911 | 42,1319 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 89,9 | 86,4 | 3,5 | 15,8911 | 32,5937 | 84 | NO CUMPLE |
| 7 | 80,9 | 79,8 | 1,1 | 25,1365 | 0,7937 | 84 | CUMPLE |
| 8 | 85,6 | 75,6 | 10,0 | 0,0984 | 25,9174 | 84 | CUMPLE |
| 9 | 83 | 76,5 | 6,5 | 8,4893 | 17,5637 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 85,3 | 79,4 | 5,9 | 0,3765 | 1,6664 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 87,8 | 83,2 | 4,6 | 3,5584 | 6,2955 | 84 | CUMPLE |
| 12 | 81,5 | 78,4 | 3,1 | 19,4802 | 5,2483 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 93,6 | 88,1 | 5,5 | 59,0802 | 54,8946 | 84 | NO CUMPLE |
| 14 | 78,5 | 74,3 | 4,2 | 54,9620 | 40,8437 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 89,1 | 80,2 | 8,9 | 10,1529 | 0,2410 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 89 | 84,8 | 4,2 | 9,5256 | 16,8846 | 84 | NO CUMPLE |
| 17 | 82,1 | 77,9 | 4,2 | 14,5438 | 7,7892 | 84 | CUMPLE |
| 18 | 90,3 | 86,8 | 3,5 | 19,2402 | 37,3210 | 84 | NO CUMPLE |
| 19 | 81 | 78,2 | 2,8 | 24,1438 | 6,2046 | 84 | CUMPLE |
| 20 | 92,6 | 85,6 | 7,0 | 44,7075 | 24,0992 | 84 | NO CUMPLE |
| 21 | 83 | 78,3 | 4,7 | 8,4893 | 5,7164 | 84 | CUMPLE |
| 22 | 86,4 | 81,3 | 5,1 | 0,2365 | 0,3710 | 84 | CUMPLE |
| Suma Total | 1890,1 | 1775,2 | | 493,2659 | 371,3182 | | |
| Media Arit. | 85,9136 | 80,6909 | | | | Media | 84 |
| Desv. Est. | 4,8465 | 4,2050 | | | | | CUMPLE |
| RANGO + | 95,6 | 89,1 | | | | | |
| RANGO - | 76,2 | 72,3 | | | | | |

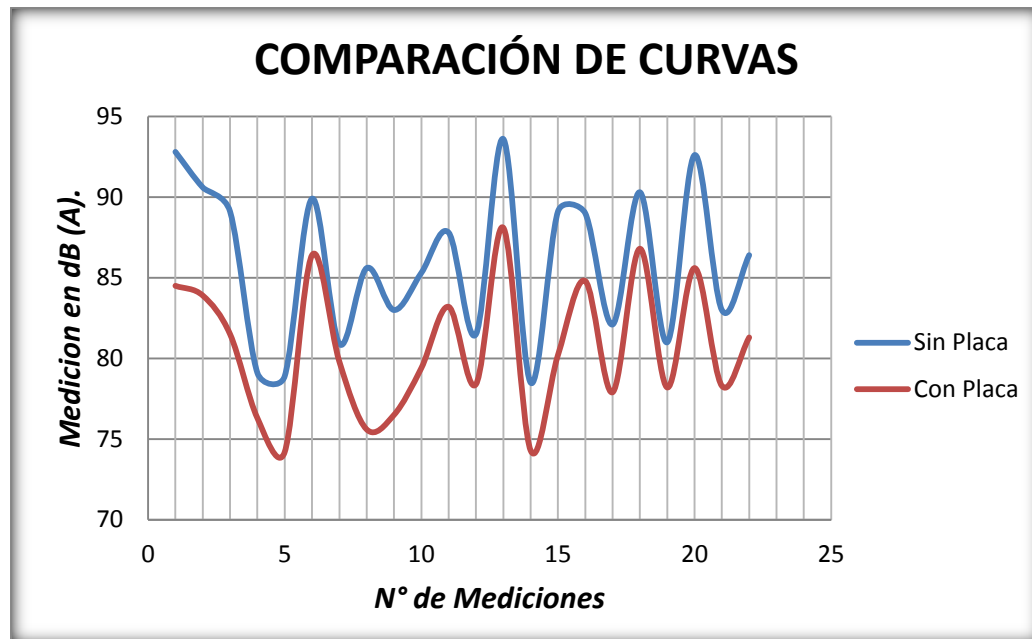


Gráfico N° 5.15. Comparación de curvas. Punto N° 7. Fuente propia.

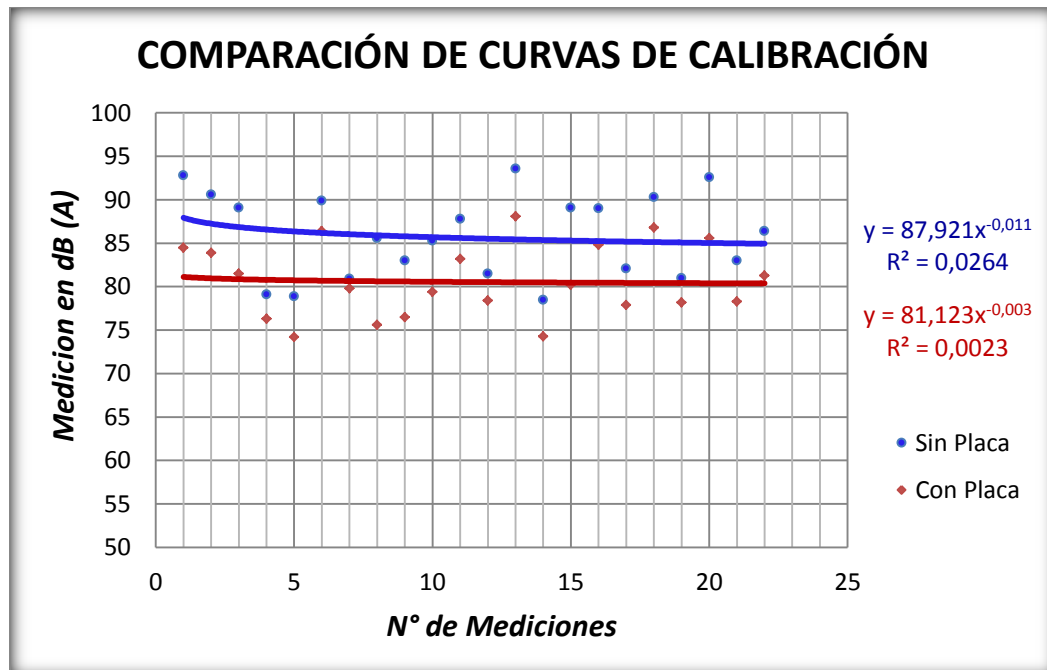


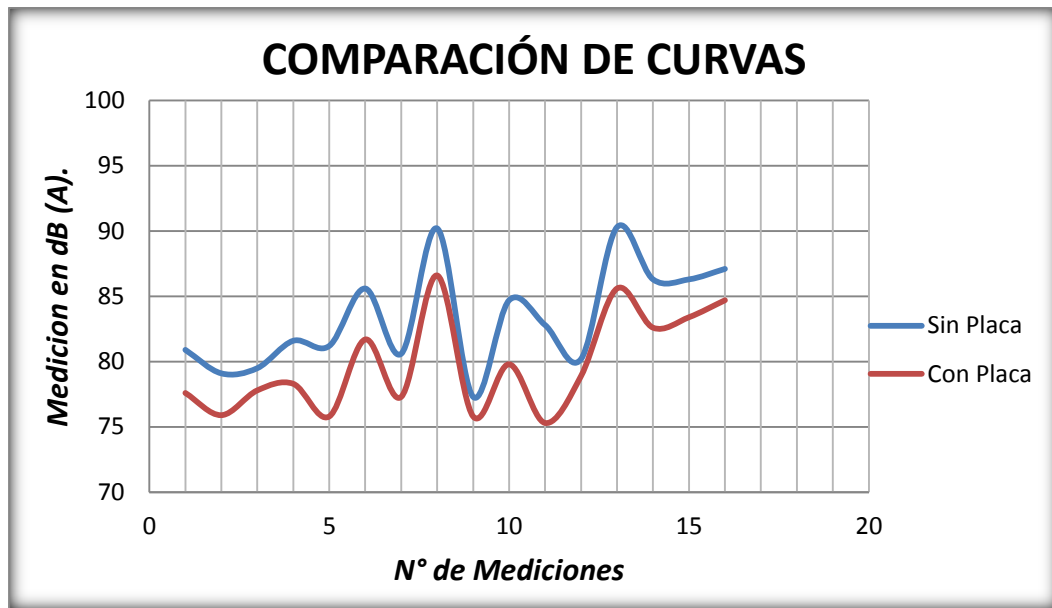
Gráfico N° 5.16. Comparación de curvas. Punto N° 7. Fuente propia.



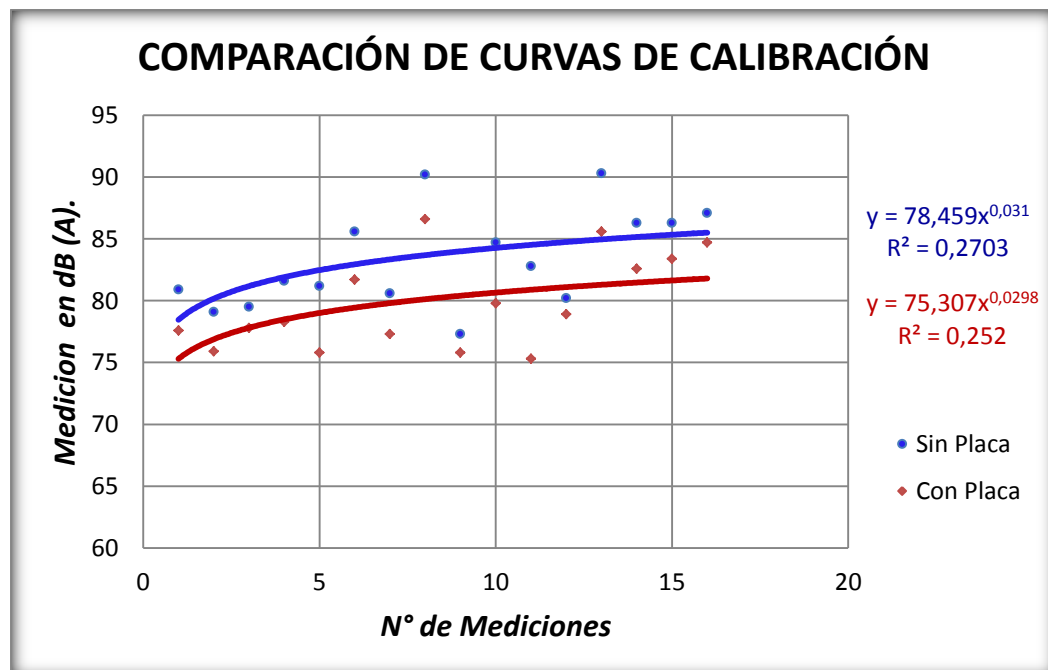
Figura N° 5.32. Guardería y circunvalación subid sur. Fuente propia

Tabla N° 5.26. Mediciones con Sonómetro. Punto N°8. Fuente propia

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO PUNTO N° 8 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
|--|---------------|---------------|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------|
| Bajada sur calle Santo Domingo y circunvalación yendo al sur 15:00 | | | | | | Fuente movil | Con Placa |
| N° Medicion | Sin Placa | Con Placa | Dif . | (X- \bar{X}) ² | (X- \bar{X}) ³ | | |
| 1 | 80,9 | 77,6 | 3,3 | 6,0332 | 4,9229 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 79,1 | 75,9 | 3,2 | 18,1157 | 15,3566 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 79,5 | 77,8 | 1,7 | 14,8707 | 4,0754 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 81,6 | 78,3 | 3,3 | 3,0844 | 2,3066 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 81,2 | 75,8 | 5,4 | 4,6494 | 16,1504 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 85,6 | 81,7 | 3,9 | 5,0344 | 3,5391 | 84 | CUMPLE |
| 7 | 80,6 | 77,3 | 3,3 | 7,5969 | 6,3441 | 84 | CUMPLE |
| 8 | 90,2 | 86,6 | 3,6 | 46,8369 | 45,9854 | 84 | NO CUMPLE |
| 9 | 77,3 | 75,8 | 1,5 | 36,6782 | 16,1504 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 84,7 | 79,8 | 4,9 | 1,8057 | 0,0004 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 82,8 | 75,3 | 7,5 | 0,3094 | 20,4191 | 84 | CUMPLE |
| 12 | 80,2 | 78,9 | 1,3 | 9,9619 | 0,8441 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 90,3 | 85,6 | 4,7 | 48,2157 | 33,4229 | 84 | NO CUMPLE |
| 14 | 86,3 | 82,6 | 3,7 | 8,6657 | 7,7354 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 86,3 | 83,4 | 2,9 | 8,6657 | 12,8254 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 87,1 | 84,7 | 2,4 | 14,0157 | 23,8266 | 84 | NO CUMPLE |
| Suma Total | 1333,7 | 1277,1 | | 234,539 | 213,904 | | |
| | | | | 4 | 4 | | |
| Media Arit. | 83,36 | 79,82 | | | | Media | 84 |
| Desv. Est. | 3,9542 | 3,7763 | | | | | CUMPLE |
| RANGO + | 91,3 | 87,4 | | | | | |
| RANGO - | 75,4 | 72,3 | | | | | |



*Gráfico N° 5.17. Comparación de curvas. Punto N° 8.
Fuente propia.*



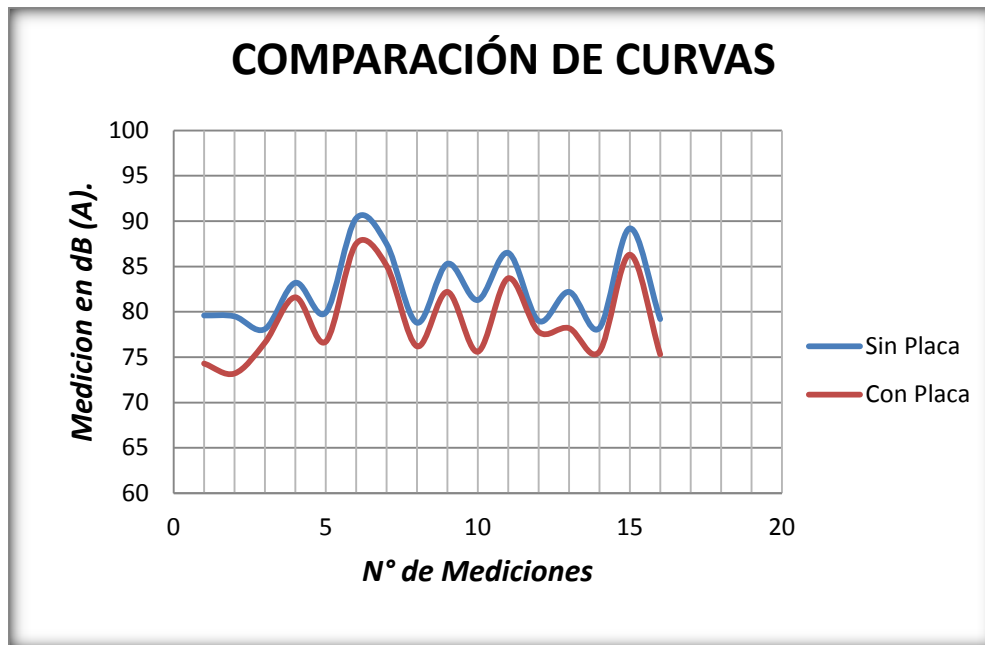
*Grafica N° 5.18. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 8.
Fuente propia.*



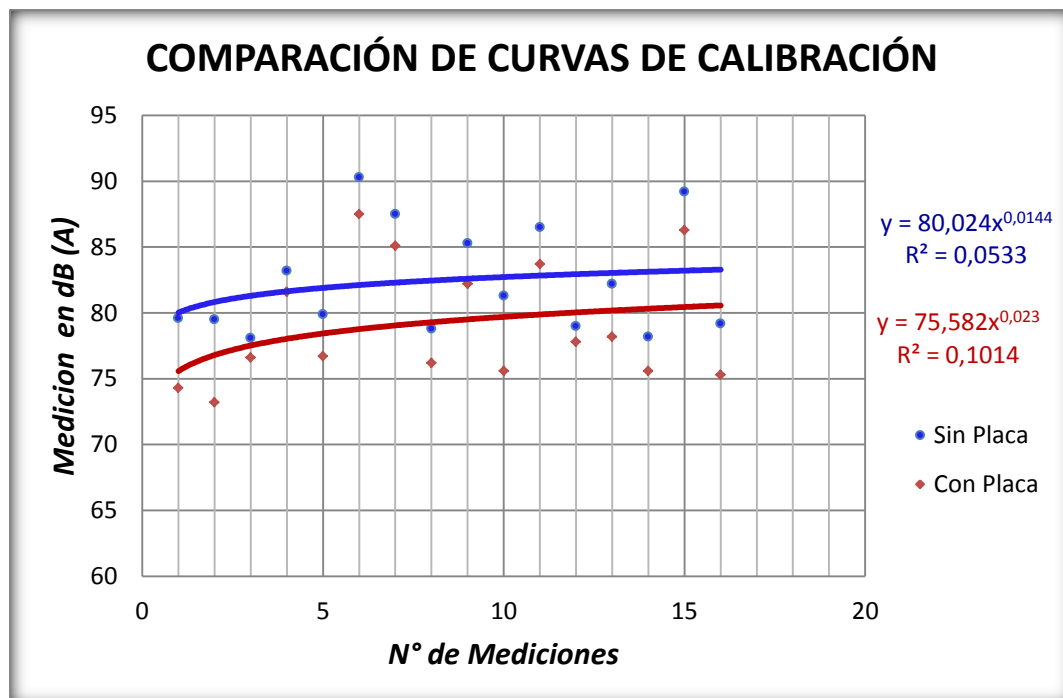
Figura 5.33. Bajada sur calle Santo Domingo y circunvalación yendo al sur

Tabla N° 5.27. Mediciones con Sonómetro. Punto N°9. Fuente propia

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 9 | |
|---|---------------|---------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Subida norte farmacia y circunvalación 15:40 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 79,6 | 74,3 | 5,3 | 7,6314 | 23,2204 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 79,5 | 73,2 | 6,3 | 8,1939 | 35,0316 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 78,1 | 76,6 | 1,5 | 18,1689 | 6,3441 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 83,2 | 81,6 | 1,6 | 0,7014 | 6,1566 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 79,9 | 76,7 | 3,2 | 6,0639 | 5,8504 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 90,3 | 87,5 | 2,8 | 63,0039 | 70,2454 | 84 | NO CUMPLE |
| 7 | 87,5 | 85,1 | 2,4 | 26,3939 | 35,7754 | 84 | NO CUMPLE |
| 8 | 78,8 | 76,2 | 2,6 | 12,6914 | 8,5191 | 84 | CUMPLE |
| 9 | 85,3 | 82,2 | 3,1 | 8,6289 | 9,4941 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 81,3 | 75,6 | 5,7 | 1,1289 | 12,3816 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 86,5 | 83,7 | 2,8 | 17,1189 | 20,9879 | 84 | CUMPLE |
| 12 | 79 | 77,8 | 1,2 | 11,3064 | 1,7391 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 82,2 | 78,2 | 4,0 | 0,0264 | 0,8441 | 84 | CUMPLE |
| 14 | 78,2 | 75,6 | 2,6 | 17,3264 | 12,3816 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 89,2 | 86,3 | 2,9 | 46,7514 | 51,5704 | 84 | NO CUMPLE |
| 16 | 79,2 | 75,3 | 3,9 | 10,0014 | 14,5829 | 84 | CUMPLE |
| Suma Total | 1317,8 | 1265,9 | | 255,1375 | 315,1244 | | |
| Media Arit. | 82,36 | 79,12 | | | Media | 82 | CUMPLE |
| Desv. Est. | 4,1242 | 4,5835 | | | | | |
| RANGO + | 90,6 | 88,3 | | | | | |
| RANGO - | 74,1 | 70,0 | | | | | |



*Gráfico N° 5.19. Comparación de curvas. Punto N° 9.
Fuente propia.*



*Gráfico N° 5.20. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 9.
Fuente propia.*



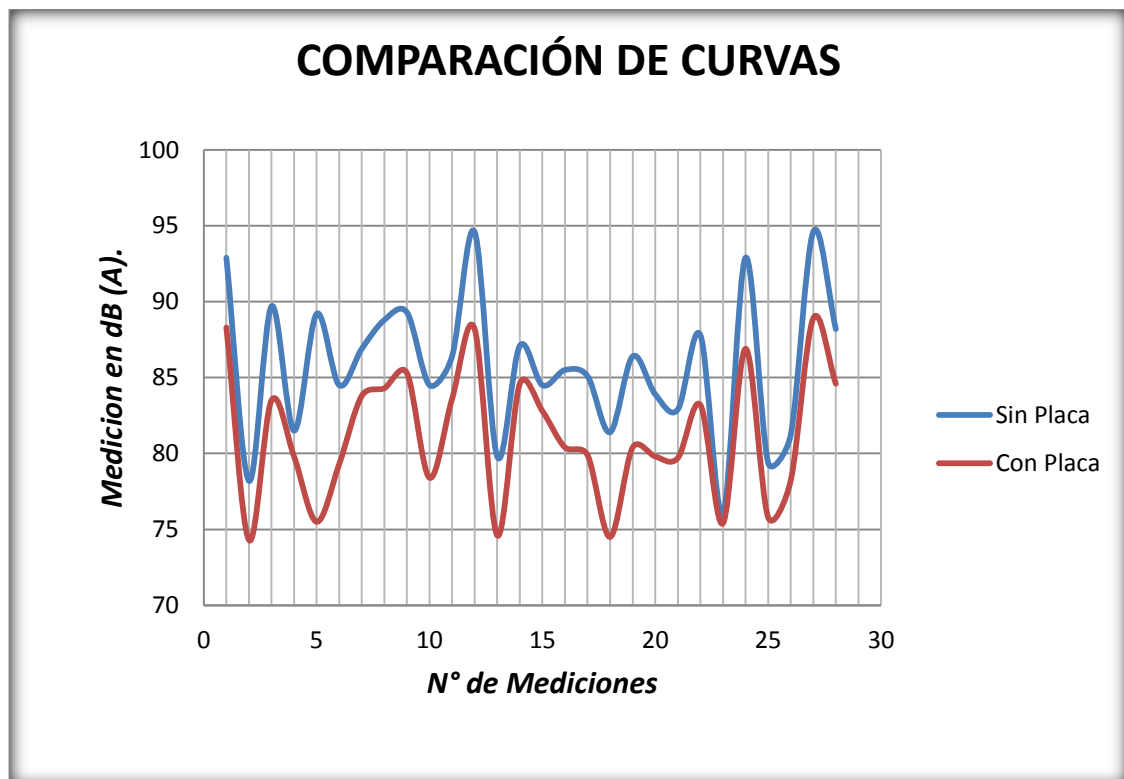
*Figura N° 5.34. Subida norte calle Calle Santo Domingo y circunvalación y Farmacia.
Fuente propia*

Tabla N° 5.28. Mediciones con Sonómetro. Punto N°10. Fuente propia

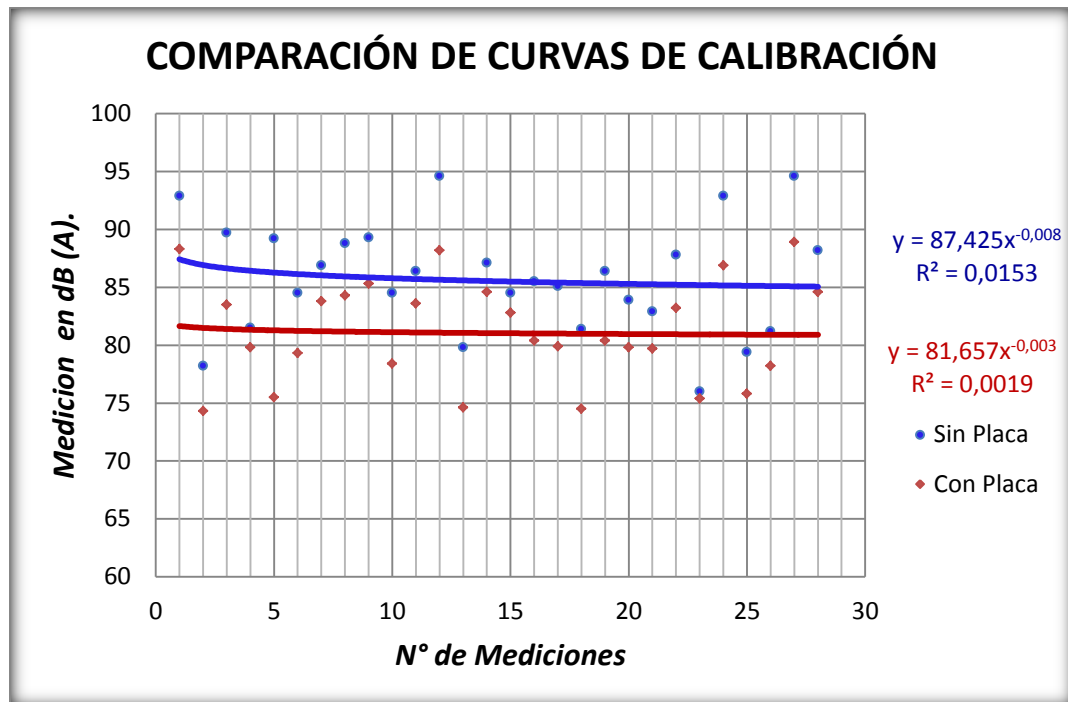
| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 10 | |
|---|-----------|-----------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------|
| Esquina La Paz y Circunvalación subida norte 16:30 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^3$ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 92,9 | 88,3 | 4,6 | 51,7867 | 47,2529 | 84 | NO CUMPLE |
| 2 | 78,2 | 74,3 | 3,9 | 56,3056 | 50,7788 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 89,7 | 83,5 | 6,2 | 15,9704 | 4,3018 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 81,5 | 79,8 | 1,7 | 17,6711 | 2,6436 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 84,5 | 79,3 | 5,2 | 1,4489 | 4,5196 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 86,9 | 83,8 | 3,1 | 1,4311 | 5,6362 | 84 | CUMPLE |
| 7 | 88,8 | 84,3 | 4,5 | 9,5871 | 8,2603 | 84 | NO CUMPLE |
| 8 | 89,3 | 85,3 | 4,0 | 12,9333 | 15,0084 | 84 | NO CUMPLE |
| 9 | 84,5 | 78,4 | 6,1 | 1,4489 | 9,1562 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 86,4 | 83,6 | 2,8 | 0,4848 | 4,7266 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 94,6 | 88,2 | 6,4 | 79,1441 | 45,8881 | 84 | NO CUMPLE |
| 12 | 79,8 | 74,6 | 5,2 | 34,8537 | 46,5933 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 87,1 | 84,6 | 2,5 | 1,9496 | 10,0747 | 84 | NO CUMPLE |
| 14 | 84,5 | 82,8 | 1,7 | 1,4489 | 1,8881 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 85,5 | 80,4 | 5,1 | 0,0415 | 1,0525 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 85,1 | 79,9 | 5,2 | 0,3645 | 2,3284 | 84 | CUMPLE |
| 17 | 81,4 | 74,5 | 6,9 | 18,5219 | 47,9684 | 84 | CUMPLE |
| 18 | 86,4 | 80,4 | 6,0 | 0,4848 | 1,0525 | 84 | CUMPLE |
| 19 | 83,9 | 79,8 | 4,1 | 3,2533 | 2,6436 | 84 | CUMPLE |
| 20 | 82,9 | 79,7 | 3,2 | 7,8608 | 2,9788 | 84 | CUMPLE |



| | | | | | | | |
|--------------------|---------------|---------------|-----|----------|----------|--------------|---------------|
| 21 | 87,8 | 83,2 | 4,6 | 4,3945 | 3,1473 | 84 | CUMPLE |
| 22 | 76 | 75,4 | 0,6 | 94,1619 | 36,3118 | 84 | CUMPLE |
| 23 | 92,9 | 86,9 | 6,0 | 51,7867 | 29,9655 | 84 | NO CUMPLE |
| 24 | 79,4 | 75,8 | 3,6 | 39,7367 | 31,6510 | 84 | CUMPLE |
| 25 | 81,2 | 78,2 | 3,0 | 20,2833 | 10,4066 | 84 | CUMPLE |
| 26 | 94,6 | 88,9 | 5,7 | 79,1441 | 55,8618 | 84 | NO CUMPLE |
| 27 | 88,2 | 84,6 | 3,6 | 6,2315 | 10,0747 | 84 | NO CUMPLE |
| Suma Total | 2314 | 2198,5 | | 612,7296 | 492,1719 | | |
| Media Arit. | 85,70 | 81,43 | | | | Media | 84 |
| Desv. Est. | 4,8545 | 4,3508 | | | | | CUMPLE |
| RANGO + | 95,4 | 90,1 | | | | | |
| RANGO - | 76,0 | 72,7 | | | | | |



*Gráfico N° 5.21. Comparación de curvas. Punto N° 10.
Fuente propia.*



*Gráfico N° 5.22. Comparación de curvas. Punto N° 10.
Fuente propia.*



*Figura N° 5.35. Esquina La Paz y Circunvalación subida norte.
Fuente propia*

**Tabla N° 5.29. Mediciones con Sonómetro. Punto N°11. Fuente propia**

| DATOS Y CÁLCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 11 | |
|---|---------------|---------------|------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------|
| La Paz y circunvalación subida norte 17:10 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | (X- \bar{X}) ² | (X- \bar{X}) ³ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 82,0 | 79,2 | 2,8 | 10,9300 | 3,9637 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 88,7 | 85,8 | 2,9 | 11,5188 | 21,2437 | 84 | NO CUMPLE |
| 3 | 88,8 | 83,1 | 5,7 | 12,2076 | 3,6446 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 84,4 | 78,3 | 6,1 | 0,8209 | 8,3574 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 81,0 | 78,8 | 2,2 | 18,5422 | 5,7164 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 93,1 | 84,4 | 8,7 | 60,7455 | 10,2983 | 84 | NO CUMPLE |
| 7 | 80,6 | 78,1 | 2,5 | 22,1470 | 9,5537 | 84 | CUMPLE |
| 8 | 93,2 | 85,8 | 7,4 | 62,3143 | 21,2437 | 84 | NO CUMPLE |
| 9 | 85,7 | 80,6 | 5,1 | 0,1552 | 0,3492 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 89,7 | 87,9 | 1,8 | 19,3067 | 45,0119 | 84 | NO CUMPLE |
| 11 | 92,6 | 87 | 5,6 | 53,2016 | 33,7455 | 84 | NO CUMPLE |
| 12 | 88,9 | 84,9 | 4,0 | 12,9164 | 13,7574 | 84 | NO CUMPLE |
| 13 | 90,7 | 84,4 | 6,3 | 29,0946 | 10,2983 | 84 | NO CUMPLE |
| 14 | 84,3 | 81,2 | 3,1 | 1,0122 | 0,0001 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 81,7 | 79,6 | 2,1 | 13,0037 | 2,5310 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 81,1 | 75 | 6,1 | 17,6909 | 38,3274 | 84 | CUMPLE |
| 17 | 81,3 | 79,8 | 1,5 | 16,0485 | 1,9346 | 84 | CUMPLE |
| 18 | 91,2 | 88,6 | 2,6 | 34,7385 | 54,8946 | 84 | NO CUMPLE |
| 19 | 82,2 | 78,2 | 4,0 | 9,6476 | 8,9455 | 84 | CUMPLE |
| 20 | 88,3 | 85,9 | 2,4 | 8,9637 | 22,1755 | 84 | NO CUMPLE |
| 21 | 82,2 | 78,9 | 3,3 | 9,6476 | 5,2483 | 84 | CUMPLE |
| 22 | 88,9 | 85,7 | 3,2 | 12,9164 | 20,3319 | 84 | NO CUMPLE |
| 23 | 83,9 | 79,3 | 4,6 | 1,9770 | 3,5755 | 84 | CUMPLE |
| 24 | 81,9 | 79,7 | 2,2 | 11,6012 | 2,2228 | 84 | CUMPLE |
| 25 | 79,8 | 76,8 | 3,0 | 30,3167 | 19,2801 | 84 | CUMPLE |
| 26 | 81,3 | 74,6 | 6,7 | 16,0485 | 43,4401 | 84 | CUMPLE |
| 27 | 92,5 | 87,6 | 4,9 | 51,7528 | 41,0764 | 84 | NO CUMPLE |
| 28 | 80,6 | 77,7 | 2,9 | 22,1470 | 12,1864 | 84 | CUMPLE |
| 29 | 80,6 | 78,5 | 2,1 | 22,1470 | 7,2410 | 84 | CUMPLE |
| 30 | 78,3 | 74,2 | 4,1 | 49,0849 | 48,8728 | 84 | CUMPLE |
| 31 | 79,6 | 75,3 | 4,3 | 32,5591 | 34,7028 | 84 | CUMPLE |
| 32 | 88,4 | 83,2 | 5,2 | 9,5725 | 4,0364 | 84 | CUMPLE |
| 33 | 87,6 | 81,2 | 6,4 | 5,2622 | 0,0001 | 84 | CUMPLE |
| Suma Total | 2815,1 | 2679,3 | | 690,0388 | 558,2073 | | |

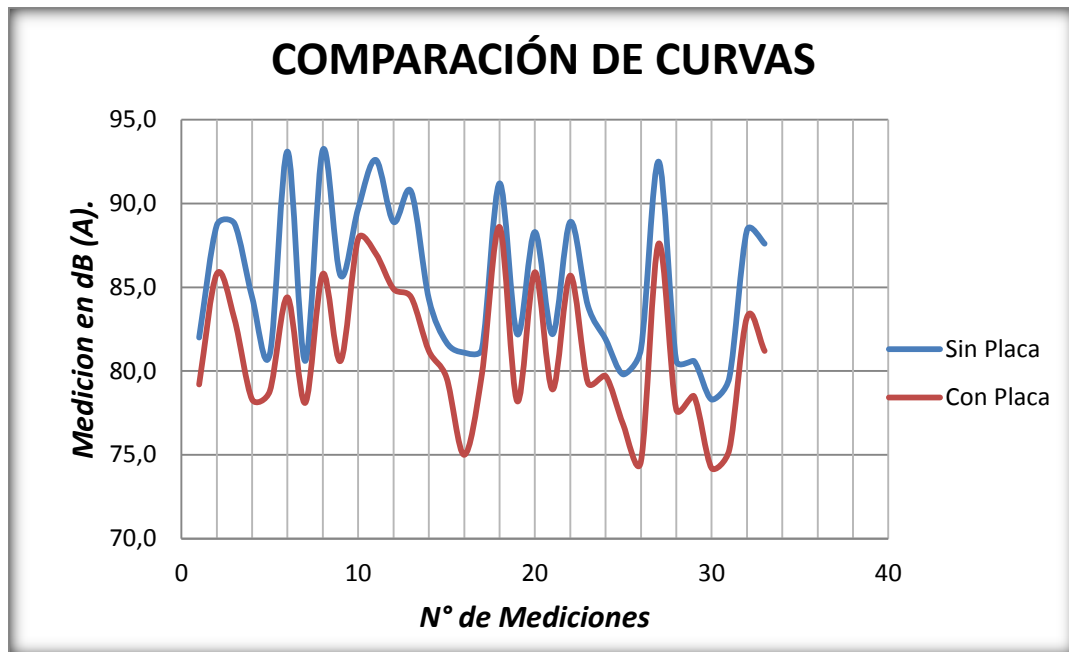
| | | |
|--------------------|--------------|--------------|
| Media Arit. | 85,31 | 81,19 |
|--------------------|--------------|--------------|

| | | |
|--------------|-----------|---------------|
| Media | 84 | CUMPLE |
|--------------|-----------|---------------|

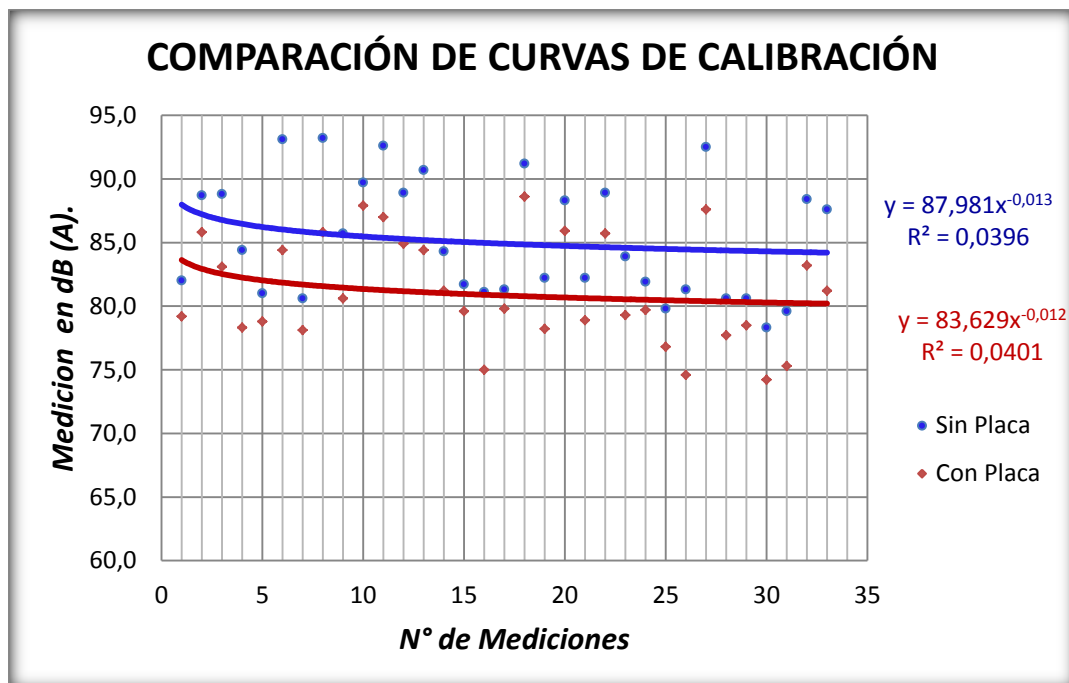
| | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| Desv. Est. | 4,6437 | 4,1766 |
|-------------------|---------------|---------------|

| | | |
|----------------|-------------|-------------|
| RANGO + | 94,6 | 89,5 |
|----------------|-------------|-------------|

| | | |
|----------------|-------------|-------------|
| RANGO - | 76,0 | 72,8 |
|----------------|-------------|-------------|



*Gráfico N° 5.23. Comparación de curvas. Punto N° 11.
Fuente propia.*



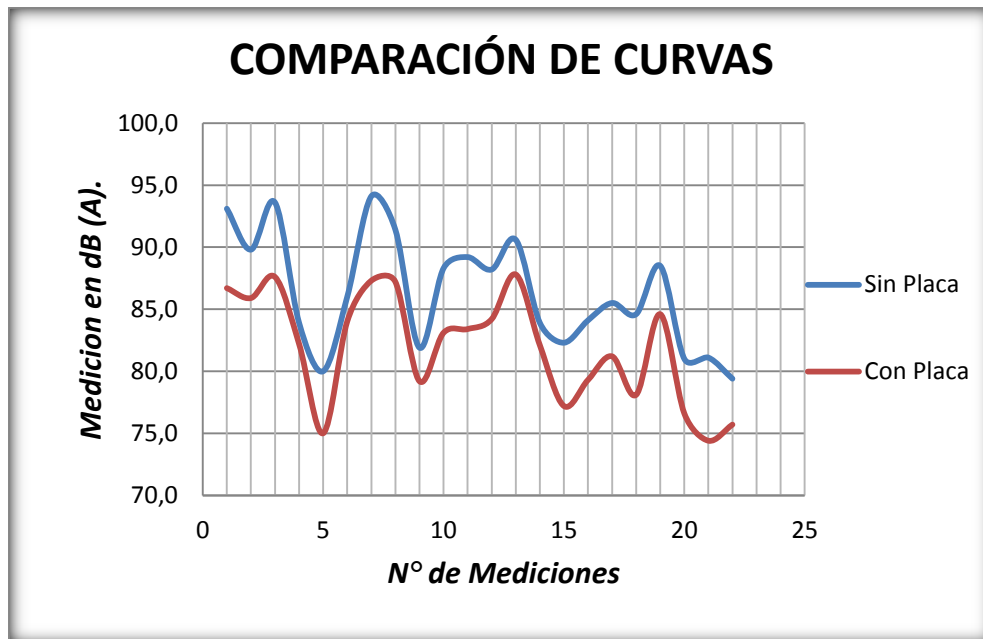
*Gráfico N° 5.24. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 11.
Fuente propia.*



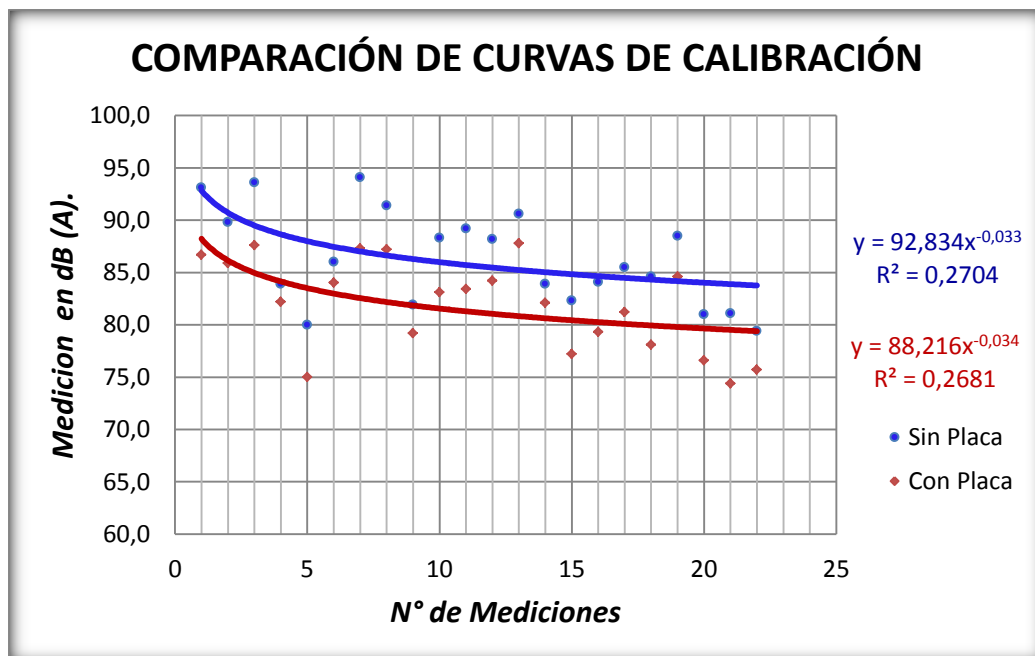
Figura N° 5.36. La Paz y circunvalación subida norte 17:05. Fuente propia

Tabla N° 5.30. Mediciones con Sonómetro. Punto N°12. Fuente propia

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 12 | |
|---|---------------|---------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Farmacia del sur y circunvalación salida norte 17:40 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente movil | Con Placa |
| 1 | 93,1 | 86,7 | 6,4 | 45,0729 | 22,5971 | 84 | NO CUMPLE |
| 2 | 89,8 | 85,9 | 3,9 | 11,6529 | 15,6312 | 84 | NO CUMPLE |
| 3 | 93,6 | 87,6 | 6,0 | 52,0365 | 31,9636 | 84 | NO CUMPLE |
| 4 | 83,9 | 82,2 | 1,7 | 6,1820 | 0,0643 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 80,0 | 75,0 | 5,0 | 40,7856 | 48,2520 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 86,0 | 84,0 | 2,0 | 0,1493 | 4,3000 | 84 | NO CUMPLE |
| 7 | 94,1 | 87,3 | 6,8 | 59,5002 | 28,6614 | 84 | NO CUMPLE |
| 8 | 91,4 | 87,2 | 4,2 | 25,1365 | 27,6007 | 84 | NO CUMPLE |
| 9 | 81,9 | 79,2 | 2,7 | 20,1275 | 7,5425 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 88,3 | 83,1 | 5,2 | 3,6620 | 1,3309 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 89,2 | 83,4 | 5,8 | 7,9165 | 2,1131 | 84 | CUMPLE |
| 12 | 88,2 | 84,2 | 4,0 | 3,2893 | 5,0789 | 84 | NO CUMPLE |
| 13 | 90,6 | 87,8 | 2,8 | 17,7547 | 34,2651 | 84 | NO CUMPLE |
| 14 | 83,9 | 82,1 | 1,8 | 6,1820 | 0,0236 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 82,3 | 77,2 | 5,1 | 16,6984 | 22,5280 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 84,1 | 79,3 | 4,8 | 5,2275 | 7,0032 | 84 | CUMPLE |
| 17 | 85,5 | 81,2 | 4,3 | 0,7856 | 0,5571 | 84 | CUMPLE |
| 18 | 84,6 | 78,1 | 6,5 | 3,1911 | 14,7945 | 84 | CUMPLE |
| 19 | 88,5 | 84,6 | 3,9 | 4,4675 | 7,0418 | 84 | NO CUMPLE |
| 20 | 81,0 | 76,6 | 4,4 | 29,0129 | 28,5836 | 84 | CUMPLE |
| 21 | 81,1 | 74,4 | 6,7 | 27,9456 | 56,9476 | 84 | CUMPLE |
| 22 | 79,4 | 75,7 | 3,7 | 48,8093 | 39,0171 | 84 | CUMPLE |
| Suma Total | 1900,5 | 1802,8 | | 435,5859 | 405,8971 | | |
| Media Arit. | 86,39 | 81,95 | | | | Media | 84 |
| Desv. Est. | 4,5544 | 4,3964 | | | | | CUMPLE |
| RANGO + | 95,5 | 90,7 | | | | | |
| RANGO - | 77,3 | 73,2 | | | | | |



*Gráfica N° 5.24. Comparación de curvas. Punto N° 12.
Fuente propia.*



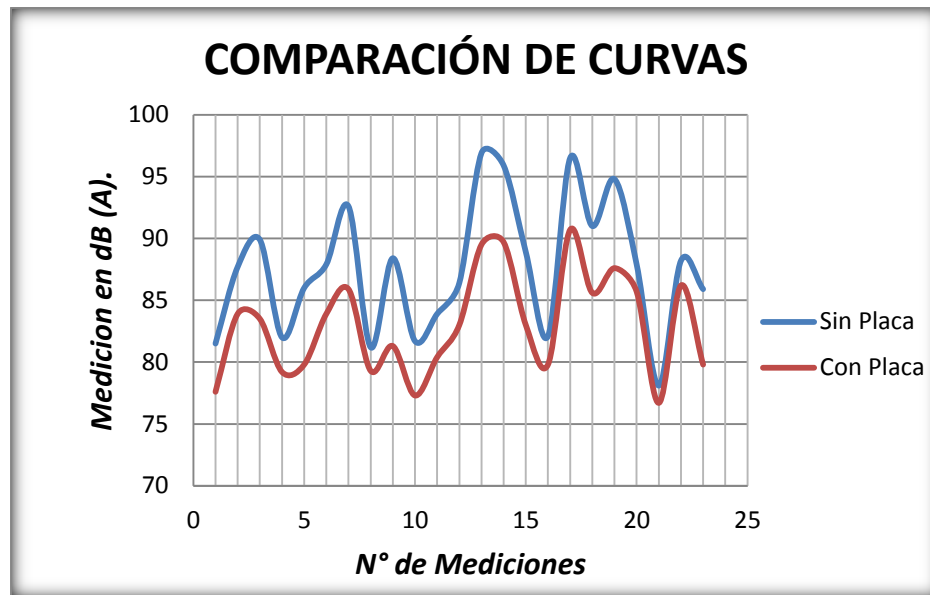
*Gráfico N° 5.25. Comparación de curvas. Punto N° 12.
Fuente propia.*



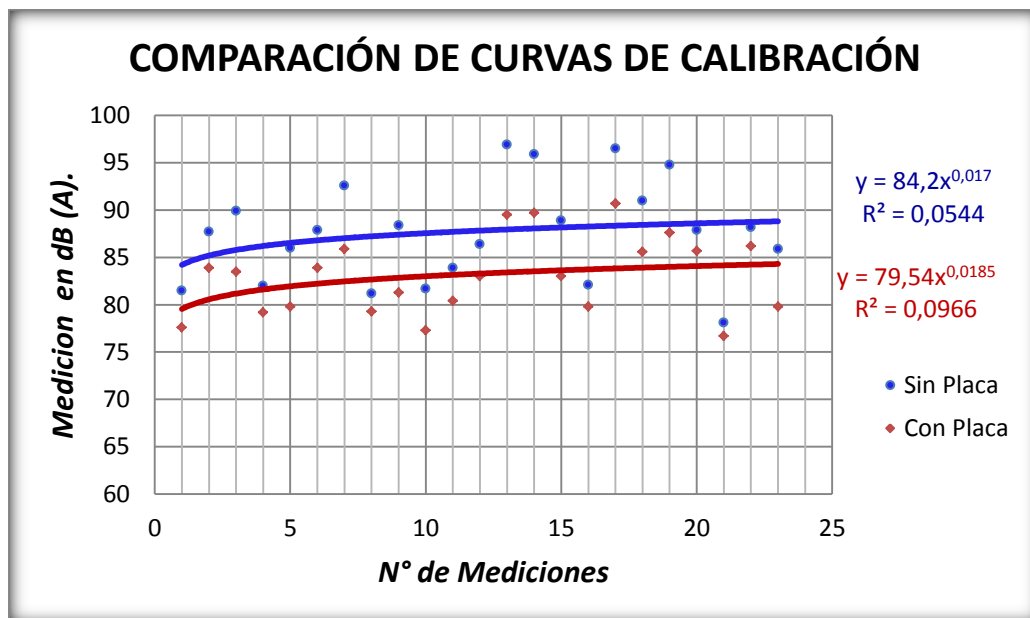
Figura N° 5.37. Farmacia del sur y circunvalación salida norte 17:44. Fuente propia

Tabla N° 5.31. Mediciones con Sonómetro. Punto N°13. Fuente propia

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 13 | |
|---|---------------|---------------|------|-----------------|-------------------------|--------------|---------------|
| Lavadero y circunvalación salida norte 18:15 | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 81,5 | 77,6 | 3,9 | 37,5289 | 29,3481 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 87,7 | 83,9 | 3,8 | 0,0055 | 0,7790 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 89,9 | 83,5 | 6,4 | 5,1707 | 0,2329 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 82 | 79,2 | 2,8 | 31,6529 | 14,5725 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 86 | 79,8 | 6,2 | 2,6442 | 10,3516 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 87,9 | 83,9 | 4,0 | 0,0750 | 0,7790 | 84 | CUMPLE |
| 7 | 92,6 | 85,9 | 6,7 | 24,7398 | 8,3094 | 84 | NO CUMPLE |
| 8 | 81,2 | 79,3 | 1,9 | 41,2946 | 13,8190 | 84 | CUMPLE |
| 9 | 88,4 | 81,3 | 7,1 | 0,5989 | 2,9494 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 81,7 | 77,3 | 4,4 | 35,1185 | 32,6886 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 83,9 | 80,4 | 3,5 | 13,8837 | 6,8507 | 84 | CUMPLE |
| 12 | 86,4 | 83 | 3,4 | 1,5033 | 0,0003 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 96,9 | 89,5 | 7,4 | 86,0055 | 42,0242 | 84 | NO CUMPLE |
| 14 | 95,9 | 89,7 | 6,2 | 68,4576 | 44,6573 | 84 | NO CUMPLE |
| 15 | 88,9 | 83 | 5,9 | 1,6229 | 0,0003 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 82,1 | 79,8 | 2,3 | 30,5376 | 10,3516 | 84 | CUMPLE |
| 17 | 96,5 | 90,7 | 5,8 | 78,7463 | 59,0225 | 84 | NO CUMPLE |
| 18 | 91 | 85,6 | 5,4 | 11,3833 | 6,6699 | 84 | NO CUMPLE |
| 19 | 94,8 | 87,6 | 7,2 | 51,4650 | 21,0003 | 84 | NO CUMPLE |
| 20 | 87,9 | 85,7 | 2,2 | 0,0750 | 7,1964 | 84 | NO CUMPLE |
| 21 | 78,1 | 76,7 | 1,4 | 90,7463 | 39,9094 | 84 | CUMPLE |
| 22 | 88,2 | 86,2 | 2,0 | 0,3294 | 10,1290 | 84 | NO CUMPLE |
| 23 | 85,9 | 79,8 | 6,1 | 2,9794 | 10,3516 | 84 | CUMPLE |
| 24 | 2015,4 | 1909,4 | | 616,5643 | 371,9930 | | |
| Media Arit. | 87,63 | 83,02 | | | | Media | 84 |
| Desv. Est. | 5,2939 | 4,1120 | | | | | CUMPLE |
| RANGO + | 98,2 | 91,2 | | | | | |
| RANGO - | 77,0 | 74,8 | | | | | |



*Gráfico N° 5.26. Comparación de curvas. Punto N° 13.
Fuente propia.*



*Gráfico N° 5.27. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 13.
Fuente propia.*

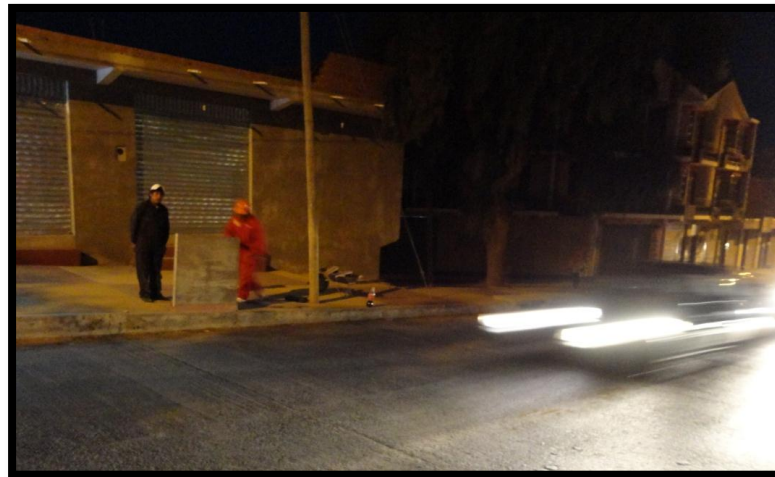
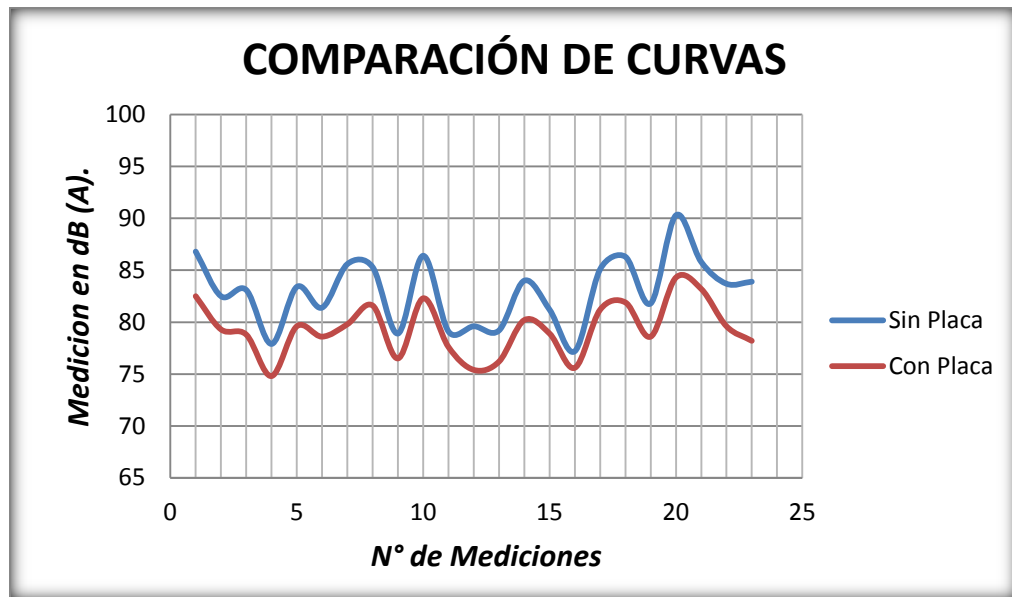


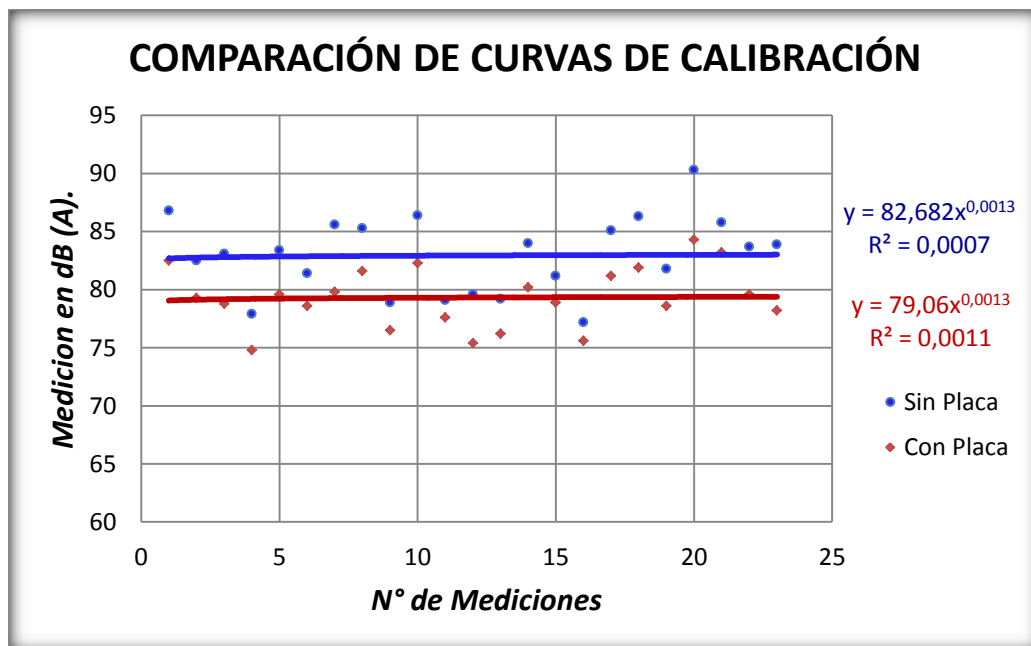
Figura N° 5.38. Lavadero y circunvalación salida norte 18:26. Fuente propia

Tabla N° 5.32. Mediciones con Sonómetro. Punto N°14. Fuente propia

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 14 | |
|---|---------------|---------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Kínder y circunvalación 18:45 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medicion | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente movil | Con Placa |
| 1 | 86,8 | 82,5 | 4,3 | 14,6057 | 10,0186 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 82,5 | 79,3 | 3,2 | 0,2287 | 0,0012 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 83,1 | 78,8 | 4,3 | 0,0148 | 0,2860 | 84 | CUMPLE |
| 4 | 77,9 | 74,8 | 3,1 | 25,7887 | 20,5643 | 84 | CUMPLE |
| 5 | 83,4 | 79,6 | 3,8 | 0,1779 | 0,0703 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 81,4 | 78,6 | 2,8 | 2,4909 | 0,5399 | 84 | CUMPLE |
| 7 | 85,6 | 79,8 | 5,8 | 6,8735 | 0,2164 | 84 | CUMPLE |
| 8 | 85,3 | 81,6 | 3,7 | 5,3905 | 5,1312 | 84 | CUMPLE |
| 9 | 78,9 | 76,5 | 2,4 | 16,6322 | 8,0360 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 86,4 | 82,3 | 4,1 | 11,7083 | 8,7925 | 84 | CUMPLE |
| 11 | 79,1 | 77,6 | 1,5 | 15,0409 | 3,0095 | 84 | CUMPLE |
| 12 | 79,6 | 75,4 | 4,2 | 11,4126 | 15,4825 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 79,2 | 76,2 | 3,0 | 14,2753 | 9,8269 | 84 | CUMPLE |
| 14 | 84 | 80,2 | 3,8 | 1,0440 | 0,7486 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 81,2 | 78,9 | 2,3 | 3,1622 | 0,1890 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 77,2 | 75,6 | 1,6 | 33,3883 | 13,9486 | 84 | CUMPLE |
| 17 | 85,1 | 81,2 | 3,9 | 4,5018 | 3,4790 | 84 | CUMPLE |
| 18 | 86,3 | 81,9 | 4,4 | 11,0340 | 6,5803 | 84 | CUMPLE |
| 19 | 81,8 | 78,6 | 3,2 | 1,3883 | 0,5399 | 84 | CUMPLE |
| 20 | 90,3 | 84,3 | 6,0 | 53,6079 | 24,6534 | 84 | NO CUMPLE |
| 21 | 85,8 | 83,2 | 2,6 | 7,9622 | 14,9399 | 84 | CUMPLE |
| 22 | 83,7 | 79,6 | 4,1 | 0,5209 | 0,0703 | 84 | CUMPLE |
| 23 | 83,9 | 78,2 | 5,7 | 0,8496 | 1,2877 | 84 | CUMPLE |
| Suma Total | 1908,5 | 1824,7 | | 242,0991 | 148,4122 | | |
| Media Arit. | 82,98 | 79,33 | | | | Media | CUMPLE |
| Desv. Est. | 3,3173 | 2,5973 | | | | | |
| RANGO + | 89,6 | 84,5 | | | | | |
| RANGO - | 76,3 | 74,1 | | | | | |



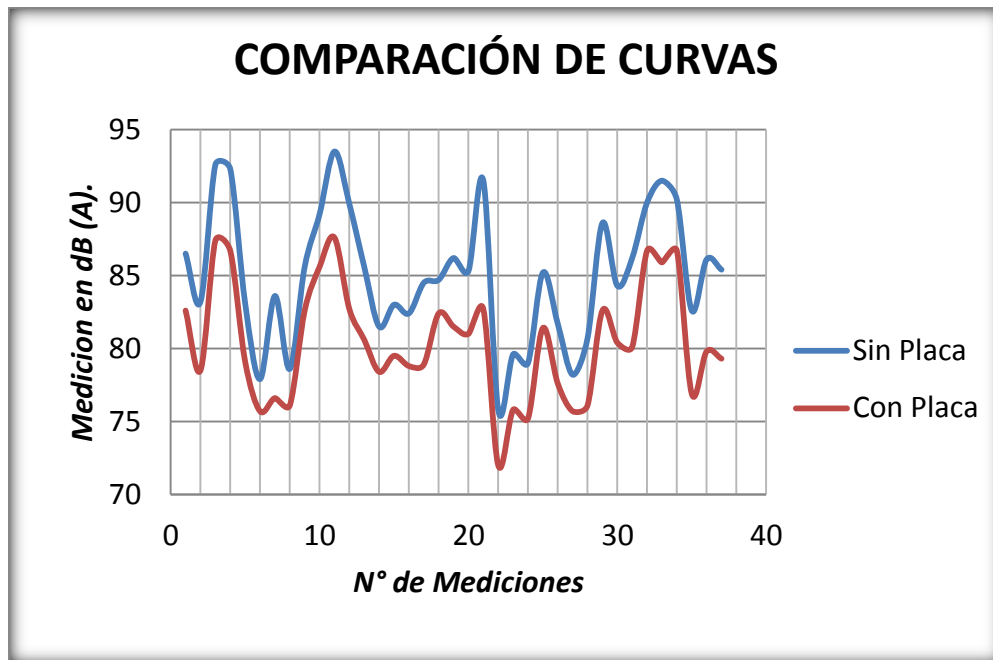
*Gráfica N° 5.28. Comparación de curvas. Punto N° 14.
Fuente propia.*



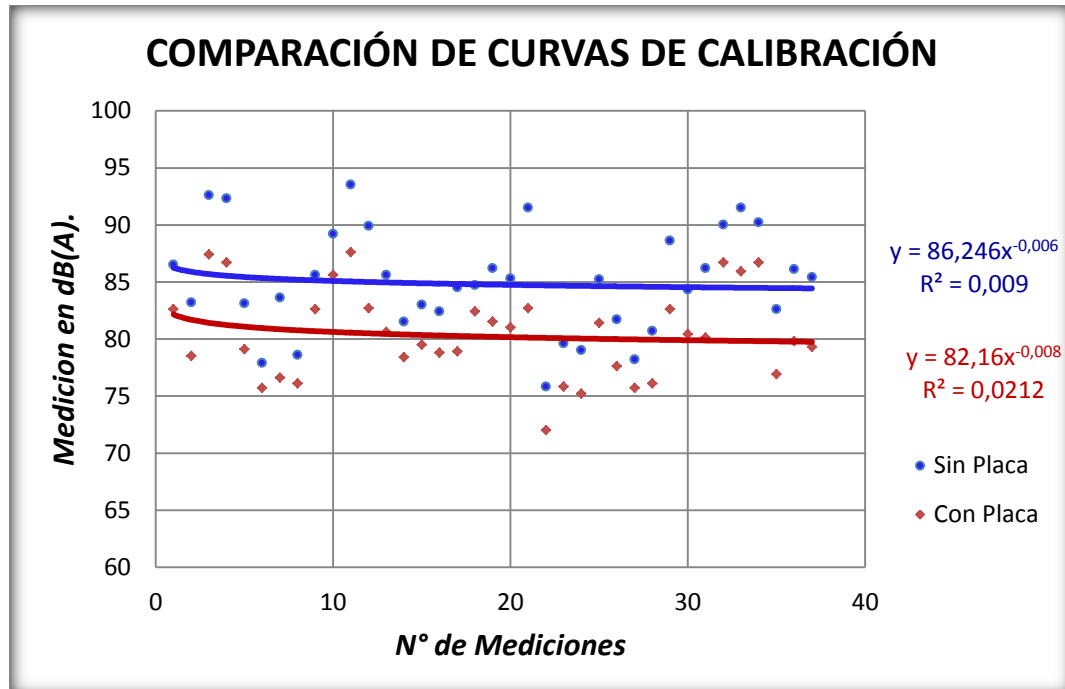
*Gráfica N° 5.29. Comparación de curvas de calibración. Punto N° 14.
Fuente propia.*

**Tabla N° 5.33. Mediciones con Sonómetro. Punto N°15. Fuente propia**

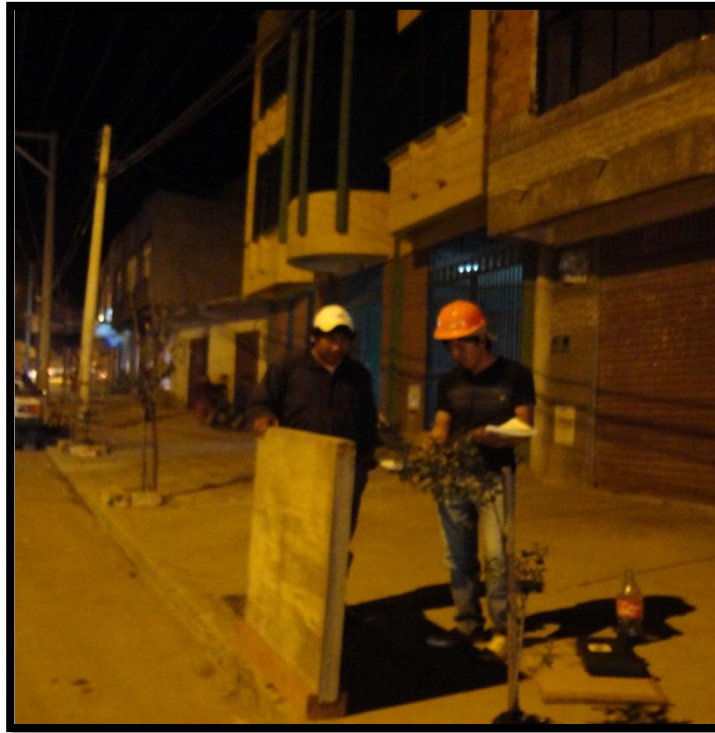
| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 15 | |
|---|---------------|---------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Iglesia pentecostal y circunvalación salida norte 19:15 | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente móvil | Con Placa |
| 1 | 86,5 | 82,6 | 3,9 | 2,1856 | 4,5588 | 84 | CUMPLE |
| 2 | 83,2 | 78,5 | 4,7 | 3,3183 | 3,8607 | 84 | CUMPLE |
| 3 | 92,6 | 87,4 | 5,2 | 57,4318 | 48,0961 | 84 | NO CUMPLE |
| 4 | 92,3 | 86,7 | 5,6 | 52,9748 | 38,8769 | 84 | NO CUMPLE |
| 5 | 83,1 | 79,1 | 4,0 | 3,6926 | 1,8629 | 84 | CUMPLE |
| 6 | 77,9 | 75,7 | 2,2 | 50,7175 | 22,7039 | 84 | CUMPLE |
| 7 | 83,6 | 76,6 | 7,0 | 2,0210 | 14,9372 | 84 | CUMPLE |
| 8 | 78,6 | 76,1 | 2,5 | 41,2372 | 19,0520 | 84 | CUMPLE |
| 9 | 85,6 | 82,6 | 3,0 | 0,3345 | 4,5588 | 84 | CUMPLE |
| 10 | 89,2 | 85,6 | 3,6 | 17,4588 | 26,3696 | 84 | NO CUMPLE |
| 11 | 93,5 | 87,6 | 5,9 | 71,8829 | 50,9102 | 84 | NO CUMPLE |
| 12 | 89,9 | 82,7 | 7,2 | 23,7986 | 4,9958 | 84 | CUMPLE |
| 13 | 85,6 | 80,6 | 5,0 | 0,3345 | 0,0183 | 84 | CUMPLE |
| 14 | 81,5 | 78,4 | 3,1 | 12,4018 | 4,2637 | 84 | CUMPLE |
| 15 | 83 | 79,5 | 3,5 | 4,0870 | 0,9310 | 84 | CUMPLE |
| 16 | 82,4 | 78,8 | 3,6 | 6,8729 | 2,7718 | 84 | CUMPLE |
| 17 | 84,5 | 78,9 | 5,6 | 0,2721 | 2,4488 | 84 | CUMPLE |
| 18 | 84,7 | 82,4 | 2,3 | 0,1034 | 3,7447 | 84 | CUMPLE |
| 19 | 86,2 | 81,5 | 4,7 | 1,3886 | 1,0715 | 84 | CUMPLE |
| 20 | 85,3 | 81 | 4,3 | 0,0775 | 0,2864 | 84 | CUMPLE |
| 21 | 91,5 | 82,7 | 8,8 | 41,9694 | 4,9958 | 84 | CUMPLE |
| 22 | 75,8 | 72 | 3,8 | 85,0383 | 71,6539 | 84 | CUMPLE |
| 23 | 79,6 | 75,8 | 3,8 | 29,3940 | 21,7610 | 84 | CUMPLE |
| 24 | 79 | 75,2 | 3,8 | 36,2599 | 27,7188 | 84 | CUMPLE |
| 25 | 85,2 | 81,4 | 3,8 | 0,0318 | 0,8745 | 84 | CUMPLE |
| 26 | 81,7 | 77,6 | 4,1 | 11,0332 | 8,2075 | 84 | CUMPLE |
| 27 | 78,2 | 75,7 | 2,5 | 46,5345 | 22,7039 | 84 | CUMPLE |
| 28 | 80,7 | 76,1 | 4,6 | 18,6764 | 19,0520 | 84 | CUMPLE |
| 29 | 88,6 | 82,6 | 6,0 | 12,8048 | 4,5588 | 84 | CUMPLE |
| 30 | 84,3 | 80,4 | 3,9 | 0,5207 | 0,0042 | 84 | CUMPLE |
| 31 | 86,2 | 80,1 | 6,1 | 1,3886 | 0,1331 | 84 | CUMPLE |
| 32 | 90 | 86,7 | 3,3 | 24,7843 | 38,8769 | 84 | NO CUMPLE |
| 33 | 91,5 | 85,9 | 5,6 | 41,9694 | 29,5407 | 84 | NO CUMPLE |
| 34 | 90,2 | 86,7 | 3,5 | 26,8156 | 38,8769 | 84 | NO CUMPLE |
| 35 | 82,6 | 76,9 | 5,7 | 5,8643 | 12,7083 | 84 | CUMPLE |
| 36 | 86,1 | 79,8 | 6,3 | 1,1629 | 0,4420 | 84 | CUMPLE |
| 37 | 85,4 | 79,3 | 6,1 | 0,1432 | 1,3569 | 84 | CUMPLE |
| Suma Total | 3145,8 | 2977,2 | | 736,9827 | 559,7843 | | |
| Media Arit. | 85,02 | 80,46 | | | | Media | 84 |
| Desv. Est. | 4,5246 | 3,9433 | | | | | CUMPLE |
| RANGO + | 94,1 | 88,4 | | | | | |
| RANGO - | 76,0 | 72,6 | | | | | |



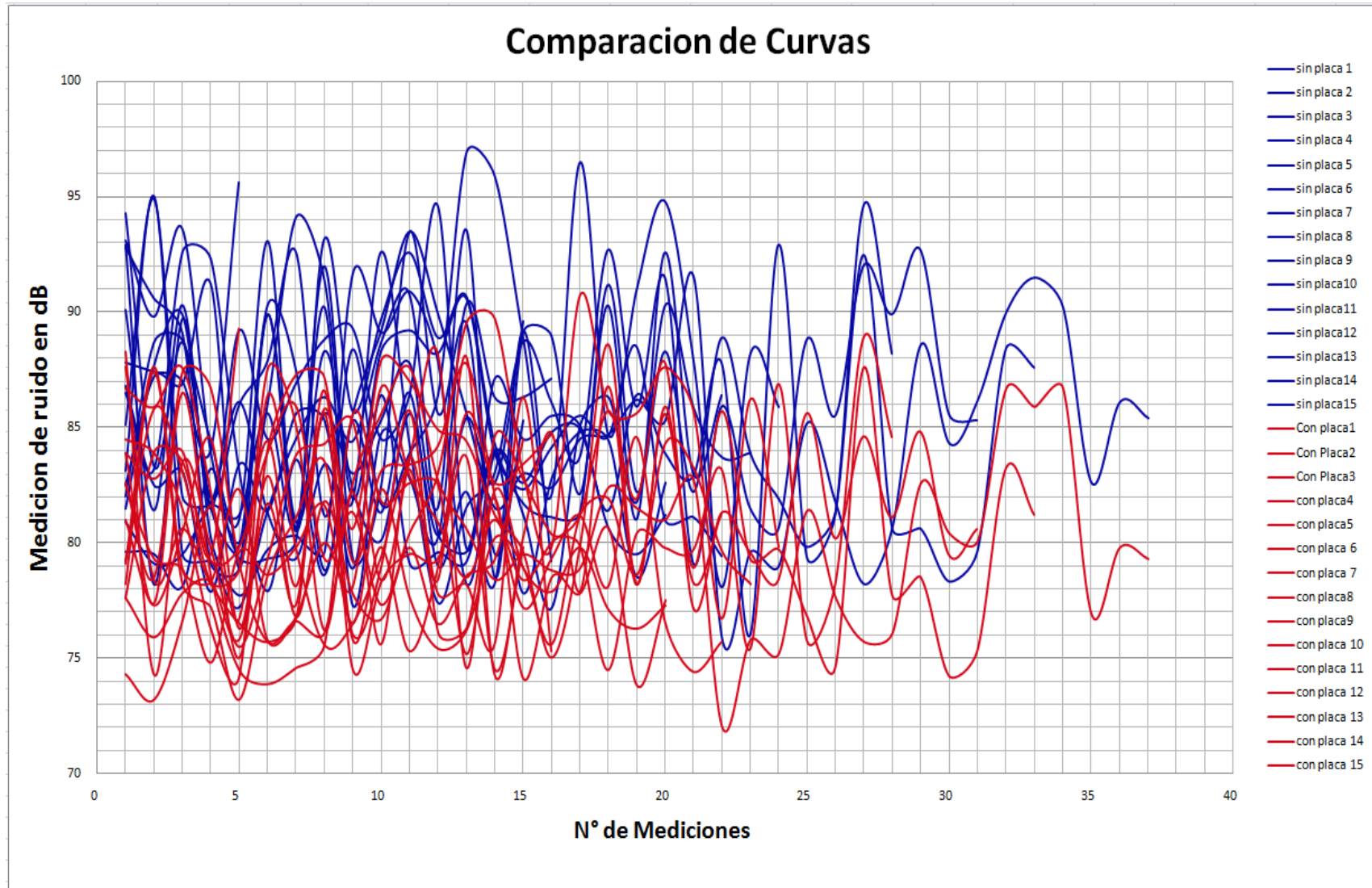
*Grafica N° 5.30. Comparación de curvas. Punto N° 15.
Fuente propia.*



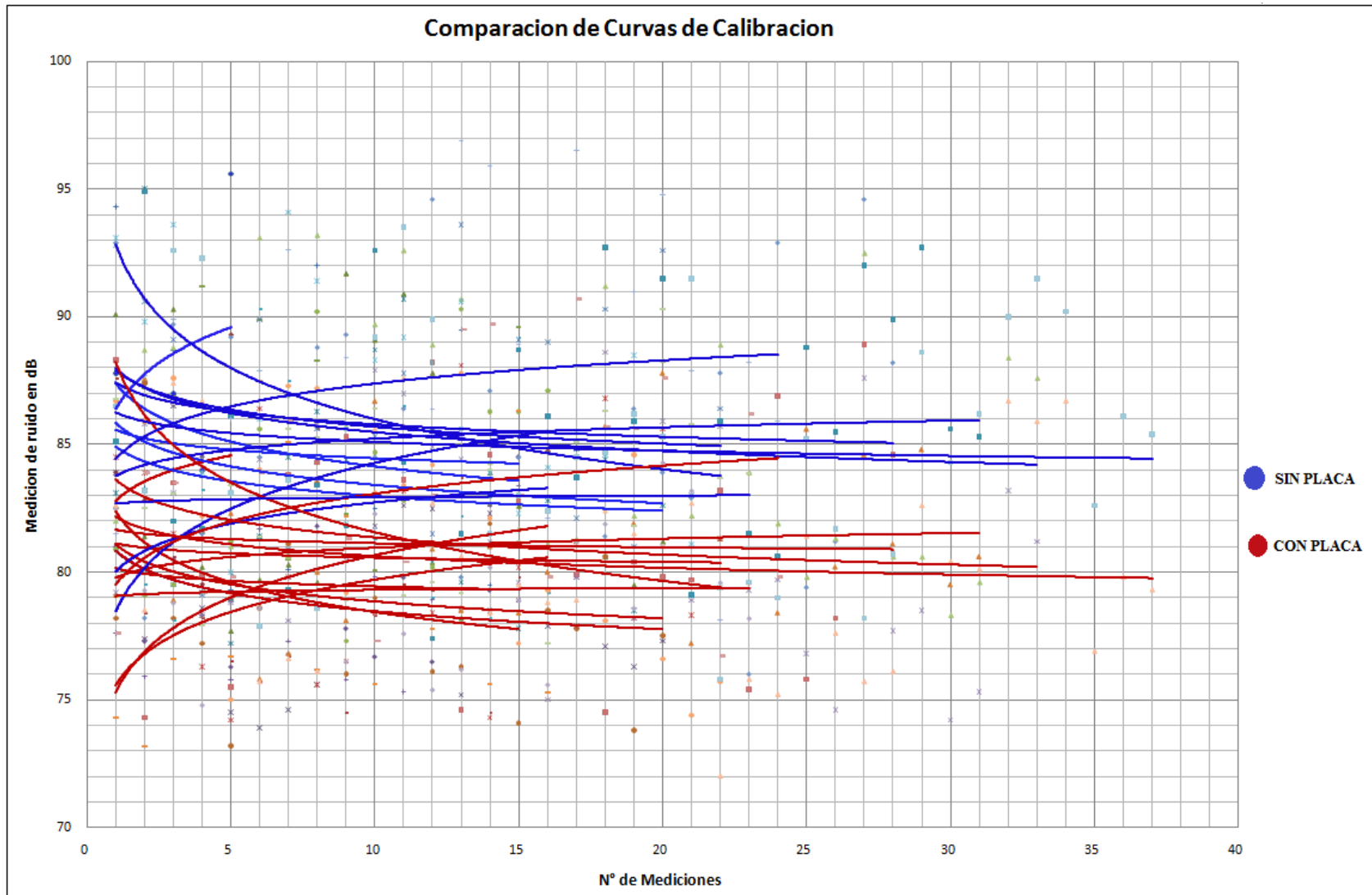
*Grafica N° 5.31. Comparación de curvas de calibracion. Punto N° 15.
Fuente propia.*



*Figura N° 5.39. Iglesia pentecostal y circunvalación salida norte 19:10.
Fuente propia.*



Grafica N° 5.32. Comparación de curvas de los 15 puntos medidos. Fuente propia.



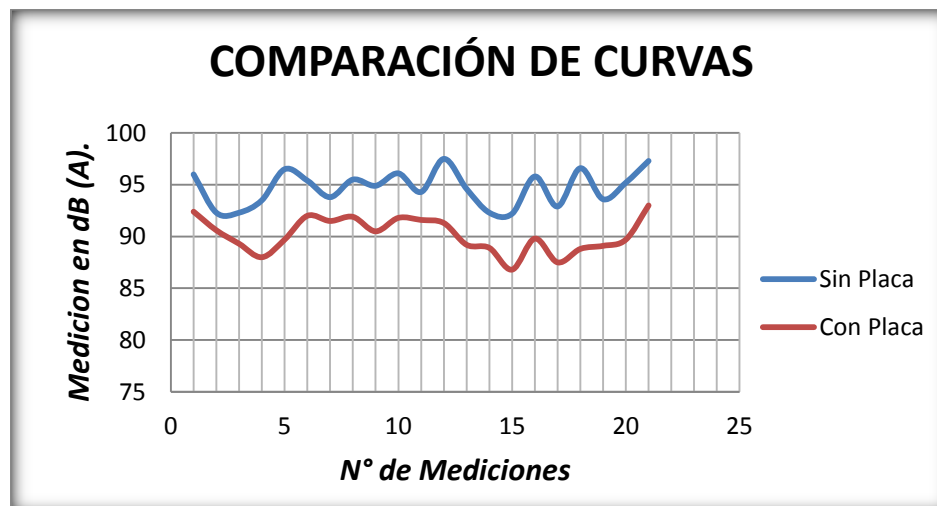
Grafica N° 5.33. Comparación de curvas de calibración de los 15 puntos medidos. Fuente propia.



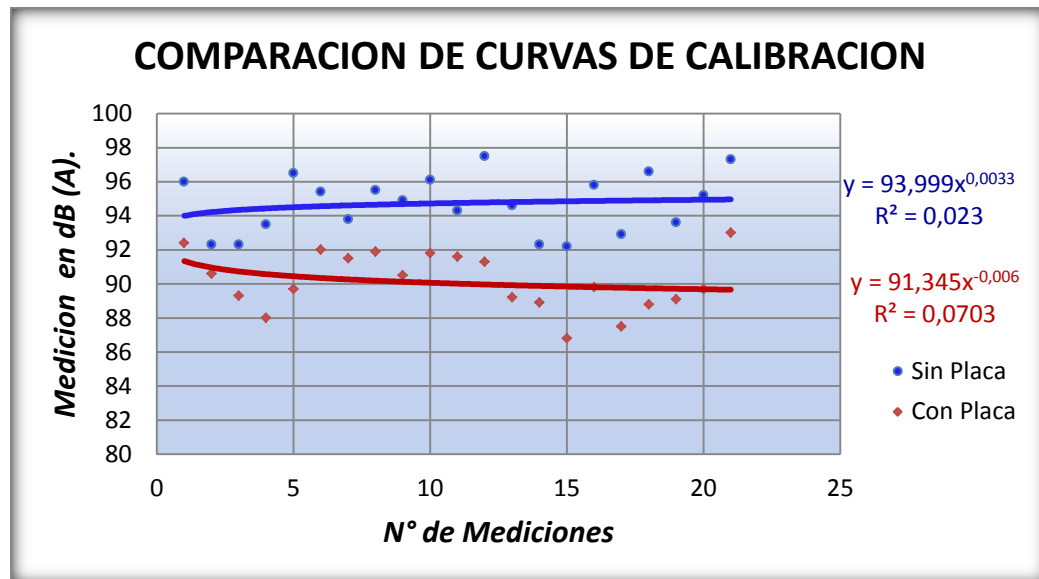
ENSAYO DE LA PLACA SOMETIDA AL RUIDO ALTOPARLANTES

Tabla N° 5.34. Mediciones con Sonómetro. Punto N°16. Fuente propia

| DATOS Y CALCULOS DE MEDICIONES DE RUIDO EN EL AREA DE ESTUDIO | | | | | | PUNTO N° 16 | | |
|---|-----------|-----------|------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------|-----------|
| EXPERIMENTO | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | | |
| N° Medición | Sin Placa | Con Placa | Dif. | $(X-\bar{X})^2$ | $(X-\bar{X})^2$ | Fuente móvil | Con Placa | |
| 1 | 96 | 92,4 | 3,6 | 1,7024 | 5,0091 | 84 | NO CUMPLE | |
| 2 | 92,3 | 90,6 | 1,7 | 5,7372 | 0,1919 | 84 | NO CUMPLE | |
| 3 | 92,3 | 89,3 | 3,0 | 5,7372 | 0,7429 | 84 | NO CUMPLE | |
| 4 | 93,5 | 88 | 5,5 | 1,4286 | 4,6738 | 84 | NO CUMPLE | |
| 5 | 96,5 | 89,7 | 6,8 | 3,2572 | 0,2134 | 84 | NO CUMPLE | |
| 6 | 95,4 | 92 | 3,4 | 0,4967 | 3,3786 | 84 | NO CUMPLE | |
| 7 | 93,8 | 91,5 | 2,3 | 0,8015 | 1,7905 | 84 | NO CUMPLE | |
| 8 | 95,5 | 91,9 | 3,6 | 0,6476 | 3,0210 | 84 | NO CUMPLE | |
| 9 | 94,9 | 90,5 | 4,4 | 0,0419 | 0,1143 | 84 | NO CUMPLE | |
| 10 | 96,1 | 91,8 | 4,3 | 1,9734 | 2,6834 | 84 | NO CUMPLE | |
| 11 | 94,3 | 91,6 | 2,7 | 0,1562 | 2,0681 | 84 | NO CUMPLE | |
| 12 | 97,5 | 91,3 | 6,2 | 7,8667 | 1,2953 | 84 | NO CUMPLE | |
| 13 | 94,6 | 89,2 | 5,4 | 0,0091 | 0,9253 | 84 | NO CUMPLE | |
| 14 | 92,3 | 88,9 | 3,4 | 5,7372 | 1,5924 | 84 | NO CUMPLE | |
| 15 | 92,2 | 86,8 | 5,4 | 6,2262 | 11,3024 | 84 | NO CUMPLE | |
| 16 | 95,8 | 89,8 | 6,0 | 1,2205 | 0,1310 | 84 | NO CUMPLE | |
| 17 | 92,9 | 87,5 | 5,4 | 3,2229 | 7,0857 | 84 | NO CUMPLE | |
| 18 | 96,6 | 88,8 | 7,8 | 3,6281 | 1,8548 | 84 | NO CUMPLE | |
| 19 | 93,6 | 89,1 | 4,5 | 1,1995 | 1,1276 | 84 | NO CUMPLE | |
| 20 | 95,2 | 89,7 | 5,5 | 0,2548 | 0,2134 | 84 | NO CUMPLE | |
| 21 | 97,3 | 93 | 4,3 | 6,7848 | 8,0548 | 84 | NO CUMPLE | |
| Suma Total | 1988,6 | 1893,4 | | 58,1295 | 57,4695 | | | |
| Media Arit. | 94,70 | 90,16 | | | | Media | 84 | NO CUMPLE |
| Desv. Est. | 1,7048 | 1,6951 | | | | | | |
| RANGO + | 98,1 | 93,6 | | | | | | |
| RANGO - | 91,3 | 86,8 | | | | | | |



Grafica N° 5.34. Comparación de curvas. EXPERIMENTO. Fuente propia.



Grafica N° 5.35. Comparación de curvas. EXPERIMENTO. Fuente propia.



Figura N°5.40. Experimento. Fuente propia

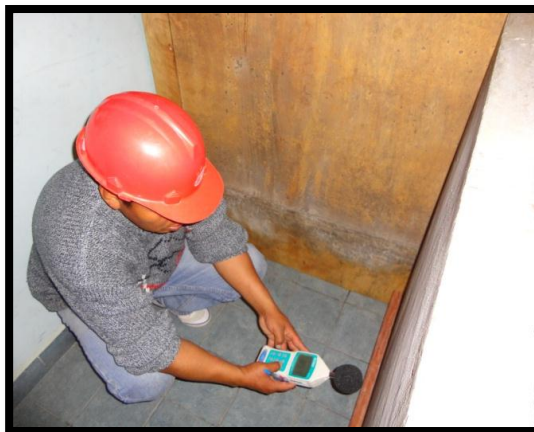


Figura N°5.41. Experimento medición con placa experimento. Fuente propia

**Tabla N° 5.35. Resumen de Mediciones con Sonómetro. Tabla de Resultados.**

| TABLA MEDICIONES DE RUIDO - RESULTADOS FINALES | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
|---|--|-----------------|----------------------|----------------------|-------------|--------------------------------|------------------|
| N° | PUNTO DE MEDICION | MEDICION | SIN PLACA dBA | CON PLACA dBA | DIF. | Fuente móvil dBA | Con Placa |
| 1 | Colon y circunvalación 8:00 | Media Arit. | 88,4 | 83,9 | 4,46 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,3160 | 3,5263 | | | |
| | | RANGO + | 97,0 | 91,0 | | | |
| | | RANGO - | 79,7 | 76,8 | | | |
| 2 | Kínder “José Manuel Ávila” y circunvalación 11:30 | Media Arit. | 83,7 | 79,1 | 4,61 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,6559 | 4,3831 | | | |
| | | RANGO + | 93,0 | 87,9 | | | |
| | | RANGO - | 74,4 | 70,3 | | | |
| 3 | Kínder “José Manuel Ávila” y circunvalación salida sur y calle Suipacha 12:00 | Media Arit. | 83,2 | 78,7 | 4,51 | 83 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,4982 | 3,7535 | | | |
| | | RANGO + | 92,2 | 86,2 | | | |
| | | RANGO - | 74,2 | 71,2 | | | |
| 4 | Bajada sur cerca lavadero y circunvalación frete a la calle 17 de agosto 12:40 | Media Arit. | 84,9 | 79,3 | 5,65 | 83 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 5,4454 | 3,8411 | | | |
| | | RANGO + | 95,8 | 86,9 | | | |
| | | RANGO - | 74,0 | 71,6 | | | |
| 5 | Subida norte cerca lavadero y circunvalación y calle 17 de Agosto 13:20 | Media Arit. | 84,8 | 79,6 | 5,13 | 83 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,0126 | 2,8401 | | | |
| | | RANGO + | 92,8 | 85,3 | | | |
| | | RANGO - | 76,7 | 73,9 | | | |
| 6 | Esquina San Bernardo y circunvalación yendo al norte 13:50 | Media Arit. | 85,8 | 81,1 | 4,62 | 83 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,4308 | 3,2605 | | | |
| | | RANGO + | 94,6 | 87,7 | | | |
| | | RANGO - | 76,9 | 74,6 | | | |
| 7 | Guardería Calle Patria y circunvalación subid sur 14:30 | Media Arit. | 85,9 | 80,7 | 5,22 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,8465 | 4,2050 | | | |
| | | RANGO + | 95,6 | 89,1 | | | |
| | | RANGO - | 76,2 | 72,3 | | | |
| 8 | Bajada sur calle Santo Domingo y circunvalación yendo al sur 15:00 | Media Arit. | 83,4 | 79,8 | 3,54 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 3,9542 | 3,7763 | | | |
| | | RANGO + | 91,3 | 87,4 | | | |
| | | RANGO - | 75,4 | 72,3 | | | |
| 9 | Subida norte farmacia y circunvalación 15:40 | Media Arit. | 82,4 | 79,1 | 3,24 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,1242 | 4,5835 | | | |
| | | RANGO + | 90,6 | 88,3 | | | |
| | | RANGO - | 74,1 | 70,0 | | | |
| 10 | Esquina La Paz y Circunvalación subida norte 16:30 | Media Arit. | 85,7 | 81,43 | 4,28 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,8545 | 4,3508 | | | |
| | | RANGO + | 95,4 | 90,01 | | | |
| | | RANGO - | 76,0 | 72,7 | | | |
| 11 | La Paz y circunvalación subida norte 17:10 | Media Arit. | 85,3 | 81,2 | 4,12 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,6437 | 4,1766 | | | |
| | | RANGO + | 94,6 | 89,5 | | | |
| | | RANGO - | 76,0 | 72,8 | | | |
| 12 | Farmacia del sur y circunvalación salida norte 17:40 | Media Arit. | 86,4 | 81,9 | 4,44 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,5544 | 4,3964 | | | |
| | | RANGO + | 95,5 | 90,7 | | | |
| | | RANGO - | 77,3 | 73,2 | | | |



| TABLA MEDICIONES DE RUIDO - RESULTADOS FINALES | | | | | | Lim. Max Perm. LEY 1333 | |
|---|---|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|
| N° | PUNTO DE MEDICION | MEDICION | SIN PLACA dBA | CON PLACA dBA | DIF. dBA | Fuente móvil dBA | Con Placa |
| 13 | Lavadero y circunvalación salida norte 18:15 | Media Arit. | 87,6 | 79,6 | 4,42 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 5,2939 | 5,4238 | | | |
| | | RANGO + | 98,2 | 90,4 | | | |
| | | RANGO - | 77,0 | 68,7 | | | |
| 14 | Kínder y circunvalación 18:45 | Media Arit. | 83,0 | 79,3 | 3,64 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 3,3173 | 2,5973 | | | |
| | | RANGO + | 89,6 | 84,5 | | | |
| | | RANGO - | 76,3 | 74,1 | | | |
| 15 | Iglesia pentecostal y circunvalación salida norte 19:15 | Media Arit. | 85,0 | 80,5 | 4,56 | 84 | CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 4,5246 | 3,9433 | | | |
| | | RANGO + | 94,1 | 88,4 | | | |
| | | RANGO - | 76,0 | 72,6 | | | |
| 16 | Experimento | Media Arit. | 94,7 | 90,2 | 4,53 | 84 | NO CUMPLE |
| | | Desv. Est. | 1,7048 | 1,6951 | | | |
| | | RANGO + | 98,1 | 93,6 | | | |
| | | RANGO - | 91,3 | 86,8 | | | |

VEHICULOS MEDIDOS EN AL AVENIDA CIRCUMVALACION

| N° | Vehículos medidos |
|----|--|
| 1 | Motos de varias marcas |
| 2 | Taxis, vagonetas; marca Toyota corolla, ipson, Espacio, varios, etc. |
| 3 | Vehículo deportivos, varios |
| 4 | Vehículos particulares |
| 5 | Vagonetas nisán terrano, varios |
| 6 | Camionetas 4x4 varios |
| 7 | Microbuses; varios |
| 8 | Camión nisán cóndor |
| 9 | Camión cisterna |
| 10 | Camión volvo FL6 tipo nisán |
| 11 | Camión; volquetas; nisán , Toyota |
| 12 | Flotas motor volvo mayoría F10, F12 |
| 13 | Camión volvo F10 |
| 14 | Camión volvo F12 |
| 15 | Camión volvo FH12 |
| 16 | Camión volvo FH16 |
| 17 | Camión con burro F12 |
| 18 | Camión tráiler FH16 |
| 19 | Camión tráiler chata, transporte de maquinaria o vehículos |

Tabla N° 5.36. Vehículos medidos Fuente propia



5.7 Análisis de resultados de mediciones de ruido en el área de estudio

Las lecturas del ruido tomadas en los 15 puntos de medición, varían de manera importante de acuerdo a las características geométricas de la carretera y del tránsito vehicular.

Comparando las mediciones con placa donde el valor máximo medido es de 90.7 dB(A) en el punto N° 13 y el mínimo valor es de 72.0 dB(A) también en el punto N° 13, analizando este punto de muestreo en la tabla N° 5.35 donde nos indica los promedios de 87.6 dBA sin placa, 79.6 dBA con placa, el rango de disminución de ruido es de 4,42 dBA.

También vemos que hay una reducción considerable de ruido viendo los resultados vemos que en un rango es de 1.1 a 10 dB(A) disminuye el ruido de tráfico rodado en este Área de Estudio, esta reducción mínima se la puede ver en el puntos 7, 9 y la reducción máxima se la puede ver en el punto N° 7 en promedio podemos ver que el ruido disminuye en un rango de 1 hasta 5.65 dBA esto lo vemos en el punto N° 4.

En comparación de curvas de calibración de igual modo nos da a entender que las curvas van creciendo y decreciendo en algunos puntos de medición.

El objetivo de este trabajo es la reducción del ruido de tráfico con la aplicación de placas o pantallas Antirruído en esta avenida, sobre todo de los camiones pesados, motos y otras fuentes de ruido.

Se ha observado que el ruido varía de manera significativa de acuerdo a las características geométricas de la carretera en estudio, es decir, en función del número de carriles, de la pendiente, del tipo de pavimento, del estado de deterioro de la carretera, de la velocidad, del TPD y de la composición vehicular.

No en todos los puntos de medición las condiciones de la superficie de rodamiento fueron buenas, se registraron algunas diferencias en algunas carreteras que



presentaron algunos problemas de baches y cuarteaduras, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas en cuanto a la generación de ruido.

5.7.1. Análisis de ruido sin la placa

En el gráfico de comparación de curvas podemos ver que las mediciones de ruido realizadas sin la placa son elevados, el valor máximo es de 96.9 dB(A), (Tabla N° 13), y el valor mínimo medido es de 75.8 dB(A), (Tabla N° 15). En promedio el valor máximo medido es de 88,4 dBA en el punto N° 1 y el mínimo valor medido es de 82.4 dBA en el punto N° 9, también analizando los 15 punto de muestreo, el rango mayor es de 98,2 en el punto N° 13 y el rango menor es de 74,00 en el punto N° 4.

5.7.2. Análisis de ruido con la placa

Comparando la mediciones con placa donde el valor máximo medido es de 90.7 dB(A) en el punto 13 y el mínimo valor es de 72.0 dB(A), en el punto 15, en promedio el valor máximo medido es de 83.9 dBA en el punto N° 1 y el valor mínimo es de 79.1 dBA en dos puntos 2 y 9, estos puntos medidos está en un rango de 70 – 88.3 dBA.

También se hizo un experimento con altoparlantes donde las mediciones se lo hizo con placa y sin placa:

- Sin placa los valores máximos medidos son de 97,50 dBA y el valor mínimo es de 92,20 dBA, la medición en promedio es de 94.60, en un rango de 91.30 – 98.00.
- Con placa los valores máximos medidos son de 93,00 dBA y el valor minino medido es de 83.80 dBA, de todos los valores el promedio es de 89,87 dBA, en un rango de 86,80 – 93.60.



5.8. Análisis de la aplicabilidad de las Placas Antirruído

La investigación realizada nos permite confirmar que el nivel de ruido en la zona de estudio es alta inclusive con valores fuera de la norma permisible, asimismo con nuestra investigación comprobamos que la aplicación de Placas Antirruído reduce el nivel de decibeles por lo tanto esta metodología puede ser la solución para aminorar los ruidos de manera que entren dentro de lo permisible.

Su aplicabilidad depende de dos factores fundamentales que son:

- a) Costo
- b) Aceptación del usuario

Para la ubicación de las Placas Antirruído, habrá de tener en cuenta la posibilidad de colisión de vehículos con ella. La reposición de elementos dañados o destruidos por accidentes o vandalismo debe ser siempre garantizada.

Un buen sistema de apantallamiento deberá garantizar la durabilidad del mismo minimizando los costes de mantenimiento.

La modulación de las placas se apoyan en un soporte estructural formado por dos pilares debidamente cimentados dichos pilares también pueden ser tratados en forma textura y color.

La prefabricación de las placas de grandes dimensiones es muy conveniente porque da lugar a menor número de juntas y pilares y menor número de operaciones de montaje.

Las Placas Antirruído aparte de su función acústica proporcionan otras prestaciones:

- a) **Cierre:** las pantallas antirruído impiden el acceso de peatones a la vía, y en sentido contrario la posible intromisión de extraños en el área de estudio.
- b) **Protección física:** las pantallas antirruído protegen al vecindario frente a todo tipo de impacto de proyectiles, (material transportado por camiones, etc.)

Normalmente van asociadas abarreras para retener a los vehículos los que se salgan de la calzada.

- c) **Protección visual:** La intimidad y la privacidad del vecindario quedan garantizadas porque, a la vez que no se oye el ruido del tráfico este no se ve.

Propuesta para el emplazamiento de las Placas Antirruído en la Av. Circunvalación.

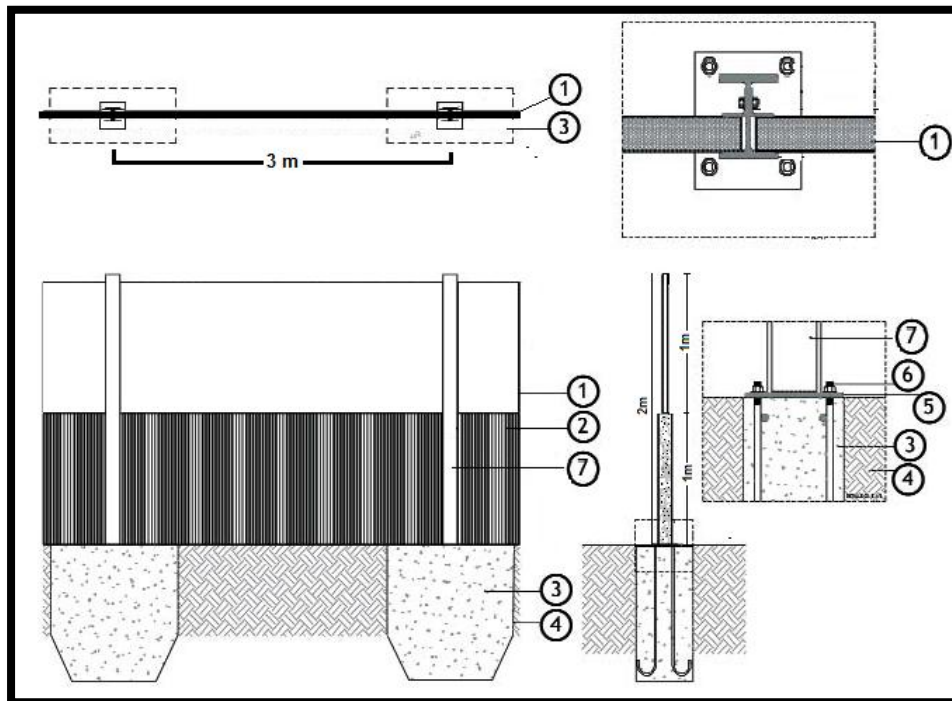


Figura N° 5.42. Pantallas mixtas de hormigón y transparente. Fuente propia.

- 1.- Pantalla acústica transparente
- 2.- Pantalla Acústica de hormigón ligero
- 3.- Zapata de cimentación.
- 4.- Terreno natural compactado.
- 5.- Pletina mediante chapa de acero, debidamente alineada para la recepción del perfil metálico.
- 6.- Varilla de acero, roscada en su parte superior y tuercas M-20, ancladas en zapata mediante patilla.
- 7.- Perfil estructural cada 3 m.

5.9. Análisis de costos

| Concepto | Peso kg | Vol. suelto m ³ | Vol. absoluto m ³ | 0,07m ³ | 0,07 |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|----------------|
| | Cantidades para 1m ³ | | | Peso kg | m ³ |
| Cemento | 347,94 | 0,23 | 0,111 | 24,36 | 0,01 |
| Agua libre | 187,99 | 0,19 | 0,188 | 13,16 | 0,01 |
| Agregado grueso (seco) | 476,73 | 0,32 | 0,300 | 33,37 | 0,02 |
| Agregado fino ligero (seco) | 586,83 | 0,36 | 0,402 | 41,08 | 0,03 |
| Total | 1599,50 | | 1,000 | 111,97 | 0,07 |

*Tabla N°5.37. Proporciones de mezclas-Dosificación Norma ACI-304
Fuente Propia*

a) Material de encofrado

- 1 Tubo cuadrado de 7 x 3 cm viene de 6 m y se utilizo 3.3 m
- 1 hoja de venesta de 17 mm
- 4 maderas de 2" x 1.5" de 1.2 m de largo
- 12 Pernos sin fin de 6"

Las medidas adoptadas son de:

- Medidas de la placa son: $1 \times 1 \times 0.07 \text{ m}$
- $\text{Area} = 1 \text{ m}^2$
- $\text{Volumen} = 0.07 \text{ m}^3$

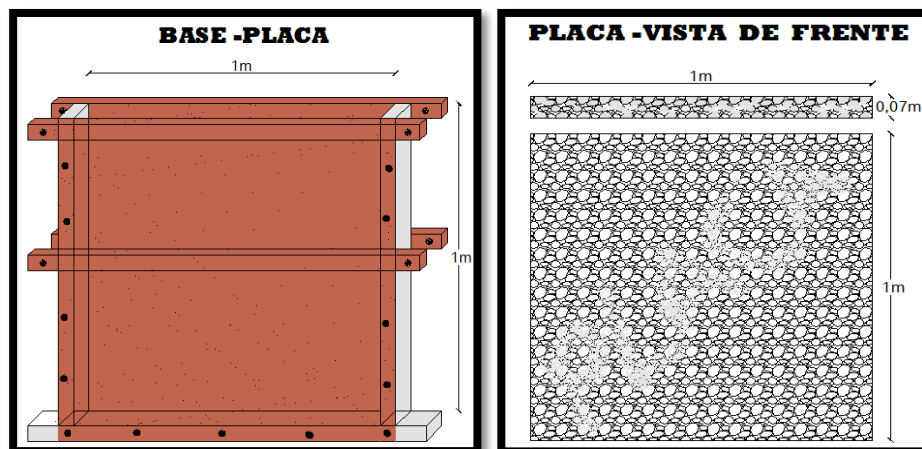


Figura N° 5.43 Dimensiones de la Placa y el Encofrado. Fuente propia

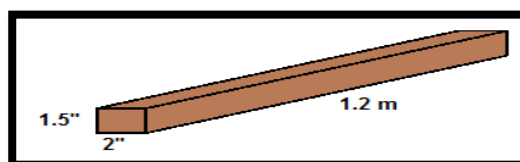


Figura N° 5.44. Listón. Fuente propia.

**Tabla N° 5.38. ANALISIS DE PRECIO UNITARIO**

| PLANILLA DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|--|---|----------------|----------|-------------------|---------------|
| DATOS GENERALES: | | | | | |
| Proyecto: | Aplicación de Placas Antirruído | | | Item: | 1 |
| Actividad: | Loza de Hormigón Ligeró H°L° (e = 7 cm) | | | | |
| Cantidad: | 1 | | | | |
| Unidad: | m2 | | | | |
| Moneda: | Bs. | | | | |
| 1. MATERIALES | | | | | |
| N° | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| 1 | Cemento Portland | Kg. | 24,36 | 1,08 | 26,31 |
| 2 | Agregado fino ligero (seco) | m ³ | 0,03 | 112,5 | 3,38 |
| 3 | Agregado grueso (seco) | m ³ | 0,02 | 112,5 | 2,25 |
| 4 | Tubo Cuadrado de 7x3 cm | ml | 3,3 | 30 | 99,00 |
| 5 | Venesta de 17 mm. | Pz | 1 | 370 | 370,00 |
| 6 | Pernos sin fin de 12" | Pz | 12 | 3,5 | 42,00 |
| TOTAL MATERIALES | | | | | 542,93 |
| 2.MANO DE OBRA | | | | | |
| N° | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| 1 | Albañil | Hra. | 4 | 14 | 56 |
| 2 | Encofrador | Hra. | 3 | 14 | 42 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | | 98 |
| Cargas Sociales = (% del subtotal de la mano de obra) (55% - 71.18%) | | | | 55 | 53,90 |
| Impuestos IVA mano de obra = (% de Carga Social + Subtotal mano de obra) | | | | 14,94 | 22,69 |
| TOTAL MANO DE OBRA | | | | | 174,59 |
| 3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | | | | | |
| N° | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| 1 | Mescladora | Hra. | 1 | 24 | 24 |
| Herramientas =(% del total de mano de obra) | | | | 5 | 8,73 |
| TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | | | | | 32,73 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | | |
| | | | | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| Gastos generales = % de 1+2+3 | | | | 10 | 75,03 |
| TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | | 75,03 |
| 5. UTILIDAD | | | | | |
| | | | | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| Utilidad= % de 1+2+3+4 | | | | 8 | 66,02 |
| COSTO TOTAL UTILIDAD | | | | | 66,02 |
| 6. IMPUESTOS | | | | | |
| | | | | PRECIO PRODUCTIVO | COSTO TOTAL |
| Impuestos IT= % de 1+2+3+4+5 | | | | 3,09 | 27,54 |
| COSTO TOTAL IMPUESTOS | | | | | 27,54 |
| TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6) | | | | | 918,85 |
| TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO | | | | | 919,00 |



CAPÍTULO VI

6.1. CONCLUSIONES

En base al análisis desarrollado en el presente trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

Los efectos del ruido ambiental ejercen un impacto negativo en el entorno físico y social, deteriorando la calidad de vida de las familias que viven alrededor del área de estudio y el bienestar de los ciudadanos, la deficiencia auditiva es el riesgo ocupacional irreversible más frecuente, en todo el mundo.

Se identificó las fuentes de ruido que existen en todo el tramo de estudio que son; Tráfico rodado, actividades de ocio, voces, parque infantiles, industrias, animales, y se clasificó de acuerdo a fuentes fijas y fuentes móviles.

Para obtener los datos necesarios de medición, fue necesario definir el día; periodos horarios y tiempo de muestreo. Estos factores se establecieron tomando en cuenta el comportamiento de la vía, y disponibilidad del equipo de medición, lo que llevó a concluir que el día de la medición en campo fue un día Jueves en el mes de agosto en tres horarios desde las 7:30 a 9:00, 11:30 a 14:30, 17:30 a 19:30 horas.

Para el dimensionamiento de estas Placas Antirruído de Hormigo Ligero se optó para esta investigación académica una placa con dimensiones de 1x1x0.07 m de espesor, esta dimensión se justifica para facilitar el manipuleo, para la medición de ruido y la simulación de ruido a escala reducida ya que en la realidad las Pantallas Acústicas son de dimensiones mayores.

Las propiedades de los agregados en las muestras de laboratorio, la granulometría satisface el ASTM C-330, se determinó los materiales para una dosificación de hormigones ligeros norma ACI-304, donde las proporciones de las mezclas para 0.07 m³ son: Cemento 24.36 Kg., Agua 13.16 litros, Agregado grueso (seco), 33.37 Kg.

Agregado fino Ligerero 41.08 Kg, donde nos da un total de 111.97 kg. En proporción se puede apreciar que el agregado fino es más que el agregado grueso.

Realizando la comparación de los resultados obtenidos en las dos mediciones que se realizó en cada punto, donde se tomó mediciones de 15 puntos, en la Avenida Circunvalación, puede verse que los niveles sonoros bajaron desde 1.1 hasta 10 decibeles Aplicando la Placa Antirruído, incluso después de haberse incrementado el flujo vehicular y de mantenerse las condiciones de tráfico vehicular (frenadas, velocidad, los bocinazos se vieron reducidos), en promedio podemos ver que el ruido disminuye en un rango de 1 hasta 5.65 dBA.

La vía en estudio (Av. Circunvalación), posee altos índices de decibeles desde un punto de vista urbano puede mostrar un comportamiento acústicamente desigual. Comparando todas las mediciones vemos que los índices de decibeles dBA más altos están en los puntos N° 1, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15. En estos puntos las mediciones promedio pasan del 85 dBA, hasta 88.36 dBA, y aplicando la Placa Antirruído están en un nivel de reducción de ruido de 1 a 5.65 dBA.

La medición de ruido más alto está en el punto N° 1, donde en un promedio de 88.4 dBA sin placa y 83.9 dBA, con placa, el nivel de reducción esta en un rango de 1-4.46 dBA, en este punto.

En el experimento adicional realizado con el fin de identificar la homogeneidad podemos ver que los niveles de ruido son casi constantes en las dos mediciones, Sin placa los valores máximos medidos son de 97,5 dBA y el valor mínimo es de 92.2 dBA, la medición en promedio es de 94,7 dBA, en un rango de 91.30 – 98.1 dBA. Con placa los valores máximos medidos son de 93,00 dBA y el valor mínimo medido es de 88.00 dBA, de todos los valores el promedio es de 90.16 dBA, en un rango de 86,80 – 93.60, y el nivel de reducción esta en un rango de 1- 4.53 dBA. Pero este



experimento realizado no entra el límite permisible de la ley 1333 Ley del medio ambiente.

La investigación realizada nos permite confirmar que el nivel de ruido en la zona de estudio es alta inclusive con valores fuera de la norma permisible, asimismo con nuestra investigación comprobamos que la aplicación de Placas Antirruído reduce el nivel de decibeles por lo tanto esta metodología puede ser la solución para aminorar los ruidos de manera que entren dentro de lo permisible de la Ley 1333 ley del medio ambiente.

| FUENTES MOVILES | | | |
|---|-----------|--------------------|-------------------|
| LIMITE MAXIMO PERMISIBLE | | | |
| Peso bruto del vehículo | 3000 Kg. | 3000 kg a 10000 Kg | Mayor a 10000 Kg. |
| Límite máximo permisible dB (A) | 79 | 81 | 84 |
| Medidos a 15 m. de distancia de la fuente | | | |
| Motocicletas, triciclos y cuatriciclos motorizados, el límites es de 84 dB (A). Medido a 7.5 metros de distancia | | | |

El costo para la construcción de la Placa Antirruído de la investigación es considerable, donde lo calculamos por m² de 7 cm de espesor, cuyos materiales tienen un costo de 543 Bs, y la (mano de obra), (Equipo, maquinaria y herramientas), (Gastos generales y administrativos), (Utilidad), (Impuestos), nos da un total de 919 Bs, por cada Placa de 1x1x0.07 m.

La comparación de los materiales para Placas o Pantallas Antirruído, podemos decir que hay una variedad de materiales para su construcción, los más sobresalientes son: Pantallas de Hormigón Ligeró, Pantallas Transparentes, Pantallas de Madera, Pantallas Metálicas, etc. El precio referencial por m² de 7 a 10 cm es:

- El costo de la Pantalla Metálica es de 2200 Bs
- El costo de la Pantalla de Madera, es de 1600 Bs
- El costo de la Pantalla de Hormigón Ligeró es de 919 Bs.



Finalmente la Aplicación de Placas Antirruído es de vital importancia, que al instalarlo este dispositivo en la Avenida Circunvalación, reducirá el ruido ya sea de fuentes móviles o de fuentes fijas, pero sobre todo del tráfico rodado, en especial de los vehículos pesados, motos, que circulan por la avenida, de esta manera las personas que viven alrededor del área de estudio verán la reducción del impacto de ruido del tráfico tanto de día como de noche donde es especialmente molesto para el descanso.



6.2. RECOMENDACIONES

El ruido podría probablemente sintetizar información clave para el diagnóstico ambiental, como concentración de vehículos, actividades contaminantes, amplitud de las calles, puntos críticos, por lo que se recomienda un censo detallado en zonas de características altamente conflictivas para corroborar tal supuesto al igual que cruzarlo con puntos que se identifican como no críticos para apoyar tal teoría.

En este esfuerzo conviene sumar el potencial de autoridades, iniciativa pública y centros de investigación y los resultados de un trabajo de esta magnitud con participación interinstitucional e interdisciplinaria se verán reflejados en condiciones ambientales más adecuadas para los habitantes de las ciudades.

Por ello se sugiere avanzar con un desarrollo planificado de urbes sin deteriorar el bienestar de las personas, regulando las actividades industriales, comerciales y el flujo vehicular. Con el fin de abordar el problema de la contaminación acústica se debe de continuar trabajando en una propuesta para la lucha contra el ruido ambiental basada en la responsabilidad compartida entre la ciudadanía y las autoridades.

Es necesaria la implementación de programas de Educación Vial, tanto para conductores como peatones, y realizar una concientización del uso y mantenimiento adecuado de los semáforos. Todas estas recomendaciones no surtirían fruto si no se realiza un mantenimiento adecuado y periódico de nuestras movilidades, así como de un ordenamiento en el flujo vehicular por parte de nuestras autoridades de tránsito.



BIBLIOGRAFIA:

SECRETARIA NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (2011). Ley del Medio Ambiente Ley N° 1333 La Paz-Bolivia.

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. Dosificación Mezclado y Control del Concreto Ligero en la Obra Comité ACI-304.

GUIA DE LABORATORIO DE HORMIGONES. U.A.J.M.S (2012)

FÍSICA TEORÍA Y PROBLEMAS (2007). J. Jaime Gomes Flores Edición

ESTADÍSTICAS DEL PARQUE AUTOMOTOR 1998 – 2010, Elaborado por el Instituto Nacional de Estadística, La Paz, diciembre 2011

UNE-EN ISO 20354 (1994). Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. España.

MARCO HERNÁN VALDEBENITO SEGUEL (2004). Optimización del método de medición de nivel de ruido en vías urbanas con transporte público de pasajeros Valdivia – Chile.

JOSE M. DEL CAMPO YAGÜE. MADRID, DICIEMBRE DE 2.001. Caracterización morfológica y geométrica, diseño de pantallas Acústicas, Ingeniería Civil.

BERISTAIN, S. (2004). Ruido y vibraciones como un problema social. Gaceta territorio ambiental. Mayo-Junio.

HARRIS, CYRIL. (1995). Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido. Mc. Graw Hill.



SIMON, F. (1996). Tesis doctoral. Caracterización acústica de pantallas antirruído mediante un índice global. Universidad Complutense de Madrid.

MIGUEL BAÑUELOS CASTAÑEDA (2005). Análisis de los niveles de ruido ambiental por tráfico vehicular. Guadalajara. Noviembre.

RUTH MARIEL HERNANDEZ ESPINOSA (2011). Efectos del ruido sobre la salud y el medio ambiente.

DAVID GARCÍA BOSCA. Gandía (2010). Estudio acústico generado por el tráfico.

ESTEBAN DAVID OLMOS CANCINO VALDIVIA CHILE 2002 Evaluación de la pérdida de inserción de una barrera acústica aplicada en un proyecto lineal.