



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Acústica

Profesor patrocinante:
Dr. Enrique Suárez S.
Instituto de Acústica
Universidad Austral de Chile

Estudio del ruido de tráfico vehicular de la Avenida Ribera Norte sector Industrial Talcahuano mediante modelos de propagación

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Licenciado en Acústica y al título profesional de Ingeniero Acústico.

GONZALO ALEJANDRO RIQUELME LOBOS
VALDIVIA – CHILE
2007

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a mis padres y mi hermano, por la confianza y el apoyo incondicional necesario para salir adelante y culminar satisfactoriamente mi carrera profesional.

Agradezco de forma muy especial al Sr. Mario Lanzarini (tío Mario), quien desde un principio confió ciegamente en mis capacidades y me otorgó la posibilidad de aprender y poner en práctica todos los conocimientos adquiridos durante mi carrera.

A mis amigos de toda la vida, Leo, Boris, Eric, Daniel, Lucho, y mis amigos de Universidad, Rodrigo Alfaro, Alejandro Torres, Samuel González, Héctor Santana, Benjamín Ruz, Eduardo Pérez, Pedro Antillanca, Pedro Brito, Maysa Moreno, Freddy Guzmán, Diego Sáez, Natán Ide, por su sincera amistad y apoyo en todo momento.

Al Departamento de Calidad y Medio Ambiente de Enap Refinerías Bio Bio, Sr. René Schdmit, Sr. Fernando Díaz, Sra. Rebeca Troncoso, y principalmente a Ricardo Soto por su amistad y apoyo en mi proyecto de Tesis.

A mis profesores Enrique Suárez, Alfio Yori, José Luis Barros, Jorge Cárdenas por su gran amistad y buena disposición para entregar sus conocimientos académicos. Al Profesor Víctor Pobrete por su continuo apoyo, y por supuesto a Víctor Cumián, excelente persona y gran amigo.

A todos los acústicos que siempre estuvieron y aún están para tender una mano cuando se necesita. Alejandro Monsalve (ACUS Ingeniería y Control Acústico), Javier Hernández (Universidad San Sebastián), Alexis Suárez (ACHS).

RESUMEN

En este trabajo se elaboró un modelo de ruido de tráfico vehicular específico para la Avenida Ribera Norte zona industrial Talcahuano, que permite obtener niveles equivalentes de ruido para cada hora del día. En este modelo se incluyen variables meteorológicas como el viento, humedad relativa y temperatura, permitiendo de esta manera calcular niveles de ruido más precisos y que sean representativos de las condiciones climáticas del lugar.

Los resultados obtenidos permitieron calcular promedios anuales, los cuales se evaluaron de acuerdo a normativas y criterios ambientales, presentando algún nivel de molestias según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia Ambiental Europea (EEA).

SUMMARY

In this work was elaborated a specific model for the traffic noise of the Ribera Norte Avenue in Talcahuano's industrial zone. This model allows to obtain Equivalent Continuous Sound Levels for each hour of a day. In this model, meteorological variables as wind, relative humidity and temperature are included in order to get more accurated noise level calculus as well as environmentally representative.

The obtained results allowed to calculate annual averages, which were evaluated according to norms and environmental criteria. Generating some degree of annoyances according to the World Health Organization (WHO) and European Environmental Agency (EEA).

1. INTRODUCCION	4
2. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivos generales.....	6
2.2. Objetivos específicos	6
3. MARCO TEORICO	7
3.1. Ruido.....	7
3.1.1. Ruido Ambiental	7
3.1.2. Efectos del ruido.....	7
3.2. Propagación del ruido en campo libre	8
3.3. Indices de valorización de ruido	11
3.3.1. Nivel de Presión Sonora Continuo equivalente ponderado A (LeqA)	12
3.3.2. Nivel de Exposición Sonora (SEL).....	12
3.3.3. Nivel Percentil (Ln)	12
3.3.4. Nivel sonoro diurno (L _D).....	13
3.3.5. Nivel sonoro tarde (L _T).....	13
3.3.6. Nivel sonoro nocturno (L _N).....	14
3.3.7. Nivel corregido día - noche (L _{DN})	14
3.3.8. Nivel equivalente de ruido comunitario (L _{DTN}).....	14
4. MODELOS DE PROPAGACION DE RUIDO	15
4.1. ISO 9613-2 (<i>"Attenuation of sound during propagation outdoors", 1996</i>)	15
4.1.1. Atenuación por divergencia geométrica (Adiv)	16
4.1.2. Atenuación por suelo (Agr)	16
4.1.3. Atenuación atmosférica (Aatm)	17
4.2. CONCAWE (<i>"The Propagation of noise from Petroleum and Petrochemical complexes to neighbouring communities", 1981</i>)	17
4.2.1. Corrección Meteorológica (Cmet)	18
5. METODOLOGIA	20
5.1. Sobre el lugar de medición.....	20
5.2. Instrumental Utilizado.....	21
5.3. Sobre la recopilación de datos.....	23
5.3.1 Datos Acústicos.....	25
5.3.2. Datos no acústicos	26
6. RESULTADOS	28
6.1. Caracterización del tráfico vehicular	29
6.2. Aplicación del modelo de propagación.....	32
6.2.2. Atenuación por suelo, Agr [ISO 1996]	34
6.2.3. Atenuación atmosférica, Aatm [ISO 1993].....	34
6.2.4. Corrección Meteorológica, Cmet [Concawe 1981]	35
6.3. Nivel de ruido proyectado en el receptor	36
7. APLICACION DE RESULTADOS	41
7.1. Legislación Suiza	41
7.2. Aplicación de Criterios Internacionales para el ruido comunitario	43
7.3. Ecuación de ruido de tráfico.....	45
7.3.1. Obtención de Ecuación de ruido de tráfico mediante correlación simple.....	47
7.3.2. Obtención de Ecuación de ruido de tráfico mediante correlación múltiple.....	50
8. VERIFICACION DE RESULTADOS	51
8.1. Modelo de propagación de ruido de tráfico	51
8.2. Ecuación de ruido de tráfico.....	56
9. CONCLUSIONES	58
10. LINEAS DE INVESTIGACION FUTURA	61
11. REFERENCIAS	62
12. ANEXOS	65

1. INTRODUCCION

El marcado aumento del parque automotriz en Chile y el mundo, ha traído consigo una serie de problemáticas ambientales que afectan directamente nuestra calidad de vida. El ruido sin duda es uno de los factores contaminantes más importantes, sin embargo, es también donde existen importantes insuficiencias en estrategias para su control.

Los proyectos de infraestructuras viales en Chile son sometidos a exhaustivos procesos de evaluación, y generalmente imperan los factores económicos por sobre los ambientales.

Dentro de las obras Bicentenario en el Gran Concepción, se encuentra el proyecto Ribera norte, el cual recupera los terrenos que bordean al río Bio Bio mediante la construcción de viviendas sociales, parques, áreas verdes, y una nueva vía de comunicación entre las comunas del sector. Esta última es una de las obras viales más importantes realizada en la intercomuna en los últimos años, que con una extensión de 27 kilómetros a orillas del río conecta a Chiguayante, Concepción y Talcahuano en pleno corazón industrial. Es en este último tramo de la Avenida Ribera Norte, donde se llevará a cabo la evaluación del impacto acústico sobre la población. [Ribera Norte 2005]

La población Arturo Prat, o Población el Triángulo de la comuna de Hualpén, no solamente se ve afectada por el ruido proveniente del tráfico vehicular, sino que además, se expone al ruido generado por la empresa ENAP REFINERIA BIO BIO, que incrementa el nivel total de inmisión. La población Arturo Prat se compone de alrededor de 700 viviendas, y se divide en tres sectores: Población el Triángulo, Villa el Triángulo, y Nueva el Triángulo, siendo éstas dos últimas las más afectadas, ya que se encuentran ubicadas a lo largo del perímetro de la vía, y por ende de la Refinería, 45 y 70 metros respectivamente.

ENAP Refinerías Bio Bio ha realizado diversas auditorias ambientales en distintas áreas, esto motivado por el afán de estar siempre mejorando y cumpliendo con las normativas vigentes. Como resultado de estas auditorias, se implementó una red de monitoreo de ruido continuo, con el fin de utilizarla como una herramienta de control de los ruidos internos. Esta red está a cargo del Departamento de Calidad y Medio Ambiente de la empresa, y consta de tres Sonómetros, los cuales se encuentran en el límite perimetral de la refinería y ubicados en puntos de mayor impacto de acuerdo a un estudio realizado por la empresa canadiense HFP Acoustical Consultants Inc. en 1997.

Producto de un acuerdo entre ENAP Refinerías Bio Bio y la Comisión Nacional del Medio ambiente (CONAMA) Regional, se implementó un cuarto monitor en una vivienda de la población Villa el Triángulo (de ahora en adelante PP15¹), con el fin de estar al tanto de los niveles de inmisión de ruido a los que se vea afectado la comunidad por parte de la empresa. Sin embargo, como ya se mencionó, el tráfico vehicular de la Avenida incide directamente en los niveles de inmisión, provocando de esta manera que el registro llevado por la estación de monitoreo no sea representativo del ruido emitido por la refinería. Es por esta razón que nace la idea de desarrollar un trabajo que permita estudiar las emisiones generadas por el tráfico vehicular, con el fin de complementar los estudios relacionados con las emisiones de ruido de Enap hacia la comunidad.

¹ Llamado PP15 para efectos técnicos de la empresa

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos generales

- Calcular mediante modelos de propagación los niveles de ruido generado por el tráfico vehicular de la Avenida Ribera Norte sobre sector poblacional El Triángulo ubicado en el barrio industrial de Talcahuano.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el ruido de tráfico vehicular para cada hora del día de lunes a viernes por medio de mediciones en terreno.
- Obtener índices de valoración acústica mediante modelos de propagación de ruido que consideren efectos meteorológicos. (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, entre otras)
- Obtener mediante el modelo propuesto el promedio mensual y anual de los principales índices de valorización.
- Evaluar y analizar el nivel de ruido proyectado en la población de acuerdo con la Legislación Suiza y los criterios ambientales internacionales: OECD, EEA, OMS, EPA.
- Verificar la aceptabilidad de los resultados mediante comparaciones y mediciones en terreno.

3. MARCO TEORICO

3.1. Ruido

El ruido según criterio objetivo, puede ser definido como aquel sonido que puede producir pérdida de audición o que puede ser nocivo para la salud. Según criterio subjetivo, el ruido será todo sonido indeseado, molesto y perturbador.

3.1.1. Ruido Ambiental

El ruido ambiental es el ruido asociado a un ambiente determinado y suele estar compuesto de sonidos de muchas fuentes, próximas y lejanas. [Harris 1998]

3.1.2. Efectos del ruido

El ruido aparenta ser el más inofensivo de los agentes contaminantes, puesto que, es percibido fundamentalmente por un solo sentido, el oído, y ocasionalmente, en presencia de grandes niveles de presión sonora, por el tacto (percepción de vibraciones), en cambio el resto de los agentes contaminantes son captados por varios sentidos con similar nivel de molestia [CONAMA 2006].

La exposición a niveles de ruido intenso durante un período de tiempo significativo, da lugar a pérdidas de audición, que si en un principio son recuperables cuando el ruido cesa, con el tiempo pueden llegar a hacerse irreversibles, convirtiéndose en sordera. Los efectos del ruido también pueden ser no auditivos como molestias físicas, estrés, perturbación del sueño, entre otras.

3.2. Propagación del ruido en campo libre

La propagación del sonido en condiciones de aire libre, de acuerdo a las características de la fuente de origen, se representa por las siguientes expresiones:

Fuente Puntual:

$$I = \frac{P^2}{\rho c} = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (1)$$

Fuente Lineal:

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

donde:

I : Intensidad sonora	[W/m ²]
P : Presión Sonora	[N/m ²]
W : Potencia Sonora	[W]
c : Velocidad de propagación del sonido	[m/s]
ρ : Densidad del medio	[Kg/m ³]
r : Distancia entre el punto de medición y el origen	[m]

El sonido más débil que el oído puede percibir es producido por una presión sonora de 20 μPascales, pudiendo soportar presiones un millón de veces superior a esta cantidad. Es por esta razón que se utiliza como unidad de medida el Decibel, que es una expresión matemática logarítmica que resulta de la comparación entre la Presión medida y la presión sonora de referencia, y que finalmente queda expresada como Nivele de Presión Sonora. Así una presión sonora de 20 μPascales equivale a 0dB.

- Nivel de Presión Sonora (NPS ó Lp):

$$Lp = 10 \text{Log} \frac{P^2}{P_{ref}^2} (dB) \quad (3)$$

$$P_{ref} : 2 \times 10^{-5} \text{ [N/m}^2\text{]}$$

De esta expresión se puede observar que si aumentamos la Presión al doble, tendremos un aumento de 6dB.

- Nivel de Potencia Sonora (Lw):

$$Lw = 10 \log \frac{W}{W_0} (dB) \quad (4)$$

$$W_{ref} : 10^{-12} \text{ [W]}$$

De esta expresión se puede observar que si aumentamos la Potencia al doble, tendremos un aumento de 3dB.

Nivel de potencia para una fuente puntual

$$Lw = Lp_0 + 20 \log(d_0) + 11 \text{ (dB)} \quad (5)$$

Nivel de potencia para una fuente lineal

$$Lw = Lp_0 + 10 \log(d_0) + 8 \text{ (dB)} \quad (6)$$

donde Lp_0 es el nivel de presión medido a una distancia d_0 . [Harris 1998]

- Nivel de Intensidad Sonora (Li):

$$Li = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} (dB) \quad (7)$$

$$I_{ref} : 10^{-12} \quad [W/m^2]$$

El Nivel de Presión Sonora emitido por una fuente es variable, es decir, cambia de acuerdo a la distancia en que se encuentre el receptor, no así el Nivel de Potencia, el cual es constante y solo depende de las características propias de la fuente.

La manera en que se relaciona el Nivel de Potencia con el Nivel de Presión se muestra en la siguiente ecuación:

$$Lp = Lw + D - A \quad (dB) \quad (8)$$

donde D es la corrección por la directividad de la fuente, y A es la suma total de las atenuaciones² producidas durante la propagación de la onda sonora en el aire, esto es:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (dB) \quad (9)$$

donde:

A_{div} es la atenuación debida a la divergencia geométrica

A_{atm} es la atenuación debido a la absorción atmosférica

² Estas atenuaciones están especificadas en la norma ISO 9613 parte 1-2

A_{gr} es la atenuación debido a los efectos del suelo

A_{bar} es la atenuación debido a barreras

A_{misc} es la atenuación debida a otros efectos misceláneos (reflexiones en casas, atenuación por vegetación)

3.3. Indices de valorización de ruido

Los modelos de predicción de ruido de tráfico poseen sus propias características que los diferencian entre ellos, y va a depender del grado de certeza y detalle que se necesite para optar por uno u otro modelo. Algunas de estas características son por ejemplo la clasificación o categorización de los vehículos, tiempo de muestreo, análisis de ruido en banda ancha o en forma espectral, y el índice de valorización que se utilice. Estos últimos sirven para cuantificar el ruido además de entregar información respecto a la calidad y cantidad de los niveles sonoros que existen en un determinado lugar, y así poder planificar y optar por las medidas de mitigación más acorde al problema. Los resultados son corregidos de acuerdo a la escala de ponderación de frecuencias A, la cual es utilizada universalmente en las normativas de acústica ambiental.

A continuación se definen algunos de los índices de valorización más utilizados en las Normativas ambientales.

3.3.1. Nivel de Presión Sonora Continuo equivalente ponderado A (LeqA)

Es aquel nivel de presión sonora constante, expresado en decibeles A, que en el mismo intervalo de tiempo, contiene la misma energía total (o dosis) que el ruido medido.

$$L_{eqA} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{P(t)^2}{P_0^2} dt \right] (dBA) \quad (10)$$

T: Período total de duración de la medición

P(t): Presión Sonora en función del tiempo

3.3.2. Nivel de Exposición Sonora (SEL)

Se define como el Nivel de presión sonora constante, el cual si se mantiene durante 1 segundo producirá la misma cantidad de energía acústica que el evento de ruido medido. En otras palabras toda la energía del evento en un segundo.

$$SEL = 10 \log \left[\frac{1}{T_0} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{P(t)^2}{P_0^2} dt \right] (dBA) \quad (11)$$

T₀: Período total de duración de la medición

3.3.3. Nivel Percentil (Ln)

Muchos criterios en acústica ambiental utilizan los niveles estadísticos L_n, definidos como los niveles que son superados un n% del tiempo para diversos n

entre 0 y 100. Por ejemplo se considera en algunos casos la estimación del ruido de fondo al resultado entregado por el percentil 90 (L_{90}), es decir, el nivel que fue sobrepasado durante el 90% de la medición.

3.3.4. Nivel sonoro diurno (L_D)

Es el nivel sonoro continuo equivalente medido para el período definido como día. Generalmente corresponde a 15 horas diurnas, entre las 7 y 22 horas. Este puede medirse directamente mediante un sonómetro integrador en intervalos de 15 horas, o puede calcularse a partir de los niveles de ruido de 1 hora, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$L_D = 10 \log \left(\frac{1}{15} \left(\sum_{08}^{22} 10^{\frac{L_{1h}(i)}{10}} \right) \right) \quad (12)$$

donde los quince niveles sonoros continuos equivalente de 1 hora son los medidos durante las horas que terminan entre las 8:00 y las 22:00. [Harris 1998]

3.3.5. Nivel sonoro tarde (L_T)

Es el nivel sonoro continuo equivalente medido para 3 horas vespertinas, entre las 19 y 22 horas. Este puede determinarse según la siguiente ecuación:

$$L_T = 10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\sum_{20}^{22} 10^{\frac{L_{1h}(i)}{10}} \right) \right) \quad (13)$$

donde estos tres niveles continuos de 1 hora son de las tres horas que acaban a las 20:00, 21:00 y 22:00. [Harris 1998]

3.3.6. Nivel sonoro nocturno (L_N)

Es el nivel continuo equivalente medido para las 9 horas divididas, de acuerdo con el calendario diario de 24 horas, entre las 7 horas que terminan de 01:00 a 07:00 y las dos que terminan a las 23:00 y 24:00 horas [Harris 1998]. El nivel noche puede determinarse a partir de la siguiente ecuación:

$$L_N = 10 \log \left(\left(\frac{1}{9} \right) \left(\sum_{01}^{07} 10^{\frac{L_{1h}(i)}{10}} + \sum_{23}^{24} 10^{\frac{L_{1h}(i)}{10}} \right) \right) \quad (14)$$

3.3.7. Nivel corregido día - noche (L_{DN})

Es un nivel para 24 horas, con un incremento de nivel de 10dB para las 9 horas del horario nocturno.

$$L_{DN} = 10 \log \left(\left(\frac{1}{24} \right) \left(\sum_{01}^{07} 10^{\frac{L_{1h}(i)+10}{10}} + \sum_{08}^{22} 10^{\frac{L_{1h}(i)}{10}} + \sum_{23}^{24} 10^{\frac{L_{1h}(i)+10}{10}} \right) \right) \quad (15)$$

3.3.8. Nivel equivalente de ruido comunitario (L_{DTN})

También llamado nivel sonoro día-tarde-noche, fue desarrollado en California para evaluar y regular el ruido en las comunidades. El nivel equivalente de ruido comunitario es un nivel con ponderación A para 24 horas, obtenido después de añadir 5dB a los niveles vespertinos 10dB a los niveles nocturnos [Harris 1998]. De acuerdo con la directiva europea 2002 [OPB 1986], el día corresponde a 12 horas (entre las 7:00 y las 19:00), la tarde a 4 horas (entre las

19 y las 23:00) y la noche a 8 horas (entre las 23:00 y 7:00). Lo anterior, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$L_{DIN} = 10 \log \left(\left(\frac{1}{24} \right) \left(12 \times 10^{\frac{L_{día}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{tarde}+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{noche}+10}{10}} \right) \right) \quad (16)$$

4. MODELOS DE PROPAGACION DE RUIDO

Para la predicción del ruido de tráfico vehicular sobre el punto receptor PP15, se utilizaron dos modelos de propagación, los cuales también fueron usados en la homologación del D.S. N° 146/97 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES) que implementó ENAP Refinerías Bio Bio, razón por la cual se decidió utilizar esta misma metodología, estandarizando la línea de trabajo de ruido ambiental y permitiendo que tanto éstos, como futuros estudios acústicos realizados por la empresa, sean técnicamente comparables. Los modelos de propagación de sonido utilizados en este trabajo son:

- ISO 9613-2. Attenuation of sound during propagation outdoors, 1996.
- Concawe. The Propagation of noise from Petroleum and Petrochemical complexes to neighbouring communities.

4.1. ISO 9613-2 (“Attenuation of sound during propagation outdoors”, 1996)

Este modelo permite calcular las atenuaciones que afectan al sonido durante su propagación en el aire libre. Según lo señalado en el punto 3.2 de este

trabajo, las atenuaciones a considerar son: divergencia geométrica, propiedades del suelo, condiciones atmosféricas, barreras, y efectos misceláneos (reflexión en casas, vegetación). Para este trabajo en particular sólo se considerarán las atenuaciones producidas por distancia, suelo y atmosféricas, ya que no existen barreras, vegetación y reflexiones considerables entre la fuente y el receptor.

4.1.1. Atenuación por divergencia geométrica (A_{div})

Esta atenuación será constante e igual para todas las frecuencias. Este cálculo está en función de la distancia entre la fuente y el receptor. Para este caso, como se está frente a una fuente del tipo lineal (carretera) el cálculo es de la siguiente manera:

$$A_{div} = 10 \text{Log} (d) + 8 \quad \text{dB} \quad (17)$$

donde d la distancia entre la fuente y el receptor en metros.

4.1.2. Atenuación por suelo (A_{gr})

La atenuación del suelo es principalmente el resultado del sonido reflejado por la superficie del suelo que interfiere con la propagación del sonido directo entre la fuente y el receptor.

Para efectos de cálculo, se utilizará el método alternativo propuesto en el punto 7.4.2 de la ISO 9613 parte 2.

$$A_{gr} = 4,8 - (2h_m/d)[17 + (300/d)] \geq 0 \quad \text{dB} \quad (18)$$

donde h_m es la altura media del camino de propagación sobre el suelo, y d es la distancia desde la fuente y el receptor en metros.

4.1.3. Atenuación atmosférica (A_{atm})

La atenuación debida a la absorción atmosférica está dada por la siguiente ecuación:

$$A_{atm} = \alpha d / 1000 \quad [dB] \quad (19)$$

donde d es la distancia entre la fuente y el receptor, y α es el coeficiente de atenuación atmosférica, en decibeles por kilómetro, para cada frecuencia central de banda de octava.

El coeficiente de atenuación atmosférica depende en gran medida de la frecuencia del sonido, la temperatura del ambiente y la humedad relativa del aire, pero en menor medida de la presión ambiental. Estos valores se encuentran en las tablas de la ISO 9613 part. 1 (*“Cálculo de la absorción del sonido por la atmósfera”*). Para este trabajo en particular, se estimaron promedios mensuales de humedad relativa y temperatura para el día y la noche³, dado que no existen grandes variaciones de temperatura entre días del mismo mes que puedan incidir en gran medida en los cálculos posteriores. Cabe señalar que en estas condiciones atmosféricas, la atenuación no es significativa respecto a las demás atenuaciones a evaluar, principalmente debido a la corta distancia existente entre la fuente y el receptor. Esto quedará demostrado luego en la etapa de resultados.

4.2. CONCAWE (*“The Propagation of noise from Petroleum and Petrochemical complexes to neighbouring communities”*, 1981)

De este método, y siguiendo en la línea de estandarización de modelos de ruido de la empresa, sólo se extraerá lo referente a la corrección por condiciones meteorológicas, es decir, se tomará en cuenta la radiación global (promedio cada

³ Se estableció la diferencia entre día y noche de acuerdo al D.S. N° 146. Diurno: 7:00-21:00; Nocturno 21:00-7:00.

1 hora), velocidad y dirección del viento cada cinco minutos.

4.2.1. Corrección Meteorológica (Cmet)

Basados en los estudios realizados por Piercy, Embleton y Sutherland, los que usaron las mediciones realizadas por Parkin y Scholes, el modelo CONCAWE divide todas las condiciones climáticas en seis categorías, categorías A a la G. la categoría A representa un fuerte gradiente de temperatura (disminución de la temperatura con la altura), mientras que la categoría G⁴ representa inversión de temperatura que puede ser encontrada en una tranquila noche estrellada. De esta manera, de acuerdo a la radiación solar cuando es de día y la nubosidad en la noche, se establece la siguiente tabla:

Tabla 1. Clasificación de las condiciones meteorológicas de acuerdo a Pasquill y Turner.

Velocidad del viento (m/s)	De día (radiación solar, mW/cm ²)				1hr. Antes de que se esconda el sol o 1hr. después de que salga	De noche (de acuerdo a la nubosidad, octas)		
	> 60	30 – 60	< 30	0		0 – 3	4 – 7	8
≤ 1,5	A	A – B	B	C	D	F o G	F	D
2,0 – 2,5	A – B	B	C	C	D	F	E	D
3,0 – 4,5	B	C	C	C	D	E	D	D
5,0 – 6,0	C	C – D	D	D	D	D	D	D
> 6,0	D	D	D	D	D	D	D	D

Fuente [Concawe 1981].

⁴ La categoría G es sólo para cuando es de noche con menos de una octa de nubosidad y una velocidad del viento menor de 0,5 (m/s).

Una vez definida la categoría de la condición climática en análisis, de acuerdo a la magnitud del vector de viento (v) medido al nivel del suelo (componente en dirección fuente–receptor), se define la categoría final meteorológica (entre 1 y 6) de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2. Categorización meteorológica

Categoría meteorológica	Categorización de Pasquill		
	A, B	C, D, E	F, G
1	$v < -3,0$	--	--
2	$-3,0 < v < -0,5$	$v < -3,0$	--
3	$-0,5 < v < +0,5$	$-3,0 < v < -0,5$	$V < -3,0$
4	$+0,5 < v < +3,0$	$-0,5 < v < +0,5$	$-3,0 < v < -0,5$
5	$v > +3,0$	$+0,5 < v < +3,0$	$-0,5 < v < +0,5$
6	--	$v > +3,0$	$+0,5 < v < +3,0$

Fuente [Concawe 1981].

Las ecuaciones de cálculo para las categorías se presentan en el Anexo 2.

Luego, el Nivel de Presión Sonora horario generado por el tráfico rodado, se calculará de la siguiente manera para cada banda de octava:

$$L_p = L_w - (A_{div} + A_{gr} + A_{atm} + C_{met}) \quad (\text{dB}) \quad (20)$$

Posteriormente, y por medio de suma energética, se calculará el Nivel de Presión en banda ancha (dBA) para cada hora del día, por medio de la siguiente expresión:

$$L_p = 10 \text{Log}(10^{L_{63/10}} + 10^{L_{125/10}} + \dots + 10^{L_{8000/10}}) \quad (21)$$

5. METODOLOGIA

5.1. Sobre el lugar de medición

Como se puede apreciar en la fotografía aérea del sector (ver figura 1), la avenida no presenta intersecciones y curvas importantes que puedan alterar la aceleración de los vehículos. Esto permite considerar que la velocidad y cantidad de los vehículos será constante tanto frente a la población como en el punto escogido para las mediciones, el cual además está ubicado en una posición distante de la Refinería para no afectar las mediciones de ruido de tráfico.

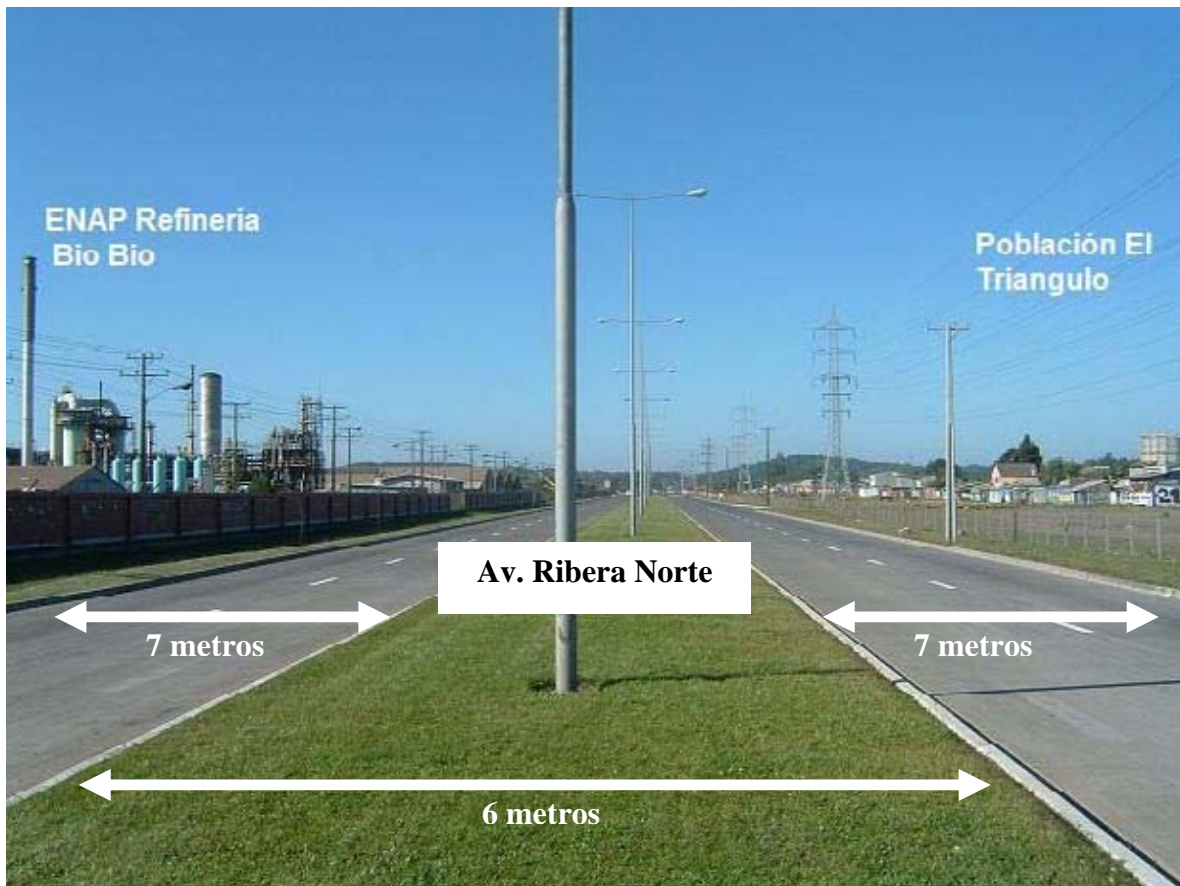
Figura 1. Fotografía aérea del lugar



Fuente [ENAP Refinerías Bio Bio].

La avenida consta con un total de 4 pistas (dos por cada sentido) separadas por un bandejón central (ver figura 2). La velocidad máxima de circulación es de 70 Km/h.

Figura 2. Fotografía de la Av. Ribera Norte Sector Población El triángulo



Fuente [Propia].

5.2. Instrumental Utilizado

Las mediciones se llevaron a cabo con un sonómetro analizador espectral Clase 2 según las normativas IEC 651, IEC 804, IEC 61672-1.

- Sonómetro Integrador, filtro de 1/1 octava Svantek 943B
- Calibrador Acústico Cal200 Larson & Davis

- Software SvanPC, para descarga de datos
- Huincha, para medición de distancias
- Pedestal de soporte
- Software Airviro, para descarga de datos climáticos de la Torre meteorológica de ENAP Refinerías Bio Bio
- Estación de monitoreo fija de ruido PP15

La estación fija de ruido de la población, es un sonómetro clase 1 Larson Davis modelo 824, el cual cuenta con un kit de intemperie para protegerlo contra los cambios de temperatura y lluvias, y está ubicado en el patio de una casa, tal como se muestra en la figura 3.

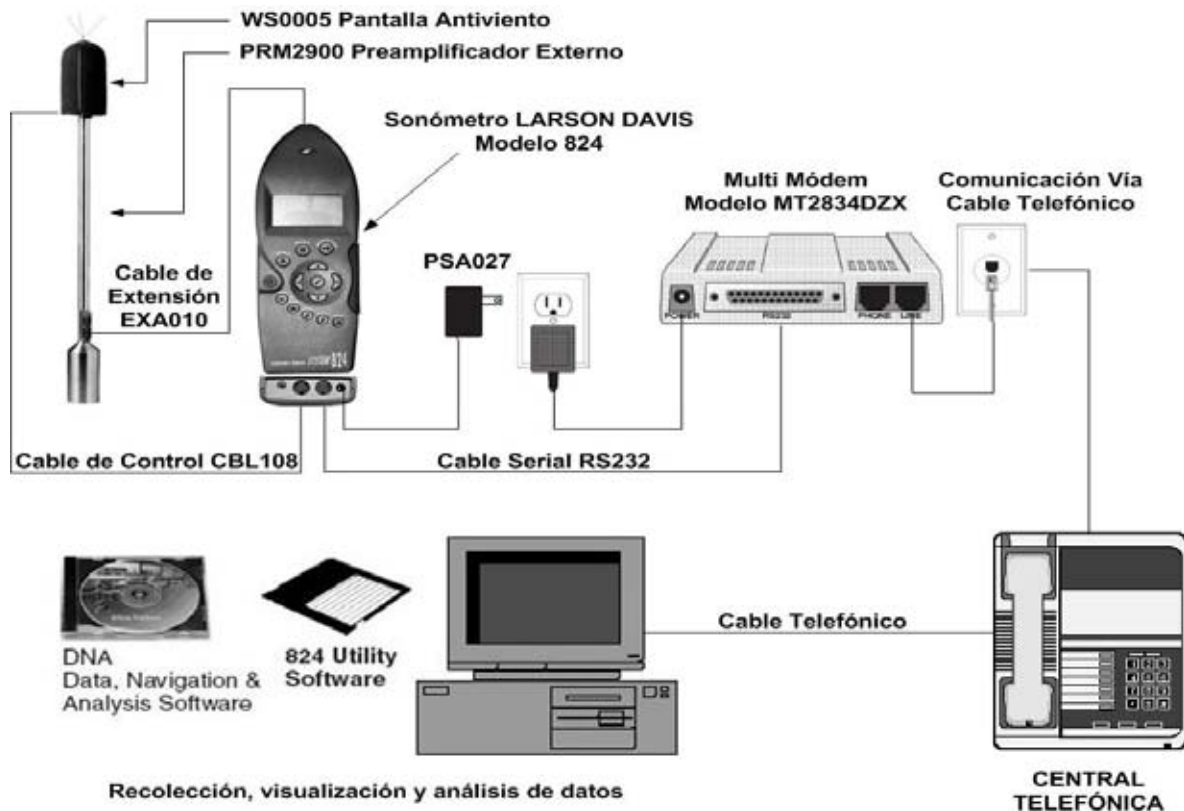
Figura 3. Estación fija de ruido PP15.



Fuente [Propia].

El sistema de recopilación de datos se hace a través de un MODEM por vía telefónica, medio por el cual se pueden descargar datos u observar en tiempo real los niveles de ruido, tanto en banda de 1/1 octava como de 1/3 de octava. La siguiente figura muestra el diagrama de comunicación de este equipo.

Figura 4. Diagrama de conexión y comunicación de monitor PP15.

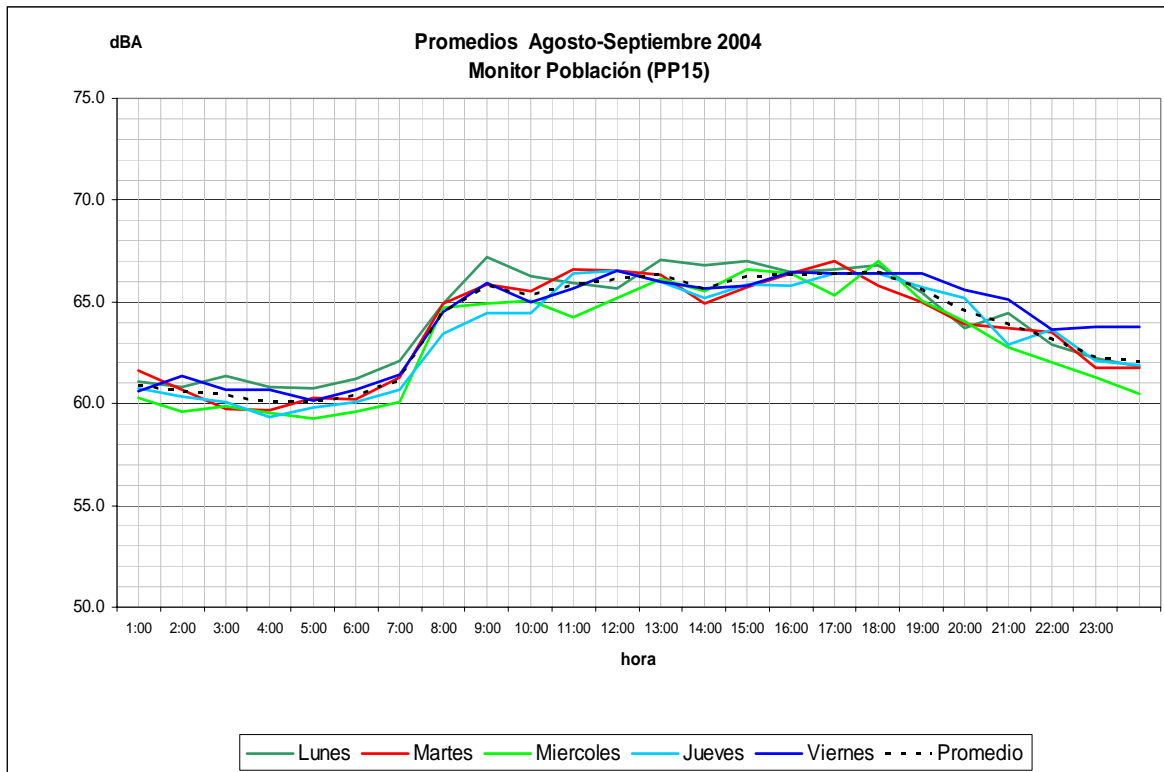


Fuente [Guzmán 2006].

5.3. Sobre la recopilación de datos

Antes de realizar las campañas de medición, se analizaron los niveles equivalentes de ruido continuo de 1 hora que entrega la estación PP15 (ver gráfico 1), con el fin de establecer patrones de comportamiento entre los distintos días de la semana, y de esta forma disminuir la cantidad de mediciones en terreno. Este comportamiento se visualiza mejor en la siguiente gráfica.

Gráfico 1. Leq horario promedio Agosto Septiembre 2004



Fuente [Elaboración Propia].

De acuerdo a estos datos se puede establecer que no existe gran diferencia entre días de la semana, salvo el viernes al finalizar el día. Por lo tanto se asume que de lunes a viernes el comportamiento es similar para cada uno de los días, y sólo se diferenciarán en horas puntuales como el viernes entre las 20:00 y 00:00 horas, en donde se observa una ligera alza en los niveles de ruido, producto del comienzo del fin de semana. Por consiguiente, se realizaron mediciones independientes para el viernes en estos horarios, con el fin de dilucidar si el incremento de niveles es producto del tráfico vehicular o de las actividades en la población.

5.3.1 Datos Acústicos

Previa calibración del sonómetro en terreno, se realizaron un total de 60 mediciones de ruido (entre Septiembre y Octubre de 2004), con una hora de duración (ejemplo: 07:00 – 08:00 → $Leq_{08:00}$) De esta manera se caracteriza el ruido de tráfico vehicular de la Avenida Ribera Norte sector Población el Triángulo, para cada hora de lunes a viernes.

El sonómetro se ubicó a 10 metros del costado de la pista, a una altura de 1.5 metros y alejado de cualquier superficie reflectante (inexistente en este caso), tal como se muestra en la siguiente fotografía.

Figura 5. Fotografía del lugar de medición



Fuente [Propia].

Los datos acústicos registrados⁵ en terreno para cada hora fueron los siguientes:

- L_{eq} : Nivel de presión sonora continuo equivalente
- L_{10} y L_{90} : Percentiles 10 y 90 respectivamente
- L_{max} : Nivel sonoro máximo
- L_{min} : Nivel sonoro mínimo
- $L_{1/1oct}$: Niveles en banda de 1/1 octava (31.5Hz – 16000Hz)

Para obtener un nivel de ruido horario representativo, se realizó un mínimo de dos mediciones para cada hora en días distintos. Así, y mediante la siguiente ecuación, se calcula un nivel promedio para cada banda central de frecuencia en una hora determinada.

$$L_{h,xHz} = 10 \log \left(\left(\frac{1}{2} \right) \left(10^{\frac{L_{dia1}}{10}} + 10^{\frac{L_{dia2}}{10}} \right) \right) (dBA) \quad (22)$$

donde:

L_{dia1} es el nivel de ruido medido el día 1 a la hora “h” y a “x” Hz.

L_{dia2} es el nivel de ruido medido el día 2 la misma hora “h” y a “x” Hz del día 1

Posteriormente se calcula el nivel equivalente continuo mediante una suma energética (ecuación 21), obteniendo así un L_{eq} promedio en dBA para cada hora del día.

5.3.2. Datos no acústicos

Paralelamente a las mediciones acústicas se registró la cantidad de vehículos que circula por la avenida subdividida en 3 categorías:

⁵ Todos los datos registrados se detallan en el anexo 1.

- Vehículos ligeros
- Vehículos pesados
- Motocicletas

De esta manera se obtiene la relación vehículos/hora y la composición del flujo.

Respecto a los factores climáticos (temperatura, humedad relativa, radiación global, dirección y velocidad de viento), éstos son proporcionados por la red meteorológica interna de la empresa, la cual entrega información detallada en intervalos de uno y cinco minutos mediante el software Airviro. Cabe destacar además que la red de monitoreo respalda toda esta información en su base de datos, lo cual es de mucha utilidad para la simplificación del procedimiento de cálculo del modelo de propagación, particularmente en lo que respecta a la atenuación atmosférica. Es así como obtenemos promedios mensuales para la temperatura y el porcentaje de humedad relativa. Estos se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 3. Promedios Atmosféricos Mensuales 2004.

	Enero Febrero Marzo		Abril		Mayo Agosto Octubre	
	% H. R.	T °C	% H. R.	T °C	% H. R.	T °C
Día	70	20	80	15	80	10
Noche	90	15	90	15	90	10
	Junio Julio		Septiembre		Noviembre	
	% H. R.	T °C	% H. R.	T °C	% H. R.	T °C
Día	90	10	70	15	70	15
Noche	90	10	90	10	90	15
	Diciembre					
	% H. R.	T °C				
Día	60	20				
Noche	80	15				

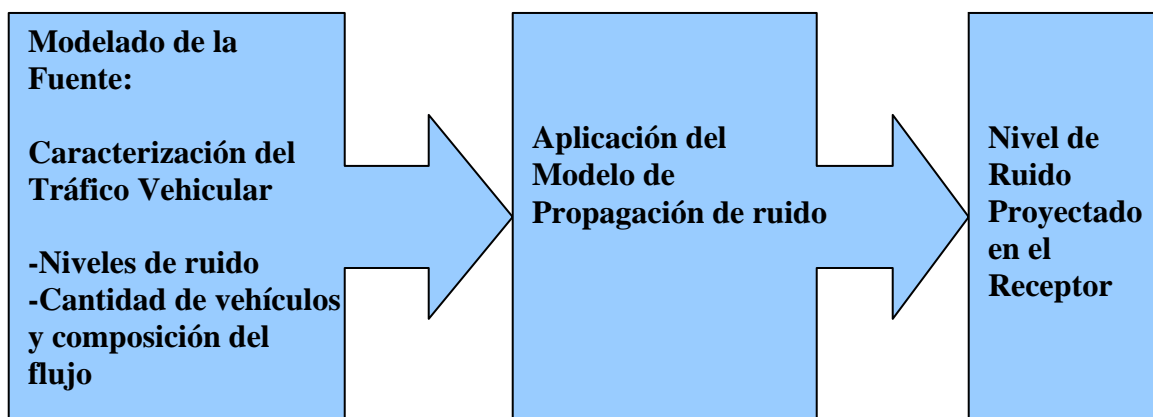
Fuente [Elaboración propia].

Estos promedios se calcularon en base a la totalidad de los datos de cada mes del año 2004, con lo cual se obtiene el parámetro necesario para estimar la pérdida que experimenta el sonido en su recorrido debido a esta causa.

6. RESULTADOS

Para obtener los niveles de ruido en el punto receptor, se debe cumplir con dos etapas previas, de las cuales dependerá el grado de exactitud de las proyecciones. Estas son:

Figura 6. Etapas a seguir para la elaboración del modelo de propagación de ruido de tráfico vehicular.



Fuente [Elaboración propia].

Es importante destacar que el nivel de ruido proyectado mediante este modelo de propagación, sólo representa el ruido generado por el tráfico vehicular de la Avenida ribera Norte. Por lo tanto, al evaluar estos niveles de acuerdo a criterios ambientales, estos darán cuenta solamente del impacto acústico producido por esta fuente sobre la Población el Triángulo, no incluye la contribución de ruido que pueda aportar ENAP Refinerías Bio Bio u otras fuentes del sector.

6.1. Caracterización del tráfico vehicular

Las siguientes tablas muestran los promedios obtenidos mediante el proceso descrito en el punto 5.3.1, de las mediciones de ruido realizadas en terreno a 10 metros de la fuente (Resumen de mediciones en terreno en Anexo 1).

Tabla 4. Niveles de ruido promedio en banda de octava de 63 a 8000Hz, Lunes a Viernes entre Septiembre y Octubre 2004.

Hora	Frecuencia (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1:00	37.7	43.5	45.8	49.6	53.8	54	47.5	40.2
2:00	38.8	43.9	50.2	51.7	55.4	54.4	49.4	40.8
3:00	38.4	38.5	43.4	45.6	47.8	47.9	42.5	37
4:00	40.1	41.8	46.2	46.8	50.9	49.8	45.1	41.8
5:00	42.7	44.9	49.2	49.2	54	52.5	48.1	45.2
6:00	42.4	43.1	48.9	51	52.2	52.5	49.2	46.2
7:00	45	48.9	51.3	54.1	59.6	60.8	53.5	45
8:00	48.7	54.5	58.9	63.2	67.9	67.3	60	52
9:00	50	55.7	61.7	64.3	67.7	67.1	60	52.3
10:00	49.4	54.1	62.3	63.5	66.1	64.7	58.3	50.3
11:00	51	55	64	64.7	66.5	64.9	57.9	50.9
12:00	51.7	56.3	63.4	65	66.2	64.6	57.6	50.2
13:00	50.3	56.7	62.6	64	65.8	64.6	59	53.9
14:00	51.1	54.8	61.5	63.4	65.7	64.1	57.6	50.6
15:00	51.6	55.3	63.5	63.9	65.5	64	57.3	50.6
16:00	50.6	54.7	62.1	62.5	65.6	64.3	58.3	51
17:00	51.7	55.9	62.5	63.8	65.8	64.4	58.5	52.2
18:00	51.9	55.2	61.8	63.1	65.5	64.4	58.1	51.7
19:00	51.2	54.7	61.2	62.1	64.8	63.6	57.4	50
20:00	50.3	54	59.6	61.4	63.9	63	56.3	49.6
21:00	49.9	53.4	60.8	60.8	63.2	61.9	55.2	48.4
22:00	45	50.4	56.9	58.5	60.6	60.1	53.1	46.1
23:00	45.7	49.2	55.8	55.8	59.5	59.2	52.5	45.4
0:00	42.4	46	53.1	53.8	58.2	58.4	51.6	43.9

Fuente [Elaboración Propia].

*Tabla 5. Niveles de ruido promedio en banda de octava de 63 a 8000Hz, días
Viernes entre Septiembre y Octubre 2004.*

		Frecuencia (Hz)						
Hora	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
20:00	51.5	55.3	60.4	61.8	64.9	64.2	57.5	50.1
21:00	51.1	54.2	60.8	62.4	64.8	64.2	57.9	50.6
23:00	44	47.6	54.3	56.4	60	59.7	52.6	45.2
0:00	48.9	50.7	54.4	55.4	58.3	58.7	52	44.6

Fuente [Elaboración propia].

De acuerdo a los resultados expresados en las dos tablas anteriores, no existe una diferencia tan marcada como los resultados entregados por la estación PP15 (ver gráfico 1), así se atribuye este incremento de nivel de ruido a las actividades propias de la comunidad. La base de datos para el modelo propuesto no hará diferencia entre días de semana (lunes a viernes), lo que lleva a una simplificación en el proceso de cálculo.

La siguiente tabla muestra los promedios del Leq hora y de la composición del flujo vehicular, calculados a partir de los datos obtenidos en terreno en el período Septiembre – Octubre 2004.

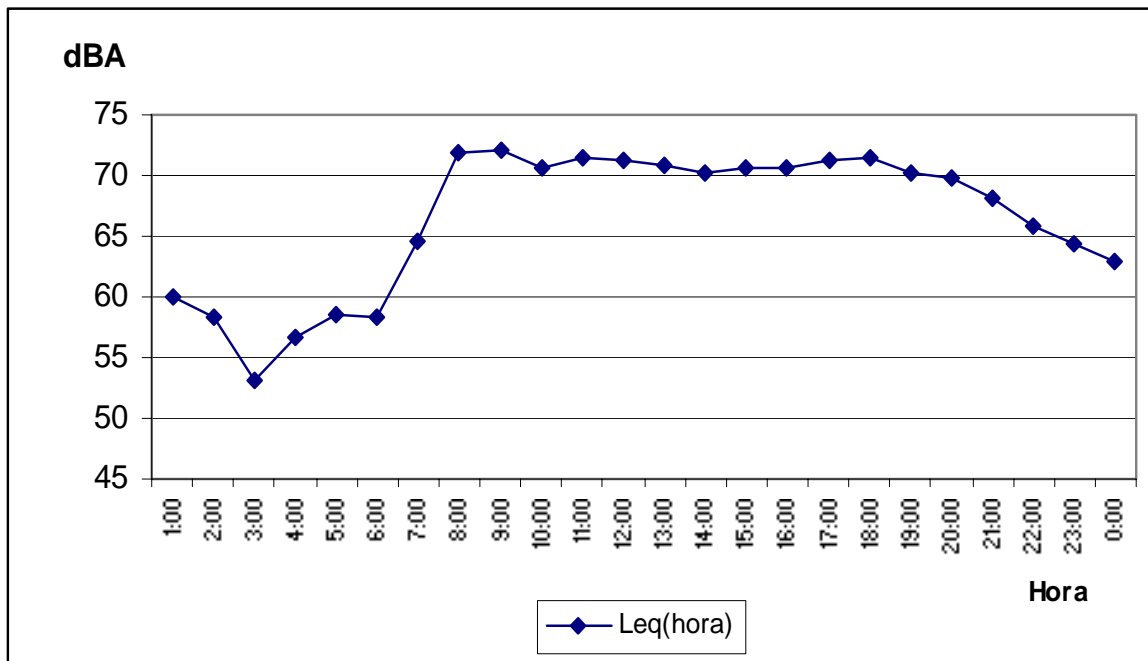
Tabla 6. Leq hora y composición de flujo vehicular

Leq hora y composición de flujo vehicular					
Horario	Leq (dBA)	Livianos	Pesados	Motos	Total
1:00	59.9	96	2	0	98
2:00	58.4	51	9	0	60
3:00	53.2	12	1	0	13
4:00	56.7	21	2	0	25
5:00	58.6	46	6	0	52
6:00	58.4	42	8	0	50
7:00	64.5	167	13	0	180
8:00	71.9	930	75	5	1010
9:00	72.1	818	88	2	908
10:00	70.7	430	119	0	549
11:00	71.4	430	130	0	560
12:00	71.2	512	126	0	638
13:00	70.9	549	96	2	647
14:00	70.2	475	62	2	539
15:00	70.6	448	70	1	519
16:00	70.7	529	116	1	646
17:00	71.2	565	110	0	675
18:00	71.4	703	51	1	755
19:00	70.2	809	75	4	888
20:00	69.7	712	76	2	790
21:00	68.1	308	32	2	342
22:00	65.9	236	24	1	261
23:00	64.3	185	14	0	199
0:00	62.9	168	13	2	183

TOTAL	9242	1318	25	10587
%	87.30	12.45	0.24	

Fuente [Elaboración propia].

Gráfico 2. Leq hora en punto de medición.



Fuente [Elaboración propia].

La gráfica muestra un período de tiempo en el cual el nivel equivalente de ruido está por sobre los 70dBA, a partir de las 7 de la mañana con el inicio de la jornada laboral, reflejado además en la gran cantidad de vehículos que circulan en este horario y al término de este período alrededor de las 7 de la tarde. Posterior a este horario los niveles comienzan a decrecer, así como también el paso de vehículos, alcanzando un nivel equivalente mínimo de 53,2dBA y una cantidad de 13 vehículos registrados entre las dos y tres de la mañana ($Leq_{03:00}$), éste es el período más silencioso según las mediciones en terreno.

6.2. Aplicación del modelo de propagación

Luego de obtener la caracterización del tráfico vehicular, se procede a realizar la etapa de cálculo de las atenuaciones y correcciones de la propagación del ruido. El punto en el cual se proyectarán los niveles, será exactamente donde se encuentra ubicada la estación de ruido PP15.

Datos:

- Distancia fuente receptor: 45 metros
- Altura fuente: 0.5 metros
- Altura receptor (PP15): 3 metros
- Distancia referencia nivel de ruido conocido: 10 metros

6.2.1. Atenuación por divergencia, A_{div} [ISO 1996]

En el caso de la atenuación por divergencia, ésta será considerada constante para cada banda de frecuencia de acuerdo a la distancia que existe entre la fuente y receptor⁶ (45 metros), y se calcula mediante la ecuación (17) del punto 4.1.1.:

$$A_{div} = 10\text{Log}(45) + 8 = 24,5\text{dB}$$

Por lo tanto se tiene una atenuación de 24,5dB para cualquier hora del día y banda de 1/1 octava. Esto es:

Tabla 7. Atenuación por divergencia, en dB.

Atenuación por divergencia								
Frecuencia (Hz)								
d (m)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
45	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5

Fuente [Elaboración propia]

⁶ Cambia de acuerdo a la distancia del receptor

6.2.2. Atenuación por suelo, Agr [ISO 1996]

La atenuación por suelo se calcula mediante la ecuación 18 del punto 4.1.2. Donde la altura media (hm) entre la fuente y el receptor es de 1.75 metros y la distancia entre el receptor y la fuente son 45 metros.

$$Agr = 4,8-(2hm/d)[17+(300/d)] = 2.95 \text{ dB}$$

Esto es:

Tabla 8. Atenuación por Suelo en bandas de 1/1 octava, en dB.

Frecuencia (Hz)							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95

Fuente [Elaboración propia].

6.2.3. Atenuación atmosférica, Aatm [ISO 1993]

De acuerdo a los promedios de temperatura y humedad relativa señalados en la tabla 3 del punto 5.3.2, se obtienen los coeficientes de atenuación atmosférica⁷ que al aplicarlos en la ecuación (19) se obtienen las siguientes atenuaciones resultantes para cada mes del año:

⁷ Corresponden a los señalados en la normativa ISO 9613-1

Tabla 9. Atenuación Atmosférica en bandas de 1/1 octava, en dB.

		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Enero Febrero	día	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.0	3.4
	Noche	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.0	3.4
Abril	día	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.1	3.7
	Noche	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.0	3.4
Mayo Agosto	día	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.1	3.7
Octubre	Noche	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.2	4.2
Junio Julio	día	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.2	4.2
	Noche	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.2	4.2
Septiembre	día	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	1.2	4.2
	Noche	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.2	4.2
Noviembre	día	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	1.2	4.2
	Noche	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.0	3.4
Diciembre	día	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	1.1	4.0
	Noche	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.1	3.7

Fuente [Elaboración propia].

6.2.4. Corrección Meteorológica, Cmet [Concawe 1981]

De acuerdo a las ecuaciones presentadas en el Anexo 2, se realiza el cálculo de corrección por viento para cada banda según categoría. Dependiendo de las características de viento del día que se quiera evaluar, se procede a la categorizar de 1 a 6 por medio de las tablas 1 y 2 presentadas en el punto 4.2.1. Cabe destacar que la diferencia entre categorías extremas, esto es 1 y 6, bordea los 10dB.

Tabla 10. Corrección en banda de 1/1 octava según categoría, en dB.

Categoría	Corrección en dB por banda de frecuencia según categoría							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	-4.1	-6.9	-7.8	-3.5	-4.4	-4.5	-5.6	0.0
2	-1.0	-2.1	-1.8	-4.7	-0.6	-8.7	-7.1	0.0
3	-0.7	-0.5	-6.2	-4.2	-5.8	-5.9	-6.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.5	1.2	0.5	0.5	5.2	2.3	3.2	0.0
6	3.3	2.1	2.9	2.7	6.6	1.6	4.2	0.0

Fuente [Elaboración propia].

6.3. Nivel de ruido proyectado en el receptor

La siguiente ecuación entrega el nivel proyectado en la población por banda de octava (63Hz – 8000Hz) para cada hora del día, de acuerdo a los antecedentes señalados en los puntos anteriores.

$$L_{proyectado} = LW - (A_{div} + A_{suelo} + A_{atm} + C_{met}) \text{ dBA} \quad (23)$$

donde:

L_w : Nivel de potencia de la fuente para cada banda de octava en dBA.

A_{div} , A_{suelo} , A_{atm} : Atenuación por divergencia, suelo y atmosférica en dB.

C_{met} : Corrección por velocidad y dirección del viento en dB.

A continuación se muestra el resultado que proyecta el modelo propuesto para un día determinado.

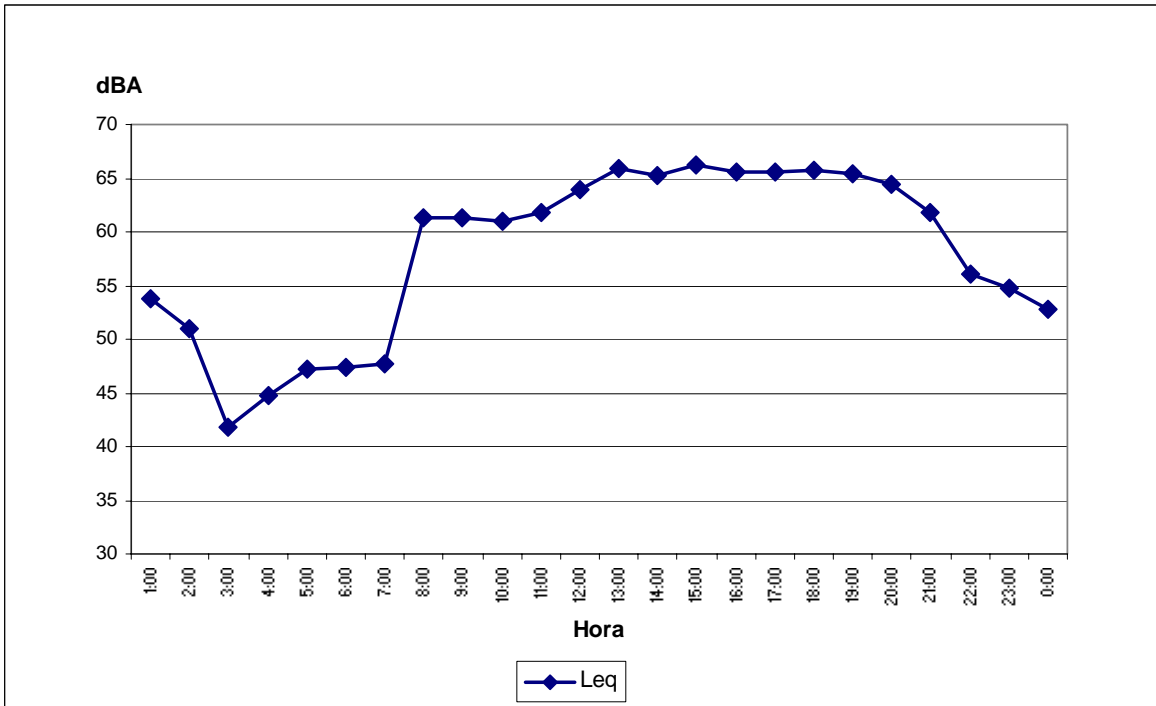
- Día: Martes 7 de septiembre 2004
- Distancia fuente – receptor: 45 metros
- Condiciones atmosféricas para el mes de Setiembre:
día → %H.R = 70; Temp= 15°C noche → %H.R= 90; Temp= 10°C
- Condiciones de viento (velocidad y dirección) para este día en Anexo 3.

Tabla 11. Proyección de ruido sobre la población, para día martes 7 de septiembre 2004.

Hora	FRECUENCIA (Hz)								Leq (dBA)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1:00	30.0	36.2	43.0	43.9	49.3	49.4	42.7	26.6	53.8
2:00	29.6	34.8	41.6	42.8	46.6	45.4	39.6	27.2	51.1
3:00	28.6	28.2	33.6	35.7	34.1	36.4	29.5	23.4	41.9
4:00	30.4	31.8	36.5	37.0	38.8	39.0	33.1	28.2	44.8
5:00	32.9	34.7	39.4	39.3	40.6	41.2	35.3	31.6	47.1
6:00	32.7	33.1	39.2	41.2	39.6	41.5	36.9	32.6	47.4
7:00	33.3	29.0	39.7	42.2	35.2	42.9	37.4	33.4	47.7
8:00	39.3	44.8	50.1	54.1	55.7	57.0	48.3	38.3	61.3
9:00	40.5	45.8	52.8	55.1	54.7	56.3	47.7	38.6	61.3
10:00	39.9	44.6	52.8	53.9	56.4	54.8	47.6	36.6	61.1
11:00	41.5	45.5	54.5	55.1	56.8	55.0	47.2	37.2	61.8
12:00	42.8	47.6	55.8	57.8	58.0	58.1	50.1	36.5	63.9
13:00	42.2	49.8	55.4	58.9	57.2	62.4	55.1	40.2	65.8
14:00	43.0	47.9	54.3	58.3	57.1	61.9	53.7	36.9	65.2
15:00	43.9	48.0	60.7	58.2	61.0	59.4	52.4	36.9	66.3
16:00	42.5	46.8	58.4	57.0	60.6	60.0	53.5	37.3	65.6
17:00	43.9	48.6	57.9	58.3	59.6	60.4	53.9	38.4	65.6
18:00	43.2	46.4	57.3	57.8	60.2	60.8	53.6	38.0	65.7
19:00	42.4	45.7	57.8	56.8	60.9	59.6	52.7	36.3	65.4
20:00	41.5	45.0	56.2	56.1	60.1	59.0	51.5	35.9	64.5
21:00	40.9	44.3	54.9	53.9	57.0	55.6	48.1	34.7	61.8
22:00	35.5	40.9	47.4	48.9	51.0	50.2	42.4	32.5	56.0
23:00	36.2	39.7	46.3	46.2	49.8	49.3	41.9	31.8	54.7
0:00	32.9	36.3	43.8	44.4	47.3	48.3	40.5	30.3	52.8

Fuente [Elaboración propia].

Gráfico 3. Niveles de Ruido Proyectados en la Población, Martes 07/09/04, 45 metros.



Fuente [Elaboración propia]

Así mismo, y de manera aleatoria, se evaluaron 10 días de cada mes. De esta manera se obtiene un total de 120 evaluaciones que darán cuenta de un nivel equivalente de ruido mensual representativo del tráfico vehicular proyectado sobre la población para cada hora del día del año 2004 (período en que se realizó este trabajo). Además, esta información servirá para obtener los índices de valorización anuales necesarios para el posterior análisis acústico.

Las formulas utilizadas para todos estos cálculos, se detallan a continuación:

- Leq horario mensual,

$$L_{1:00} = 10 \text{Log} \left(\frac{1}{10} \times \left(10^{\frac{L_{dia1}}{10}} + 10^{\frac{L_{dia2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{dia10}}{10}} \right) \right)$$

y así sucesivamente las 24 horas del día.

- Leq 24 horas anual

$$L_{24h_enero} = 10Log\left(\frac{1}{24} x(10^{\frac{L_{1:00}}{10}} + 10^{\frac{L_{2:00}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{0:00}}{10}})\right)$$

↓

$$L_{24h_diciembre} = 10Log\left(\frac{1}{24} x(10^{\frac{L_{1:00}}{10}} + 10^{\frac{L_{2:00}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{0:00}}{10}})\right)$$

Luego, habiendo calculado el Leq 24 horas para cada mes, se procede a promediar energéticamente los 12 meses.

$$L_{24h_Anual} = 10Log\left(\frac{1}{12} x(10^{\frac{L_{24h_enero}}{10}} + 10^{\frac{L_{24h_febrero}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{24h_diciembre}}{10}})\right)$$

De manera análoga se calcula el nivel anual día y nivel anual noche.

A continuación se muestra una tabla que resume los niveles proyectados para cada mes mediante las ecuaciones descritas anteriormente, y una gráfica que muestra la tendencia horaria anual, calculada a partir del promedio horario de los 12 meses. Esto es:

$$L_{1:00} = 10Log\left(\frac{1}{12} x(10^{\frac{L_{1:00_enero}}{10}} + 10^{\frac{L_{1:00_febrero}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{1:00_diciembre}}{10}})\right)$$

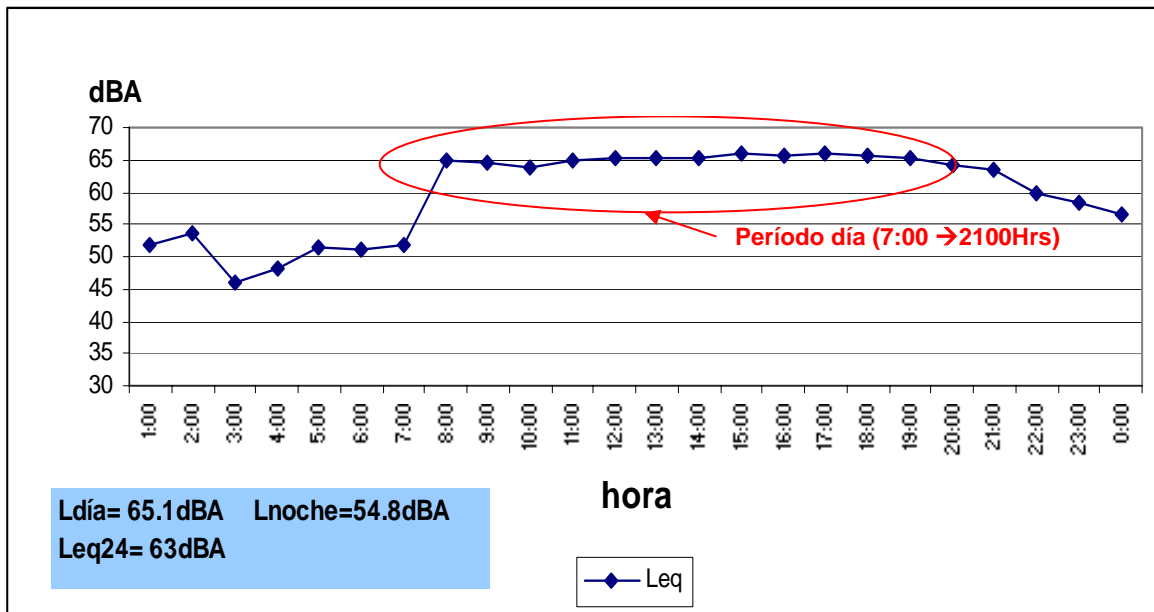
y así sucesivamente para las 24 horas del día.

Tabla 12. Niveles de ruido proyectados sobre la población para el año 2004 (dBA)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Octubre	Nov	Dic
1:00	51.4	53.6	51.8	51.8	50.3	51.7	51.6	48.3	51.8	52.1	52.4	53.2
2:00	55.1	53.1	54.2	54.3	50.2	54.3	53.0	49.9	52.0	53.5	54.4	54.6
3:00	44.8	45.1	44.8	47.5	43.6	44.9	46.7	45.3	44.8	46.7	47.1	48.1
4:00	47.2	48.7	44.7	49.6	47.7	48.7	48.9	46.0	47.1	49.3	49.7	49.0
5:00	50.4	52.8	48.1	51.5	48.8	52.7	51.8	50.6	49.7	52.6	52.5	53.5
6:00	48.3	51.4	51.2	52.3	51.6	52.7	51.6	51.5	49.5	49.4	51.9	51.5
7:00	51.4	51.4	49.9	52.7	52.9	52.2	53.0	50.3	50.6	50.2	52.4	52.6
8:00	64.7	63.8	63.2	66.2	66.3	63.7	65.2	62.2	63.5	63.0	66.4	66.3
9:00	63.5	65.2	62.1	63.8	62.5	65.4	65.2	64.3	63.3	64.9	67.1	65.5
10:00	65.6	64.8	62.8	64.0	61.0	62.7	63.9	61.0	62.5	64.7	64.9	64.6
11:00	66.8	66.2	63.4	64.2	61.2	64.3	65.4	61.6	63.0	65.8	65.5	66.2
12:00	66.6	66.1	66.1	66.0	62.3	64.3	65.2	61.5	63.6	65.6	65.6	65.9
13:00	66.4	66.4	65.9	65.8	62.3	64.3	65.2	64.1	65.7	66.0	64.6	66.5
14:00	65.8	65.9	65.9	66.0	65.4	63.8	64.6	65.4	65.3	65.5	65.4	65.9
15:00	66.3	66.3	66.4	66.2	66.4	65.1	64.9	65.7	65.7	65.9	66.1	66.4
16:00	65.7	66.0	65.9	66.1	65.2	64.7	64.4	65.9	65.5	65.6	66.0	66.0
17:00	66.3	66.2	66.4	66.4	65.5	62.7	64.7	66.2	66.0	66.1	66.1	66.3
18:00	66.0	66.0	65.4	66.1	65.1	64.8	64.5	65.9	65.9	65.9	66.1	65.9
19:00	65.7	65.8	65.8	65.6	63.8	64.0	65.1	65.5	65.7	65.4	65.7	65.7
20:00	64.7	64.7	64.1	63.2	64.0	63.0	63.9	63.8	64.2	64.5	64.6	64.6
21:00	64.4	64.4	63.8	63.7	61.7	61.5	62.5	63.7	63.1	64.1	63.9	64.3
22:00	61.3	61.3	59.6	58.6	55.9	59.7	59.7	55.9	60.0	61.0	60.4	61.2
23:00	59.6	58.5	59.4	56.1	57.7	57.6	58.7	57.9	57.5	59.0	59.5	59.3
0:00	58.3	57.6	55.9	56.4	55.0	54.8	57.3	53.4	55.9	56.7	57.1	58.8
Ldia	65.7	65.6	65.0	65.4	64.1	64.0	64.7	64.4	64.7	65.3	65.6	65.8
Lnoche	55.8	55.6	54.7	54.2	53.0	54.6	55.0	52.6	54.2	55.3	55.5	56.2
L24	63.7	63.6	63.0	63.3	62.0	62.0	62.7	62.2	62.6	63.2	63.6	63.8

Fuente [Elaboración propia].

Gráfico 4. Promedio Anual de Niveles de Ruido proyectados en la Población.



Fuente. [Elaboración propia].

7. APLICACION DE RESULTADOS

Dado que las calles, caminos y carreteras no están reguladas por una norma en Chile como una fuente de ruido, a diferencia de las fuentes fijas que se regulan de acuerdo al D.S. N°146/97 del MINSEGPRES, se hace necesario recurrir normativas extranjeras o criterios ambientales internacionales, que no necesariamente representan la realidad Chilena.

7.1. Legislación Suiza

La legislación suiza sirve como normativa base para algunos aspectos no considerados en la normativa chilena. La legislación está contenida en la ordenanza sobre Protección Contra el Ruido (OPB) del Consejo federal Suizo del 15 de Noviembre de 1986. Esta ordenanza regula la determinación de inmisiones

de ruido externo y su evaluación sobre la base de valores máximos de emisión en función de zonas de sensibilidad acústica. Los límites máximos se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 13. Valores máximos Leq de exposición al ruido (OPB, 1986)

Zona	Límites Planeación dBA		Límites Ambientales dBA		Límites Alarma dBA	
	día	noche	día	Noche	día	noche
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

Fuente [OPB 1986]

La existencia de tres tipos de límites ratifica de cierta forma la tendencia europea a la reducción gradual de los niveles de inmisión. Mientras los límites ambientales son utilizados para instalaciones fijas existentes, los de planificación lo son para las nuevas construcciones. Los límites de alarma son un indicador de intervención por parte de la autoridad [Sepúlveda 2000].

De acuerdo con los niveles anuales calculados anteriormente, se procede a compararlos con los límites máximos de inmisión descritos en la legislación Suiza. Estos resultados se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 14. Comparación entre nivel anual de ruido proyectado y límites máximos
Legislación Suiza.

Zona	Nivel Anual proyectado dBA		Límites Ambientales dBA		Límites Alarma dBA	
	día	Noche	día	Noche	día	noche
II	65	55	60	50	70	65

Fuente [OPB 1986]

La tabla da cuenta de que si bien, los niveles de ruido anuales son superiores en el día y la noche a los límites ambientales establecidos, no traspasan el límite de alarma dispuesto. Esto mismo sucede si se realiza el análisis para cada mes.

7.2. Aplicación de Criterios Internacionales para el ruido comunitario

Para analizar el nivel de ruido proyectado sobre la población mediante criterios ambientales internacionales, se utilizaron los siguientes índices de valorización: Nivel equivalente día L_d , Nivel equivalente noche L_n , y nivel equivalente de las 24 horas Leq_{24} . Los criterios serán evaluados con respecto al promedio anual de niveles de ruido.

Las recomendaciones para niveles de ruido comunitario de Criterios Ambientales Internacionales se presentan en la siguiente tabla resumen:

Tabla 15. Criterios internacionales de evaluación ambiental.

Fuente	Efecto	Valor (dBA)
EPA (Environmental Protection Agency) Índice de valorización: Leq_{24}	Riesgo nulo	$Leq_{24} > 70$
	Riesgo leve	$70 < Leq_{24} < 75$
	Riesgo medio	$75 < Leq_{24} < 80$
	Riesgo alto	$Leq_{24} > 80$

EEA (Agencia Ambiental Europea) Índice de valorización: Leq24	Sin efecto Molestia y perturbación del sueño Impacto seriamente apreciado Inaceptable	Leq24<55 55<Leq24<65 65<Leq24<75 Leq24>75
OMS (Organización Mundial de la Salud) Índice de valorización: Ld y Ln	Sin efecto Molestia moderada Molestia seria Sin efecto Perturbación del sueño	Ld<50 50<Ld<55 Ld>55 Ln<45 Ln>45
OECD Índice de valorización: Ld y Ln Recomienda Ld<65 para zonas residenciales existentes y Ld<55 para zonas residenciales nuevas	Aceptable Inaceptable Peligroso Aceptable Inaceptable	Ld<65 Ld>65 Ld>75 Ln<55 Ln>55

[Fuente: Suárez 2002]

Para los promedios anuales del año 2004 de Ln, Ld, Leq24, se tienen los siguientes resultados según cada criterio.

Tabla 16. Evaluación de niveles de ruido según Criterios Ambientales.

Leq24 = 63dBA
Ld = 65.1dBA
Ln = 54.8dBA

Criterio	Efecto
EPA Leq24	Riesgo Nulo
EEA Leq24	Molestia y perturbación del sueño
OMS Ld, Ln	Día: Molestia seria noche: Perturbación del sueño
OECD Ld, Ln	Día: Aceptable noche: Aceptable Se consideran aceptables, ya que su nivel se encuentra en el límite de ambas condiciones

Fuente [Elaboración propia].

7.3. Ecuación de ruido de tráfico

El ruido del tránsito está determinado por una serie de factores: el ruido de los vehículos individuales; el flujo vehicular; la composición del tránsito; la pendiente de la vía; el tipo de perfil; velocidad de circulación; espesor y tipo de carpeta.

El ruido proveniente de un vehículo individual en movimiento, es en general una superposición de tres ruidos que son: propulsión, originado por el motor, transmisión y el sistema de escape; rodadura del neumático sobre el pavimento;

aerodinámico. Los ruidos del motor y el escape dependen fundamentalmente de la velocidad angular del rotor (revoluciones por minuto), la cual depende del estado de carga. El ruido de rodadura depende de la velocidad del vehículo y del tipo de pavimento, y se origina en la compresión y liberación de pequeñas burbujas de aire atrapadas entre la cubierta y el pavimento, siendo mayor para pavimentos muy lisos que para pavimentos porosos. En éstos el mecanismo de atenuación es doble: se reduce el aire aprisionado y la porosidad actúa absorbiendo parte del ruido. El ruido aerodinámico aumenta mucho con la velocidad y con las superficies angulosas, presencia de canales de goteo, etc. Para velocidades de 80km/h o más es el ruido predominante.

El flujo del tránsito, es decir, la cantidad de vehículos por hora, tiene una incidencia directa en el ruido. Para flujos no saturados (es decir, donde los vehículos pueden circular en forma más o menos independiente entre sí) se cumple que por cada aumento al doble del flujo hay un incremento de 3 dB en el nivel de ruido. [Miyara 1999]

Debido a que el flujo del tránsito se compone de variados tipos de vehículos, es necesario clasificar la composición de éstos. Por tanto, se pueden agrupar por categorías según sus tamaños y características: vehículos – camiones livianos – camiones pesados [Harris 1998]; motocicletas – vehículos – micros y camiones; livianos y pesados [Miyara 1999]; dos ejes cuatro ruedas – dos ejes y más de cuatro ruedas – más de dos ejes – motocicletas [Ambiente Consultores 2001].

Las ecuaciones de ruido de tráfico son de gran complejidad y poca homogeneidad en sus variables. Esto se traduce en que a pesar de la gran cantidad de estudios realizados sobre el tema, no existe un consenso internacional para adoptar una u otra, con lo cual cada país utiliza sus métodos propios de predicción de acuerdo a su realidad. Para el cálculo de las ecuaciones simplificadas de ruido de tráfico se utilizaran herramientas de análisis de correlación y estimación lineal. En las ecuaciones de predicción de ruido de tráfico

es conocida la relación entre el nivel equivalente y el logaritmo del flujo vehicular. [Antillanca 2005]. Esta relación se muestra a través de la siguiente expresión:

$$L_{Aeq} = A + B * \text{Log} (Q)$$

El grado de precisión de las ecuaciones lo entrega el coeficiente de correlación “r” que va desde -1 hasta 1. Entonces para:

$r > 0$, la correlación lineal es positiva (si sube el valor de una variable sube el de la otra). La correlación es tanto más fuerte cuanto más se aproxima a 1.

$r < 0$, la correlación lineal es negativa (si sube el valor de una variable disminuye el de la otra). La correlación negativa es tanto más fuerte cuando más se aproxima a -1.

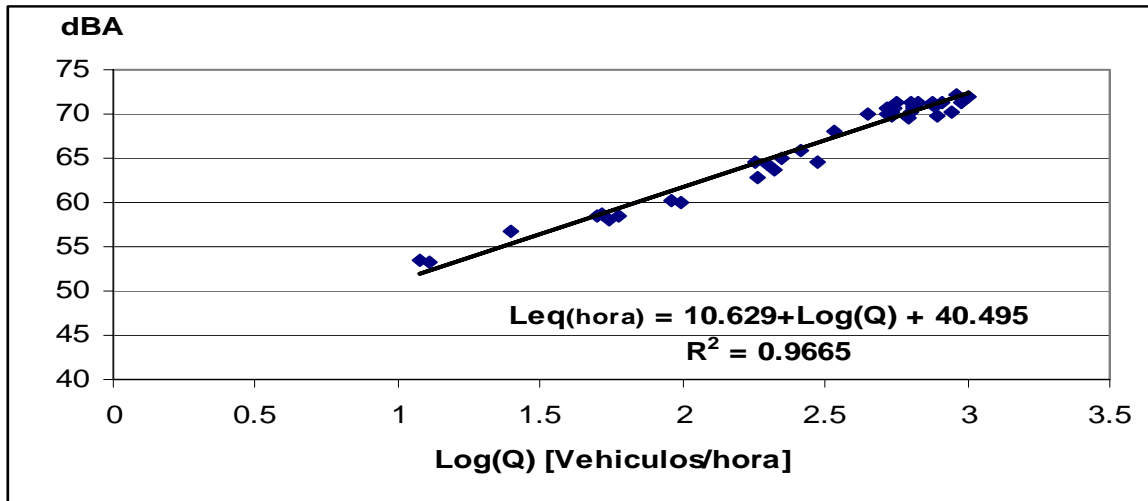
$r = 0$, no existe correlación lineal entre las variables. Aunque podría existir otro tipo de correlación (parabólica, exponencial, etc.)

7.3.1. Obtención de Ecuación de ruido de tráfico mediante correlación simple

La estimación lineal simple se realizó con un total de 48 datos, dos para cada hora del día. Si bien este tipo de estimaciones son rigurosas en cuanto a relación y cantidad de datos, para este caso en particular, la regresión se considera aceptable debido a la poca variabilidad del flujo vehicular y nivel de ruido para una misma hora en distintos días (variación de flujo entre 4% y 14%, y nivel de ruido de 1,4dB como máximo). Además se debe considerar que existe un tráfico fluido de vehículos a velocidades constantes.

El gráfico a continuación muestra la ecuación de ruido de tráfico realizada con regresión lineal simple, esto es niveles de ruido v/s Log(Q), donde Q es la cantidad de vehículos por hora.

Gráfico 5. Ecuación simple de predicción de ruido de tráfico.



Fuente [Elaboración propia].

La siguiente tabla muestra la diferencia que existe entre los niveles de ruido medidos en terreno con los niveles calculados mediante la ecuación simple de ruido de tráfico.

Tabla 17. Comparación entre niveles de ruido medido en terreno y niveles obtenidos mediante ecuación de ruido de tráfico simple.

Hora	Leq medido dBA	Leq Ec. Simple dBA	Dif dB	Dif-abs
1:00	59.9	61.7	-1.8	1.7597
2:00	58.4	59.4	-1	0.995
3:00	53.2	52.3	0.9	0.8649
4:00	56.7	55.4	1.3	1.3365
5:00	58.6	58.7	-0.1	0.1344
6:00	58.4	58.6	-0.2	0.1534
7:00	64.5	64.5	0	0.0337
8:00	71.9	72.4	-0.5	0.5279
9:00	72.1	71.9	0.2	0.1635
10:00	70.7	69.6	1.1	1.0861
11:00	71.4	69.7	1.7	1.6945
12:00	71.2	70.3	0.9	0.8926
13:00	70.9	70.4	0.5	0.5279
14:00	70.2	69.5	0.7	0.6709
15:00	70.6	69.4	1.2	1.2455
16:00	70.7	70.4	0.3	0.335
17:00	71.2	70.6	0.6	0.6323
18:00	71.4	71.1	0.3	0.3153
19:00	70.2	71.8	-1.6	1.6337
20:00	69.7	71.3	-1.6	1.5939
21:00	68.1	67.4	0.7	0.6708
22:00	65.9	66.2	-0.3	0.2815
23:00	64.3	64.9	-0.6	0.6295
0:00	62.9	64.5	-1.6	1.6426
			Dif	Dif Abs
			Min	0.034
			Max	2.162
			Desv	0.562
			Prom	0.846
			R	0.983

Fuente [Elaboración propia].

7.3.2. Obtención de Ecuación de ruido de tráfico mediante correlación múltiple

Para determinar otras correlaciones, se procede a comprobar la relación entre las variables (matriz correlaciones), para lo cual se calcula el coeficiente de correlación múltiple, determinando seguidamente las constantes A, B,..., que se obtienen mediante la solución de una ecuación matricial. La ecuación de la recta es del tipo:

$$y = mx + b, \text{ o bien, } y = m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + b$$

Tabla 18. Comparación entre niveles de ruido medido en terreno y niveles obtenidos mediante ecuación de ruido de tráfico múltiple.

Hora	Leq medido dBA	Leq Ec. Múltiple dBA	Dif dB	Dif-abs
1:00	59.9	59.8	0.1	0.12
2:00	58.4	60	-1.6	1.55
3:00	53.2	52.1	1.1	1.09
4:00	56.7	55.2	1.5	1.53
5:00	58.6	59	-0.4	0.38
6:00	58.4	59.2	-0.8	0.79
7:00	64.5	64.1	0.4	0.38
8:00	71.9	71.8	0.1	0.12
9:00	72.1	71.8	0.3	0.31
10:00	70.7	70.6	0.1	0.12
11:00	71.4	70.8	0.6	0.64
12:00	71.2	71.2	0	0.04
13:00	70.9	70.7	0.2	0.15
14:00	70.2	69.6	0.6	0.6
15:00	70.6	69.7	0.9	0.85
16:00	70.7	71.1	-0.4	0.4
17:00	71.2	71.2	0	0.01
18:00	71.4	70.6	0.8	0.77
19:00	70.2	71.4	-1.2	1.19
20:00	69.7	71.1	-1.4	1.44
21:00	68.1	67.3	0.8	0.84
22:00	65.9	66.1	-0.2	0.22
23:00	64.3	64.5	-0.2	0.25
0:00	62.9	64	-1.1	1.14

	Dif	Dif Abs
Min	-1.787	0.014
Max	1.527	1.787
Desv	0.78	0.467
Prom	-0.006	0.617
r	0.9902	

$$Leq = b + X1 \log Q + X2 \log Q_m + X3 \log(Q_p)$$

	X3	X2	X1	B
Coef.	2.8	-0.43	7.79	43.43

Fuente [Elaboración propia].

Donde Q es la cantidad total de vehículos hora, Q_m la cantidad de motos hora y Q_p la cantidad de vehículos pesados.

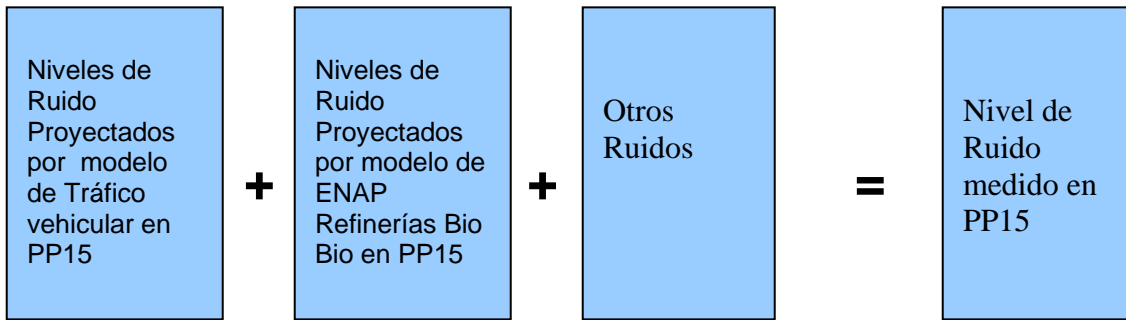
8. VERIFICACION DE RESULTADOS

8.1. Modelo de propagación de ruido de tráfico

Dada la imposibilidad de detener los procesos de producción de ENAP Refinerías Bio Bio, es que resulta difícil de verificar los niveles de ruido de tráfico proyectados sobre la población mediante mediciones en terreno, por lo tanto, para comprobar la aceptabilidad de los resultados, se utilizará el modelo de la Red de monitoreo continua de ruido de ENAP Refinerías Bio Bio [Guzmán 2006] y los niveles medidos en el monitor de ruido PP15. La red de monitoreo continua consiste básicamente en la homologación del D.S. N°146/97 del MINSEGPRES, mediante los datos entregados por los 3 monitores de ruido que se encuentran ubicados dentro de la refinería, y los antecedentes climáticos de la torre meteorológica.

La siguiente figura muestra la metodología a utilizar para la verificación de los resultados.

Figura 7. Metodología para verificación de resultados



Fuente [Elaboración propia].

Con respecto a "otros ruidos", se hace referencia a los ruidos ambientales propios del lugar, como por ejemplo: juegos de niños, música, ladridos de perros, etc. Por consiguiente, la estimación producto de la suma energética de ambos modelos de ruido, debe ser inferior al total medido por el monitor de ruido PP15. También se debe señalar que el modelo propuesto por Freddy Guzmán [Guzmán 2006], utiliza los mismos algoritmos de propagación (estandarizados por la empresa), con lo cual se asegura mismas condiciones de atenuación y corrección.

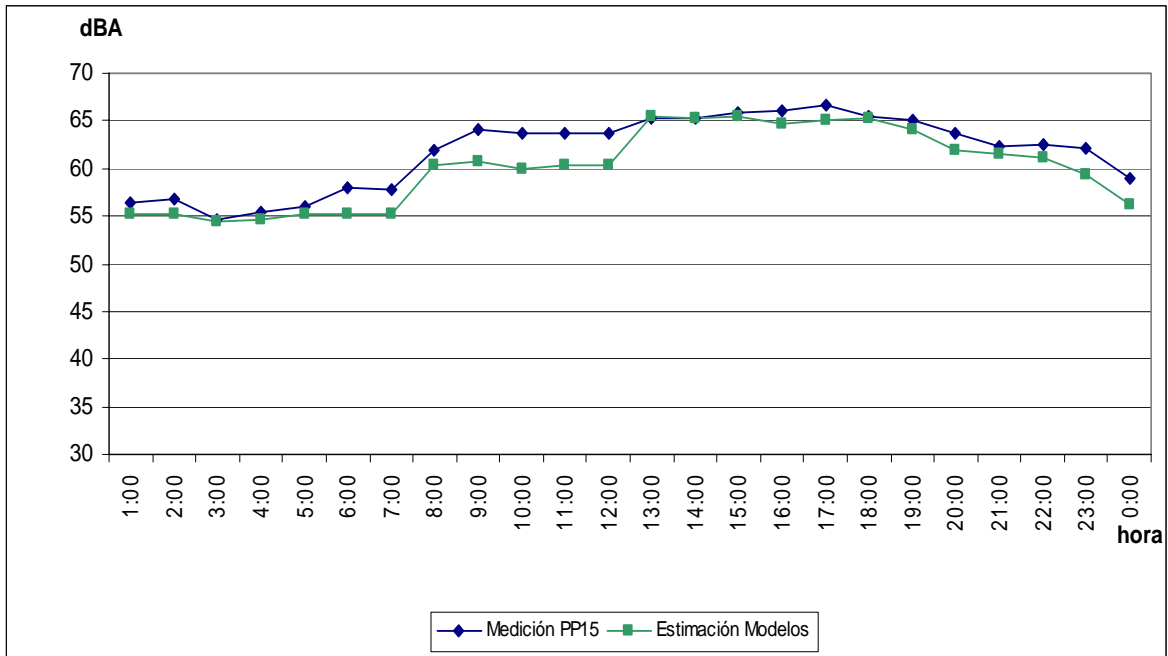
La tabla a continuación muestra los resultados de las comparaciones solamente para dos días, esto debido al carácter de privado que tiene estos resultados. Los días evaluados son el 8 y 13 de Junio del presente año.

Tabla 19. Comparación Niveles Medidos y Modelados,
Miércoles 08 de Junio 2005

Hora	Modelo tráfico vehicular Proyección ruido de tráfico sobre la población dBA	Modelo Homologación DS146 Proyección de ruido Generado por Enap Sobre la población dBA	Suma Energética Ambos modelos dBA	Nivel de Ruido medido en estación PP15 dBA	Diferencia Absoluta dB
1:00	45.5	54.8	55.3	56.5	1.2
2:00	46.9	54.5	55.2	56.7	1.5
3:00	40.4	54.2	54.4	54.7	0.3
4:00	42.6	54.4	54.7	55.4	0.7
5:00	45.5	54.7	55.2	56	0.8
6:00	45.5	54.7	55.2	58	2.9
7:00	46.3	54.7	55.3	57.7	2.4
8:00	58.9	55	60.4	61.9	1.5
9:00	59.2	55.8	60.8	64.2	3.4
10:00	57.7	56.2	60	63.7	3.7
11:00	58.4	55.6	60.3	63.6	3.4
12:00	58.5	55.4	60.3	63.7	3.4
13:00	64.3	59.1	65.5	65.2	0.2
14:00	63.8	59.7	65.2	65.3	0.2
15:00	64.4	58.8	65.5	65.8	0.3
16:00	63.3	59	64.7	66.1	1.4
17:00	63.7	59.6	65.1	66.7	1.6
18:00	64.1	58.8	65.2	65.5	0.3
19:00	63.1	57.3	64.1	65	0.8
20:00	60.4	56.4	61.9	63.8	1.9
21:00	60.1	56.2	61.6	62.3	0.7
22:00	58.7	57.2	61.1	62.5	1.4
23:00	57	55.8	59.4	62.1	2.6
0:00	52	54.1	56.2	59	2.8

Fuente [Elaboración propia].

Gráfico 6. Comparación Niveles Medidos y Modelados,
Miércoles 08 de Junio 2005



Fuente [Elaboración propia].

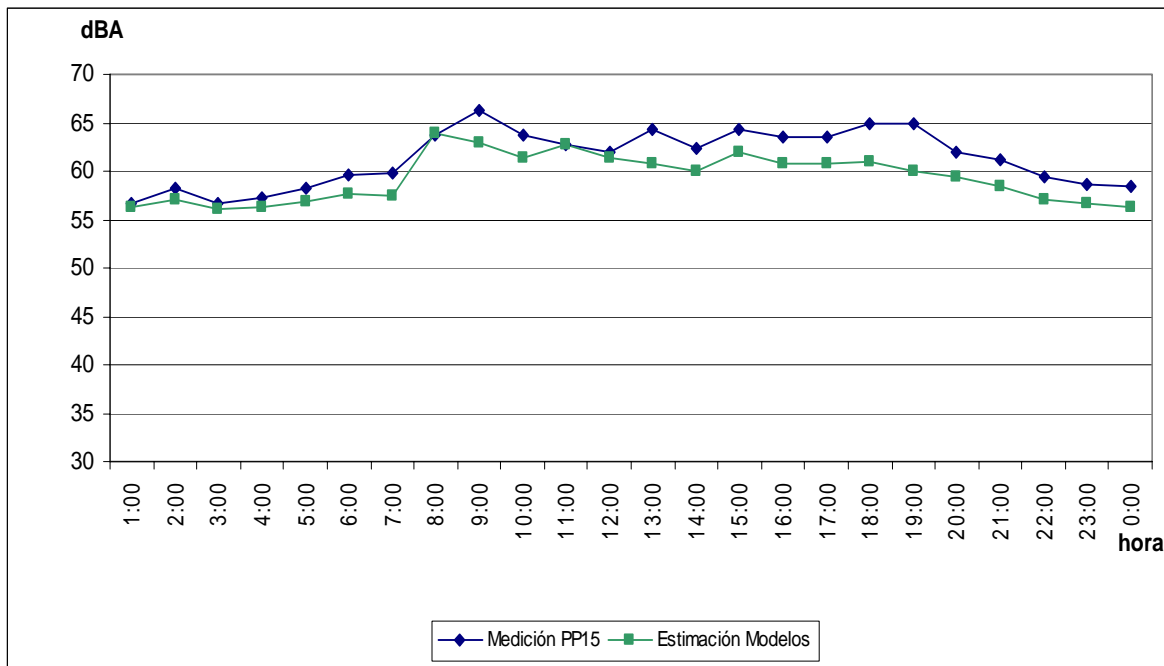
Tabla 20. Comparación Niveles Medidos y Modelados,
Lunes 13 de Junio 2005

Hora	Modelo tráfico vehicular	Modelo Homologación DS146	Suma Energética Ambos modelos	Nivel de Ruido medido en estación PP15	Diferencia Absoluta
	Proyección ruido de tráfico sobre la población	Proyección de ruido Generado por Enap Sobre la población			
	dBA	dBA	dBA	dBA	dB
1:00	46.8	55.7	56.2	56.6	0.4
2:00	48.7	56.3	57	58.3	1.3
3:00	40.8	55.8	56	56.7	0.7
4:00	43.4	56	56.3	57.2	0.9
5:00	46.8	56.5	56.9	58.3	1.4
6:00	47.9	57.1	57.6	59.6	2.1
7:00	48	56.8	57.4	59.8	2.5
8:00	62.7	57.5	63.9	63.8	0.1
9:00	61.2	57.9	62.9	66.3	3.4
10:00	58.9	57.6	61.3	63.8	2.5

11:00	57.9	60.9	62.7	62.8	0.1
12:00	58.6	58.2	61.4	62	0.6
13:00	58.1	57.5	60.8	64.3	3.5
14:00	57.3	56.7	60	62.4	2.4
15:00	59	58.8	61.9	64.3	2.4
16:00	58.5	56.8	60.8	63.5	2.7
17:00	58.7	56.8	60.9	63.6	2.8
18:00	58.3	57.8	61	64.8	3.8
19:00	57.5	56.6	60.1	64.9	4.8
20:00	56.6	56.1	59.3	61.9	2.6
21:00	55.5	55.2	58.4	61.2	2.8
22:00	52.9	55.1	57.2	59.4	2.2
23:00	51.5	55.2	56.7	58.6	1.8
0:00	50.1	55.1	56.3	58.3	2.1

Fuente [Elaboración propia].

*Gráfico 7. Comparación Niveles Medidos y Modelados,
Lunes 13 de Junio 2005*



Fuente [Elaboración propia].

De acuerdo a las gráficas se aprecia la coherencia del resultado de proyección en comparación a los niveles reales de ruido del lugar. La suma

energética de los modelos no supera a los niveles medidos en PP15 y las curvas presentan similar comportamiento temporal.

8.2. Ecuación de ruido de tráfico

Para la verificación de las ecuaciones de ruido de tráfico, se realizaron cuatro mediciones en terreno, en el mismo punto en que se realizaron las campañas de medición, esto es alejado de la refinería y a una distancia de 10 metros del camino.

La siguiente tabla compara el nivel real medido y la predicción de la ecuación de tráfico de acuerdo a la cantidad de vehículos.

Tabla 21. Comparación entre ecuación de predicción de ruido de tráfico y nivel medido, Martes 11 de Octubre 2005.

Hora	Vehículos/hora	Leq ecuación Simple dBA	Leq medido dBA
14:00	559	69.7	70.4
15:00	511	69.3	70.0

Fuente [Elaboración propia].

Tabla 22. Comparación entre ecuación de predicción de ruido de tráfico y nivel medido, Miércoles 12 de Octubre 2005.

Hora	Vehículos/hora	Leq ecuación Simple dBA	Leq medido dBA
20:00	683	70.6	69.9
21:00	457	68.8	69.7

Fuente [Elaboración propia].

De acuerdo a estos resultados específicos, se aprecia que la ecuación de predicción de ruido entrega niveles bastante aproximados a los medidos en terreno, lo que sugiere que pueda utilizarse de actualización de datos en el tiempo, evitando de esta manera realizar campañas de medición, limitándose sólo al conteo de flujo vehicular, por lo menos a corto plazo.

9. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un modelo de propagación de ruido de tráfico, para la Avenida Ribera Norte sector Población el Triángulo, el cual toma como factores las condiciones climáticas propias del lugar. Este modelo resultó ser aceptable de acuerdo a las comparaciones y proyecciones realizadas en el desarrollo de este trabajo.

Se propuso el Leq hora como índice de valorización, con la finalidad de representar de forma más detallada las emisiones de ruido en cada período del día. Esto permitió obtener muy buenos resultados en los períodos diurnos y nocturnos (con mayor tráfico), que se reflejan en la estabilidad del Leq y la correlación estadística de éste con el flujo vehicular. Sin embargo, este índice no resulta adecuado en los horarios de madrugada en que existe poco tráfico, debido a la poca estabilidad del Leq durante la medición en comparación a horas del día y tarde. Se propone como línea de investigación futura, un estudio del incremento del nivel de ruido del paso individual de vehículos sobre el ruido de fondo, y así evaluar si estos eventos pueden repercutir de alguna manera en la población, como por ejemplo en interrupción del sueño.

De acuerdo a los niveles de ruido proyectados para el tráfico vehicular, éstos tienen mayor incidencia durante el período diurno que va desde las 07:00 AM a las 21:00 PM, período en el cual también existe mayor tráfico vehicular, lo que demuestra la correlación existente entre nivel de ruido y flujo vehicular.

El horario entre las 7:00 y 8:00 de la mañana, resulta ser el que presenta mayor cantidad de vehículos (aproximadamente 1000 vehículos/hora), sin embargo al comparar el nivel de ruido de este horario (71.9dBA) con los 71.4dBA que existen entre las 10:00 y 11:00AM, la diferencia de nivel es de 0.5dB, siendo que en este último la cantidad de vehículos sólo alcanza a

560. Esto se explica por la mayor cantidad de vehículos pesados que transitan en este horario (75 y 130 vehículos pesados respectivamente), lo cual da cuenta de la real influencia de nivel entre vehículos pesados y livianos

Se proyectaron índices de valorización anual de ruido (L_d , L_n , L_{eq24}), mediante la modelación entre las mediciones de ruido y promedios meteorológicos mensuales. Esto permitió evaluar los resultados con normativas y criterios ambientales internacionales.

De acuerdo a límites máximos de inmisión de ruido descritos en la Legislación Suiza, el ruido proyectado por el tráfico vehicular supera en 5dB el límite máximo ambiental en los períodos diurno y nocturno. Sin embargo, el límite de alarma establecido en 70dBA diurno y 65 dBA nocturno, no es sobrepasado por la proyección calculada.

Considerando la emisión de ruido del tráfico y según los índices anuales de ruido entregado por el modelo, no existe riesgo de daño auditivo en las personas de la población el Triángulo, ya que el índice L_{eq24} arroja como promedio anual 63dBA, el cual está 7dB por debajo del límite de riesgo leve que señalado por la EPA (Environmental Protection Agency).

El nivel equivalente día (65.1dBA) y nivel equivalente noche (54.8dBA) calculado para el año 2004, se encuentran dentro del valor límite para las condiciones de aceptabilidad del criterio de la OECD (65dBA y 55dBA respectivamente), por lo tanto se concluye que los niveles son aceptables para ambos períodos del día considerando como fuente única el tráfico.

La EEA (Agencia Ambiental Europea) y la Organización Mundial de la Salud OMS, a pesar de tener índices de valorización distintos, coinciden en que

los niveles para tráfico vehicular calculados provocan molestia y perturbación del sueño, diferenciándose solamente en que para la OMS la molestia es de carácter seria.

La comparación del modelo propuesto en este trabajo, y el propuesto por Freddy Guzmán Garcés [Guzmán 2006], en suma dan cuenta del grado de aproximación de los niveles de ruido registrados en el monitor de la población PP15. Lo cual lleva, bajo esta perspectiva, una aceptabilidad del modelo de propagación.

De acuerdo a los datos estudiados en este trabajo, las ecuaciones de ruido de tráfico arrojaron un coeficiente de correlación cercano a 1, lo que demuestra la estabilidad del L_{eq} y la homogeneidad del tráfico vehicular en el lugar de estudio. Sin embargo, cabe destacar que el coeficiente de correlación se calculó para un solo punto, por lo tanto, el modelo sólo es válido para ese lugar y bajo las condiciones en que se desarrolló este trabajo.

Las ecuaciones de ruido de tráfico basadas en regresión lineal, son más representativas en escenarios donde los vehículos no presentan aceleraciones y/o desaceleraciones que alteran el campo sonoro en el punto de observación, siendo más exactos en lugares con flujo más homogéneo como troncales, carreteras, autopistas que en calles o redes viales urbanas donde existen semáforos y bifurcaciones.

10. LINEAS DE INVESTIGACION FUTURA

Complementar los resultados obtenidos en este trabajo, desarrollando encuestas a la población que permitan obtener la valorización subjetiva del ruido ambiental.

Realizar un estudio de impacto acústico para el paso individual de vehículos en los horarios de madrugada, donde el Leqhora no es un adecuado índice de valorización debido a la poca cantidad de vehículos en ese período.

Ajustar el modelo de propagación de acuerdo a las variaciones del flujo vehicular que puedan existir a mediano o a largo plazo.

Elaborar un modelo de propagación simple de ruido que permita realizar cálculos directamente en banda ancha incluyendo las correcciones por viento.

11. REFERENCIAS

Referencias Bibliográficas citadas

- [Ambiente Consultores 2001] *“Elaboración de propuesta de normativa para la regulación de la contaminación acústica generada por carreteras y autopistas”*. Disponible en página web de la Comisión Nacional del Medio Ambiente de la República de Chile.
www.conama.cl
- [Antillanca 2005] Antillanca C., Pedro (2005). *“Influencia de la actividad turística en el ruido ambiental de una ciudad pequeña. Caracterización Acústica de Castro”*
- [CONAMA 2006] Página web de la Comisión Nacional del Medio Ambiente de la República de Chile. Disponible en:
www.conama.cl
- [Concawe 1981] Concawe (1981). *“The Propagation of Noise from Petroleum and Petrochemical Complexes to neighbouring Communities”*
- [Guzmán 2006] Guzmán G., Freddy. (2006). *“Implementación de una Red de Monitoreo Continuo de Ruido en ENAP Refinerías Bio Bio”*
- [Harris 1998] Cyril M. Harris (1998). *“Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido”*. Editorial Mc Graw-Hill.

- [ISO 1993] International Standard, ISO 9613-1:1993, Acoustics – “Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.”
- ISO 1996] International Standard, ISO 9613-2:1996, Acoustics – “Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General method of calculation.”
- [Miyara 1999] Miyara, Federico (1999). “Modelización del Tránsito Automotor.”
- [OPB 1986] Extracto Reglamento N° 814.41, Sobre la Protección Contra el ruido. Disponible en: www.ruidos.org
- [Ribera Norte 2005] Página web del Proyecto Proyecto Vial Costanera Ribera Norte, consultada en 2005. Disponible en: www.riberanorte.cl
- [Sepúlveda 2000] Sepúlveda C., Carlos (2000). “Estado del arte en análisis y predicción de ruido vehicular”
- [Suárez 2002] Suárez S., Enrique (2002). “Metodologías Simplificadas para estudios en Acústica Ambiental: Aplicación en la Isla de Menorca.”

Referencias Bibliográficas

- Sound Plan (1996). *“Handbook of Thechnical Acoustics in Sound Plan”*.
- Jonasson, Hans G. (2000). *“Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise”*.
- Beranek, Leo L. (1993). *“Acoustics”*.
- Valdebenito S., Marco (2004) Tesis: *“Optimización del Método de Medición de Nivel de Ruido en Vías Urbanas con Transporte Público de pasajeros”*.
- Bruel&Kjaer (2000) *“Ruido Ambiental”*
- Reglamento No. 814.41 (Extracto 1996). Sobre la Protección contra el ruido (OPB). Legislación confederación Suiza.

12. ANEXOS

Los siguientes anexos se encuentran disponibles en el CD adjunto.

Anexo 1. Resumen de Mediciones en terreno

Anexo 2. Ecuaciones de corrección por viento. Método Concawe.

Anexo 3. Condiciones ambientales (Ejemplo capítulo 6.3)

ANEXO 1.

Resumen Mediciones en Terreno

NOTA: Mediciones efectuadas a 10 metros de la vía y 1.5 metros de altura. Período Sept

Jueves 23 Septiembre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
19:00	69.7	817	71	3	891
20:00	68.8	702	72	3	777
21:00	66.9	300	35	1	336

Lunes 27 Septiembre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
10:00	70.3	439	115	0	554
11:00	71.5	425	124	0	549
12:00	71.1	503	122	0	625
21:00	69	316	29	3	348
22:00	66.7	243	22	2	267

Miércoles 29 Septiembre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
7:00	65	179	15	0	194
8:00	71.7	915	79	6	1000
9:00	71.8	831	85	3	919
23:00	63.4	179	16	0	195
0:00	64	178	15	2	195

Viernes 1 Octubre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
15:00	70	438	71	1	510
16:00	70.3	517	119	0	636

Lunes 4 Octubre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
10:00	71	421	123	0	544
11:00	71.2	435	136	0	571
12:00	71.3	521	130	0	651
19:00	70.7	801	79	5	885
20:00	70.4	722	80	1	803

Martes 5 Octubre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
13:00	71.3	549	96	2	647
14:00	69.8	474	90	0	564
17:00	71.5	552	104	0	656
18:00	71	715	47	1	763
22:00	65	229	26	0	255
23:00	65	191	12	0	203
0:00	61.5	178	15	2	195

Jueves 7 Octubre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
1:00	60.1	92	3	0	95
2:00	58.3	45	7	0	52
3:00	53.2	15	2	0	17
14:00	70.5	486	58	3	547
15:00	71.1	458	69	1	528

Lunes 11 Octubre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
8:00	72.1	945	71	4	1020
9:00	72.4	805	91	1	897
16:00	71.1	541	113	2	656
17:00	70.8	578	116	0	694
18:00	71.7	691	55	1	747

Miércoles 13 Octubre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
4:00	57.7	23	3	0	26
5:00	58.5	51	5	0	56
6:00	58.8	37	6	0	43

Viernes 15 Octubre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
1:00	59.6	100	1	0	101
2:00	58.5	57	11	0	68
3:00	53.1	9	0	0	9
13:00	70.4	540	91	3	634

Martes 19 Octubre 2004

Horario	Leq	Livianos	Pesados	Motos	Total
4:00	55.5	19	1	0	20
5:00	59	41	7	0	48
6:00	58	47	10	0	57
7:00	63.9	155	11	0	166

Anexo 2.

Ecuaciones de corrección por viento. Método Concawe.

Categorización meteorológica			
Categoría meteorológica	Categorización de Pasquill		
	A, B	C, D, E	F, G
1	$v < -3,0$	--	--
2	$-3,0 < v < -0,5$	$v < -3,0$	--
3	$-0,5 < v < +0,5$	$-3,0 < v < -0,5$	$v < -3,0$
4	$+0,5 < v < +3,0$	$-0,5 < v < +0,5$	$-3,0 < v < -0,5$
5	$v > +3,0$	$+0,5 < v < +3,0$	$-0,5 < v < +0,5$
6	--	$v > +3,0$	$+0,5 < v < +3,0$

Para la categoría 4, todas las correcciones por efectos meteorológicos son cero.
 Para las demás categorías se definen las siguientes ecuaciones:

63 Hz:

$$A_{Cmet,categoría1} = -38,9 + 26,4(Logd) - 2,84(Logd)^2 - 0,234(Logd)^3 \quad \dots(7.17)$$

$$A_{Cmet,categoría2} = 16,1 - 28,43(Logd) + 14,4(Logd)^2 - 2,1(Logd)^3 \quad \dots(7.18)$$

$$A_{Cmet,categoría3} = -4 + 2(Logd) \quad \dots(7.19)$$

$$A_{Cmet,categoría5} = 3,35 - 2,26(Logd) + 0,407(Logd)^2 - 0,0572(Logd)^3 \quad \dots(7.20)$$

$$A_{Cmet,categoría6} = 69,3 - 73,2(Logd) + 24,688(Logd)^2 - 2,7531(Logd)^3 \quad \dots(7.21)$$

125 Hz:

$$A_{Cmet,categoría1} = -137 + 142(Logd) - 46.8(Logd)^2 + 5.14(Logd)^3 \quad \dots(7.22)$$

$$A_{Cmet,categoría2} = -23.2 + 19.53(Logd) - 4.646(Logd)^2 - 0,3358(Logd)^3 \quad \dots(7.23)$$

$$A_{Cmet,categoría3} = -3 + 1.5(Logd) \quad \dots(7.24)$$

$$A_{Cmet,categoría5} = 6.8 - 3.4(Logd) \quad \dots(7.25)$$

$$A_{Cmet,categoría6} = 29.5 - 25.62(Logd) + 6.286(Logd)^2 - 0,4904(Logd)^3 \quad \dots(7.26)$$

250 Hz:

$$A_{Cmet,categoría1} = -104 + 100(Logd) - 30.3(Logd)^2 + 3.03(Logd)^3 \quad \dots(7.27)$$

$$A_{Cmet,categoría2} = -84.8 + 91.93(Logd) - 30.873(Logd)^2 + 3.4295(Logd)^3 \quad \dots(7.28)$$

$$A_{Cmet,categoría3} = -100.6 + 101.23(Logd) - 32.352(Logd)^2 + 3.4306(Logd)^3 \quad \dots(7.29)$$

$$A_{Cmet,categoría5} = 7.4 - 4.2(Logd) \quad \dots(7.30)$$

$$A_{Cmet,categoría6} = 31.7 - 23.81(Logd) + 4.055(Logd)^2 - 0.1043(Logd)^3 \quad \dots(7.31)$$

500 Hz:

$$A_{Cmet,categoría1} = -20.9 + 3.86(Logd) + 6.39(Logd)^2 - 1.43(Logd)^3 \quad \dots(7.32)$$

$$A_{Cmet,categoría2} = -133.7 + 142.63(Logd) - 47.851(Logd)^2 + 5.3118(Logd)^3 \quad \dots(7.33)$$

$$A_{Cmet,categoría3} = -96.8 + 102.98(Logd) - 34.868(Logd)^2 + 3.9016(Logd)^3 \quad \dots(7.34)$$

$$A_{Cmet,categoría5} = 7.4 - 4.2(Logd) \quad \dots(7.35)$$

$$A_{Cmet,categoría6} = 19.8 - 8.8(Logd) - 2.035(Logd)^2 + 0.6747(Logd)^3 \quad \dots(7.36)$$

1000 Hz:

$$A_{Cmet,categoría1} = -54.3 + 39(Logd) - 4.92(Logd)^2 - 0.239(Logd)^3 \quad \dots(7.37)$$

$$A_{Cmet,categoría2} = -148.2 + 164.99(Logd) - 56.287(Logd)^2 + 6.3422(Logd)^3 \quad \dots(7.38)$$

$$A_{Cmet,categoría3} = -150 + 160.95(Logd) - 54.786(Logd)^2 + 6.1604(Logd)^3 \quad \dots(7.39)$$

$$A_{Cmet,categoría5} = 104.6 - 108.03(Logd) + 35.295(Logd)^2 - 3.8227(Logd)^3 \quad \dots(7.40)$$

$$A_{Cmet,categoría6} = 123.4 - 127.6(Logd) + 42.017(Logd)^2 - 4.584(Logd)^3 \quad \dots(7.41)$$

2000 Hz:

$$A_{Cmet,categoría1} = -69.9 + 63.6(Logd) - 16.9(Logd)^2 + 1.43(Logd)^3 \quad \dots(7.42)$$

$$A_{Cmet,categoría2} = -143 + 142.18(Logd) - 44.509(Logd)^2 + 4.6195(Logd)^3 \quad \dots(7.43)$$

$$A_{Cmet,categoría3} = -116.3 + 120.85(Logd) - 39.944(Logd)^2 + 4.378(Logd)^3 \quad \dots(7.44)$$

$$A_{Cmet,categoría5} = 60.3 - 64.07(Logd) + 21.458(Logd)^2 - 2.3784(Logd)^3 \quad \dots(7.45)$$

$$A_{Cmet,categoría6} = 82.3 - 90.98(Logd) + 31.444(Logd)^2 - 3.584(Logd)^3 \quad \dots(7.46)$$

4000 Hz:

$$A_{Cmet,categoría1} = -126 + 128(Logd) - 40.4(Logd)^2 + 4.24(Logd)^3 \quad \dots(7.47)$$

$$A_{Cmet,categoría2} = -125.4 + 124.75(Logd) - 38.807(Logd)^2 + 4.017(Logd)^3 \quad \dots(7.48)$$

$$A_{Cmet,categoría3} = -127.5 + 135.12(Logd) - 45.709(Logd)^2 + 5.1113(Logd)^3 \quad \dots(7.49)$$

$$A_{Cmet,categoría5} = 28.7 - 20.1(Logd) + 2.68(Logd)^2 + 0.0957(Logd)^3 \quad \dots(7.50)$$

$$A_{Cmet,categoría6} = 66.4 - 60.77(Logd) + 16.409(Logd)^2 - 1.4457(Logd)^3 \quad \dots(7.51)$$

ANEXO 3

Condiciones de viento para el día Martes 7 de Septiembre 2004

Hora	Petrox Wind dir 010 [M]	Petrox Wind spee 010 [M]	Hora	Petrox Wind dir 010 [M]	Petrox Wind spee 010 [M]
0:05:00	292.30	1.88	4:30:00	112.40	1.79
0:10:00	292.40	2.08	4:35:00	116.90	1.76
0:15:00	294.00	2.02	4:40:00	130.90	1.75
0:20:00	302.70	1.97	4:45:00	130.40	2.17
0:25:00	302.80	1.74	4:50:00	144.20	2.76
0:30:00	294.50	1.74	4:55:00	129.20	2.60
0:35:00	294.50	1.63	5:00:00	135.40	1.92
0:40:00	294.20	2.09	5:05:00	138.20	2.29
0:45:00	296.40	2.11	5:10:00	136.60	2.04
0:50:00	298.20	2.21	5:15:00	138.60	2.06
0:55:00	301.60	2.21	5:20:00	148.60	2.57
1:00:00	302.80	2.04	5:25:00	151.90	1.81
1:05:00	299.80	1.83	5:30:00	127.10	1.66
1:10:00	18.90	1.38	5:35:00	67.27	2.19
1:15:00	99.60	1.70	5:40:00	358.80	2.80
1:20:00	100.20	0.69	5:45:00	29.54	1.35
1:25:00	86.70	1.96	5:50:00	63.36	1.31
1:30:00	79.40	0.60	5:55:00	75.20	1.04
1:35:00	87.40	1.67	6:00:00	96.30	1.87
1:40:00	75.10	1.25	6:05:00	115.80	2.94
1:45:00	55.67	0.47	6:10:00	122.60	2.45
1:50:00	60.61	0.00	6:15:00	131.60	2.14
1:55:00	66.01	0.00	6:20:00	103.10	1.68
2:00:00	63.25	0.00	6:25:00	100.00	2.15
2:05:00	84.40	1.52	6:30:00	117.50	2.20
2:10:00	89.70	2.52	6:35:00	116.70	1.98
2:15:00	86.50	2.09	6:40:00	115.40	2.21
2:20:00	81.30	2.27	6:45:00	115.30	1.99
2:25:00	114.60	2.76	6:50:00	106.90	1.64
2:30:00	148.20	3.73	6:55:00	113.90	1.63
2:35:00	127.30	2.07	7:00:00	110.50	1.97
2:40:00	135.40	1.73	7:05:00	108.50	2.04
2:45:00	117.00	1.73	7:10:00	107.60	1.81
2:50:00	103.10	1.56	7:15:00	107.00	2.05
2:55:00	96.40	2.00	7:20:00	106.90	1.81
3:00:00	99.40	2.14	7:25:00	106.40	1.41
3:05:00	100.70	2.34	7:30:00	115.90	2.43
3:10:00	101.20	2.05	7:35:00	118.10	2.82
3:15:00	94.60	1.75	7:40:00	113.80	2.16
3:20:00	89.60	1.79	7:45:00	119.80	1.89
3:25:00	107.00	1.80	7:50:00	307.70	2.47
3:30:00	118.50	1.49	7:55:00	277.60	2.67
3:35:00	114.20	1.82	8:00:00	237.90	1.19
3:40:00	115.20	1.82	8:05:00	270.00	0.52
3:45:00	108.00	1.85	8:10:00	313.50	0.15
3:50:00	103.30	1.93	8:15:00	78.70	0.66
3:55:00	102.00	2.37	8:20:00	96.90	0.35
4:00:00	110.10	2.53	8:25:00	126.50	0.64
4:05:00	120.80	2.59	8:30:00	127.90	2.07
4:10:00	116.50	2.68	8:35:00	133.40	2.88
4:15:00	118.30	2.57	8:40:00	136.90	3.08
4:20:00	119.40	1.89	8:45:00	131.50	2.51
4:25:00	112.00	2.18	8:50:00	144.10	2.59
4:30:00	112.40	1.79	8:55:00	139.10	2.60
4:35:00	116.90	1.76	9:00:00	133.80	2.07
4:40:00	130.90	1.75	9:05:00	137.50	2.40
4:45:00	130.40	2.17	9:10:00	139.10	2.57

9:15:00	134.10	2.83	14:20:00	242.50	2.95
9:20:00	124.50	2.84	14:25:00	260.10	2.97
9:25:00	119.90	2.76	14:30:00	237.50	2.94
9:30:00	115.50	2.81	14:35:00	207.10	3.56
9:35:00	110.40	2.24	14:40:00	200.30	3.69
9:40:00	102.40	2.50	14:45:00	205.10	3.45
9:45:00	87.60	2.24	14:50:00	202.90	3.30
9:50:00	86.70	2.22	14:55:00	208.00	3.15
9:55:00	72.20	2.29	15:00:00	204.10	3.69
10:00:00	78.10	1.68	15:05:00	205.80	3.17
10:05:00	71.00	2.02	15:10:00	244.10	3.11
10:10:00	64.80	2.34	15:15:00	219.00	3.15
10:15:00	78.00	2.12	15:20:00	212.80	2.92
10:20:00	74.70	1.37	15:25:00	209.10	3.17
10:25:00	69.38	1.81	15:30:00	235.90	4.09
10:30:00	76.00	0.59	15:35:00	230.70	3.26
10:35:00	98.10	1.13	15:40:00	220.70	3.31
10:40:00	82.40	1.56	15:45:00	213.60	2.33
10:45:00	83.40	1.70	15:50:00	224.70	3.43
10:50:00	85.80	1.91	15:55:00	232.80	3.56
10:55:00	74.40	1.43	16:00:00	210.30	2.88
11:00:00	39.19	1.56	16:05:00	223.40	3.08
11:05:00	56.43	1.46	16:10:00	212.20	2.50
11:10:00	64.96	2.48	16:15:00	220.40	2.69
11:15:00	48.00	1.77	16:20:00	211.00	3.65
11:20:00	11.25	1.68	16:25:00	233.40	3.99
11:25:00	355.80	2.33	16:30:00	227.80	3.63
11:30:00	347.80	2.39	16:35:00	223.10	3.83
11:35:00	25.70	2.09	16:40:00	240.50	2.97
11:40:00	343.30	1.28	16:45:00	232.70	3.89
11:45:00	294.60	1.47	16:50:00	233.40	3.91
11:50:00	268.10	0.30	16:55:00	221.60	3.10
11:55:00	320.00	1.97	17:00:00	227.40	2.47
12:00:00	315.00	2.48	17:05:00	226.20	3.24
12:05:00	315.30	1.75	17:10:00	229.90	2.80
12:10:00	310.70	2.37	17:15:00	211.70	4.03
12:15:00	307.00	2.32	17:20:00	221.00	3.72
12:20:00	328.60	2.28	17:25:00	228.70	4.08
12:25:00	327.90	2.82	17:30:00	210.80	3.12
12:30:00	307.40	2.54	17:35:00	214.60	3.68
12:35:00	299.50	2.58	17:40:00	216.30	3.45
12:40:00	305.20	2.52	17:45:00	224.10	3.72
12:45:00	309.60	3.17	17:50:00	227.90	4.08
12:50:00	313.40	2.91	17:55:00	217.20	3.39
12:55:00	312.00	3.21	18:00:00	215.30	2.65
13:00:00	309.00	2.78	18:05:00	221.30	3.58
13:05:00	318.10	2.62	18:10:00	213.80	3.82
13:10:00	324.20	2.99	18:15:00	214.10	2.83
13:15:00	302.10	2.94	18:20:00	214.70	2.90
13:20:00	316.40	2.63	18:25:00	223.70	2.78
13:25:00	314.50	2.76	18:30:00	221.70	2.60
13:30:00	296.90	2.59	18:35:00	218.20	2.54
13:35:00	301.80	3.03	18:40:00	218.00	2.48
13:40:00	306.90	2.72	18:45:00	221.60	2.73
13:45:00	320.40	3.38	18:50:00	221.30	2.80
13:50:00	319.30	2.63	18:55:00	227.00	2.62
13:55:00	306.20	2.80	19:00:00	226.30	2.65
14:00:00	310.20	2.70	19:05:00	226.30	2.32
14:05:00	304.50	2.48	19:10:00	219.10	2.46
14:10:00	271.60	2.67	19:15:00	221.90	2.72
14:15:00	228.10	3.72	19:20:00	217.80	2.84

			Hora	Metmast Petrox Glob rad 002 [M] Value
19:25:00	221.00	3.83		
19:30:00	220.50	3.60	00:00	0.81
19:35:00	219.60	2.83	01:00	0.25
19:40:00	218.20	3.35	02:00	0.21
19:45:00	220.80	3.73	03:00	0.20
19:50:00	217.90	3.62	04:00	0.24
19:55:00	217.10	4.27	05:00	0.33
20:00:00	215.30	3.83	06:00	0.28
20:05:00	215.00	3.47	07:00	22.04
20:10:00	211.00	3.21	08:00	58.22
20:15:00	205.90	4.03	09:00	312.00
20:20:00	196.80	2.68	10:00	518.40
20:25:00	198.20	2.65	11:00	706.00
20:30:00	194.80	2.74	12:00	812.00
20:35:00	187.70	4.19	13:00	769.00
20:40:00	189.30	4.13	14:00	577.80
20:45:00	188.00	4.12	15:00	529.30
20:50:00	185.50	4.37	16:00	389.90
20:55:00	182.00	3.64	17:00	201.40
21:00:00	179.00	2.98	18:00	31.25
21:05:00	171.90	2.59	19:00	0.02
21:10:00	173.70	2.57	20:00	0.01
21:15:00	174.60	2.11	21:00	0.02
21:20:00	177.30	2.42	22:00	0.01
21:25:00	179.70	2.58	23:00	0.00
21:30:00	177.80	2.49		
21:35:00	177.50	2.31		
21:40:00	177.30	2.15		
21:45:00	175.60	2.19		
21:50:00	174.00	2.12		
21:55:00	173.90	2.32		
22:00:00	176.50	2.45		
22:05:00	179.60	2.79		
22:10:00	178.90	2.85		
22:15:00	177.90	2.55		
22:20:00	176.80	2.37		
22:25:00	177.20	2.38		
22:30:00	178.10	2.36		
22:35:00	177.30	2.28		
22:40:00	175.00	2.40		
22:45:00	177.00	2.45		
22:50:00	176.20	2.63		
22:55:00	176.20	2.53		
23:00:00	174.60	2.35		
23:05:00	173.90	2.33		
23:10:00	176.80	2.23		
23:15:00	174.00	2.08		
23:20:00	173.00	2.23		
23:25:00	175.80	2.22		
23:30:00	176.80	2.21		
23:35:00	175.00	2.46		
23:40:00	174.40	2.58		
23:45:00	166.90	2.58		
23:50:00	168.90	2.12		
23:55:00	174.30	1.88		
0:00:00	174.30	1.88		