

**ALGORITMO DE PREDICCIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO RODADO,
APLICADO A LA AUTOPISTA NORTE ENTRE LA CALLE 127
HASTA LA CALLE 168**

JUAN CARLOS PEÑA GUTIÉRREZ

PROYECTO DE GRADO

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ, FEBRERO DE 2012**

**ALGORITMO DE PREDICCIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO RODADO,
APLICADO A LA AUTOPISTA NORTE ENTRE LA CALLE 127
HASTA LA CALLE 168**

JUAN CARLOS PEÑA GUTIÉRREZ

**DIRECTOR DE TESIS:
ALEXANDER ORTEGA GRIBENCHENKO**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ, FEBRERO DE 2012**

Nota de Aceptación

Firma del Jurado

Firma del Jurado

10 de Febrero de 2012

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	15
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
INTRODUCCIÓN	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1. ANTECEDENTES.....	20
1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	24
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
1.4.1. Objetivo General.....	25
1.4.2. Objetivos Específicos	25
2. MARCO DE REFERENCIA	26
2.1. MARCO CONCEPTUAL	26
2.1.1. Mapas de Ruido	26
2.1.2. Ruido Vehicular	26
2.1.2.1. Ruido del Motor	27
2.1.2.2. El ruido aerodinámico o de turbulencia	27
2.1.2.3. El ruido de rodadura.....	27
2.1.3. Métodos de Predicción de Ruido de Tráfico	28
2.1.3.1. Modelo Alemán RLS-90	28
2.1.3.2. Modelo del Reino Unido UK-CoRTN	38
2.1.3.3. Modelo Escandinavo Statens Planverk 48	46
2.1.3.4. Modelo Francés NMPB-Routes-96.....	52
2.1.4. Indicadores de Ruido y su Aplicación	56
2.1.4.1. Valores Límites.....	56
2.1.4.2. Definición del Nivel Día-Tarde-Noche L_{den}	56
2.1.4.3. Definición del Indicador de Ruido en Período Nocturno	58
2.1.4.4. Indicadores de Ruido Suplementarios.....	58
2.1.4.5. Métodos de Cálculo Provisionales de L_{den} y L_{night}	59
2.1.4.6. Métodos de Cálculo Provisionales Recomendados	60
2.1.5. Requisitos Mínimos Sobre el Cartografiado Estratégico del Ruido	61
2.2. MARCO LEGAL	63

2.2.1.	Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo	63
2.2.2.	Objetivos Directiva 2002/49/CE	63
2.2.3.	Aplicación	64
2.2.4.	ISO 1996-1:2003	65
2.2.5.	ISO 1996-2:2007	65
3.	METODOLOGÍA	67
3.1.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	67
3.1.1.	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA	67
3.2.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	68
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	69
3.4.	HIPÓTESIS.....	69
3.5.	VARIABLES	69
3.5.1.	Independientes	69
3.5.2.	Dependientes	70
4.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	71
4.1.	DATOS GENERALES.....	71
4.2.	AUTOPISTA NORTE	73
4.2.1.	Perfiles Longitudinales	73
4.2.1.1.	Sección Sin Estación de Transmilenio	73
4.2.1.2.	Componentes de las Secciones Transversales.....	74
4.2.2.	Pendiente	75
4.2.3.	Tipos de Flujos de Tráfico	76
4.2.3.1.	Flujo Continuo Fluido	76
4.2.3.2.	Flujo Acelerado y Flujo decelerado en Pulsos.....	77
4.2.4.	Tipo de Pavimento	78
4.2.5.	Tamaño de las Lozas	79
4.3.	PARALELA	79
4.3.1.	Perfiles Longitudinales	79
4.3.1.1.	Componentes de las Secciones Transversales.....	79
4.3.2.	Pendiente	80
4.3.3.	Tipo de Flujo de Tráfico.....	80
4.3.4.	Tipo de Pavimento	80
4.4.	DENSIDAD VEHICULAR.....	80

4.4.1.	Volumen Vehicular	81
4.4.1.1.	Vehículos Livianos	81
4.4.1.2.	Vehículos pesados	81
4.4.2.	Conteo Vehicular	81
4.4.2.1.	Conteo Vehicular en las Secciones Generales	81
4.4.2.2.	Tráfico Mixto	82
4.4.2.3.	Tráfico Total Vehicular sobre la Autopista Norte y la Paralela.....	82
4.4.3.	Conteo Vehicular por Horas	84
4.4.4.	Conteo Transmilenio	85
4.4.4.1.	Velocidad Transmilenio	87
4.5.	PROTOCOLO DE MEDICIÓN	88
4.5.1.	Datos Generales.....	88
4.5.2.	Perfil del Sonómetro	88
4.5.3.	Perfiles de Medida.....	89
4.5.4.	Horarios	89
4.5.5.	Parámetros de Medida	90
4.5.6.	Distancia entre Puntos	91
4.5.7.	Intervalo de Medida	91
4.5.8.	Altura	91
4.5.9.	Condiciones Meteorológicas	92
4.5.10.	Ubicación de Puntos de Medición.....	93
4.6.	MÉTODO DE REALIZACIÓN DE LA MEDICIÓN	94
4.7.	RESULTADOS MEDICIÓN.....	96
4.7.1.	Datos Meteorológicos.....	96
4.7.2.	Resultados Periodo Mañana	101
4.7.3.	Resultados Jornada Tarde	103
4.7.4.	Regresión Lineal mediciones por Sentido Norte-Sur y Sur-Norte	105
Tabla 21: Tendencia.....		105
4.8.	COMPARACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE PREDICCIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO RODADO	107
4.8.1.	Análisis RLS-90	108
4.8.1.1.	Modelo Básico de Emisión	108
4.8.1.2.	Corrección por Velocidad (C_{speed}).....	110
4.8.1.3.	Gradiente.....	113
4.8.1.4.	Atenuación por divergencia geométrica y absorción del aire (C_{dist}).....	114
4.8.1.5.	Atenuación por suelo (C_{suelo}).....	116

4.8.1.6.	Modelo final	117
4.8.2.	Análisis Modelo del Reino Unido UK-CoRTN	117
4.8.2.1.	Nivel Básico de Ruido (L_{basic})	117
4.8.2.2.	Corrección por velocidad y ajustes por vehículos pesados (C_{speed})	119
4.8.2.3.	Corrección por Gradiente ($C_{gradiente}$)	123
4.8.2.4.	Corrección por distancia. (C_{dist})	124
4.8.2.5.	Atenuación por Suelo (C_{suelo})	126
4.8.2.6.	Corrección por ángulo de apertura (C_{angulo})	128
4.8.2.7.	Modelo Final.....	130
4.8.3.	Análisis Modelo Escandinavo Statens Planverk 48	130
4.8.3.1.	Modelo de emisión	130
4.8.3.2.	Corrección por velocidad de los vehículos livianos (C_{speed}).....	130
4.8.3.3.	Corrección por Intensidad de Tráfico ($C_{tráfico}$)	133
4.8.3.4.	Corrección por Vehículos Pesados (C_{truck})	133
4.8.3.5.	Corrección por gradiente de la vía ($C_{gradient}$).....	135
4.8.3.6.	Atenuación por divergencia geométrica (C_{dist}).....	136
	Tabla 35: Atenuación por divergencia geométrica	136
4.8.3.7.	Corrección por ángulo de apertura (C_{angulo}).....	137
4.8.3.8.	Modelo Final.....	138
4.8.4.	Análisis del Método Francés MNPB.....	138
4.8.4.1.	Análisis de Volumen de Vehículos	139
4.8.4.2.	Análisis Ancho de la Vía.....	139
4.8.4.3.	Análisis Método Final	140
4.9.	APLICAR SOFTWARE DE PREDICCIÓN.....	141
4.9.1.	División en sectores entre la calle 127 hasta la calle 168	141
4.9.1.1.	Datos Autopista Norte y Paralela	142
4.9.2.	Aplicar RLS-90 a la Autopista Norte.....	143
4.9.2.1.	Predicción en las Secciones Generales	143
4.9.2.2.	Predicción en los 32 Puntos de Recepción	144
4.9.2.3.	Predicción Periodo Día por Hora Calle 127	148
4.9.3.	Aplicar CoRTN a la Autopista Norte.....	150
4.9.3.1.	Predicción en las Secciones Generales	150
4.9.3.2.	Predicción en los 32 Puntos de Recepción	151
4.9.3.3.	Predicción Periodo Día por Hora Calle 127	155
	Tablas 46: Correcciones Predicción Día por Hora Calle 127	155
4.9.2.	Aplicar SP48 a la Autopista Norte.....	157
4.9.2.2.	Predicción en las Secciones Generales	157
	Tablas 47: Predicción secciones generales	157

4.9.2.3.	Predicción en los 32 Puntos de Recepción	158
4.9.2.4.	Predicción Periodo Día por Hora Calle 127	160
4.10.	MÉTODO DE PREDICCIÓN	161
4.10.1.	Evaluación del Modelo de Emisión Básico	161
4.10.1.1.	Evaluación Modelo RLS-90.....	161
4.10.1.2.	Evaluación Modelo Básico CoRTN	162
4.10.1.3.	Evaluación Modelo SP48	163
4.10.1.4.	Evaluación Modelo NMPB.....	164
5.	DESARROLLO INGENIERIL	165
5.1.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	165
5.2.	ALGORITMO DE PREDICCIÓN	170
5.2.1.	Software Utilizado	170
5.2.2.	Menú.....	171
5.2.3.	RLS-90	171
5.2.3.1.	Diagrama de Flujo de RLS-90.....	173
5.2.3.2.	Vista programa Modelo Alemán RLS-90.....	174
5.2.4.	CoRTN.....	175
5.2.4.1.	Diagrama de Flujo de CoRTN	176
5.2.4.2.	Vista programa Modelo del Reino Unido CoRTN.....	177
5.2.5.	NMPB	177
5.2.5.1.	Diagrama de Flujo de NMPB.....	178
5.2.5.2.	Vista programa Modelo Francés NMPB	179
5.3.	MAPA DE RUIDO AUTOPISTA NORTE ENTRE LAS CALLES 127-168	180
5.3.1.	Análisis Mapa de ruido	180
5.3.2.	Valoración de la población del sector expuesta al ruido	181
5.3.2.1.	Sectores Urbanos de Usaquéen	181
5.3.2.2.	Sectores Urbanos de Suba	182
5.3.3.	Población General	182
5.3.4.	Población de Industria y Servicio	184
5.3.5.	Ruido de Tráfico Rodado	185
5.3.6.	Planos de Ubicación de puntos y Predicción	186
	CONCLUSIONES	187
	RECOMENDACIONES	190
	GLOSARIO	192
	AGLOMERACIÓN.....	192

EVALUACIÓN	192
GRAN EJE VIARIO	192
INDICADOR DE RUIDO	192
MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO.....	192
RUIDO AMBIENTAL.....	192
ANEXO 1: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN	193
ANEXO 2: PROTOCOLO MEDICIÓN AUTOPISTA NORTE	195
ANEXO 3: RESULTADOS DE LA MEDICIÓN	198
ANEXO 4: DIMENSIONES DE LA VÍA	204
ANEXO 5: CONTEO VEHICULAR TOMADO POR LA SECRETARÍA DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ.....	207
ANEXO 6 ALGORITMOS	209
ANEXO 6.1. CÓDIGO MENÚ.....	209
ANEXO 6.2. CÓDIGO RLS-90	210
ANEXO 6.3. CÓDIGO UKCoRTN	220
ANEXO 6.4: CÓDIGO NMPB	228
BIBLIOGRAFÍA	234

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Contribución de fuentes de ruido en un vehículo según velocidad	28
Tabla 2: Ajustes según el tipo de superficie para el modelo RLS-90	31
Tabla 3: Valores del factor G según porcentaje de suelo absorbente.	42
Tabla 4: Valores de los coeficientes A_n para el cálculo de atenuación por apantallamiento en CorTN. Valores válidos para $-3 < x < 1,2$	44
Tabla 5: Corrección por Gradiente NMPB	55
Tabla 6: Medidas de la Autopista Norte Transversales	74
Tabla 7: Medidas de la Autopista Norte Planta	74
Tabla 8: Medidas de la Autopista Norte Planta Sección Transmilenio	75
Tabla 9: Ancho de los carriles y andenes	79
Tablas 10: Conteo vehicular secciones generales	82
Tabla 11: Flujo vehicular por horas dividido por jornadas en la Autopista Norte	84
Tabla 12: Aforo Transmilenio durante toda la jornada por horas día hábil.	86
Tabla 13: Datos protocolo de medición	88
Tabla 14: Datos Perfiles de Medida del Sonómetro	89
Tabla 15: Resultados Medición Preliminar	94
Tablas 16: Datos Meteorológicos	96
Tabla 17: Resultado Mañana Sur-Norte	101
Tabla 18: Resultado Mañana Norte-Sur	102
Tabla 19: Resultado Tarde Sur-Norte	103
Tabla 20: Resultado Tarde Norte-Sur	104
Tabla 21: Tendencia	105
Tabla 22: Comparación de los 4 métodos de predicción de ruido de tráfico rodado	107
Tabla 23: Porcentaje vehículos pesados	110
Tablas 24: Corrección Lcar y Ltruck	111
Tabla 25: Valores de C para la corrección C_{speed} .	111
Tabla 26: Corrección por Gradiente	114
Tabla 27: Atenuación por divergencia geométrica y absorción del aire	115
Tablas 28: Corrección por velocidad Cspeed	121
Tabla 29: Corrección por gradiente	123
Tabla 30: Corrección por distancia	125
Tabla 31: Atenuación por Suelo	127
Tabla 32: Angulo de Visión	129
Tabla 33: Corrección por velocidad de los vehículos livianos	131
Tabla 34: Corrección por gradiente de la vía	135
Tabla 35: Atenuación por divergencia geométrica	136
Tabla 36: Ancho de la vía	140
Tabla 37: Secciones Generales	141
Tablas 38: Datos Autopista	142

Tablas 39: Secciones Generales RLS-90	143
Tablas 40: Predicción 32 puntos sur-Norte	145
Tablas 41: Predicción 32 puntos Norte-Sur	146
Tablas 42: Correcciones Predicción periodo día	148
Tablas 43: Correcciones Predicción secciones generales	150
Tablas 44: Correcciones Predicción Puntos de Recepción Sur-Norte	151
Tablas 45: Correcciones Predicción Puntos de Recepción Norte-Sur	153
Tablas 46: Correcciones Predicción Día por Hora Calle 127	155
Tablas 47: Predicción secciones generales	157
Tablas 48: Correcciones Predicción 32 puntos de medición	158
Tablas 49: Comparación Medido-Calculado RLS-90	161
Tablas 50: Comparación Medido-Calculado CoRTN	163
Tablas 51: Comparación Medido-Calculado NMPB	164
Tabla 52: Resultados Medición Autopista Norte	166
Tabla 53: Comparación Medición y Métodos de Predicción Sentido Sur-Norte	166
Tabla 54: Porcentaje de Error entre la medición y los Métodos de predicción Sur-Norte	167
Tabla 55: Comparación Medición y Métodos de Predicción Sentido Norte-Sur	168
Tabla 56: Porcentaje de Error entre la medición y los Métodos de predicción Norte-Sur	169
Tabla 57: Tabla Censo Dane por Sexo	182
Tabla 58: Tabla Censo Dane por Edad Decenal	183
Tabla 59: Censo Dane por Tipo de Vivienda	184
Tabla 60: Censo Dane Uso de la Vivienda	184
Tabla 61: Censo Dane por Servicio	184
Tabla 62: Resultados medición de Ruido de Tráfico Rodado Sur-Norte	185
Tabla 63: Resultados medición de Ruido de Tráfico Rodado Norte-Sur	186

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Determinación de la altura promedio h_{prom} . h es la altura total de la línea de visión y L es la distancia horizontal entre la fuente y el receptor.	35
Figura 2: Medidas (metros) para determinar correcciones en el nivel de referencia y en la propagación.	41
Figura 3: Esquema de ángulos formados por las edificaciones en torno al punto de inmisión. Se muestra también el ángulo de apertura total A_{total}	45
Figura 4: Plano de reflexión del terreno para determinar h_r	50
Figura 5: Variables que intervienen en la ecuación para calcular C_{dist}	51
Figura 6: Plano General de Bogotá, con ubicación de la Autopista Norte, línea roja.	72
Figura 7: Sección transversal típica de Autopista Norte sin estaciones	73
Figura 8: Sección con estación de Transmilenio	74
Figura 9: Sección transversal estación típica de Autopista Norte.	75
Figura 10: Plano plata Autopista Norte ubicando el Flujo Continuo	76
Figura 11: Plano plata Autopista Norte ubicando el flujo acelerado y desacelerado	77
Figura 12: Corte Transversal Paralela	79
Figura 13: Sonómetro con su respectivo trípode acoplado al mono-pie	88
Figura 14: Mono-pie de 4 metros de altura, acoplado al sonómetro	92
Figura 15: Plano tipo planta ubicación punto de medición	93
Figura 16: Dirección del viento sobre toda la superficie de Bogotá	99
Figura 17: Temperatura sobre toda la superficie de Bogotá	100
Figura 18: Comportamiento modelo básico de emisión L25, para el día en función del volumen de tráfico (M) y el porcentaje de vehículos pesados (P)	108
Figura 19: Comportamiento de la corrección de velocidad, en función del porcentaje de vehículos pesados (P) y la velocidad máxima de los vehículos (V_{car} y V_{truck}).	112
Figura 20: Comportamiento de la atenuación por divergencia geométrica y absorción del aire.	115
Figura 21: Comportamiento modelo básico de emisión $L_{básico}$ a 10 metros, para periodo día en función del volumen de tráfico (q), sin presencia de vehículos pesados.	119
Figura 22: Comportamiento de la corrección por velocidad y ajustes por vehículos pesados, en función del porcentaje de vehículos pesados (P) y la velocidad media entre los vehículos Livianos y pesados (V).	120
Figura 23: Comportamiento de la corrección por gradiente.	124
Figura 24: Comportamiento de la corrección por distancia, en función de la distancia desde la mitad de la vía hasta el receptor.	126
Figura 25: Comportamiento de la corrección por distancia, en función de la absorción del suelo y la distancia desde la mitad de la vía hasta el receptor.	128
Figura 26: Angulo de Visión	129
Figura 27: Corrección por vehículos livianos	132
Figura 28: Comportamiento de la corrección Atenuación por divergencia geométrica.	137
Figura 29: Comportamiento de la corrección por ángulo de apertura	138

Figura 30: Menú del Programa	171
Figura 31: Vista programa RLS-90	174
Figura 32: Vista programa CoRTN	177
Figura 33: Vista programa NMPB	179
Figura 34: Localidades de Bogotá	181

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Circulación Tráfico Mixto en Periodos de 1 Hora de 00:00-01:00 y 00:30-01:30	83
Gráfica 2: Gráfica tipo de vehículo por hora	85
Gráfica 3: Visualización tráfico de Transmilenio durante toda la jornada por horas día hábil, en las dos direcciones.	87
Gráfica 4: Resultados Medición Preliminar	95
Gráfica 5: Resultado mañana Sur-Norte	101
Gráfica 6: Resultado mañana Norte-Sur	102
Gráfica 7: Resultado Tarde Sur-Norte	103
Gráfica 8: Resultado Tarde Norte-Sur	104
Gráfica 9: Dispersión de la Regresión Lineal	105
Gráfica 10: Nivel Básico L25	110
Gráfica 11: Corrección por velocidad	113
Gráfica 12: Atenuación por divergencia geométrica y absorción del aire	116
Gráfica 13: Atenuación por Suelo	117
Gráfica 14: Comportamiento Nivel Básico	118
Gráfica 15: Corrección por Velocidad y ajustes por vehículos pesados	121
Gráfica 16: Corrección por velocidad	122
Gráfica 17: Corrección por velocidad variando el porcentaje de vehículos pesados	123
Gráfica 18: Corrección por distancia	125
Gráfica 19: Corrección por velocidad de los vehículos livianos	132
Gráfica 20: Corrección por intensidad de tráfico	133
Gráfica 21: Corrección por Vehículos Pesados	134
Gráfica 22: Corrección por vehículos pesados (C_{truck}) Variando % Pesados	135
Gráfica 23: Volumen de tráfico NMPB	139
Gráfica 24: Modelo Final NMPB	140
Gráfica 25: Modelo RLS-90 Sentido sur-Norte	146
Gráfica 26: Modelo RLS-90 Sentido Norte-Sur	148
Gráfica 27: Modelo RLS-90 LME por hora	149
Gráfica 28: Modelo RLS-90 Leq por hora	149
Gráfica 29: Modelo CoRTN L10 32 puntos	153
Gráfica 30: Modelo CoRTN Predicción 32 puntos	155
Gráfica 31: Modelo CoRTN L10 Predicción por hora	156
Gráfica 32: Modelo CoRTN LRE Predicción por hora	156
Gráfica 33: Resultados Medición	165
Gráfica 34: Comparación Medición y Métodos de Predicción Sentido Sur-Norte	167
Gráfica 35: Comparación Medición y Métodos de Predicción Sentido Norte-Sur	168

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer inicialmente a mi familia especialmente a mi mamá Marcela por toda su comprensión y apoyo que me ha brindado en este año de trabajo, a mi papá Rigoberto por haberme apoyado económicamente en la culminación de mi carrera, a mi hermano Santiago por la paciencia y comprensión que me ha tenido, al no poder compartir un tiempo valioso que necesitaba en este momento y haberlo dedicado a este proyecto para poderlo culminar.

A mi tía Martha, gracias por su iniciativa, por su apoyo desinteresado, por su tiempo y por haberme ayudado en la redacción, a pesar de no ser conocedora del tema.

A las entidades gubernamentales tales como el IDU, Secretaria de Movilidad y el Dane, por haberme facilitado el material de una forma cordial y motivante que me inspiró con su colaboración a despertar el interés por la realización de esta investigación.

A mi director de tesis Alexander, por sus amplios conocimientos sobre el tema, quien con sus comentarios acertados, hicieron que la investigación tuviera siempre el mismo enfoque y así se llegó a la culminación de este trabajo.

A las personas encargadas de los laboratorios por facilitarme los equipos necesarios.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

En esta investigación se desarrolló un algoritmo de predicción de ruido de tráfico rodado, que detecta el nivel de presión sonora en la Autopista Norte, ubicada en la ciudad de Bogotá, entre las calles 127 hasta la calle 168. Los modelos empleados como base en el estudio fueron: RLS-90 de Alemania, el modelo CORTN de Inglaterra, el modelo Statens Planverk SP-48 Países Nórdicos y el modelo NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB) de Francia.

Estos métodos se utilizaron para analizar, comparar y aplicar los resultados con los datos arrojados por la medición hecha en la Autopista Norte. La información que se obtuvo con algunas entidades gubernamentales fueron: la cartografía de la Autopista Norte, flujo de vehículos, el censo del año 2005 y los informes meteorológicos. Los datos se ingresaron a los métodos, para realizar la predicción. Adicionalmente se realizó una medición de ruido sobre la Autopista Norte para comparar y corroborar la eficiencia del algoritmo.

El resultado de esta investigación servirá para que en un futuro se pueda predecir el ruido de tráfico rodado de cualquier autopista de la ciudad de Bogotá. Los resultados que arrojó esta investigación, es el daño que causa este tipo de ruido en los residentes y en las personas que la frecuentan. Para sustentar esta afirmación se elaboró un mapa estratégico de ruido, donde se puede observar los altos niveles de ruido.

Palabras Clave: Mapa de ruido, métodos de predicción, Acústica, Ruido, Autopista Norte

ABSTRACT

This investigation was created as a prediction of road traffic algorithm that detects the level of sound pressure on the “Autopista Norte”, in Bogotá between streets 127 and 168. The models used as a base in this study were: RLS-90 of Germany, the CORTN of England, the Statens Planverk SP-48 model of the Nordic countries and the NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB) of France.

The above methods were used to analyze, compare and apply the results of the data, measured on the “Autopista Norte”. The government entities information used: “Autopista Norte” cartography, low of vehicles, the 2005 census and the weather reports. The data collected was used as part of the predictions. Additional, a test was also preformed to realize the measurement of noise on the “Autopista Norte” to compare and verify the efficiency of the algorithm.

The result of this investigation will help to predict road traffic noise of any Bogotá highway in the future. This research showed the damage that this type of noise causes on residents and people who are exposed to it. A strategic noise map was created to observe the levels of noise.

Keywords: Noise map, Prediction methods, Acoustics, Noise, Autopista Norte, highway.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas a los que están expuestos los habitantes de la ciudad de Bogotá, es la contaminación acústica, producida por el tráfico vehicular, debido a la gran cantidad de automóviles que circulan por las diferentes vías. El ruido es por lo tanto, un problema ambiental, que tiene un fuerte impacto sobre la calidad de vida de los ciudadanos, de hecho, es un factor que en los últimos años ha preocupado a las autoridades, por el gran incremento que ha tenido.¹

Como estudiante de ingeniería de sonido me llama la atención este problema, por consiguiente quise hacer una investigación de un tramo de vía, y así fue como se eligió la Autopista Norte entre la calle 127 hasta la calle 168. La metodología utilizada para esta investigación son los métodos recomendados por la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental, tales como: RLS-90² de Alemania, el CORTN³ de Inglaterra, el Statens Planverk SP-48⁴ de los Países Nórdicos y el NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB) de Francia. Estos modelos de predicción se usaron como base para la programación del algoritmo y así elaborar un mapa de ruido estratégico, según los requerimientos de la norma ISO 1996-1,2.

Inicialmente se consultó el flujo de vehículos en la Secretaria de Movilidad de Bogotá, el flujo de los vehículos articulados en Transmilenio S.A., la cartografía de la Autopista Norte en el IDU (Instituto de Desarrollo Urbano), la meteorología de la zona en el Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de

¹ **MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL**, que establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental **RESOLUCIÓN 0627 DE 2006** y **RESOLUCIÓN 6919 DE 2010**, que establece el Plan Local de Recuperación Auditiva, para mejorar las condiciones de calidad sonora. (<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19982>).

² **MINISTRY OF ECONOMY BADEN-WÜRTTEMBERG IN COOPERATION WITH ENVIRONMENTAL PROTECTION DEPARTMENT BAST**, Richtlinien für den Lärmschutz an Straben (RLS-90). 1990. Método nacional de cálculo Alemán. **Germany. 1990.**

³ **DEPARTMENT OF TRANSPORT WELSH OFFICE HMSO**, Calculation of Road Traffic Noise. 1988. Método nacional de cálculo Reino Unido. London, Ed, Crown United Kingdom. 1988. (http://www.noiseni.co.uk/calculation_of_road_traffic_noise.pdf).

⁴ **STATENS PLANVERK 48**, Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise. 1996. Nordic Countries. 1996. (http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/1996-525/at_download/publicationfile).

Colombia) y en el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), que suministró la información sobre la población afectada en la zona. Con esta información, se efectuó una medición de ruido de tráfico rodado, para analizar cada modelo básico, con sus respectivas correcciones de emisión y propagación; y así se observaron las semejanzas y diferencias. Con estos datos se pudo hacer un programa de predicción de ruido de tráfico, este instrumento determina los niveles de presión sonora y simula situaciones de ruido producidas en la vía. Finalmente se realizó un mapa estratégico de ruido que pretende evaluar mediante una representación gráfica, los niveles de ruido existentes en la zona en un período determinado.

El propósito de esta investigación es realizar un programa que simule una situación de contaminación acústica, con el fin de dar a conocer los altos niveles de ruido a que están sometidos tanto los residentes como los ciudadanos que transitan la vía; sin darse cuenta del problema al que están expuestos.

Con este programa se puede pronosticar cuanto ruido producirá una vía antes de su elaboración y así se podrá evitar en el futuro la construcción de vías en zonas vulnerables, puesto que se ve afectada la salud de la población.

Para finalizar esta investigación se dará a conocer los resultados a los estamentos gubernamentales para que se inquieten, e investiguen sobre el tema, ya que se ha comprobado que el ruido es un problema de salud pública.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

- En los años 70's y 80's en Francia se realizaron los primeros de Mapas de ruido en poblaciones de menos 100 Mil habitantes.
- En 1975 las autoridades estatales emplean el método de previsión CORTN (*Department of Transport Welsh Office Calculation of Road Traffic Noise*) permite la evaluación del ruido originado por el tránsito y previsión del nivel estadístico L10, tanto para una hora determinada "base" como para el período comprendido de las 6 a las 24 hrs, este método se ha adaptado para ser utilizado en diversos software. Se utiliza en las fases de planificación y diseño de la construcción de nuevas carreteras y autopistas.
- En 1976 en Estados Unidos, la *Federal Highway Administration* (FHWA) desarrolló y difundió un método de previsión del ruido producido por la circulación, el "FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model", empleado por todos los organismos estatales de autopistas de ese país.
- En 1995 se creó el método de predicción clásico de ruido urbano basado en la Teoría Fuzzy, este va acompañado necesariamente de un conocimiento de la composición del tráfico vehicular, que se basa en combinaciones lineales de distintas situaciones y características de la variación del ruido a evaluar que se cuantifican de forma booleana.⁵
- En los años 90's es desarrollado el modelo de predicción RLS-90 en Alemania, que significa en español por sus siglas en alemán "Normas para la protección Acústica en Carreteras", generado por BAST, que es laboratorio Alemán de Investigación de carreteras, este modelo se divide en dos partes una que describe recomendaciones a seguir para reducir el ruido

⁵ AGUILERA DE MAYA JUAN LUÍS, Escuela Universitaria de Gandía, Universidad Politécnica de Valencia, Método de predicción de ruido urbano basado en Teoría Fuzzy

ambiental y la otra parte expone un modelo matemático para el cálculo de ruido producido por los vehículos.

- En 1991, Datakustic realiza el software de predicción de ruido de tráfico CADNAA con especificaciones europeas.⁶
- En 1996 se desarrolla en modelo Nórdico Statens Planverk, de cálculo de ruido originado por el tránsito, este método se emplea en la planificación de la explotación del suelo, la ordenación y regulación del tránsito y el diseño de la amortiguación del ruido.
- En 1995, en Francia es implementado CERTU, modelo de predicción donde se tiene en cuenta la geometría de la calle dividiéndose los viarios en calle encajada (con perfil en U) o calle con una sola acera edificada (perfil en L).
- En el 2008, la Universidad Miguel Hernández, de España, presenta un estudio comparativo de diferentes metodologías para la confección de mapas acústicos.
- En el 2008, el Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile realiza un Estudio comparativo de modelos de predicción de ruido de tráfico rodado utilizando mediciones en la ciudad de Osorno presentado en el VI Congreso Iberoamericano de Acústica FIA.⁷
- En el 2006, Universidad de los Andes realiza un análisis comparativo de un modelo teórico de mediciones sonoras y el software SOUNDPLAN Ver. 6.2 aplicado al tráfico vehicular.⁸
- En el 2006, se realiza una Tesis en la Universidad de San Buenaventura de Bogotá, donde se hace un análisis comparativo de un modelo teórico de mediciones sonoras.

⁶ **DATAKUSTIK**, Company, About Datakustik, **COPYRIGHT © 2010 DATAKUSTIK GMBH. ALL RIGHTS RESERVED.** <http://www.datakustik.com/en/company/>

⁷ **ÁLVAREZ RODENBEEK JUAN P. (A) & SUÁREZ SILVA ENRIQUE A.**, Estudio comparativo de modelos de predicción de ruido de tráfico rodado utilizando mediciones, Instituto de Acústica, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Campus Miraflores, Casilla 567, Valdivia, Chile.

⁸ **MUÑOZ YI VENTURA, CABALLERO FARFÁN JAIME RAÚL & CAVAS MARÍN LUIS ERNESTO**, Análisis comparativo de un modelo teórico de mediciones sonoras y el software SOUNDPLAN ver 6.2 aplicado al tráfico vehicular. 10 de Marzo de 2006.

- En 2005, se realiza una Tesis en la Universidad de San Buenaventura de Bogotá, donde se hace un Estudio y pronóstico del nivel de ruido vehicular sobre los habitantes de Soacha, a partir del límite con el Distrito, por la extensión de la Norte-Quito-Sur (NQS) del Sistema Transmilenio.
- 2007, se realiza una Tesis en la Universidad de San Buenaventura de Bogotá, donde Mapa de ruido de la Avenida Boyacá entre calles 9na y 11 B.

1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En los países en vía de desarrollo, la evaluación y control de la contaminación acústica es algo relativamente nuevo, donde nuevas herramientas para desarrollar mapas de ruido han estado a disponibilidad del Estado y el campo educativo, pero a su vez no han sido diseñadas para las especificaciones y necesidades colombianas ya que las características de la vía, velocidades y el clima, son diferentes a los países desarrollados donde fueron elaboradas las técnicas.

En los últimos años se han desplegado modelos de predicción de ruido de tráfico rodado, para predecir la situación acústica de una vía, en consecuencia, se han desarrollado software especializados para este fin. En Bogotá (Colombia), no existe un programa que mida la contaminación acústica con situaciones locales tales como:

- Número de Vehículos y tipo de tráfico
- Temperatura, velocidad del viento y humedad
- Tipo de asfalto, inclinaciones, perfiles longitudinales.
- Velocidades (máximas y límites)

Para el análisis del comportamiento acústico de una ciudad, es necesario resolver, clarificar y definir aspectos claves mencionados anteriormente, relacionados con la elaboración de los mapas de ruido.

¿Cómo aplicar un software de predicción de ruido de tráfico rodado por medio de especificaciones locales en la Autopista Norte entre las calles 127 y la calle 168?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación busca elaborar un software para la predicción de ruido del tráfico vehicular para una parte de la Autopista Norte, ya que se quiere con este programa obtener datos reales y comparables con respecto a las distintas fuentes móviles de contaminación acústica, obtenidas a través de una medición de ruido de tráfico; a su vez tener varias herramientas tales como: la medición y el software, para poder elaborar un mapa de ruido estratégico en Autopista Norte desde la calle 127 hasta la calle 168, por esta razón es necesario en primera instancia medir el ruido de tráfico, analizar la vía en mención y realizar un programa de predicción donde se definan indicadores de ruido común.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Realizar un software de predicción por medio de Matlab, con especificaciones de flujo de tráfico, tipo de vehículos, temperatura, humedad, velocidad y tipo de asfalto, para la construcción de un mapa de ruido estratégico de la Autopista Norte entre la calle 127 hasta la 168.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar las variables del entorno a evaluar mediante el análisis de la vía.
- Realizar una medición de ruido tráfico rodado, bajo norma Directiva 2002/49/EC, la ISO 1996-1-2 y la Comisión 2003/613/EC; en 32 puntos estratégicos de la Autopista Norte, para analizar y comprobar la efectividad del software.
- Comparar las técnicas de predicción de ruido de tráfico rodado RLS-90 de Alemania, CORTN de Inglaterra, Statens Planverk SP-48 de los Países Nórdicos y NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB) de Francia.
- Analizar los datos tomados de la Autopista Norte de la calle 127 hasta la calle 168, para aplicar el software de predicción de tráfico rodado por medio de la ISO 1996-1, 2.
- Seleccionar la técnica de predicción más apropiada de acuerdo a los criterios de evaluación mencionados.
- Realizar por medio del software Matlab el algoritmo de ruido de tráfico con características para la Autopista Norte entre la calle 127 hasta la calle 168.
- Realizar un mapa de ruido Estratégico de ruido de tráfico rodado, por medio de la medición y la predicción, para mostrar los resultados del software.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO CONCEPTUAL

Las definiciones tomadas en esta investigación son obtenidas de las siguientes normas: DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO del 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. RESOLUCIÓN 0627 de Colombia del 7 de abril de 2006, que se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. La COMISIÓN (2003/613/CE) de la Unión Europea, relativa a las orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales, para el ruido de tráfico rodado y los datos de emisiones correspondientes.

2.1.1. Mapas de Ruido

“Un mapa de ruido es una presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido”⁹, en la que se indicará el valor límite vigente, el número de personas afectadas en una zona específica y el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica con el propósito de prevenir y reducir el ruido ambiental en particular la exposición que tenga efecto nocivos para la salud humana.

2.1.2. Ruido Vehicular

Para comprender la fuente de ruido más detalladamente y analizar las diferentes partes de los vehículos, se distinguió tres tipos de fuentes el ruido en el tráfico de carreteras:

⁹ CONSEJO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DIRECTIVA 2002/49/CE del 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. Pág. 3

2.1.2.1. Ruido del Motor

Es el ruido del propio vehículo, intervienen los elementos vibrantes que participan en la propulsión, salvo los neumáticos: motor, transmisión, sistemas de admisión, frenos, escape y suspensión, cuando el vehículo está por debajo de los 50 km/h, este ruido es el predominante en el tráfico rodado, sucede cuando la vía hay trancón, cuando los vehículos se detienen en la paralela o salen de la vía por los costados orientales y occidentales disminuyendo su velocidad.

2.1.2.2. El ruido aerodinámico o de turbulencia

Se produce por la interacción entre la carrocería del vehículo y el aire. Depende de la forma de la carrocería y aumenta con la velocidad, cuando los vehículos están por encima de los 50 km/h no solo se tiene en cuenta el ruido del motor sino el ruido aerodinámico, los vehículos pesados tienen mayor ruido ya que sus superficies son mayores.

2.1.2.3. El ruido de rodadura

Se produce por las interacciones entre los neumáticos y la superficie del pavimento, es uno de los elementos más importantes y es una de las correcciones más importantes en los métodos de predicción ya que dependiendo de la superficie aumenta o disminuye el ruido.

El factor que determina cual de las tres componentes del ruido predomina sobre las demás es la velocidad del vehículo. Como norma general se puede indicar que, en el caso de vehículos ligeros circulando hasta 50 ó 60 km/h, la influencia en la generación el ruido es preponderantemente de tipo mecánico (ruido de motor); a velocidades más altas, es de rodadura; mientras que el aerodinámico tiene mayor influencia también a altas velocidades pero en menor medida que el ruido de rodadura.

En la siguiente tabla, se muestran datos de contribución al ruido con un pavimento de mezcla bituminosa convencional.

Tabla 1: Contribución de fuentes de ruido en un vehículo según velocidad

Fuente de Ruido	V = 50 km/h		V = 80 km/h	
	Veh. ligeros	Veh. pesados	Veh. ligeros	Veh. pesados
Motor	20-50%	15-35%	15-35%	50-70%
Transmisión	5-35%			
Tubo de Escape	10-35%	20-60%		
Ventilador / Radiador	0-30%	0-65%		
Admisión/Escape	10-35%	0-10%		
Rodadura	10-25%	10-25%	65 - 85%	30 - 50%

Fuente: Jorge Muñoz Sanz (CEDEX), Evaluación del ruido en carreteras. ¹⁰

2.1.3. Métodos de Predicción de Ruido de Tráfico

2.1.3.1. Modelo Alemán RLS-90

El método alemán RLS-90 es el sucesor del RLS-81 a partir de 1990, el que se basaba en la norma DIN 18005 “Protección contra el ruido en áreas urbanas” que data de 1987. El modelo establece aspectos técnicos específicos en orden a predecir y mitigar los niveles de ruido producidos por tráfico rodado. El descriptor utilizado es el Leq_{1hora} y también entrega resultados para rangos de tiempos mayores: para el día (6:00 AM a 10:00 PM) y la noche (10:00 PM a 6:00 AM). En este último caso se requiere la utilización de una variable alternativa denominada promedio diario de tráfico ADT (Average Daily Traffic).

RLS-90 usa el método de fuente puntual con divergencia, atenuación de terreno, apantallamientos y reflexiones.

2.1.3.1.1. Modelo de Emisión

El nivel de emisión que se predice es un nivel de presión sonora de referencia, llamado LME (Level Mean Emission) se obtiene aplicando todas las correcciones al nivel básico referido a 25 metros desde el centro de la vía completa y medida a 4 metros sobre el suelo. La mitad de la vía recibe la mitad del volumen del tráfico.

¹⁰ MUÑOZ SANZ, J.: Evaluación del Ruido de Rodadura en Carreteras. Informe del CEDEX. Abril de 2006

El modelo trabaja con una fuente lineal ubicada en la mitad de la sección y a 0,5 metros de altura, que recibe todo el volumen del tráfico. Los siguientes datos son requeridos para el cálculo del nivel de emisión LME en 25 metros:

- El nivel de emisión estandarizado básico a 25 metros. (L_{25})
- Intensidad de vehículos (número de vehículos por hora o ADT). (M)
- Porcentaje de vehículos pesados (que excedan las 2,8 toneladas). (P)
- Velocidad de vehículos livianos y camiones (sólo se discrimina en estos dos tipos de vehículos). (V_{car}) (V_{truck})
- Corrección por velocidad. (C_{speed})
- Ajustes sobre la carpeta de la superficie (tipo de pavimento). (C_{road})
- Gradiente de la vía (pendiente de la vía). ($C_{gradiente}$)
- Adiciones de múltiples reflexiones en presencia de muros de contención. (C_{ref})

2.1.3.1.2. Nivel Básico L25

Este es el nivel de emisión estimado ($L_{eq1hora}$) y normalizado para las siguientes condiciones:

- Velocidad de 60 Km/Hora para los vehículos livianos y de 40 Km/Hora para vehículos pesados.
- Carpeta de asfalto no ranurado.
- Gradiente de la vía inferior a 5%.
- Propagación en campo libre.

$$L_{25} = 37,3 + 10 \log [M \times (1 + 0,082 \times P)]^{11} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

L_{25} : Nivel de emisión básico a 25 metros. ($L_{eq1hora}$ o $L_{eqdía-noche}$)(dBA)

¹¹ **Ecuación 1:** Richtlinien für den Lärmschutz an Straben (RLS-90). Germany.

M : Volumen medio de tráfico horario (vehículos por hora o tráfico medio diario (ADT)).

P : Porcentaje de vehículos pesados (Camiones).

2.1.3.1.3. Corrección por Velocidad (C_{speed})

$$C_{speed} = L_{car} - 37,3 + 10 \log \left[\frac{100 + \{10^{0,1 \times C}\} \times P}{100 + 8,23 \times P} \right]_{12} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$L_{car} = 27,8 + 10 \log [1 + (0,02 \times V_{car})^3] \quad \text{Ecuación 3}$$

$$L_{truck} = 23,1 + 12,5 \log (V_{truck}) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$C = L_{truck} - L_{car} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

C_{speed} : Corrección por velocidad de los vehículos (dB)

P : Porcentaje de vehículos pesados. (%)

V_{car} : Velocidad media de los automóviles. (Km/hr.). (Entre 30 y 120 Km/hr)

V_{truck} : Velocidad media de los camiones. (Km/hr.). (Entre 30 y 120 Km/hr)

2.1.3.1.4. Ajuste por Tipo de Superficie (C_{road})

La superficie de la carretera (llamada también carpeta) generará un aumento o una disminución en el nivel de emisión según los valores de la siguiente tabla:

¹² Ecuaciones 2, 3: Ibíd.

¹³ Ecuaciones 4, 5: Ibíd.

Tabla 2: Ajustes según el tipo de superficie para el modelo RLS-90.

Tipo de Superficie	Máxima Velocidad Permitida en Km/hora			
	30	40	≥50	≥60
Asfalto no ranurado	0	0	0	0
Concreto o asfalto ranurado	1	1,5	2	2
Superficie pedregosa con textura lisa	2	2,5	3	3
Superficie pedregosa con estructura rugosa	3	4,5	6	6
Hormigón con tratamiento escoba metal	1	1	1	1
Asfalto hormigón sin grietas	0	0	0	-2
Asfalto poroso con más de 15% de poros del tipo 0/11	0	0	0	-4
Asfalto poroso con más de 15% de poros del tipo 0/8	0	0	0	-5
Adición (C_{road}) en dB				

RLS-90: Tipo de superficie¹⁴

2.1.3.1.5. Adición por Gradiente de la vía. (C_{gradiente})

El gradiente de una carretera se define como la inclinación de ésta sobre el nivel horizontal. Usualmente no se mide en grados, sino que se entrega un porcentaje (%) de inclinación. Teóricamente, 100% de pendiente equivale a una inclinación de 45° de la vía.

$$C_{gradiente} = 0,6 \times |G| - 3 \text{ para gradientes } > 5\%^{15} \quad \text{Ecuación 6}$$

0 dB(A) para gradientes menores a 5%

Donde:

C_{gradiente} : Adición por gradiente de la vía. (dB)

G : Gradiente de la carretera. (%)

¹⁴ **Tabla 2:** Ibíd.

¹⁵ **Ecuación 6:** Ibíd.

2.1.3.1.6. Adición por Múltiples Reflexiones. (C_{ref})

RLS-90 toma en cuenta múltiples reflexiones que son producidas entre los muros de contención de una carretera (por ejemplo, los pasos bajo nivel). Esta reverberación amplificatoria del ruido es designada C_{ref} . La ecuación 4.19 entrega la adición en dB para superficies “duras”.

$$C_{ref} = 4 \times \frac{H}{D} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

C_{ref} : Corrección por múltiples reflexiones entre muros de contención. (dB). No debe exceder los 3.2 dB para muros

H : Altura de los muros. (Metros)

D : Distancia entre los muros de contención. (metros)

Para superficies blandas, la ecuación 4.20 entrega la corrección:

$$C_{ref} = 2 \times \frac{H}{D} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

C_{ref} : Corrección por múltiples reflexiones entre muros de contención (dB). No debe ser mayor que 1,6 dB.

H : Altura de los muros. (Metros)

D : Distancia entre los muros de contención. (Metros)

2.1.3.1.7. Nivel de Emisión Total a 25 Metros (LME)

El nivel de presión sonora LME es el valor a partir del cual se aplican las consideraciones sobre la propagación sonora.

$$LME = L_{25} + C_{speed} + C_{road} + C_{gradiente} + C_{ref} \quad \text{Ecuación 9}$$

¹⁶ Ecuaciones 7, 8, 9: Ibíd.

2.1.3.1.8. Modelo de Propagación

Una vez obtenido el nivel LME, se procede a determinar el nivel de presión en el punto de la localización del receptor, el cuál es derivado de todas las fuentes de tráfico presentes. Todas las contribuciones son adicionadas energéticamente. Lo anterior es especialmente relevante si la vía urbana o carretera bajo análisis tiene cuatro o más carriles de circulación. El modelo RLS-90 entrega un incremento adicional a los niveles de ruido calculados según la cercanía del receptor a la fuente de ruido. Para distancias de ≥ 100 metros, ≥ 70 metros o ≥ 40 metros se adicionan 1 dB, 2 dB o 3 dB respectivamente. El método alemán emplea esta corrección con el objeto de compensar las frenadas y aceleraciones del los vehículos que influyen en los niveles totales. Los siguientes valores son requeridos para determinar el nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{eq}) de una hora en el punto de inmisión ($L_{RECEPTOR}$):

- Nivel medio de emisión a 25 metros LME ($L_{eq_{1hora}}$).
- Atenuación por divergencia geométrica (distancia). (C_{dist})
- Absorción del aire. (C_{aire})
- Atenuación por suelo. (C_{suelo})
- Apantallamientos acústicos. (C_{screen})
- Correcciones meteorológicas. (C_{met})
- Reflexiones en fachadas cercanas (REFLEX)

2.1.3.1.9. Atenuación por Divergencia Geométrica y Absorción del Aire (C_{dist})

RLS-90 establece una atenuación por distancia considerando una fuente de emisión puntual; por lo tanto, una disminución de 6 dB por duplicación de la distancia desde la fuente.

$$C_{dist} = 15,8 - 10 \text{Log}(D) - 0,0142(D)^{0,9} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

C_{dist} : Atenuación por distancia para una fuente puntual. (dB)

D : Distancia desde la fuente (medio de la sección) al receptor (metros).

2.1.3.1.10. Atenuación por Suelo (C_{suelo})

En el modelo RLS-90 la atenuación por suelo incorpora un aspecto que denominado “absorción meteorológica”, elemento distinto a la corrección meteorológica C_{met} que es aplicado en la atenuación por apantallamiento. La absorción y la corrección meteorológica en conjunto corresponden al efecto general de este fenómeno.

$$C_{suelo} = -4,8 \left(- \left(\frac{h_{prom}}{D} * \left(8,5 + \frac{100}{D} \right) \right)^{1,3} \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

C_{suelo} : Atenuación debida a la interferencia del terreno. (dB)

h_{prom} : Altura promedio de la línea de visión sobre el terreno (metros).

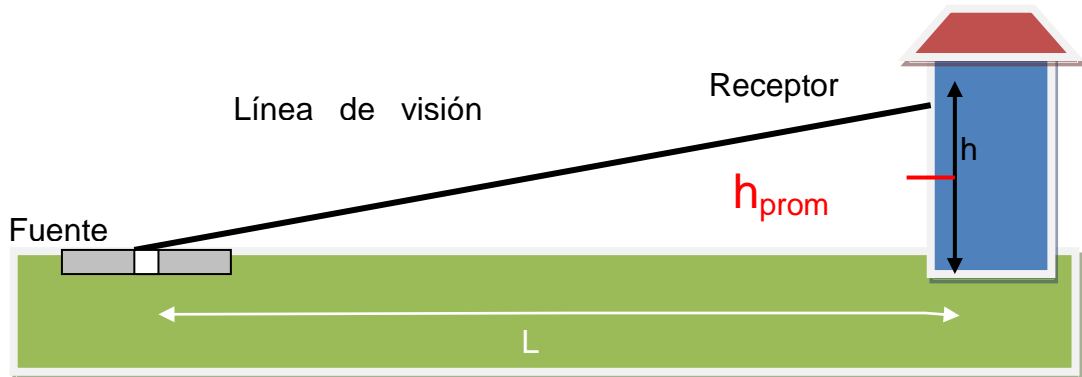
D : Distancia desde la mitad de la sección hasta el receptor (metros).

La siguiente figura mostrará gráficamente el concepto de altura promedio h_{prom} .

¹⁷ Ecuación 11: Ibíd.

¹⁸ Ecuación 12: Ibíd.

Figura 1: Determinación de la altura promedio h_{prom} . h es la altura total de la línea de visión y L es la distancia horizontal entre la fuente y el receptor.



RLS- 90: Ubicación de alturas¹⁹

Según la figura anterior, la altura promedio h_{prom} se calcula evaluando primeramente el área mostrada en amarillo, para luego dividir por $2L$. RLS-90 no evalúa el efecto del suelo en presencia de pantallas acústicas en el camino de propagación.

2.1.3.1.11. Atenuación por Apantallamiento (Topografía o Pantallas Acústicas). (C_{screen})

El efecto de difracción acústica es el predominante en esta atenuación, tanto por topografía o por pantallas acústicas

$$C_{screen} = -10 \log(3 + 80 \times E \times C_{met})^{20} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

C_{screen} : Atenuación por difracción sonora (dB).

E : Longitud de trayectoria extra, según ecuación 15 (metros).

C_{met} : Corrección meteorológica, según ecuación 16 (a-dimensional).

¹⁹ **Figura 1:** Ibíd.

²⁰ **Ecuación 13:** Ibíd.

La longitud de trayectoria extra se define como la diferencia entre la distancia difractada y la distancia directa entre la fuente y el punto de inmisión. Ver figura 1.

$$E = d_1 + H + d_2 - d \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

E: Longitud de la trayectoria extra entre la fuente y el receptor (metros).

d_1 : Distancia entre la fuente y el primer vértice de la pantalla (metros).

H: Ancho de la pantalla acústica (metros).

d_2 : Distancia entre el segundo vértice de la pantalla y el punto del receptor (metros).

d: Distancia directa entre la fuente y el receptor (metros).

La corrección meteorológica se establece como sigue:

$$C_{met} = e^{\left[\frac{-1}{2000} \sqrt{\frac{d_1 \times d_2 \times d}{2 \times E}} \right]} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

C_{met} : Corrección meteorológica en la atenuación por apantallamiento.

d_1 : Distancia entre la fuente y el primer vértice de la pantalla (metros).

d_2 : Distancia entre el segundo vértice de la pantalla y el punto del receptor (metros).

d: Distancia directa entre la fuente y el receptor (metros).

E: Longitud de la trayectoria extra entre la fuente y el receptor (metros).

2.1.3.1.12. Reflexiones en la Propagación (REFLEX)

El método “manual” RLS-90 no presenta mecanismos matemáticos específicos para calcular reflexiones entre fachadas. Sin embargo, cuando este modelo es aplicado dentro de un software, las características generales de acústica de rayos

²¹ Ecuaciones 14, 15: Ibíd.

son válidas considerándose en los cálculos finales la reflexión especular sin producir desviaciones del estándar.

2.1.3.1.13. Modelo Final

$$L_{RECEPTOR} = LME + C_{sección} + C_{dist} + C_{suelo} + C_{screen} + REFLEX^{22} \quad \text{Ecuación 17}$$

La siguiente ecuación entrega el nivel Leq_{1hora} en el receptor ($L_{RECEPTOR}$), utilizando el estándar alemán RLS-90.

²² Ecuación 17: Ibíd

2.1.3.2. Modelo del Reino Unido UK-CoRTN

El método “Calculation of Road Traffic Noise (CoRTN)” es el modelo oficial utilizado en el Reino Unido para estimar los niveles de ruido producidos por una vía de tráfico rodado, el cual está contenido en el estándar “Noise Insulation Regulation” de 1988.

El nivel de ruido calculado corresponde al descriptor estadístico percentil 10% L_{10} , tanto para el período de 1 hora, como el promedio L_{10} para un período de 18 horas. Los cálculos consisten de un modelo de emisión y otro de propagación. La distancia de referencia del modelo de emisión está a 10 metros de distancia de la orilla más cercana de una vía, asumiendo una fuente lineal que recibe todo el volumen de tráfico y está a la mitad de este extremo y a 0.5 metros de altura. Por lo tanto, siempre será necesario obtener la distancia perpendicular a la carretera desde el punto de inmisión.

2.1.3.2.1. Modelo de Emisión

El nivel de referencia de emisión (LRE) se obtiene al sumar las siguientes variables:

- El nivel básico de ruido a 10 metros. (L_{basic})
- Corrección por velocidad. (C_{speed})
- Ajustes por vehículos pesados.
- Corrección por gradiente de la vía. ($C_{gradiente}$)
- Corrección para flujo bajo y para pequeñas distancias a la fuente. (C_{low})
- El efecto sobre el nivel de los diferentes tipos de pavimentos no es considerado en el método oficial.

2.1.3.2.2. Nivel básico de Ruido. (L_{basic})

Corresponde a la estimación del percentil L_{10} ya sea para 1 hora o para 18 horas, bajo condiciones de campo libre. Se asume que la velocidad de los vehículos livianos es 75 Km/h y sin vehículos pesados presentes. La ecuación 18 entrega el valor del percentil 10 para 1 hora.

$$L_{basic} = 42,2 + 10 \log q \quad 23$$

Ecuación 18

Donde:

L_{basic} : Nivel básico de ruido, descriptor percentil L_{10} (dBA).

q : Intensidad de tráfico, vehículos por hora (A-dimensional).

La ecuación 4.31 entrega el valor percentil 10 para 18 horas.

$$L_{basic}(18h) = 29,1 + 10 \log Q$$

Ecuación 19

Donde:

$L_{basic}(18h)$: Nivel básico de ruido, percentil L_{10} para 18 horas (dBA).

Q : Intensidad de tráfico para 18 horas, vehículos por 18 horas. (Adimensional)

2.1.3.2.3. Corrección por Velocidad y Ajustes por Vehículos Pesados (C_{speed})

$$C_{speed} = 33 \log \left(V + 40 + \frac{500}{V} \right) + 10 \log \left(1 + 5 \times \frac{p}{V} \right) - 68,8$$

Ecuación 20

Donde:

C_{speed} : Corrección por velocidad y vehículos pesados (dBA).

V : Velocidad media de los vehículos livianos y pesados (Km/h).

p : Porcentaje de vehículos pesados.

2.1.3.2.4. Corrección por Gradiente ($C_{gradiente}$)

El gradiente, expresado en términos porcentuales, tanto positivo como negativo, entrega la siguiente atenuación:

$$C_{gradiente} = 0,3 \times G$$

Ecuación 21

²³ **Ecuaciones 18, 19, 20, 21:** UK-CoRTN Calculation of Road Traffic Noise. (1988).

Donde:

$C_{\text{gradiente}}$: Ajuste por gradiente de la vía. (dB)

G : Pendiente de la vía, tanto positiva como negativa (%).

2.1.3.2.5. Corrección por Bajo Flujo y Pequeñas Distancias Entre la Fuente y el Receptor (C_{low})

CoRTN adiciona un ajuste al considerar un flujo de vehículos bajo y distancia pequeña entre la fuente y el receptor. Se califica como flujo bajo al inferior a 200 vehículos por hora o 4000 vehículos por 18 horas.

$$C_{\text{low}} = -16,6 \log(D) \times \log^2(C) \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

C_{low} : Corrección para pequeños flujos y distancias. (dB)

D : $30/d'$ (metros⁻¹) ver Figura 2.

C : $q/200$ o $Q/4000$. (Adimensional)

2.1.3.2.6. Modelo de Propagación

El nivel percentil L_{10} es calculado en función de las correcciones que se aplican al nivel de referencia LRE. Estas son:

- Corrección por distancia. (C_{dist})
- Atenuación de terreno. (C_{suelo})
- Corrección por ángulo de apertura. (C_{angulo})
- Difracción por apantallamientos. (C_{screen})
- Múltiples difracciones. (C_{mscr})
- Incremento de nivel por reflexiones. (Reflex)

²⁴ Ecuación 22: Ibíd.

2.1.3.2.7. Corrección por Distancia. (C_{dist})

$$C_{dist} = -10 \log \left(\frac{d'}{13,5} \right)_{25} \quad \text{Ecuación 23}$$

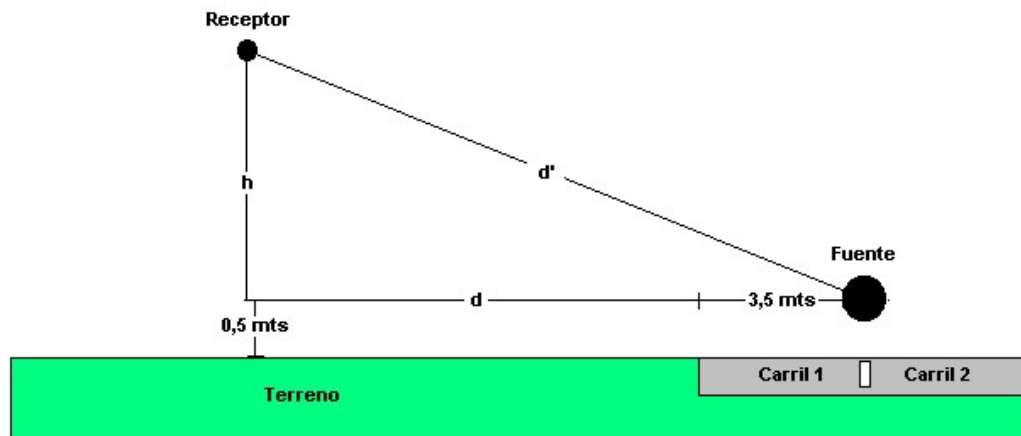
$$d' = \sqrt{h^2 + (d + 3,5)^2} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

C_{dist} : Corrección por distancia. (dB)

d' : Distancia desde la fuente al receptor (Figura 2)

Figura 2: Medidas (metros) para determinar correcciones en el nivel de referencia y en la propagación.



CORTN: Distancias y alturas para las correcciones²⁶

2.1.3.2.8. Atenuación por Suelo (C_{suelo})

La corrección debida al tipo de suelo dependerá de la altura promedio del rayo de la línea de visión h_{prom} mostrada en la Figura 2 y del porcentaje del suelo absorbente presente en la trayectoria de propagación.

²⁵ Ecuaciones 23, 24: ibíd.

²⁶ Figura 2: Ibíd.

Para $0,75 < h_{prom} < (d+5)/6$

$$C_{suelo} = 5,2 \times G \times \log\left(\frac{[6 \times h_{prom}] - 1,5}{d + 3,5}\right)_{27} \quad \text{Ecuación 25}$$

Para $h_{prom} < 0,75$

$$C_{suelo} = 5,2 \times G \times \log\left(\frac{3}{d + 3,5}\right) \quad \text{Ecuación 26}$$

Para $h_{prom} > (d+5)/6$

$$C_{suelo} = 0 \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

C_{suelo} : Atenuación producto del terreno. (dB)

h_{prom} : Altura promedio (metros)

d : Distancia perpendicular desde la carretera al punto del receptor (Figura 1)

G : Factor de atenuación por porcentaje de terreno absorbente según (Tabla 2)

Tabla 3: Valores del factor G según porcentaje de suelo absorbente.²⁸

Porcentaje de terreno absorbente (%)	Valor de G (Adimensional)
< 10	0,00
10 – 39	0,25
40 – 59	0,50
60 – 89	0,75
> 90	1,00

²⁷ Ecuaciones 25, 26, 27: Ibíd.

²⁸ Tabla 3: Ibíd.

2.1.3.2.9. Corrección por Ángulo de Apertura (C_{angulo})

El modelo considera esta corrección angular según la apertura o visión que se tenga desde el punto de inmisión perpendicularmente a la carretera.

$$C_{\text{angulo}} = 10 \log \left(\frac{\theta}{180} \right)_{29} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

C_{angulo} : Corrección por ángulo de apertura (dB).

θ : Angulo de visión (grados).

2.1.3.2.10. Corrección por Pantallas. (C_{screen})

La pérdida de inserción producida por edificaciones, topografía o pantallas acústicas es evaluada mediante un polinomio de 7º grado del logaritmo de la longitud de trayectoria extra.

$$C_{\text{screen}} = A_0 + A_1 \times x + A_2 \times x^2 + A_3 \times x^3 + \dots + A_n \times x^n_{30} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

C_{screen} : Atenuación por pérdida de inserción. (dB)

$A_0 \dots A_n$: Coeficientes del polinomio dados por la Tabla 3

x : $10 \log(\text{Longitud de trayectoria extra})$

Los valores que adoptan los coeficientes A_n con $n = 0,7$ se observan en la siguiente tabla.

²⁹ Ecuación 28: Ibíd.

³⁰ Ecuación 29: Ibíd.

Tabla 4: Valores de los coeficientes A_n para el cálculo de atenuación por apantallamiento en CorTN. Valores válidos para $-3 < x < 1,2$ ³¹

Coeficientes	Valor
A_0	-15,4
A_1	-8,26
A_2	-2,787
A_3	-0,831
A_4	-0,198
A_5	0,1539
A_6	0,12248
A_7	0,02175

Para el caso de $x < -3$ $C_{screen} = -5,0$ dB

Para el caso de $x > 1,2$ $C_{screen} = -30,0$ dB

2.1.3.2.11. Múltiples Apantallamientos (C_{mscr})

CoRTN considera el evento en que existen varias pantallas entre la fuente y el receptor. El modelo pondera la mayor y la segunda mayor barrera, en cuanto a efectividad.

$$C_{mscr} = -10 \log \left[\text{anti log} \left(\frac{-C_{1sc}}{10} \right) + \text{anti log} \left(\frac{-C_{2sc} \times J}{10} \right) - 1 \right]_{32} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

C_{mscr} : Atenuación por múltiples pantallas. (dB)

C_{1sc} : Atenuación por difracción de la barrera más efectiva. (dB)

C_{2sc} : Atenuación de la segunda barrera más efectiva. (dB)

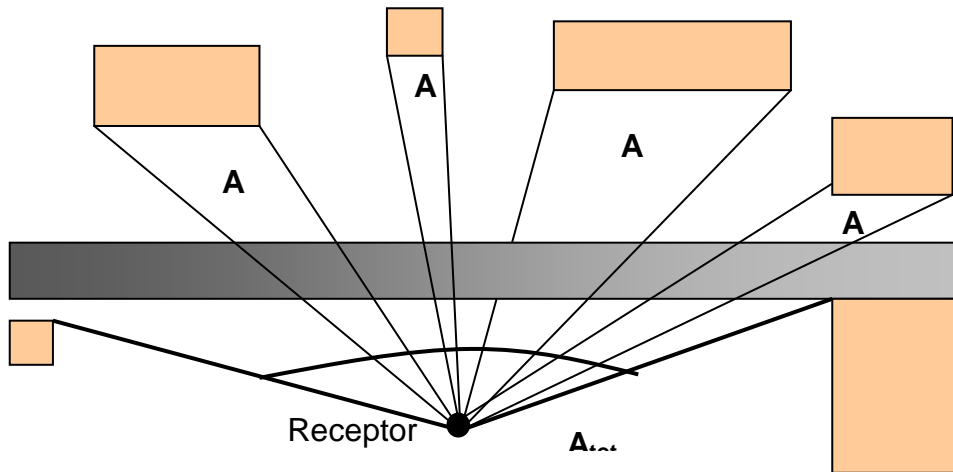
J: Factor dado por $J = \sqrt[4]{\frac{M}{d + 3,5}}$ con M la distancia entre las pantallas.

³¹ **Tabla 4:** Ibíd.

³² **Ecuación 30:** Ibíd.

(Adimensional)

Figura 3: Esquema de ángulos formados por las edificaciones en torno al punto de inmisión. Se muestra también el ángulo de apertura total A_{total} .³³



2.1.3.2.12. Adición por Múltiples Reflexiones (REFLEX)

En referencia a la Figura 3, el incremento del nivel de ruido calculado por múltiples reflexiones es evaluado como sigue:

$$REFLEX = 1,5 \left(\frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}{A_{total}} \right)_{34} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

REFLEX : Incremento por reflexiones. (dB)

$A_1...A_4$: Ángulos de reflexión, vistos desde el receptor.

A_{total} : Ángulo de apertura total.

Tanto los ángulos formados por las fachadas de los edificios como el ángulo total de visión pueden ser expresados en grados o en radianes. Finalmente, cabe destacar que el modelo CoRTN sólo evalúa una primera reflexión y el coeficiente de reflexión

³³ **Figura 3:** Ibíd.

³⁴ **Ecuación 31:** Ibíd.

no es considerado.

2.1.3.2.13. Modelo Final

La siguiente ecuación entrega el nivel percentil L_{10} para 1 hora o para 18 horas según el estándar del Reino Unido CoRTN:

$$L_{10} = LRE + C_{dist} + C_{suelo} + C_{angulo} + C_{mscr} + REFLEX \quad 35 \qquad \text{Ecuación 32}$$

2.1.3.3. Modelo Escandinavo Statens Planverk 48

Statens Planverk 48 es el método oficial de predicción de ruido de tránsito para los países nórdicos: Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia. Su versión inicial data de 1989 y ha sido actualizado en 1992. El estándar establece un modelo separado para la emisión y para la propagación sonora. El descriptor que se obtiene es el nivel continuo equivalente Leq ponderado A para un período de 24 horas. El nivel de emisión básico L_{basico} ha sido estimado a una distancia de 10 metros del centro de una vía, con una altura de 1,5 metros sobre el terreno para un plano horizontal, con una carretera recta e infinitamente larga, con asfalto normal y tráfico fluido y sin presencia de obstáculos o reflexiones, exceptuando las del suelo. La fuente lineal se ubica a 0,5 metros sobre el pavimento. El nivel de emisión de referencia LRE se obtendrá por la adición de las correcciones que se apliquen a L_{basico} según la intensidad real horaria, velocidad de los vehículos, porcentaje de vehículos pesados y gradiente de la vía. Por lo tanto, será necesario obtener la distancia perpendicular a la carretera desde el punto del receptor.

2.1.3.3.1. Modelo de Emisión

La situación básica específica, además de las consideraciones anteriormente expuestas, una circulación media de 24.000 vehículos por 24 horas, sin la presencia de vehículos pesados, tráfico fluido y una velocidad de 50 Km/hora. Para estas

³⁵ Ecuación 32: *Ibíd.*

condiciones, L_{basico} corresponde a:

$$L_{\text{basico}} = 68\text{dB}A \quad \text{Ecuación 33}$$

Este valor será afectado por:

- Velocidad real de los vehículos livianos. (C_{speed})
- Intensidad de tráfico. ($C_{\text{tráfico}}$)
- Vehículos pesados y su velocidad. (C_{truck})
- Gradiente de la carpeta. ($C_{\text{gradiente}}$)

2.1.3.3.2. Corrección por velocidad de los vehículos livianos (C_{speed})

$$\text{Si } V \geq 50\text{Km/h} \Rightarrow C_{\text{speed}} = 30 \log\left(\frac{V}{50}\right) \quad \text{Ecuación 34}$$

$$\text{Si } V < 50\text{Km/h} \Rightarrow C_{\text{speed}} = 0 \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

C_{speed} : Corrección por velocidad de los vehículos livianos. (dB)

V : Velocidad media de los vehículos livianos. (Km/hora)

2.1.3.3.3. Corrección por intensidad de tráfico ($C_{\text{tráfico}}$)

$$C_{\text{tráfico}} = 10 \log\left(\frac{N}{24000}\right) \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

$C_{\text{tráfico}}$: Corrección por diferencias en la intensidad de circulación del tráfico rodado. (dB)

N : Número de vehículos en un día. (Vehículos/24 horas)

³⁶ **Ecuación 33, 34, 35, 36:** Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise (Statens Planverk 48). 1992. Nordic Countries. Método nacional de cálculo de los Países Nórdicos.

2.1.3.3.4. Corrección por vehículos pesados (C_{truck})

Statens Planverk 48 asume que los vehículos pesados son aquellos de mayor tara con respecto a un automóvil ligero. Se evalúa su proporción y velocidad media.

Para $90 \geq v \geq 50$ Km/hora

$$C_{truck} = 10 \log \left[\frac{100 - p + 500 \times \frac{p}{v}}{100} \right]^{37} \quad \text{Ecuación 37}$$

Para $v > 90$ Km/hora

$$C_{truck} = 10 \log \left[\frac{100 - p + \frac{50}{9} \times \left(\frac{90}{v} \right)^3 \times p}{100} \right]^{38} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

C_{truck} : Corrección por vehículos pesados. (dB)

v : Velocidad media de los vehículos pesados. (Km/hora)

p : Porcentaje de vehículos pesados. (%)

2.1.3.3.5. Corrección por gradiente de la vía ($C_{gradient}$)

La corrección por pendiente de la carretera se introduce cuando ésta afecta las condiciones de circulación.

$$C_{gradient} = 2 \times \frac{G}{100} + 3 \times \frac{G}{100} \times \log(1 + p)_{39} \quad \text{Ecuación 39}$$

³⁷ Ecuación 37: Ibíd.

³⁸ Ecuaciones 38: Ibíd.

³⁹ Ecuaciones 39, 40: Ibíd.

Donde:

$C_{gradient}$: Corrección por pendiente de la carretera. (dB)

G : Pendiente de la vía. (%)

p : Porcentaje de vehículos pesados. (%)

Por lo tanto, el nivel de emisión de referencia a 10 metros del centro de la vía y a 1,5 metros de altura sobre el terreno corresponde a:

$$LRE = L_{basico} + C_{speed} + C_{trafico} + C_{truck} + C_{gradient} \quad \text{Ecuación 40}$$

2.1.3.3.6. Modelo de propagación

La carretera se debe dividir en sectores de características uniformes tanto en lo que respecta a la emisión (velocidades, intensidad de tráfico, cantidad de vehículos pesados, etc.) como en la propagación, efectuando cálculos independientes para cada tramo en cada punto que se desee calcular la inmisión. El nivel global se determinará por la adición energética de cada uno de los sectores considerados.

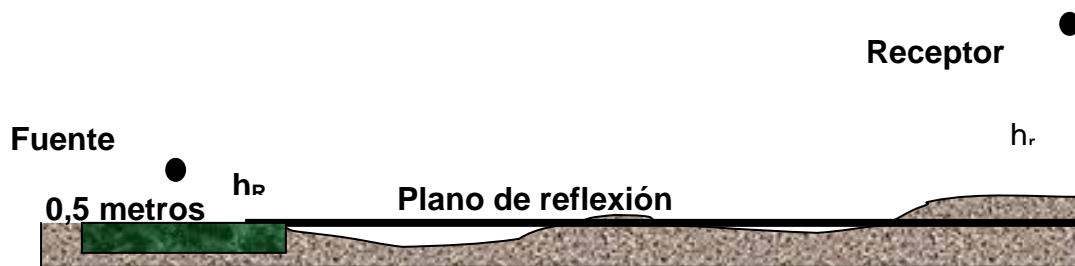
El nivel de referencia LRE es evaluado en el plano de reflexión considerando la absorción de terreno (C_{suelo}) y 2 difracciones (C_{screen}); además, este nivel se corrige con la atenuación por distancia (C_{dist}) para una fuente lineal, una corrección por ángulo de apertura del sector (C_{angulo}), corrección para aquellas situaciones en las que la distancia al receptor es menor que la anchura de la vía (C_{dp}) e incremento por reflexiones (REFLEX) a través de la aplicación de acústica de imágenes. Siempre será necesario obtener la distancia perpendicular desde la calzada al receptor.

2.1.3.3.7. Plano de Reflexión

Statens Planverk 48 en su etapa de propagación se basa en la definición de un plano que caracterice la reflexión (o absorción) del terreno, con respecto al cual se definen las alturas de la fuente (0,5 metros sobre la calzada) y del receptor. En función de las características acústicas del suelo existente en la zona de reflexión del terreno, se decidirá si es poroso o reflectante. Sólo dos estados acústicos son

válidos: suelo duro y poroso o blando. Para determinar a qué tipo de terreno corresponde el suelo bajo análisis, se promedian sus respectivos coeficientes de absorción α : si el coeficiente resultante es inferior a 0,5, el terreno es acústicamente duro; si no, es acústicamente blando. El mayor problema es la arbitrariedad con que se establece el plano de reflexión. Existen en la actualidad algoritmos que evalúan la mejor opción, tomando en cuenta áreas de excesos o decesos del terreno alrededor del plano reflector.

Figura 4: Plano de reflexión del terreno para determinar h_r ⁴⁰



2.1.3.3.8. Apantallamientos

El modelo considera un máximo de dos difracciones, que se asimilan al caso de una barrera ancha. En el caso de la existencia de una barrera se definen por separado las características acústicas del suelo antes y después de la pantalla a través de la metodología cuyas directrices se entregaron en el punto anterior. Por lo tanto, existen un total de 4 posibles casos.

2.1.3.3.9. Atenuación por divergencia geométrica (C_{dist})

La atenuación de nivel por distancia corresponde al caso de una fuente lineal, es decir 3 dB por duplicación de recorrido entre la fuente y el receptor.

⁴⁰ Figura 4: Ibíd.

$$C_{dist} = -10 \log \left(\frac{\sqrt{a^2 + (h_R + h_b - 0,5)^2}}{10} \right)^{41} \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

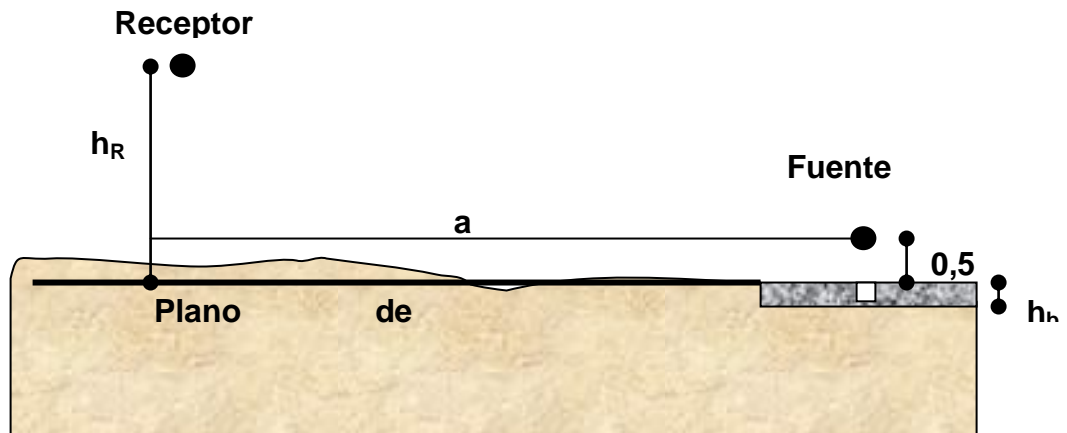
C_{dist} : Atenuación por distancia. (dB)

a : Distancia horizontal desde el centro de la calzada hasta el receptor (m.).

h_R : Altura del receptor sobre el plano de reflexión, según figura (m.).

h_b : Altura de la calzada (m.).

Figura 5: Variables que intervienen en la ecuación para calcular C_{dist} .⁴²



2.1.3.3.10. Corrección por ángulo de apertura (C_{angulo})

El ángulo de apertura corrige al nivel en el punto de inmisión de la misma forma que los métodos anteriores.

$$C_{angulo} = 10 \log \left(\frac{\delta}{180} \right)^{43} \quad \text{Ecuación 42}$$

⁴¹ Ecuación 41: Ibíd.

⁴² Figura 5: Ibíd.

Donde:

C_{angulo} : Corrección por ángulo de apertura (dB).

δ : Angulo de visual (grados).

2.1.3.3.11. Modelo final

El nivel de presión sonora continuo equivalente L_{eq} , con ponderación A y con un período de tiempo de 24 horas es determinado según el estándar nórdico Statens Planverk 48 de la siguiente manera:

$$L_{Aeq} = LRE + C_{dist} + C_{suelo} + C_{screen} + C_{angulo} + C_{dp} + REFLEX^{44} \quad \text{Ecuación 43}$$

A diferencia de otros modelos, Statens Planverk 48 permite obtener el nivel en el interior de los edificios en función del aislamiento de las fachadas.

2.1.3.4. Modelo Francés NMPB-Routes-96

Este modelo no se profundizó debido a los inconvenientes que se encontraron para obtener esta información, por lo tanto se utilizó la información más relevante y esta se aplicó a esta investigación.

El método de cálculo para el ruido de tráfico rodado, es el método nacional de cálculo francés “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)”, mencionado en el “*Arrête du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routiéres, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6*”, y en la norma francesa “XPS 31-133”. Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, estos documentos se remiten al “*Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980*”.

2.1.3.4.1. Modelo de Emisión

El nivel de emisión que se predice es un nivel de presión sonora de referencia, que

⁴³ Ecuación 42: *Ibid.*

⁴⁴ Ecuación 43: *Ibid.*

se obtiene aplicando todas las correcciones al nivel básico referido a en la vía completa y medidos a 4 metros sobre el suelo. NMPB asume que la mitad de la vía, recibe la mitad del volumen del tráfico. El modelo trabaja con una fuente lineal ubicada en la mitad y a 0,5 metros de altura, que recibe todo el volumen del tráfico.

El cálculo de la emisión de un solo vehículo depende de:

- Tipo de vehículo (ligeros de menos de 3,5 toneladas, y pesados de carga superior a 3,5 toneladas).
- Velocidad: Entre 20 y 120 Km/h.
- Tipo de flujo de tráfico: continuo fluido, continuo en pulsos, acelerado en pulsos o decelerado en pulsos.
- Gradiente: horizontal con pendiente inferior al 2%, ascendentes y/o descendente con pendiente superior al 2%.
- Altura “d” distancia en metros al centro de la calzada.

Por razones de simplicidad, el parámetro de la velocidad del vehículo se utiliza en este método para la totalidad de gamas de velocidad (entre 20 y 120 km/h). Sin embargo, en las bajas velocidades (inferiores a 60 o 70 km/h, dependiendo de la situación) se perfecciona el método teniendo en cuenta los flujos de tráfico, de la manera que se describe a continuación.

Para determinar el nivel del sonido largo plazo en L_{eq} basta conocer el promedio de velocidad de un parque de vehículos. Dicho promedio se puede definir del modo siguiente:

- La velocidad mediana V_{50} , es decir, la velocidad que alcanza o excede el 50 % de todos los vehículos,
- La velocidad mediana V_{50} más la mitad de la desviación típica de las velocidades.

Todas las velocidades medias determinadas con cualquiera de estos métodos que resulten inferiores a 20 km/h se fijan en 20 km/h.

Si los datos disponibles no permiten un cálculo preciso de las velocidades medias, puede aplicarse la regla general siguiente: en cada segmento de la vía se consigna la velocidad máxima permitida en el mismo. Cada vez que cambia el límite de velocidad autorizado, deberá definirse un nuevo segmento de la vía. Se introduce también una corrección suplementaria para las bajas velocidades (inferiores a 60 o 70 km/h, dependiendo de la situación), debiendo entonces aplicarse correcciones para uno de los cuatro tipos de flujo de tráfico definidos a continuación. Por último, todas las velocidades inferiores a 20 km/h se fijan en 20 km/h.

El tipo de flujo de tráfico, parámetro complementario al de la velocidad, tiene en cuenta la aceleración, desaceleración, carga del motor y flujo del tráfico en pulsos o continuo.

La ecuación del modelo francés es:

$$L_{Aeq} = 55 + 10 \log(Q_{vl} + E * Q_{vp}) - 10 \log L + K_n + K_v^{45} \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde,

Q_{vl} : Caudal de vehículos ligeros

Q_{vp} : Caudal vehículos pesados

E: Pendiente (%)

L: Ancho de la calzada

K_h : Altura

K_v : Velocidad

⁴⁵ Modelo Francés Guide du Buit (1980). "Preliminaires aux eutes de buit: partie II"

2.1.3.4.2. Corrección por Gradiente

El gradiente de una carretera se define como la inclinación de ésta sobre el nivel horizontal. Usualmente no se mide en grados, sino que se entrega un porcentaje (%) de inclinación. Teóricamente, 100% de pendiente equivale a una inclinación de 45° de la vía.

Tabla 5: Corrección por Gradiente

Gradiente	E
>=2	10
>=3	13
>=4	16
>=5	18
>=6	20

2.1.3.4.3. Corrección por Altura de la línea de visión sobre el terreno (metros)

La absorción y la corrección meteorológica en conjunto corresponde al efecto general de este fenómeno de absorción meteorológica.

Si $h=4$, $K_h=0$

Si $h>4$, $K_h=(h-4/L)$

Si $h<=4$, $K_h=12\text{Log} (d+L/3)$

d: distancia desde el centro de la calzada al receptor

2.1.3.4.4. Corrección por velocidad

Si $V<60\text{km/h}$, $K_v=0$

Si $V>60\text{km/h}$, $K_v=n \text{ dB}$, donde $n=\text{Ent}((V-60)/10+1)$

Si $V=60\text{km/h}$, $K_v=20 \text{ Log } V$

2.1.4. Indicadores de Ruido y su Aplicación

2.1.4.1. Valores Límites

Es un valor de L_{den} o L_{night} , o en su caso L_{day} y $L_{evening}$, que de superarse, obliga a las autoridades competentes a aplicar medidas. Los valores límite pueden variar en función de la fuente emisora de ruido (ruido del tráfico rodado, ferroviario o aéreo, ruido industrial, etc.), del entorno o de la distinta vulnerabilidad al ruido de los grupos de población, y pueden ser distintos de una situación existente a una nueva situación (cuando cambia la fuente de ruido o el uso dado al entorno).

2.1.4.2. Definición del Nivel Día-Tarde-Noche L_{den}

El nivel día-tarde-noche L_{den} en decibelios (dB) se determina aplicando la fórmula siguiente:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \quad 46$$

Ecuación 45

Donde:

- L_{day} es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año,
- $L_{evening}$ es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos de la tarde de un año,

⁴⁶ **Ecuación 45:** DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0025:ES:PDF> Pág. 7.

- L_{night} es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año,

Donde:

1. Al día le corresponden 12 horas, a la tarde 4 horas y a la noche 8 horas. El Estado puede elegir por reducir el período de tarde en una o dos horas y alargar los períodos diurno y/o nocturno en consecuencia, siempre que dicha decisión se aplique a todas las fuentes.
 2. El Estado decidirá cuándo empieza el día (y, por consiguiente, cuándo empiezan la tarde y la noche) y esa decisión deberá aplicarse a todas las fuentes de ruido; los valores por defecto son 7.00-19.00, 19.00-23.00 y 23.00-7.00 (hora local).
- Un año corresponde al año considerado para la emisión de sonido y a un año medio por lo que se refiere a las circunstancias meteorológicas.

Y donde

- El sonido que se tiene en cuenta es el sonido incidente, es decir, no se considera el sonido reflejado en la fachada de una determinada vivienda (en general, ello supone una corrección de 3 dB en caso de medición).
- La altura del punto de evaluación de L_{den} depende de la aplicación:
 - Cuando se efectúen cálculos para la elaboración de mapas estratégicos de ruido en relación con la exposición al ruido en el interior y en las proximidades de edificios, los puntos de evaluación se situarán a 4,0 m \pm 0,2 m (3,8 m-4,2 m) de altura sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta; a tal efecto, la fachada más expuesta será el muro exterior más próximo situado frente a la fuente sonora; en los demás casos, podrán decidirse otras opciones.
 - Cuando se efectúen mediciones para la elaboración de mapas estratégicos de ruido en relación con la exposición al ruido en el interior y en las proximidades de edificios, podrán escogerse otras alturas, si

bien éstas no deberán ser inferiores a 1,5 m sobre el nivel del suelo, y los resultados deberán corregirse de conformidad con una altura equivalente de 4 m.

- En las demás aplicaciones, como la planificación acústica y la determinación de zonas ruidosas, podrán elegirse otras alturas, si bien éstas nunca deberán ser inferiores a 1,5 m sobre el nivel del suelo; algunos ejemplos:
 - Zonas rurales con casas de una planta.
 - La preparación de medidas locales para reducir el impacto sonoro en viviendas específicas, un mapa de ruido detallado de una zona limitada, que ilustre la exposición al ruido de cada vivienda.

2.1.4.3. Definición del Indicador de Ruido en Período Nocturno

El indicador de ruido en período nocturno L_{night} es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 2007, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año.

Donde:

- La noche dura 8 horas.
- Un año corresponde al año considerado para la emisión de sonido y a un año medio por lo que se refiere a las circunstancias meteorológicas.
- El sonido que se tiene en cuenta es el sonido incidente.
- El punto de evaluación es el mismo que en el caso de L_{den} .

2.1.4.4. Indicadores de Ruido Suplementarios

En algunos casos, además de L_{den} y L_{night} , y cuando proceda L_{day} y $L_{evening}$, puede resultar conveniente utilizar indicadores de ruido especiales con los valores límite correspondientes. He aquí algunos ejemplos:

- La fuente emisora de ruido considerada sólo está activa durante una pequeña fracción de tiempo (por ejemplo, menos del 20 % del tiempo durante todos los períodos diurnos, nocturnos de un año),
- El número de casos en que se emite ruido es, en uno o más de los períodos considerados, en promedio muy bajo.
- El contenido en bajas frecuencias del ruido es grande.
- Lamax o sel [nivel de exposición sonora (*sound exposure level*)] para la protección durante el período nocturno en caso de incrementos bruscos de ruido.
- Hay protección adicional durante el fin de semana o en un período concreto del año.
- Hay protección adicional durante el período diurno.
- Hay protección adicional durante el período vespertino.
- Se da una combinación de ruidos procedentes de fuentes distintas.
- Se trata de zonas tranquilas en campo abierto.
- El ruido contiene componentes tonales fuertes.
- El ruido tiene carácter impulsivo.

2.1.4.5. Métodos de Cálculo Provisionales de L_{den} y L_{night}

2.1.4.5.1. Adaptación de los Métodos Nacionales de Cálculo Vigentes

Si un Estado dispone de métodos de determinación de indicadores a largo plazo, podrá aplicarlos siempre y cuando los adapte a las definiciones de los indicadores propuestos. En la mayoría de los casos, será preciso añadir la tarde como otro período más que habrá que tener en cuenta, así como introducir la media a lo largo de un año. Puede resultar preciso, además, adaptar algunos de los métodos vigentes para excluir la reflexión de la fachada o incorporar el período nocturno y/o el punto de evaluación.

Debe tenerse especial cuidado a la hora de establecer la media anual. Las variaciones de la emisión y de la transmisión pueden contribuir a las variaciones que se registran a lo largo de un año.

2.1.4.6. Métodos de Cálculo Provisionales Recomendados

Los métodos recomendados, para los Estados que no cuentan con métodos nacionales de cálculo o para los que quieren cambiar a otro método de cálculo, son los siguientes:

2.1.4.6.1. Métodos Provisionales de Medición de L_{den} y L_{night}

Si un Estado desea utilizar su propio método de medición oficial, este deberá adaptarse a las definiciones y cumplir los principios aplicables a las mediciones medias a largo plazo expuestos en las normas ISO 1996-2: 2007 e ISO 1996-1: 2003.

Si un Estado no tiene en vigor ningún método de medición o prefiere aplicar otro, es posible determinar un nuevo método sobre la base de la definición del indicador y los principios presentados en las normas ISO 1996-2: 2007 e ISO 1996-1: 2003. Los datos obtenidos frente a una fachada u otro elemento reflectante deberán corregirse para excluir el efecto reflectante del mismo (en general, esto implica una corrección de 3 dB en caso de medición).

2.1.4.6.2. Métodos de Evaluación de los Efectos Nocivos

Las relaciones dosis-efecto se utilizarán para evaluar el efecto del ruido sobre la población. Las relaciones dosis-efecto:

- La relación entre las molestias y los valores de L_{den} por lo que se refiere al ruido del tráfico rodado, ferroviario, aéreo y de fuentes industriales,
- La relación entre las alteraciones del sueño y los valores de L_{night} por lo que se refiere al ruido del tráfico rodado, ferroviario, aéreo y de fuentes industriales.

- En caso necesario, podrán presentarse relaciones dosis-efecto específicas para:
 - Viviendas con aislamiento especial contra el ruido.
 - Viviendas con fachada tranquila.
 - Distintos climas o culturas.
 - Grupos de población vulnerables.
 - Ruido industrial tonal,
 - Ruido industrial impulsivo y otros casos especiales.

2.1.5. Requisitos Mínimos Sobre el Cartografiado Estratégico del Ruido

1. Un mapa estratégico de ruido es la representación de los datos relativos a alguno de los aspectos siguientes:
 - Situación acústica existente, anterior o prevista expresada en función de un indicador de ruido.
 - Rebasamiento de un valor límite.
 - Número estimado de viviendas, colegios y hospitales en una zona dada que están expuestos a valores específicos.
 - De un indicador de ruido.
 - Número estimado de personas situadas en una zona expuesta al ruido.
 - Los mapas estratégicos de ruido pueden presentarse al público en forma de:
 - Gráficos
 - Datos numéricos en cuadros
 - Datos numéricos en formato electrónico
2. Los mapas estratégicos de ruido para aglomeraciones harán especial hincapié en el ruido procedente de:
 - El tráfico rodado.
 - El tráfico ferroviario.
 - Los aeropuertos.

- Lugares de actividad industrial, incluidos los puertos.
3. El cartografiado estratégico del ruido servirá de:
 - Fuente de información destinada al público.
 - A cada una de estas funciones corresponde un tipo distinto de mapa estratégico de ruido.
 4. Por lo que se refiere a la información a la población, se debe proporcionar información adicional y más detallada
 - Una representación gráfica.
 - Mapas que indiquen los rebasamientos de un valor límite.
 - Mapas de diferencias que comparen la situación vigente con posibles situaciones futuras.
 - Mapas que presenten el valor de un indicador de ruido a una altura de evaluación distinta de 4 m, en caso necesario.
 - Los estados pueden establecer normas sobre el tipo y formato de esos mapas de ruido.
 5. Se elaborarán mapas estratégicos de ruido de aplicación local o nacional correspondientes a una altura de evaluación de 4 m y a rangos de valores de L_{den} y L_{night} de 5 dB.
 6. Con respecto a las aglomeraciones urbanas, se elaborarán mapas estratégicos especiales sobre el ruido del tráfico rodado, del tráfico ferroviario, del tráfico aéreo y de la industria. Pueden elaborarse también mapas sobre otras fuentes.

2.2. MARCO LEGAL

2.2.1. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo

Una Directiva de la Unión Europea o Directiva comunitaria, es un acto normativo dispuesto por el Consejo de la Unión Europea o la Comisión Europea.

“De acuerdo con lo establecido en los Tratados de Roma, una directiva es una decisión colectiva mutuamente obligatoria aprobada por los Estados miembros. Obliga a todos o parte de los Estados miembros en cuanto al objetivo a alcanzar, pero les permite elegir la forma y los medios para conseguir tales objetivos.”⁴⁷

“Los actos legislativos de la Unión Europea pueden tener diferentes formas: reglamentos, directivas, decisiones, recomendaciones y opiniones, aprobadas por las instituciones de la Unión de acuerdo con los tratados.”⁴⁸

Las directivas europeas suelen ser lo que se acostumbra a llamar directivas de doble enfoque. Eso quiere decir que la Comunidad Europea debe establecer un método de cumplir la directiva (desarrollándola completamente), y que generalmente se realiza mediante una Norma Armonizada (cuyo cumplimiento presupone cumplimiento de Directiva), pero también es posible cumplir con la Directiva por otros medios externos, para lo cual es necesario (generalmente) realizar un análisis de riesgos y certificarlo en un Organismo Notificado por medio de un examen CE de Tipo.

2.2.2. Objetivos Directiva 2002/49/CE

- Proteger contra el ruido siendo uno de los grandes problemas medioambientales.

⁴⁷ **EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, DIRECTIVA 2002/49/CE** de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental
(<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0025:ES:PDF>)

⁴⁸ *Ibíd.*

- Realizar datos reales y comparables con respecto a las distintas fuentes de ruido.
- Definir un indicador de ruido común y un método común para medir y calcular el ruido.
- Calcular emisiones sonoras en el entorno debido a las máquinas de uso al aire libre.
- Usar indicadores y métodos de evaluación armonizados
- Utilizar criterios de adaptación de la cartografía del ruido.
- Definir de los valores límite.
- Determinar la exposición al ruido ambiental.
- Elaborar mapas de ruido.
- Poner a disposición la información sobre el ruido ambiental y sus efectos
- Tomar planes de acción por como base los resultados de los mapas de ruidos.
- Reducir los ruidos emitidos por las principales fuentes, en particular vehículos e infraestructuras de ferrocarril y carretera, aeronaves, equipamiento industrial y de uso al aire libre y máquinas móviles.

2.2.3. Aplicación

Se aplicará al ruido ambiental al que estén expuestos los seres humanos en particular en:

- Zonas urbanizadas.
- En parques públicos.
- Otras zonas tranquilas en una aglomeración.
- En zonas tranquilas en campo abierto.
- En las proximidades de centros escolares.
- En los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido.

2.2.4. ISO 1996-1:2003

Define las cantidades de base, que se utilizará para describir el ruido en ambientes y describe los procedimientos básicos de evaluación. También especifica métodos para evaluar el ruido ambiental y proporciona orientación sobre la predicción de la respuesta de la molestia potencial de una agrupación a la exposición a largo plazo de varios tipos de ruidos ambientales. “Las fuentes de sonido pueden ser separadas o ser combinadas. La aplicación del método para predecir la respuesta molestia se limita a las zonas donde las personas viven, y relacionarla con los usos del suelo a largo plazo.”⁴⁹

La respuesta al ruido puede variar de forma diferente, entre las distintas fuentes que se observan. ISO 1996-1 describe los ajustes para los sonidos que tienen características diferentes. El nivel de clasificación que se utiliza, el término para describir físicamente predicciones o mediciones de ruido a la que uno o más ajustes se han añadido. Sobre la base de estos niveles de calificación, la respuesta a largo plazo puede ser estimada.

Los ruidos son evaluados de forma individual o combinada, permitiendo en consideración, cuando se considere necesario por las autoridades responsables, sobre las características especiales de su impulsividad, tonalidad y contenido en bajas frecuencias, y para las diferentes características de ruido del tráfico rodado, otras formas de transporte ruido (como el ruido de los aviones) y el ruido industrial. La ISO 1996-1 no especifica límites para el ruido ambiental.

2.2.5. ISO 1996-2:2007

Describe los niveles de presión pueden determinarse por medición directa, mediante la extrapolación de resultados de la medición por medio del cálculo, o

⁴⁹ ISO 1996-1:2003, ACOUSTICS , Description, measurement and assessment of environmental noise -- part 1: basic quantities and assessment procedures
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=28633

exclusivamente por cálculo, sirve de base para la evaluación de ruido ambiental. “Se dan recomendaciones sobre las condiciones preferibles de la medición o el cálculo que se aplicarán en los casos en que otras normas no se apliquen. Se puede utilizar para medir con ponderación de la frecuencia o en cualquier banda de frecuencias. Se dan orientaciones para evaluar la incertidumbre de los resultados de una evaluación del ruido.”⁵⁰

⁵⁰ISO 1996-2:2007, ACOUSTICS -- Description, Measurement And Assessment Of Environmental Noise -- Part 2: Determination Of Environmental Noise Levels
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=41860

3. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

En esta investigación el enfoque que se empleará es el Empírico-analítico, ya que por medio de éste es posible conocer y realizar un software de predicción de ruido de tráfico rodado. Para la obtención se usará la experimentación, la recolección de información, la medición y el análisis de técnicas.

3.1.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

La línea de investigación para este proyecto, de acuerdo a lo establecido en la Universidad de San Buenaventura, es la de **Tecnologías Actuales y de Sociedad**. La sociedad requiere de conocimientos técnicos y científicos de vanguardia, que ayuden a la solución del problema de ruido, para detectar los daños ocasionados en la vida de las personas que sufren la contaminación acústica, para ello, se hace necesaria la actualización constante de los instrumentos tecnológicos en diferentes áreas como: informática, comunicaciones, control, etc., con el fin de poder efectuar las aplicaciones del software, hacer las adaptaciones requeridas en la solución de dicho problema, y a su vez se detectar la contaminación acústica en dicha zona; los resultados se darán a conocer al estamento directamente relacionado con el bienestar de la sociedad.

La sub.-línea de la facultad es: Análisis y procesamiento de Señales

El campo temático del programa de Ingeniería de Sonido es el: **Audio y la Acústica**, actualmente con el desarrollo de la tecnología, es posible predecir el ruido de tráfico, por medio de la creación de una nueva herramienta, creada por el ingeniero de sonido, cuyo instrumento le permite detectar este problema y así mismo buscar diferentes soluciones.

Es por ello, que para este trabajo se requiere de conocimiento en este campo temático de investigación. Se deben manejar conceptos técnicos y científicos actualizados, en lo referente a procesos de algoritmos y medición de ruido de tráfico.

3.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para este proyecto se especifican dos formas objetivas de recolección de información:

Primero la recolección de la información se obtuvo por medio de entidades gubernamentales tales como: el IDU (Instituto Distrital Urbano) que otorgó información con respecto a las dimensiones de dicha vía, tipo de pavimento y gradientes. La secretaria de movilidad que concedió un estudio con respecto a la toma de información de campo para el programa de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte de Bogotá D.C., que mostró un conteo de vehículos mixtos durante 24 horas en la Autopista Norte en las calle 127, 134 y 170, el número por hora de vehículos mixtos y el porcentaje de vehículos pesados en las cuatro secciones de la vía, la paralela y la Autopista Norte en los dos sentidos. Transmilenio que dio información sobre el tráfico diario registrado en la troncal Auto-norte de lunes a viernes durante el tiempo de funcionamiento y el DANE (Departamento encargado de las estadísticas en Colombia) que proporcionó datos estadísticos sobre la población afectada por el ruido, sobre la vía en las localidades de Usaquén y Suba.

La segunda información obtenida por el estudiante de ingeniería de sonido, quien realizó la medición en la vía durante el periodo día entre la 7 am y las 9 pm. Esta información es única y cuantificable, otorgada por el medidor de nivel sonoro SVAN 943A determinado por tiempos y periodos de medición representativos, que muestren correlación con lo que está sucediendo en la Autopista Norte, donde se realizó una medición preliminar, para observar el comportamiento acústico de la

misma. A continuación se elaboró un plano, mostrando los puntos de medición, arrojando información necesaria para el estudio de esta investigación.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población se encuentra en la Autopista Norte entre las calles 127 y la calle 168, tráfico rodado específicamente, vehículos livianos y vehículos pesados que circulan por esta vía.

La muestra es la medición situada en el mismo lugar, contemplando toda el área de la vía, incluyendo la Autopista Norte con su respectiva paralela.

3.4. HIPÓTESIS

Si por medio de la Directiva 2002/49/EC se toman todas las variables tales como: flujo de tráfico, tipo de vehículos, temperatura, humedad, velocidad y tipo de asfalto y se aplican a la realidad bogotana del entorno de la Autopista Norte entre las calle 127 y 168, se puede diseñar un software de predicción de ruido de tráfico rodado que se ajuste a las mediciones realizadas.

3.5. VARIABLES

3.5.1. Independientes

- Las técnicas de predicción de ruido de tráfico rodado con respecto al diseño con el cual se realizó cada una de ellas.
- Las características físicas de la vía tales como tipo de vehículos, aforo, perfil longitudinal, velocidad, situación meteorológica deben tenerse en cuenta.

3.5.2. Dependientes

- Los métodos de predicción de ruido de tráfico rodado van a afectar el comportamiento del software ya que es la base de la programación del mismo.
- Las características físicas van a afectar directamente en la selección del modelo de predicción de ruido de tráfico rodado.

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El primer objetivo de esta investigación es determinar las variables del entorno a evaluar mediante el análisis de la vía. Esta información fue suministrada por medio de entidades gubernamentales tales como: el IDU (Instituto de desarrollo Urbano), La Secretaria de Movilidad, El DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) de Bogotá y Transmilenio S.A. Se obtuvieron los datos necesarios para verificar que cumpliera con la finalidad de la Directiva Europea, ya que todos los métodos están regidos por esta norma del Parlamento Europeo, para la elaboración de un mapa de ruido por medio de un algoritmo de predicción.

4.1. DATOS GENERALES

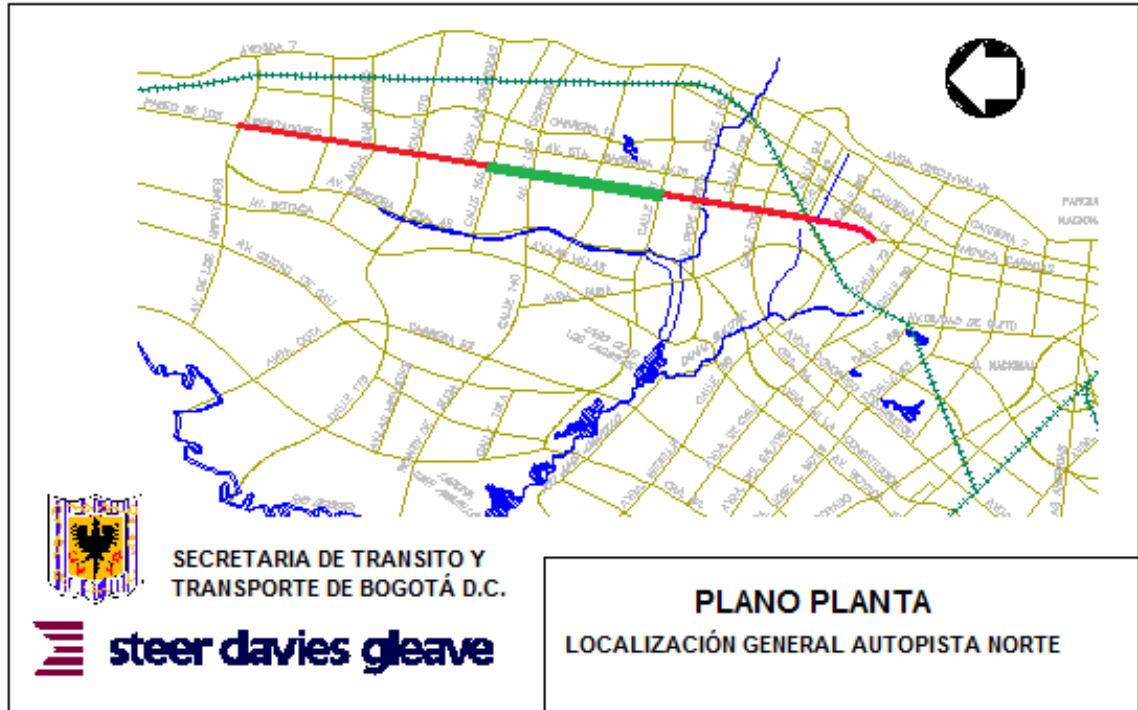
La Autopista Norte llamada también: Avenida Paseo de los Libertadores con su respectiva paralela, inaugurada en el año 1956 está localizada en Bogotá D.C. entre la calle 78 hasta la calle 245, sobre la carrera 45, con una extensión de 17,4 Kilómetros (Línea roja). La zona de estudio se realizó entre la calle 127 hasta la calle 168 (Línea Verde Gruesa) con una extensión de 4,6 Kilómetros.

Se seleccionó esta vía porque es una de las más importantes de la ciudad, por esta vía transitan aproximadamente doscientos mil vehículos por día⁵¹. Es una vía de alta velocidad donde se mantiene un flujo continuo fluido de tráfico, es una de las pocas vías de Bogotá que se mantiene en línea recta durante todo el trayecto, facilitando el análisis con estos métodos. Este análisis se realizó en el periodo día porque en este intervalo de tiempo es cuando transitan la mayoría de vehículos livianos y articulados (Transmilenio). Se seleccionó este intervalo, ya que está ubicado en un lugar estratégico de la ciudad, donde no hay intercesiones viales. Entre la calle 127 y la calle 168 se puede visualizar el comportamiento de un gran eje viario o vía primaria, esta está ubicada en una zona urbana donde viven cerca

⁵¹ Contrato 105 de 2008, Toma de información de campo para el programa de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte y para la priorización de intersecciones a semaforizar de Bogotá D.C. ejecutado en el año 2009.

de ciento cincuenta mil personas, ubicadas aproximadamente en cincuenta mil viviendas⁵² situadas en un sector de ruido intermedio restringido, por esta razón se realizó un estudio de tráfico rodado.

Figura 6: Plano General de Bogotá, con ubicación de la Autopista Norte, línea roja. (Anexo 1)



Fuente: STEER DAVIES GLEAVE, Consultor de Transporte, Plano digitalizado de Bogotá D.C.

Esta vía fue remodelada en el año 2000 al incorporar este sistema masivo. El sector en estudio, comprende dos intersecciones viales: la calle 134 y la calle 153 donde circulan gran cantidad de vehículos livianos y vehículos pesados.

La Autopista Norte es un importante viaducto de la ciudad, es una vía de alto tráfico vehicular, ya que a través de ésta, circulan gran cantidad de automóviles, buses articulados (Transmilenio) y camiones de 2 a 6 ejes, que entran y salen de

⁵² Censo Básico 2005
<http://190.25.231.242/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CG2005BASICO&MAIN=WebServerMain.inl>

la ciudad, haciendo de esta vía una de las más importantes para la capital. También es una fuente de ruido para la misma, a pesar de su alta densidad vehicular se encontró la cercanía de las viviendas y urbanizaciones en toda la sección estudiada.

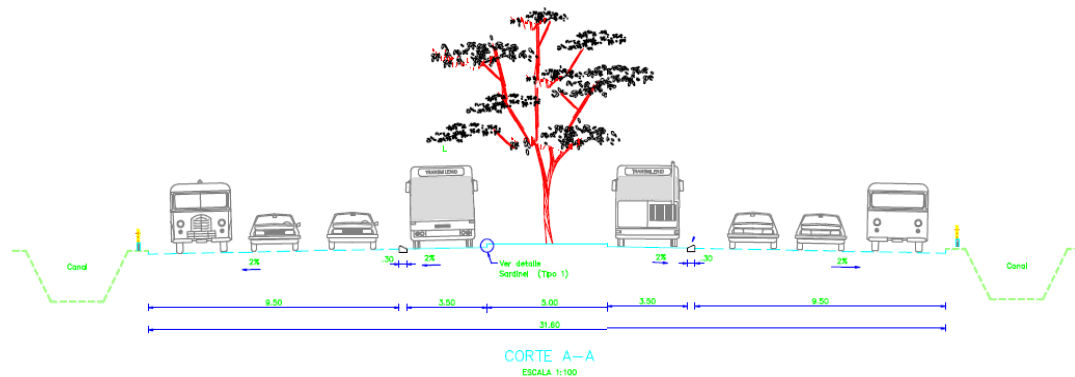
4.2. AUTOPISTA NORTE

4.2.1. Perfiles Longitudinales

Esta vía tiene tres carriles mixtos y está dividida en dos secciones generales, la primera consta de un carril adicional donde se encuentran las estaciones de Transmilenio, mientras la segunda solo tiene un carril de Transmilenio.

4.2.1.1. Sección Sin Estación de Transmilenio

Figura 7: Sección transversal típica de Autopista Norte sin estaciones (Anexo 4).



Fuente: STEER DAVIES GLEAVE, Consultor de Transporte, Plano digitalizado de Bogotá D.C.

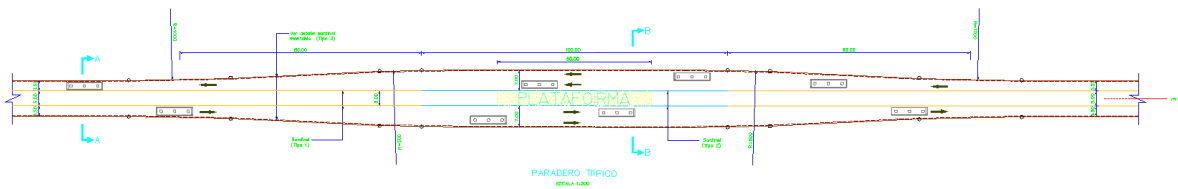
4.2.1.2. Componentes de las Secciones Transversales

Tabla 6: Medidas de la Autopista Norte Transversales

Área	Ancho (Metros)
Separadores Laterales	13 m a 18 m
Carriles Mixtos	10.5 m
Carril Transmilenio	3.5 m
Separador Central	5 m a 8 m

Inclinación Transversal: 2% con dirección hacia el canal.⁵³

Figura 8: Sección con estación de Transmilenio



Fuente: Sección planta solo carriles de Transmilenio Estación típica de Autopista Norte. (Anexo 4).

54

4.2.1.2.1. Componentes de la Sección Planta

Tabla 7: Medidas de la Autopista Norte Planta

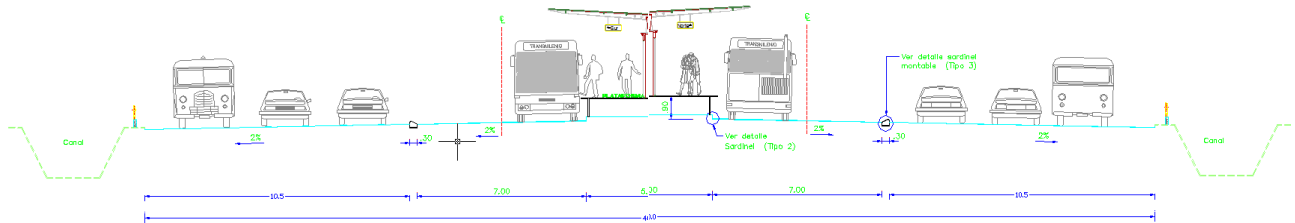
Área	Metros
Ampliación Carril Transmilenio	3.5 m a 7 m
Largo de la Ampliación	80 m
Radio de Ampliación	500 m
Largo de la sección de la estación	100 m
Separador Central	5 m
Largo de la estación	50 m

⁵³ Ibíd.

⁵⁴ Ibíd.

4.2.1.2.2. Sección Estación de Transmilenio

Figura 9: Sección transversal estación típica de Autopista Norte. (Anexo 4)



Fuente: STEER DAVIES GLEAVE, Consultor de Transporte, Plano digitalizado de Bogotá D.C.

55

4.2.1.2.3. Componentes de las Secciones Transversales

Tabla 8: Medidas de la Autopista Norte Planta Sección Transmilenio

Área	Ancho (Metros)
Separadores Laterales	8 m a 12 m
Carriles Mixtos	10,5 m
Carril Transmilenio	7 m
Estación	5 m

4.2.2. Pendiente

La Autopista Norte en el tramo analizado, tiene una pendiente horizontal en el sentido del tráfico inferior al 2%⁵⁶, en los perfiles longitudinales se puede ver la diferencia de emisión sonora en función de la pendiente de la vía, en las vías de un solo sentido, es directamente aplicable. En el caso de las vías por las que los vehículos circulan en ambos sentidos, hace falta dividir la vía por cada cambio de inclinación, se hace necesario separar los tramos para poder acumular los resultados y así obtener estimaciones precisas.

⁵⁵ Ibid.

⁵⁶ Ibid.

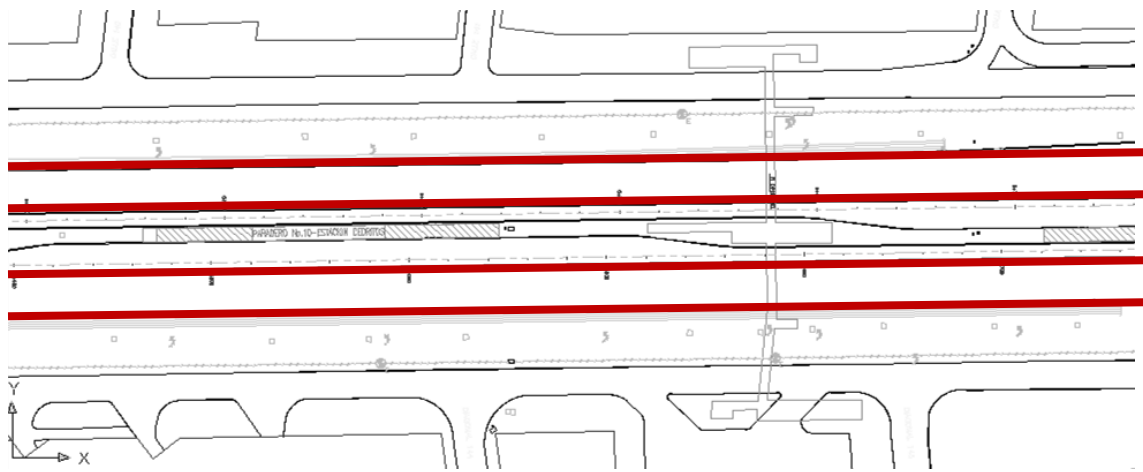
4.2.3. Tipos de Flujos de Tráfico

El tipo de flujo de tráfico, es un parámetro complementario al de la velocidad, tiene en cuenta la aceleración, desaceleración, carga del motor y flujo del tráfico en pulsos o continuo.

La Autopista Norte en los carriles mixtos, está dividida por dos tipos de flujo: **Flujo continuo fluido** y **Flujo acelerado en pulsos**, ya que esta tiene entradas y salidas de vehículos livianos y pesados.

4.2.3.1. Flujo Continuo Fluido

Figura 10: Plano plata Autopista Norte ubicando el Flujo Continuo.

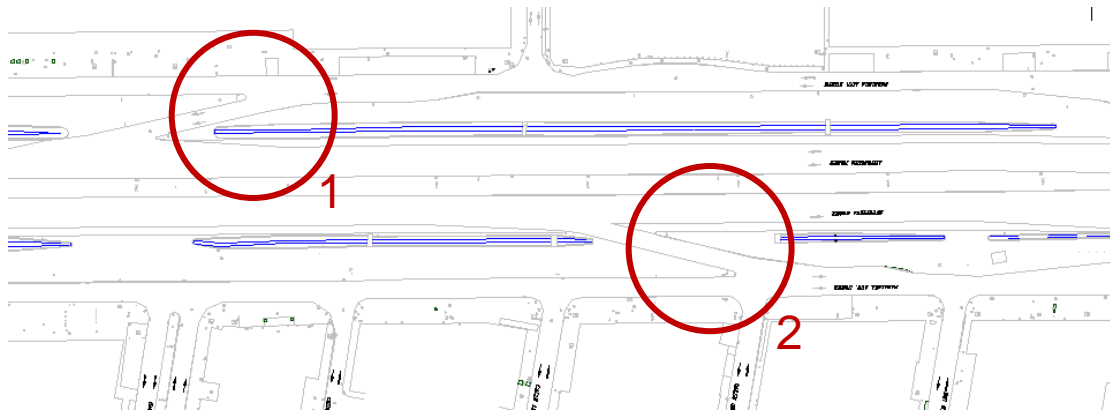


Fuente: Plano digitalizado planta Autopista Norte IDU Contrato 146-2000

Los vehículos se desplazan a velocidad casi constante por el segmento (Línea Roja Gruesa). Se habla de fluido, cuando el flujo es estable tanto en el espacio como en el tiempo, durante períodos de al menos diez minutos. Se pueden producir variaciones en el curso de un día, pero éstas no son ni bruscas ni rítmicas. Además, el flujo no es acelerado ni decelerado, sino que registra una velocidad constante, excepto cuando existe trancón.

4.2.3.2. Flujo Acelerado y Flujo decelerado en Pulsos

Figura 11: Plano plata Autopista Norte ubicando el flujo acelerado y desacelerado.



Fuente: Plano digitalizado planta Autopista Norte IDU 1999.

Flujo Acelerado (1), Se trata de un flujo en pulsos y turbulento. Sin embargo, una proporción significativa de los vehículos está acelerando, ya que están entrando a la Autopista Norte, lo que implica que la noción de velocidad sólo tiene sentido en puntos discretos, pues no es estable durante el desplazamiento. Caso típico del tráfico que se observa después de una intersección, en el acceso a la Autopista Norte.

Estos flujos acelerados hay en las calles:

1. Calle 166
2. Calle 159
3. Calle 152^a
4. Calle 150^a
5. Calle 145b
6. Calle 137
7. Calle 128^a
8. Calle 127bBIS

Flujo Desacelerado (2), Es el flujo contrario al anterior, pues una proporción importante de vehículos está decelerando, para poder entrar a la paralela puesto

que un porcentaje del tráfico va a salir de la autopista y necesita disminuir su velocidad para entrar a la vía alterna.

Estos flujos desacelerados hay en las calles:

9. Calle 164
10. Calle 161^a
11. Calle 152^a
12. Calle 147^a
13. Calle 146
14. Calle 136
15. Calle 128b
16. Calle 127^a

4.2.4. Tipo de Pavimento

La autopista fue elaborada con concreto rígido con escobilla metal.

Cada loza de la autopista tiene tres capas⁵⁷:

1. Concreto rígido, $e=0.27$ m; $MR=50$ kg/cm²
2. Relleno fluido
3. Base granular, $e=0.40$ cm

La que presenta más importancia es en la primera capa, ya que la fricción con las llantas es determinante para analizar el ruido en esta vía.

⁵⁷ Consorcio Integral S.A. Silva A Carreño y Asociados, Aprobado por Conciviles, comité de Diseño No. 7 del 20 de septiembre de 2000.

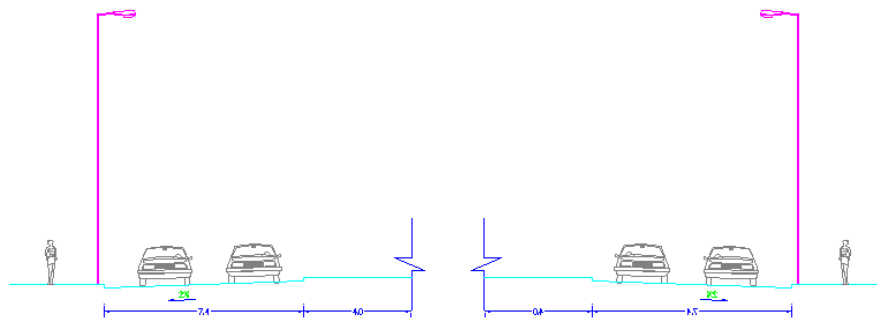
4.2.5. Tamaño de las Lozas

El tamaño de las lozas en toda la Autopista Norte, tiene unas dimensiones de 3.5 metros de ancho y 4 metros de largo⁵⁸.

4.3. PARALELA

4.3.1. Perfiles Longitudinales

Figura 12: Corte Transversal Paralela



Fuente: Plano digitalizado de Bogotá D.C. por *Steer Davies Gleave*: Consultor de Transporte

La paralela está dividida en dos secciones longitudinales, ya que desde la 127 hasta la calle 134, esta calle presenta 3 carriles y después desde la calle 134 hasta la calle 168, la misma se reduce a 2. Esta sección de la vía solo alberga tráfico mixto por lo cual el flujo de tráfico pesado es menor ya que la mayoría circula por la Autopista Norte.

4.3.1.1. Componentes de las Secciones Transversales

Tabla 9: Ancho de los carriles y andenes

Área	Ancho (Metros)
Carril	3.5 m por carril
Anden	4 m

⁵⁸ Ibíd.

4.3.2. Pendiente

La paralela en el tramo analizado de la vía horizontal, tiene una pendiente en el sentido del tráfico inferior al 2%.

4.3.3. Tipo de Flujo de Tráfico

La paralela tiene un flujo Acelerado y un flujo decelerado en pulsos, por esta razón, como se mencionó anteriormente, esta vía facilita el acceso a la Autopista Norte, además cuenta con varios ingresos por los costados exteriores.

4.3.4. Tipo de Pavimento

La paralela fue construida con Asfalto liso (hormigón o mástique asfáltico): la superficie de asfalto, hace referencia a la norma ISO 11819-1. Se trata de una superficie densa y de una textura regular, con una profundidad máxima de 11-16 mm.

4.4. DENSIDAD VEHICULAR

Para analizar los métodos de predicción de ruido de tráfico, es necesario mostrar la densidad vehicular, el tipo de transporte (tráfico liviano y pesado) y la velocidad. El flujo vehicular se realiza en tres periodos de 24 horas, diurno, tarde y nocturno. Ajustándolo a las necesidades reales de Bogotá. Para ello se utilizaron los datos obtenidos por la Secretaria de Movilidad en el proyecto “Toma de información de campo para el programa de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte de Bogotá D.C.”, quienes contribuyeron a la información precisa sobre el tráfico vehicular y su composición, así mismo al realizar la medición se hizo un conteo vehicular exigido por la ISO 1996-2 a continuación se muestran los siguientes datos:

4.4.1. Volumen Vehicular

Los vehículos se clasificaron en 2 grupos generales determinados de la siguiente manera:

4.4.1.1. Vehículos Livianos

- Carros Particulares
- Taxis
- Camperos
- Camionetas
- Colectivos Pequeños

4.4.1.2. Vehículos pesados

- Colectivos grandes
- Busetas
- Buses corrientes y ejecutivos
- Articulados corrientes y expresos
- Buses especiales
- Buses intermunicipales
- Camiones de 2 a 6 ejes
- Camiones especiales (volquetas, mezcladores de cemento)

4.4.2. Conteo Vehicular

4.4.2.1. Conteo Vehicular en las Secciones Generales

Los días 12, 13 y 14 de abril del año 2011, se realizaron 5 conteos vehiculares, en 5 puntos, en las dos direcciones de la Autopista Norte y la Paralela. Este conteo tuvo una duración de 15 minutos. En total por sección, se efectuaron 8 repeticiones por punto en los tres días y el total tuvo una duración de 10 horas. (Ver plano Anexo 1 de la Ubicación).

Tablas 10: Conteo vehicular secciones generales

Sentido Sur-Norte			
Secciones Generales		Vehículos por 15Min	
No.	Partes	Autopista	Paralela
1	Estación Toberín	714	509
2	Estación Cardio Infantil	698	531
3	Estación 146	729	557
4	Estación Prado	741	568
5	Estación Alcalá	783	649

Sentido Norte-Sur			
Secciones Generales		Vehículos por 15Min	
No.	Partes	Autopista	Paralela
1	Estación Toberín	675	521
2	Estación Cardio Infantil	684	515
3	Estación 146	720	624
4	Estación Prado	743	638
5	Estación Alcalá	811	706

4.4.2.2. Tráfico Mixto

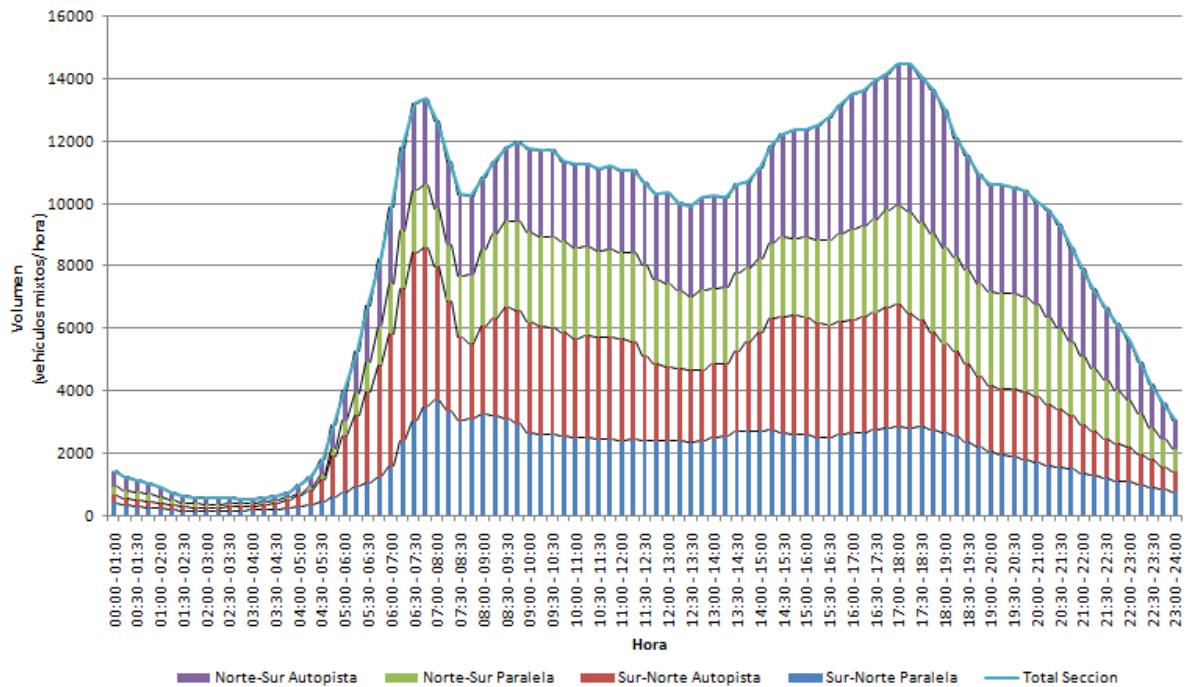
El tráfico mixto comprende todos los tipos de vehículos livianos y pesados que circulan por la vía, excepto los buses articulados (Transmilenio).

Se tomaron los datos de estudio hecho por la Secretaría de Movilidad, para que estadísticamente arrojaran un menor margen de error y porque esta toma se realizó durante las 24 horas del día en la autopista, sobre los dos sentidos, con intervalos de 15 minutos; para analizar los métodos de predicción.

4.4.2.3. Tráfico Total Vehicular sobre la Autopista Norte y la Paralela

Todos los métodos de predicción de ruido de tráfico rodado, se basan en el flujo vehicular, en la siguiente gráfica se detalla el aforo para los tres periodos de las 24 horas del día, para visualizar el comportamiento vehicular de la vía y se observa los cambios en las horas pico y las horas valle.

Gráfica 1: Circulación Tráfico Mixto en Periodos de 1 Hora de 00:00-01:00 y 00:30-01:30



Fuente: Contrato 105 de 2008, Toma de información de campo para el programa de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte y para la priorización de intersecciones a semaforizar de Bogotá D.C. ejecutado en el año 2009.

A partir de las 5:00 am, el tráfico aumenta considerablemente, de menos de 1.000 vehículos por hora a 10.000 vehículos hasta las 7:00 am. La hora pico de la mañana, va desde las 6:00 am hasta las 9:00 am, ya que se ve un primer pico en la gráfica. El número promedio habitual de vehículos en el día es de 11.000 vehículos por hora. La hora valle está comprendida entre la 9:00 am hasta las 4:00 pm, 7 horas donde el tráfico es constante. Terminada la jornada, se observa un segundo pico en la gráfica, mayor que el de la jornada de la mañana, con un volumen total de 14.500 vehículos por hora. Se puede inferir, que durante este periodo por la autopista, fluyen mayor cantidad de vehículos y desde las 8:00 pm hasta finalizar el día, hay una disminución considerable del tráfico vehicular.

4.4.3. Coteo Vehicular por Horas

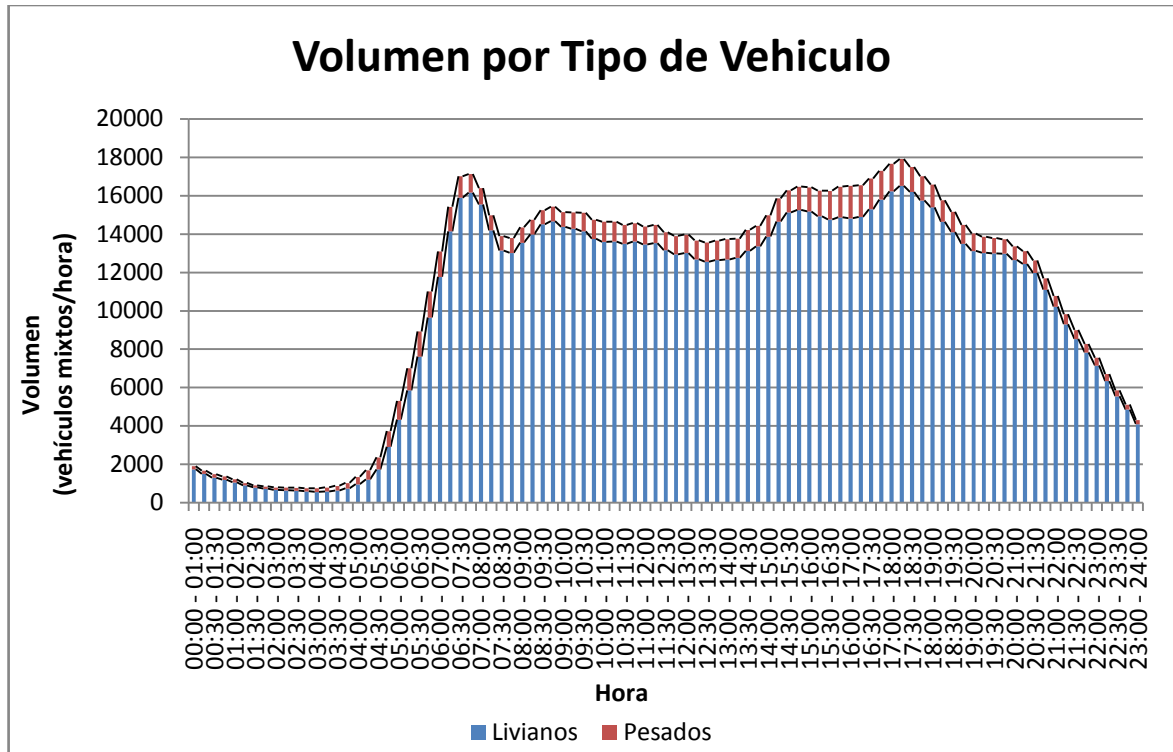
La siguiente tabla muestra el flujo vehicular de tráfico mixto durante las 24 horas del día, especificando el porcentaje de vehículos pesados.

Tabla 11: Flujo vehicular por horas dividido por jornadas en la Autopista Norte

CALLE 127							
Flujo Vehicular							
Hora	Sur-Norte		Norte-Sur		Total Sección	%Pesados	
	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista			
Día	07:00 - 08:00	3.680	4.307	1.864	2.805	12.656	5,21%
	08:00 - 09:00	3.232	2.863	2.440	2.330	10.865	5,58%
	09:00 - 10:00	2.620	3.591	2.879	2.670	11.760	5,05%
	10:00 - 11:00	2.464	3.239	2.878	2.660	11.241	7,19%
	11:00 - 12:00	2.377	3.304	2.768	2.585	11.034	6,52%
	12:00 - 13:00	2.375	2.421	2.647	2.889	10.332	6,84%
	13:00 - 14:00	2.469	2.389	2.438	2.959	10.255	7,71%
	14:00 - 15:00	2.699	3.167	2.372	2.897	11.135	7,39%
	15:00 - 16:00	2.565	3.799	2.551	3.441	12.356	7,68%
	16:00 - 17:00	2.612	3.666	2.900	4.353	13.531	10,25%
Tarde	17:00 - 18:00	2.805	3.969	3.157	4.522	14.453	8,11%
	18:00 - 19:00	2.651	2.857	3.092	4.402	13.002	7,16%
	19:00 - 20:00	2.054	2.124	2.997	3.432	10.607	6,51%
	20:00 - 21:00	1.690	2.155	2.904	3.302	10.051	5,29%
Noche	21:00 - 22:00	1.340	1.554	2.194	2.830	7.918	5,28%
	22:00 - 23:00	1.063	1.145	1.498	1.912	5.618	5,36%
	23:00 - 24:00	753	645	727	939	3.064	5,13%
	00:00 - 01:00	387	258	268	505	1.418	8,67%
	01:00 - 02:00	209	200	197	296	902	13,12%
	02:00 - 03:00	128	128	78	230	564	15,63%
	03:00 - 04:00	156	174	67	128	525	25,27%
	04:00 - 05:00	260	391	57	263	971	28,92%
	05:00 - 06:00	743	1.833	453	987	4.016	18,56%
06:00 - 07:00	1.558	4.300	1.568	2.452	9.878	10,12%	
Total	42.890	54.479	44.994	55.789	198.152		

El porcentaje de números de vehículos pesados varía a través del día, en el primer periodo tiene un promedio de 7% sin observar ningún cambio en esta jornada. En la hora pico de la tarde se observa un aumento de los vehículos pesados a un 8%. En la noche hay un aumento del 7% a un 14% en promedio, este aumento sucede porque los vehículos livianos dejan de transitar por la noche.

Gráfica 2: Gráfica tipo de vehículo por hora



4.4.4. Conteo Transmilenio

El 5 de mayo del 2011, la dirección de operaciones de Transmilenio presentó la información sobre el tráfico diario registrado en la troncal Auto-norte durante el periodo de funcionamiento.

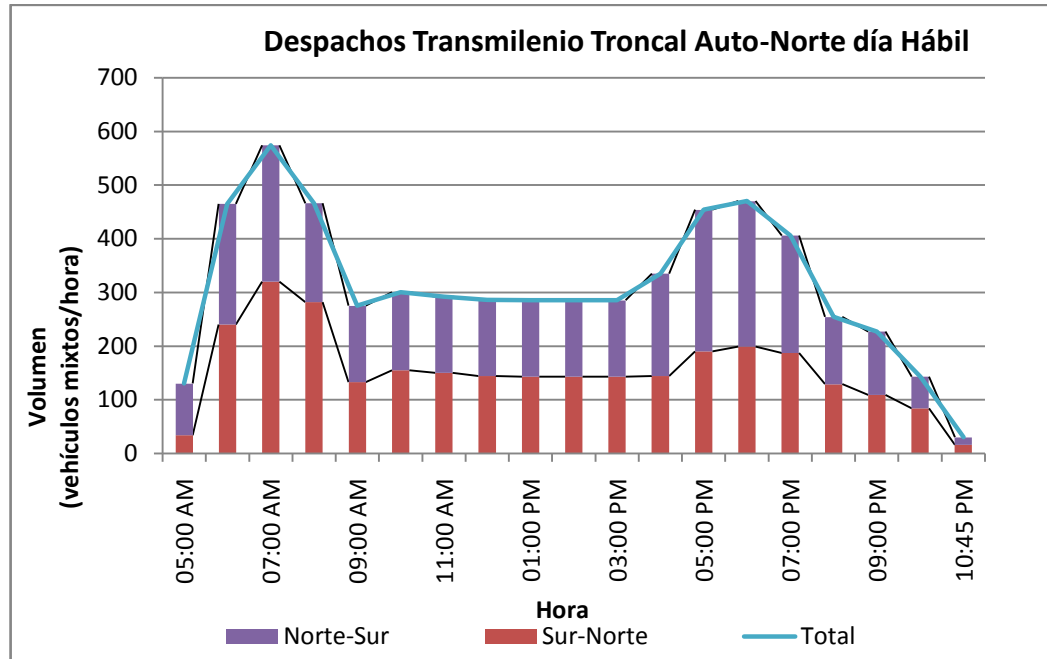
Tabla 12: Aforo Transmilenio durante toda la jornada por horas día hábil.

Despachos Troncal Auto-Norte día Hábil		
Hora	Norte-Sur	Sur-Norte
05:00 am	96	34
06:00 am	225	240
07:00 am	254	320
08:00 am	184	282
09:00 am	142	133
10:00 am	145	155
11:00 am	142	150
12:00 pm	142	144
01:00 pm	142	143
02:00 pm	142	143
03:00 pm	142	143
04:00 pm	191	144
05:00 pm	264	190
06:00 pm	271	199
07:00 pm	219	187
08:00 pm	125	129
09:00 pm	118	109
10:00 pm	59	84
10:45 pm	14	16

Fuente: Sd:676 – Dirección de Operaciones/Valbuena Gutiérrez.

Según la información otorgada por Transmilenio, hay un incremento de vehículos articulados en las horas pico por la Autopista Norte, en los periodos de 6:00 am a 8:00 am y de 5:00 pm a 7:00 pm.

Gráfica 3: Visualización tráfico de Transmilenio durante toda la jornada por horas día hábil, en las dos direcciones.



Fuente: Gráfica realizada con datos tomados por el centro de operación de Transmilenio, Sd:676 – Dirección de Operaciones/Valbuena Gutiérrez

4.4.4.1. Velocidad Transmilenio

La velocidad de Transmilenio, tiene un comportamiento distinto al tráfico mixto. Ellos tienen un carril exclusivo, donde la velocidad es constante durante todo el trayecto, esto sucede debido a que no están cambiando de carril. En consecuencia estos vehículos pesados, se dividen en dos grupos: los servicios corrientes que paran en todas las estaciones y tienen un flujo acelerado y desacelerado en pulsos, y los expresos que tienen un flujo fluido ya que no se detienen constantemente. Finalmente en el carril exclusivo para las estaciones, toma un flujo acelerado y desacelerado en pulsos, por el contrario del otro carril que tiene una velocidad constante de 60 Km/h, velocidad máxima permitida en estos tipos de vehículos.

El segundo objetivo de esta investigación, fue realizar una medición de ruido tráfico rodado, bajo la norma Directiva 2002/49/EC, la ISO 1996-1-2 y la Comisión 2003/613/EC; en 32 puntos estratégicos de la Autopista Norte.

4.5. PROTOCOLO DE MEDICIÓN

4.5.1. Datos Generales

Tabla 13: Datos protocolo de medición

Distancia Total	4.606	Metros
Distancia a Medir	3.905	Metros
Distancia entre puntos de medición	245	Metros
Total puntos de medición por jornada	32	Puntos
Tiempo neto de medición por Jornada	4	Horas
Intervalo de medición por punto de medición	5	Minutos
Tiempo total de medición por jornada	6 y 1/2	Horas

4.5.2. Perfil del Sonómetro

El Sonómetro Analizador de Espectro SVAN 943A Tipo 1 con micrófono Tipo 2, es un equipo para las medidas de ruido general, medidas de ruido ambiental, aislamiento acústico y ruido en el ámbito laboral.

Figura 13: Sonómetro con su respectivo trípode acoplado al mono-pie.



El equipo dispone de tres perfiles de medida que permite realizar mediciones simultáneas con diferentes ponderaciones de frecuencia y constantes de tiempo. Cada perfil permite medir diferentes parámetros como: L_{eq} , L_{Max} , L_{Min} , L_{Pico} , SPL y SEL, para medida de ruido o RMS y Pico. Asimismo, cada perfil puede registrar la historia temporal, proporcionando información detallada de la señal en la memoria interna no volátil y posteriormente transferir la información a un PC a través del cable USB y el software SvanPC+.

El equipo dispone de todos los filtros de ponderación requeridos para diferentes aplicaciones (A, C) y dispone de la opción de análisis en bandas de 1/1 de octava o 1/3 de octava y, análisis FFT.

4.5.3. Perfiles de Medida

Tabla 14: Datos Perfiles de Medida del Sonómetro

Perfil	Valor
Internal Software Version:	5.20
File system Version:	5.15
Original File Name:	@AUT0XX
Associated File Name:	Buffer_XX
Device Function:	1/3 Octave
Start Delay:	15.0 s
Integration Period:	5 m
Octave 1/3 In Logger:	RMS
Octave 1/3 Filter:	Lin
Octave 1/3 Lowest Freq:	25.00 Hz
Weighting Filter:	Lin A C
Detector Type:	Slow Slow Slow
Logger Contents:	RMS RMS RMS

4.5.4. Horarios

Según la Directiva 2002/49/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, el día se reparte en tres periodos, donde el estado puede reducir o aumentar estos periodos por 1 o 2 horas, según el Anexo 1 sobre indicadores de ruido contemplados en el artículo 5to de la misma se determinan de la siguiente manera:

- Día: 07:01 am – 05:00 pm (10 horas)
- Tarde: 05:01 pm – 09:00 pm (04 horas)
- Noche: 09:01 pm – 07:00 am (10 Horas)

Estos tiempos son definidos en la ISO 1996-1, sobre la descripción y evaluación de ruido ambiental, magnitudes y métodos de evaluación, estos tiempos ya han sido modificados ya que el periodo laboral en Bogotá o sea el día, inicia desde las 7:00 am hasta las 10:00 am y termina a las 5:00 pm, en la tarde, se modificó ya que en este periodo los ciudadanos están retornando a su casa y el tráfico aumenta considerablemente; el periodo noche son las horas de descanso donde el ruido debe ser menor.

Según la Resolución 0627 de 2006, establece los siguientes horarios para la evaluación y gestión de ruido ambiental según el artículo 2do sobre las disposiciones generales. En el capítulo uno se establecen de la siguiente manera:

- Día: 07:01 am – 09:00 pm (14 horas)
- Noche: 09:01 pm – 07:00 am (10 horas)

En esta norma colombiana se omite la tarde, ya que su finalidad es determinar el daño que puede hacer la contaminación acústica en los ciudadanos, pero para el objeto de estudio de esta investigación se determinó colocar la tarde, ya que este periodo es muy importante por el aumento de tráfico mixto y de Transmilenio en la Autopista Norte.

La medición se realizó en el periodo día, en dos jornadas de medición: de 7 am a 2:00 pm y de 2:00 pm a 9:00 pm.

4.5.5. Parámetros de Medida

Las normas exigen que el parámetro de medida que se debe usar según la Resolución 0627 en el artículo 4to, la directiva 2002/49/EC y la ISO 1996-1, es la ponderación dB(A). Si existe presencia de frecuencias bajas se adicionará la ponderación dB(C).

- Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, ($L_{Aeq,T}$) y ponderado lento (S).
- Ruido Residual, medido como nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, ($L_{Aeq,T, Residual}$.)
- Nivel percentil (L_{90})

4.5.6. Distancia entre Puntos

Según la Resolución 0627 en el Capítulo III, sobre el Procedimiento para determinación del número de puntos y de los tiempos de medición para ruido ambiental, se determina la distancia máxima de 250 metros donde hay aglomeraciones de personas. Para este estudio se determinaron 32 puntos entre una distancia de 240 metros aproximadamente. (Anexo 1)

4.5.7. Intervalo de Medida

Según la Resolución 0627 en el artículo 5to, se determina los intervalos de tiempo distribuidos uniformemente hasta obtener como mínimo quince (15) minutos de captura de información por punto.

Según la ISO 1996-2 en el inciso 8 sobre el procedimiento de medición, determina que se debe seleccionar el intervalo de medición de tiempo para cubrir todas las variaciones significativas de las emisiones de ruido y su propagación.

Se determinó que en las dos jornadas de medición, se realizarán 6 repeticiones por punto. En un intervalo de medida de 5 minutos, para finalmente tener como resultado 30 minutos de muestra por punto.

4.5.8. Altura

La Resolución 0627 en el artículo 24, sobre las representaciones gráficas de los indicadores de ruido ambiental. Exigen una altura del sonómetro de cuatro (4) metros respecto al nivel del piso y la norma ISO 1996-2 en el punto 8, sobre la

localización del micrófono, exige que la altura apropiada debe estar entre 4 y 5 metros sobre el nivel del suelo.

Figura 14: Mono-pie de 4 metros de altura, acoplado al sonómetro



4.5.9. Condiciones Meteorológicas.

En el inciso 7 de la ISO 1996-2 determina que las mediciones de los niveles equivalentes de presión sonora ponderados A, ($L_{Aeq,T}$) deben efectuarse en tiempo seco, no debe haber lluvias, lloviznas, truenos o caída de granizo. Los pavimentos deben estar secos, la velocidad del viento no debe ser superior a tres metros por segundo (3 m/s). En cada sesión de medición se especifica las condiciones meteorológicas.

A continuación, se muestra una formula de la ISO 1996-2 que especifica las alturas de emisión y recepción, donde no se cumplan las condiciones meteorológicas pueden afectar seriamente los resultados de la medición.

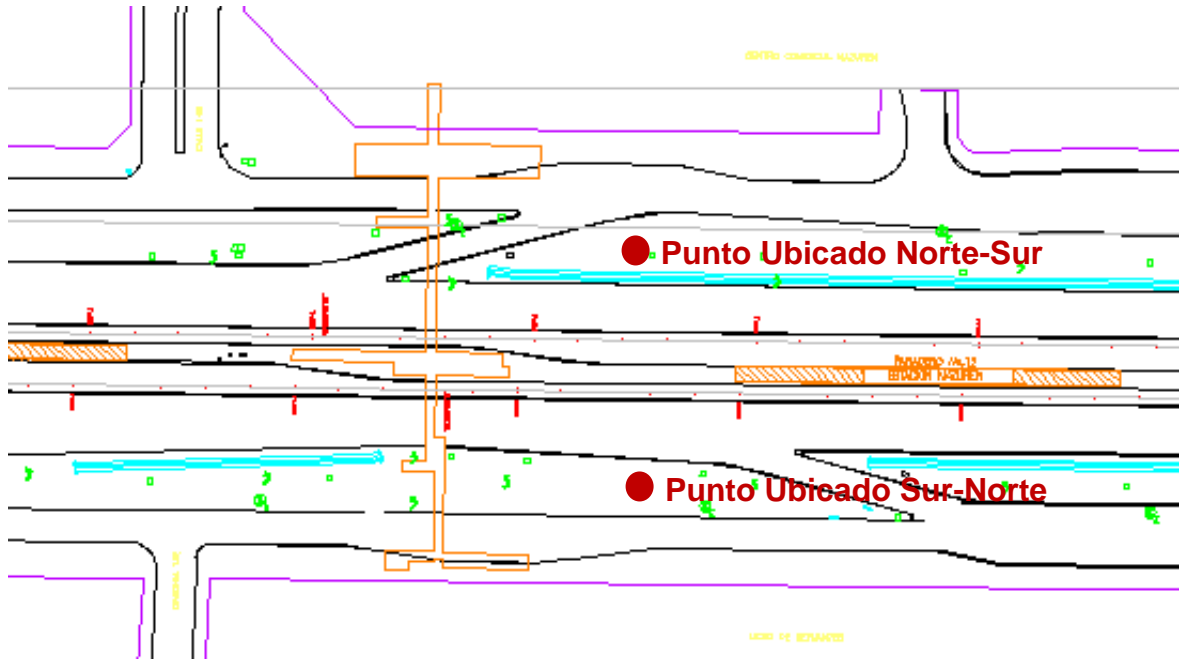
$$\frac{h_s+h_r}{r} \geq 0.1 = \frac{4m+0.5m}{8.5m} \geq 0.1= 0.53 \geq 0.1$$

Donde,

- h_s , es la altura de origen = 4m
- h_r , es la altura del receptor = 0.5m
- r , es la distancia entre la fuente y el receptor = 8.5m

4.5.10. Ubicación de Puntos de Medición

Figura 15: Plano tipo planta ubicación punto de medición



Para analizar mejor los métodos de predicción de ruido de tráfico rodado, se determinó que la ubicación de los puntos serian entre la Autopista Norte y la paralela, ya que son sistemas independientes, pero están aportando al ruido. (Ver Anexo 1: Ubicación planta de los 32 puntos de medición)

4.6. MÉTODO DE REALIZACIÓN DE LA MEDICIÓN

Para cumplir el protocolo de medición hacia la realización de un mapa de ruido, se trazó una red o cuadrícula de medición en el sitio de estudio. Se definieron los puntos de medición, mediante la superposición sobre un plano de una cuadrícula que tiene dimensiones proporcionales a la superficie del área en estudio (Ver Plano Adjunto).

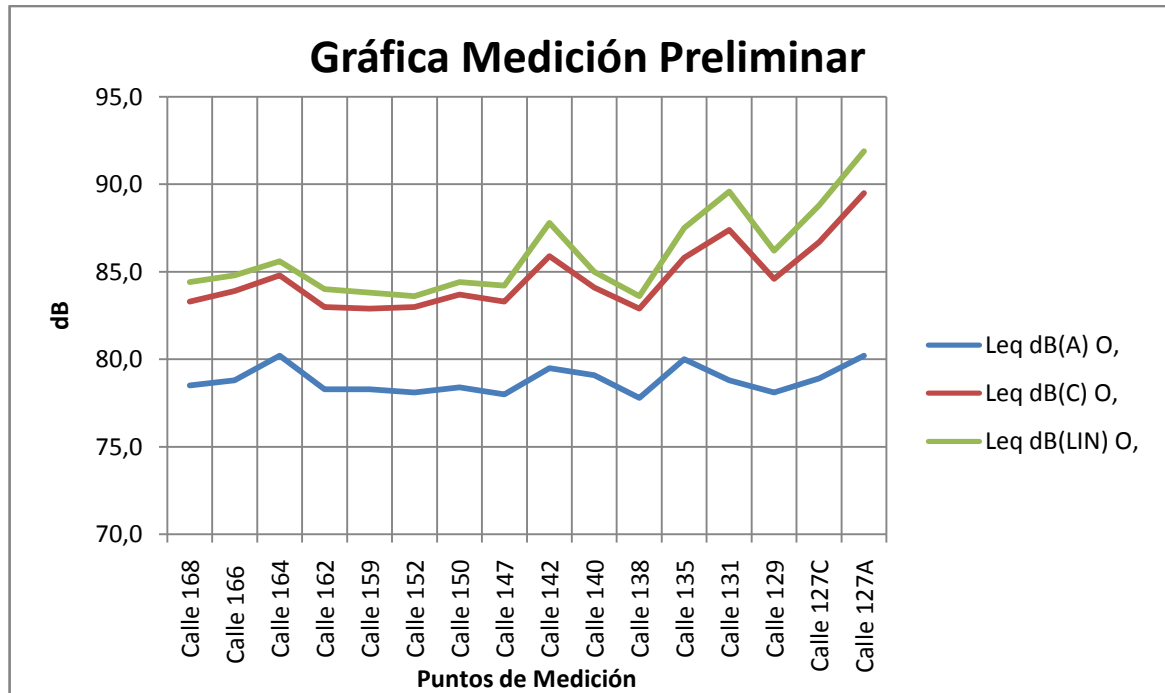
Se eligió este criterio, porque siendo una distancia tan grande (4,6 Kilómetros), la utilización de esta sirvió para ubicar los puntos de medición. Cada punto de medición tiene una distancia de 245 metros aproximadamente. Para la utilización de este método, los puntos de medición deben separarse y ubicarse aproximadamente de L_{eq} 3 a 5 dB(A) de diferencia. El 17 de noviembre de 2010, se realizó una medición preliminar, siguiendo el protocolo de medición anteriormente mencionado, para que cumpliera con este criterio, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 15: Resultados Medición Preliminar

Medición Preliminar																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	78,5	78,8	80,2	78,3	78,3	78,1	78,4	78,0	79,5	79,1	77,8	80,0	78,8	78,1	78,9	80,2
Leq dB(C)	83,3	83,9	84,8	83,0	82,9	83,0	83,7	83,3	85,9	84,1	82,9	90,8	87,4	84,6	86,7	89,5
Leq dB(LIN)	84,4	84,8	85,6	84,0	83,8	83,6	84,4	84,2	87,8	85,0	83,6	93,5	89,6	86,2	88,8	91,9

En la anterior tabla se observó que en los 32 puntos de medición, no hay diferencia significativa o superior a los 3 dB(A) en ninguno de los puntos de medición, por lo tanto se puede realizar el protocolo de medición anteriormente explicado.

Gráfica 4: Resultados Medición Preliminar



Este estudio preliminar se realizó para determinar el ruido, en función de los vehículos que circulan durante la medición. Ubicados los puntos, se determinó que estos son apropiados para la ejecución, determinando los lugares definitivos de cálculo de los valores para el análisis de la Autopista Norte.

El tiempo de duración que se necesita para medir cada punto por jornada es de 15 minutos. Este tiempo se repartió en intervalos de 5 minutos, con un total de 30 minutos por punto. Se establecen diferentes jornadas de tiempo para las mediciones durante la mañana y la tarde, para observar si había cambios drásticos rotando los tiempos en cada punto y así observar perturbaciones durante el periodo diurno.

No se realizó medición nocturna, debido a que la circulación es muy baja y el tráfico de vehículos livianos disminuye considerablemente. El tráfico pesado aumenta de un 7% a un 28%, alterando el resultado de los métodos.

4.7. RESULTADOS MEDICIÓN

La medición se realizó acorde a la ISO 1996-2 y a la Resolución 0627 los días 15, 22 y 23 de febrero en la jornada de la mañana y los días 18 de marzo, 4 de abril y 4 y 11 de agosto de 2011. Las mediciones se realizaron en el periodo día lo que involucra 192 puntos en 32 puntos estratégicos de la Autopista Norte entre las 7:00 am y las 9:00 pm. El interés del estudio es evaluar el ruido de tráfico rodado en la Autopista Norte entre las calles 127 hasta la calle 168. En esta zona transita gran cantidad de vehículos mixtos y Transmilenio, donde se encuentran urbanizaciones residenciales y locales comerciales, así mismo se encuentran colegios y clínicas. Se realizó esta medición con el fin de ver el nivel de ruido de la vía en mención y así realizar un algoritmo de predicción sobre la dosis de ruido aportado en este lugar. La medición se realizó en escala de dB en la ponderación A y con ponderación temporal Slow.

4.7.1. Datos Meteorológicos

Es importante tener en cuenta los datos meteorológicos de los días de medición, para estar al tanto de los factores climatológicos. Y así estar acorde con lo estipulado en la normativa internacional, sobre las condiciones atmosféricas.

Tablas 16: Datos Meteorológicos

Medición Jornada Mañana 1		Medición Jornada Mañana 2	
Información General		Información General	
Fecha de la Medición	15 de Febrero de 2011	Fecha de la Medición	22 de Febrero de 2011
Equipo Utilizado	SVAN943A - 5168	Equipo Utilizado	SVAN943A - 5183
Condiciones Atmosféricas		Condiciones Atmosféricas	
Dirección del viento	SE	Dirección del viento	NE
Velocidad del viento	1.38 m/s	Velocidad del viento	2.22 m/s
Tiempo	Mayormente Cubierto	Tiempo	Parcialmente Cubierto
Presión Atmosférica	1024.0mb	Presión Atmosférica	1027.0mb
Humedad	88%	Humedad	72%
Temperatura	8°C - 19°C	Temperatura	10°C - 18°C

Medición Jornada Mañana 3		Medición Jornada Tarde 4	
Información General		Información General	
Fecha de la Medición	23 de Febrero de 2011	Fecha de la Medición	18 de marzo de 2011
Equipo Utilizado	SVAN943A - 5183	Equipo Utilizado	SVAN943A - 5183
Condiciones Atmosféricas		Condiciones Atmosféricas	
Dirección del viento	SW	Dirección del viento	NW
Velocidad del viento	1.66 m/s	Velocidad del viento	2.49 m/s
Tiempo	Mayormente Cubierto	Tiempo	Semi-Nublado
Presión Atmosférica	1024.0mb	Presión Atmosférica	1023.0mb
Humedad	75%	Humedad	68%
Temperatura	7°C - 18°C	Temperatura	17°C - 19°C

Medición Jornada Tarde 5		Medición Jornada Tarde 6	
Información General		Información General	
Fecha de la Medición	4 de Agosto de 2011	Fecha de la Medición	11 de Agosto de 2011
Equipo Utilizado	SVAN943A - 5183	Equipo Utilizado	SVAN943A - 5183
Condiciones Atmosféricas		Condiciones Atmosféricas	
Dirección del viento	SE	Dirección del viento	NE
Velocidad del viento	1.94 m/s	Velocidad del viento	2.63 m/s
Tiempo	Mayormente Cubierto	Tiempo	Parcialmente Cubierto
Presión Atmosférica	1025.0mb	Presión Atmosférica	1027.0mb
Humedad	76%	Humedad	64%
Temperatura	15°C - 18°C	Temperatura	15°C - 19°C

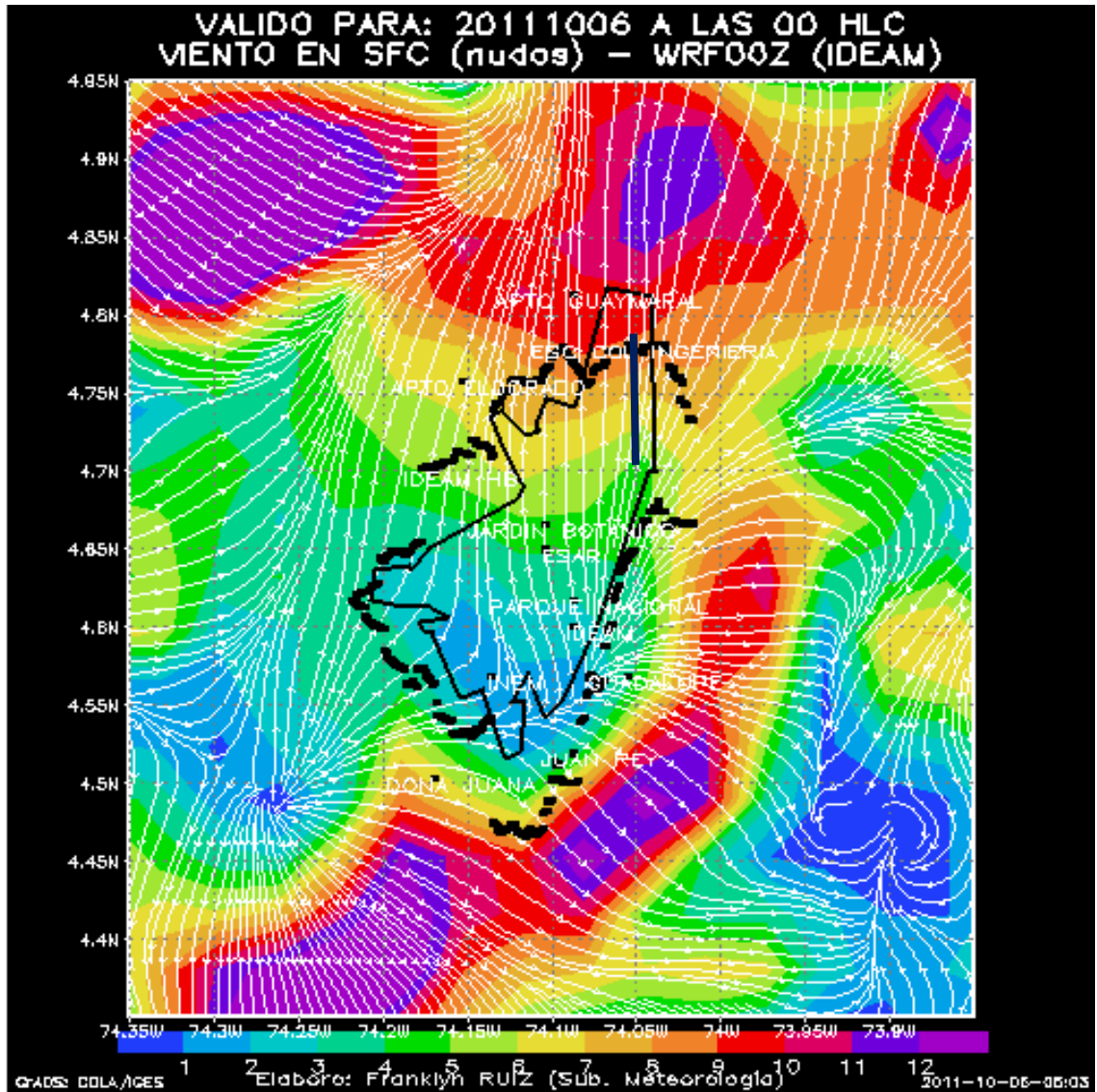
Fuente: Pronóstico Del Estado Del Tiempo Para Bogotá, Servicio de Información Ambiental del IDEAM <http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/bogota/index.php>

Los primeros datos meteorológicos fueron obtenidos por el Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), sobre toda la superficie de la ciudad de Bogotá D.C. información sacada del Pronóstico de Variables Meteorológicas Referidas en las Coordenadas Geográficas del Aeropuerto ELDORADO. Luego se limitaron estos datos en la zona de estudio los días de las mediciones, para corroborar que cumpliera con los estamentos de las normativas mencionados en el protocolo de medición.

Como se puede ver en las tablas anteriores, la temperatura no es inferior a los 0°C, ni superior a los 35°C, por esta razón se pudo utilizar el sonómetro en todas las jornadas de medición; sin que existan alteraciones de temperatura. Así mismo la dirección del viento no es superior a los 3m/s en ninguna jornada. La humedad no superó los 80%, el tiempo durante las mediciones estuvo mayormente cubierto pero no se presentó ningún tipo de lluvia.

Las siguientes figuras que se exponen en el sitio, son generadas con el modelo de mesoescala WRF (Weather Research and Forecasting) con datos iniciales del modelo global GFS de baja resolución, de las 00 UTC y llevados a una resolución espacial de 5 kilómetros.

Figura 16: Dirección del viento sobre toda la superficie de Bogotá

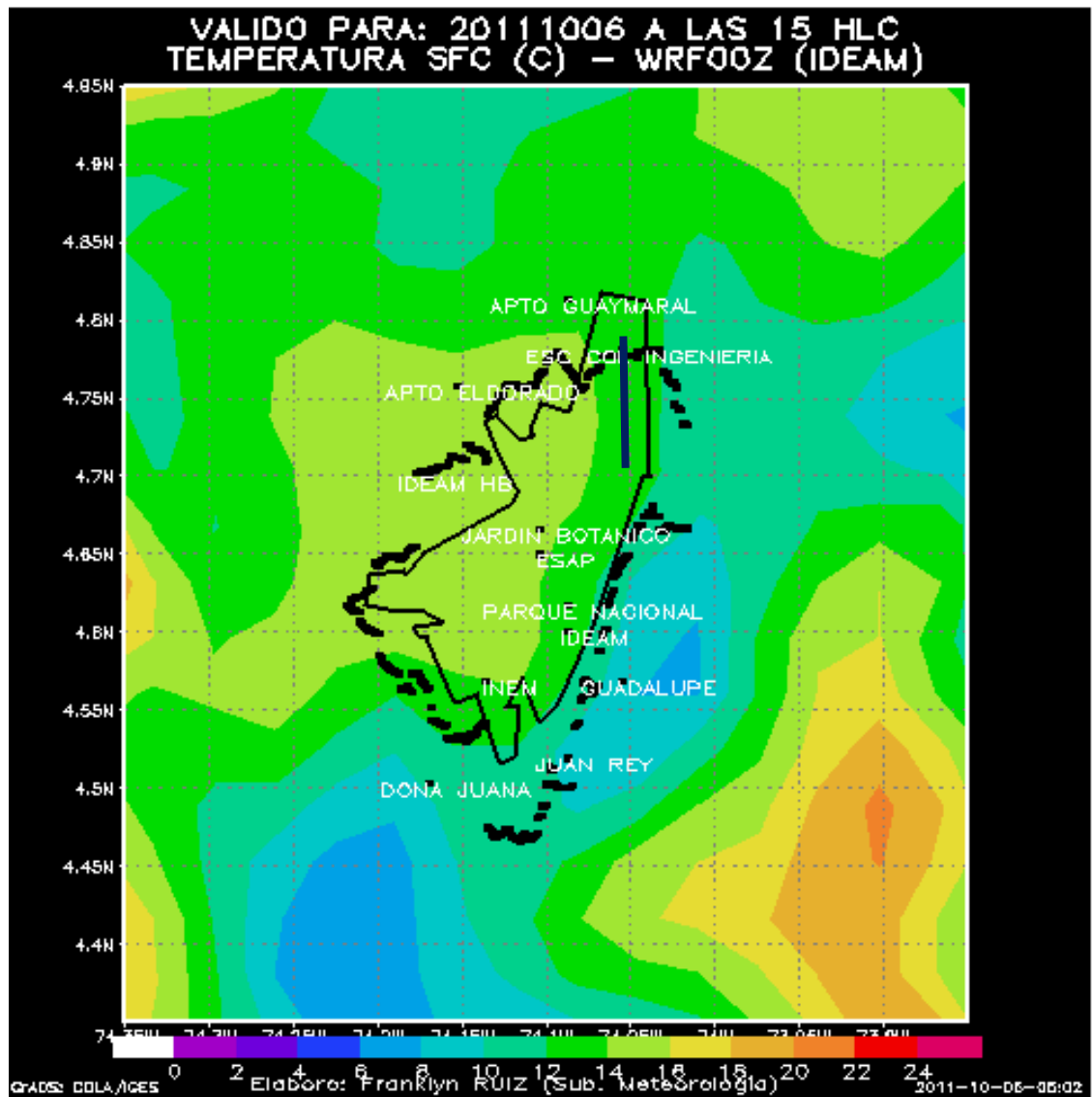


Línea Azul: Autopista Norte

Fuente: Gráfica dirección del viento por horas tomada de la página oficial:

http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/bogota/vsfc_dia1.html sobre el Análisis Sobre Bogotá-Viento en Superficie

Figura 17: Temperatura sobre toda la superficie de Bogotá



Línea Azul: Autopista Norte

Fuente: Gráfica temperatura por horas tomada de la página oficial:
http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/bogota/tsfc_dia1.html sobre el Análisis Sobre Bogotá-
Temperatura en Superficie

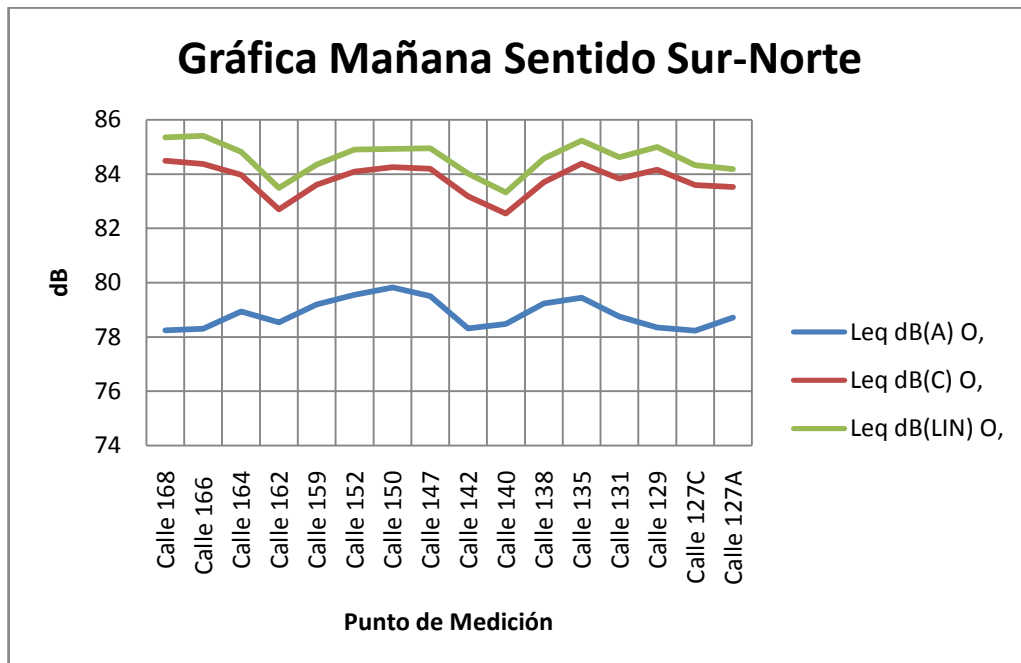
Los resultados mostrados a continuación, son el promedio de las 3 mediciones de la jornada de la mañana en los dos sentidos de la Autopista Norte. Se muestran las tres ponderaciones para visualizar si hay componentes de frecuencias bajas.

4.7.2. Resultados Periodo Mañana

Tabla 17: Resultado Mañana Sur-Norte

Tabla Mañana Sentido Sur-Norte																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	78,2	78,3	78,9	78,5	79,2	79,6	79,8	79,5	78,3	78,5	79,2	79,4	78,7	78,3	78,2	78,7
Leq dB(C)	84,5	84,4	84	82,7	83,6	84,1	84,3	84,2	83,2	82,5	83,7	84,4	83,8	84,2	83,6	83,5
Leq dB(LIN)	85,3	85,4	84,8	83,5	84,3	84,9	84,9	84,9	84	83,3	84,6	85,2	84,6	85	84,3	84,2

Gráfica 5: Resultado mañana Sur-Norte

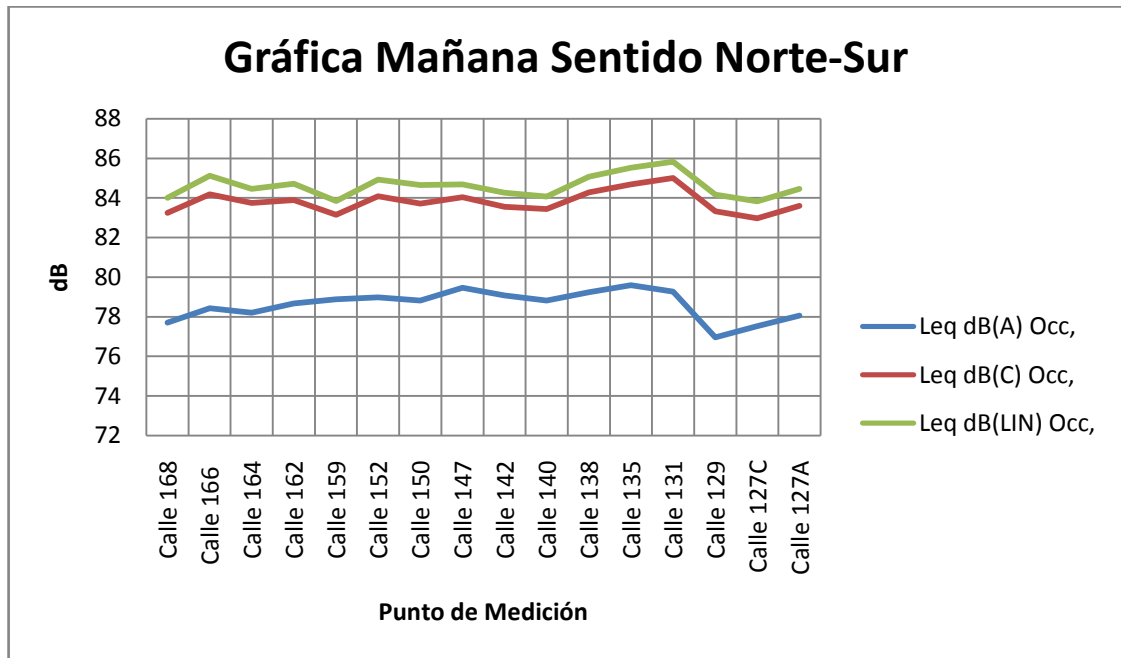


En la gráfica se observa la Autopista Norte, durante todo el recorrido de sur a norte, este se comporta linealmente y con aumento leve de 1,5 dB (A), en las calles 153 y 134.

Tabla 18: Resultado Mañana Norte-Sur

Tabla Mañana Sentido Norte-Sur																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	77,7	78,4	78,2	78,7	78,9	79	78,8	79,5	79,1	78,8	79,2	79,6	79,3	77	77,5	78,1
Leq dB(C)	83,2	84,2	83,8	83,9	83,1	84,1	83,7	84	83,6	83,4	84,3	84,7	85	83,3	83	83,6
Leq dB(LIN)	84	85,1	84,5	84,7	83,8	84,9	84,7	84,7	84,3	84,1	85,1	85,5	85,8	84,2	83,8	84,5

Gráfica 6: Resultado mañana Norte-Sur



Se observa en la Autopista Norte en sentido Norte-Sur, un leve aumento entre la calle 168 y la calle 131, con un pequeño decaimiento en la calle 129, de 2 dB(A).

Los resultados mostrados a continuación son el promedio de las 3 mediciones de jornada de la tarde en los dos sentidos de la Autopista Norte.

4.7.3. Resultados Jornada Tarde

Tabla 19: Resultado Tarde Sur-Norte

Tabla Tarde Sentido Sur-Norte																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	77,4	78,8	78,5	79,9	79	78	79,2	78	78	78,4	78,9	79	80,4	78,4	79	78,9
Leq dB(C)	82,5	83,3	82,8	84	83,3	83,4	83,9	83,3	82,7	83,3	83,5	83,7	84,7	83,8	83,9	83,5
Leq dB(LIN)	83,3	84,1	83,6	84,8	84	84,3	84,6	84,1	83,5	84,2	84,3	84,4	85,5	84,6	84,6	84,2

Gráfica 7: Resultado Tarde Sur-Norte

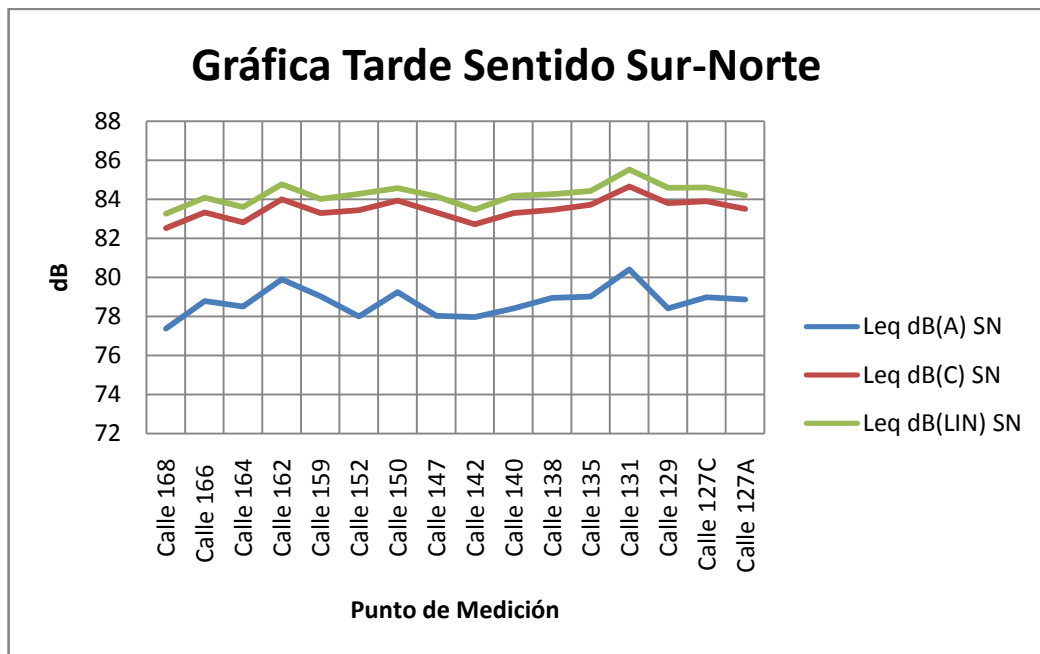
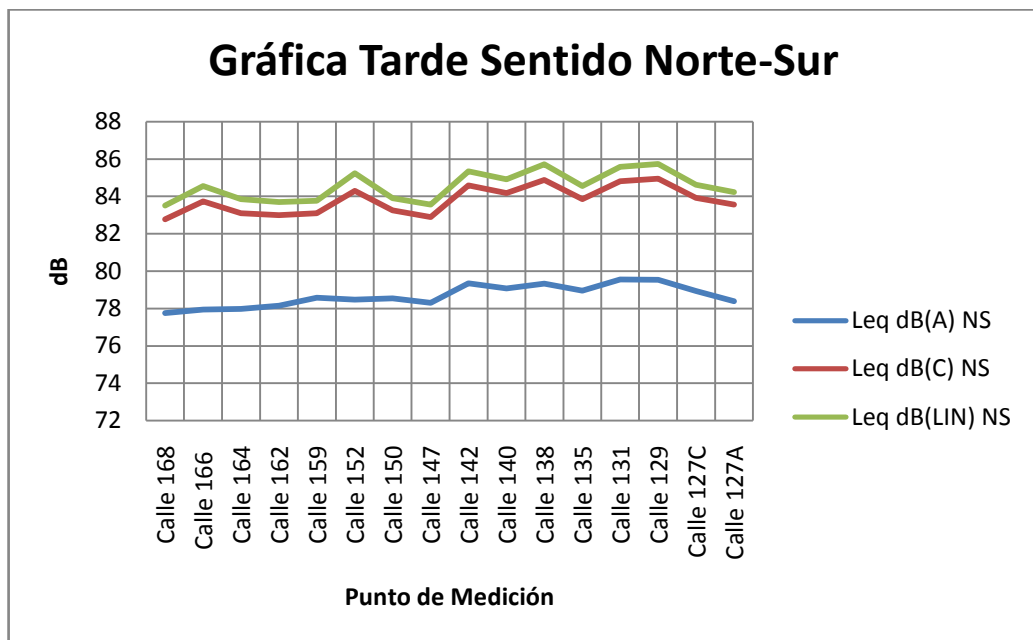


Tabla 20: Resultado Tarde Norte-Sur

Tabla Tarde Sentido Norte-Sur																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	77,7	77,9	78	78,2	78,6	78,5	78,5	78,3	79,4	79,1	79,3	79	79,6	79,5	78,9	78,4
Leq dB(C)	82,8	83,7	83,1	83	83,1	84,3	83,3	82,9	84,6	84,2	84,9	83,9	84,8	84,9	83,9	83,6
Leq dB(LIN)	83,5	84,5	83,9	83,7	83,8	85,2	83,9	83,6	85,3	84,9	85,7	84,5	85,6	85,7	84,6	84,2

Gráfica 8: Resultado Tarde Norte-Sur



4.7.4. Regresión Lineal mediciones por Sentido Norte-Sur y Sur-Norte

Se realizó una regresión lineal, para visualizar la tendencia de la Autopista Norte entre las calles 168 y 127 de la medición de ruido de tráfico rodado, de todos los puntos de medición, con la finalidad de predecir una medida basada en el conocimiento de la otra.

Gráfica 9: Dispersión de la Regresión Lineal

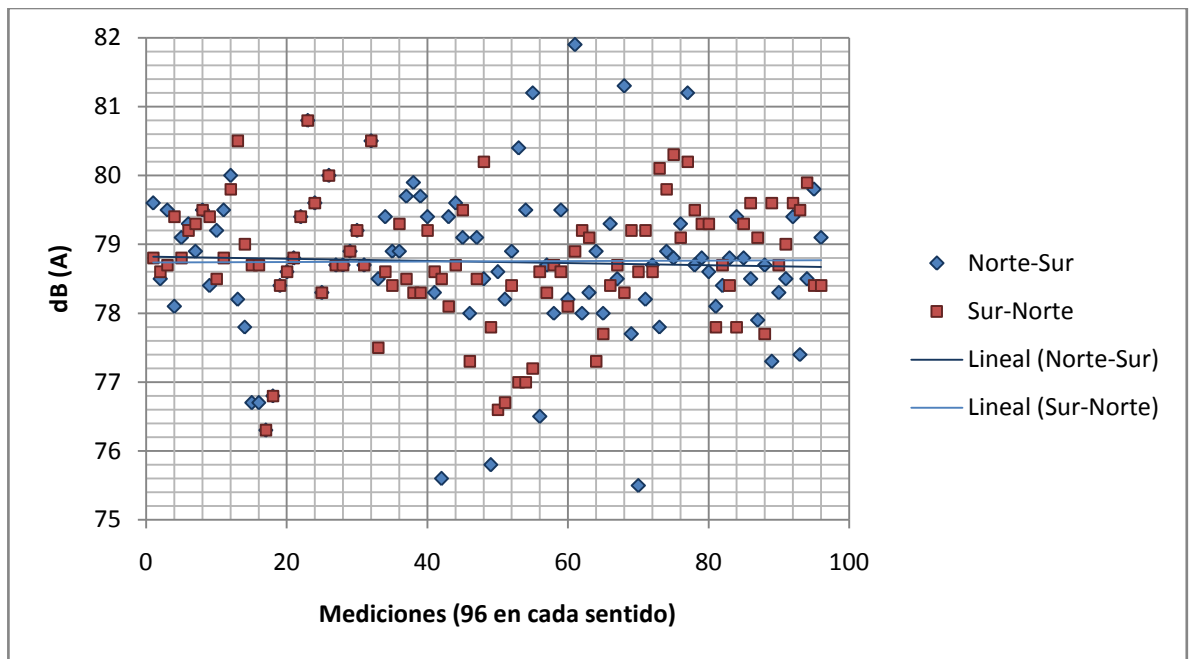


Tabla 21: Tendencia

dB(A)	Repeticiones	Porcentaje
76	5	2,60%
77	14	7,29%
78	41	21,35%
79	92	47,92%
80	31	16,15%
81	8	4,17%
82	1	0,52%
Total	192	100%

La línea de tendencia (líneas azules), es una serie de datos obtenidos a través de un periodo de 96 repeticiones por sentido, como se puede observar en la gráfica anterior. La tendencia es de 78,7 dB(A) Norte-Sur y 78,8dB(A) Sur-Norte, la diferencia entre los dos sentidos es de 0,1 dB(A), por lo cual se deduce que la tendencia en los dos sentidos tiene un comportamiento parecido.

Se puede observar en la tabla anterior, que el mayor número de repeticiones esta en: 79 dB con un 47,92% y lo sigue 78 dB con un 21,35% y 80 dB con un 16,15%. La mayor energía está concentrada en estos tres valores, por tal razón el comportamiento de la autopista es lineal en todo el recorrido, con un 85,42%.

En el comportamiento del tráfico vehicular se pudieron observar, dos cambios drásticos en la movilidad en el transcurso del día. En las mediciones no se presentaron cambios de ruido, entre las horas pico y las horas valle. El ruido en las horas pico es similar al de las horas valle, el primero tiene un aumento de vehículos y el segundo aunque hay una disminución del tráfico, la velocidad aumenta, ocasionando el mismo ruido en todo el periodo día.

4.8. COMPARACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE PREDICCIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO RODADO

El tercer objetivo fue comparar las técnicas de predicción de ruido de tráfico rodado RLS-90 de Alemania, CORTN. Inglaterra, Statens Planverk SP-48. Países Nórdicos y NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB) de Francia.

Tabla 22: Comparación de los 4 métodos de predicción de ruido de tráfico rodado

Método de predicción	RLS90	SP48	CoRTN	NMPB-Routes-96
País (es)	Alemania	Países Nórdicos: Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia	Reino Unido	Francia
Periodo	1 Hora	24 Horas	1 Hora o 18 horas	1 hora
Distancia Inicial Nivel Básico	25 metros	10 metros	10 metros	Variable no superior a los 20 metros
Circulación Inicial	No indica	24.000	No indica	No indica
Velocidad Inicial Livianos (Km/h)	100	50	75	No indica
Velocidad Inicial Pesados (Km/h)	80	50	No hay	No hay
Gradiente básico	Inferior 5%	No especifica	No especifica	No Especifica
Superficie básico	Asfalto no ranurado	Asfalto Normal	No especifica	No especifica
Corrección por Velocidad	Velocidad media livianos (Km/h) 30-130	Porcentaje vehículos pesados	Velocidad media livianos (Km/h) 50-90 & >90	Porcentaje vehículos pesados
Corrección por Superficie	8 correcciones superficie 4 correcciones velocidad	Suelo duro, poroso o blando	Porcentaje de terreno absorbente (%)	No tiene corrección
Corrección por Gradiente	0.6°G > 5% 0 dB < 5%	Pendiente % vehículos pesados	Pendiente de la vía, tanto positiva como negativa (%)	2,3,4,5,6%
Modelo de propagación	Para distancias de ≥ 100 metros, ≥ 70 metros o ≥ 40 metros se adicionan 1 dB, 2 dB o 3 dB respectivamente.	No tiene corrección	Percentil L10	No tiene corrección
Corrección de la sección	Ancho de la Carretera	No pide	Carril 3,5m	Ancho de la carretera
Corrección por ángulo de apertura	No tiene	Angulo visual del receptor a la fuente	Angulo de visión (grados).	Angulo de visión (grados).
Corrección por	Distancia desde la fuente (medio de la	Distancia horizontal desde el centro de la	Distancia desde la fuente al receptor (Corrección por	Distancia en metros al centro de la calzada

divergencia geométrica y absorción del aire	sección) al receptor (metros)		calzada hasta el receptor (m.).	distancia)		
Atenuación por suelo	Altura promedio	Distancia desde la Mitad de la Sección hasta el Receptor	No tiene	Altura promedio	Distancia perpendicular desde la carretera al punto del receptor	No tiene
Modelo Final	Leq 1 hora		Leq 24h	Percentil L ₁₀ para 1 hora o para 18 horas		Leq 1 hora

Para analizar los datos de predicción de ruido de tráfico rodado, se tomaron los cuatro métodos oficiales y se utilizaron estos valores para ver el comportamiento de las ecuaciones con los datos registrados en la Autopista Norte.

4.8.1. Análisis RLS-90

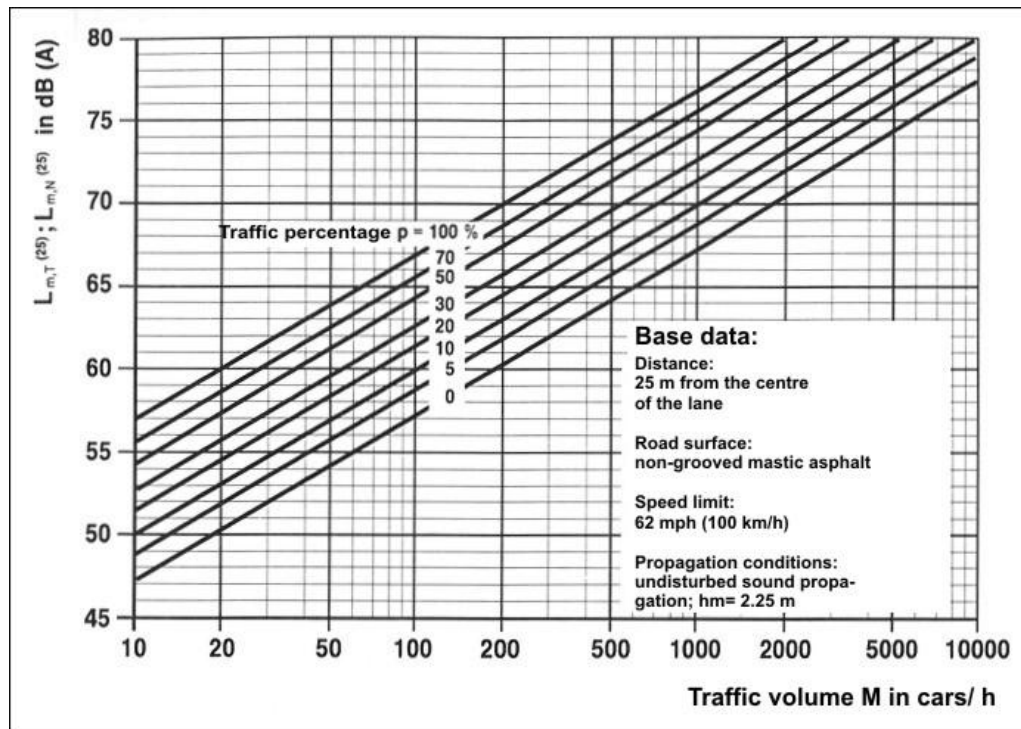
Para utilizar este método de predicción, hay que determinar los rangos para así describir el resultado y adicionalmente hay que determinar si el tiempo de medición esta dentro del periodo entre las 6:00 am y las 10:00 pm.

4.8.1.1. Modelo Básico de Emisión

Para ver el comportamiento del nivel de emisión estimado, se tomó la ecuación y se agregaron los datos consultados en el tráfico de la Autopista Norte y la paralela en la jornada de 7:00 am a 9:00 pm, luego se tomaron los valores inferiores y los mayores de M, para ver su comportamiento en todo el rango y así poder visualizar su conducta.

La gráfica oficial muestra la dependencia del nivel de ruido promedio en el volumen de tráfico y el porcentaje de camiones a una distancia de 25 metros de la carretera para una velocidad máxima de 100 km/h durante la propagación. La distancia media entre la línea de base y línea de conexión de la fuente y el lugar de recepción es de 2,5 m.

Figura 18: Comportamiento modelo básico de emisión L₂₅, para el día en función del volumen de tráfico (M) y el porcentaje de vehículos pesados (P).



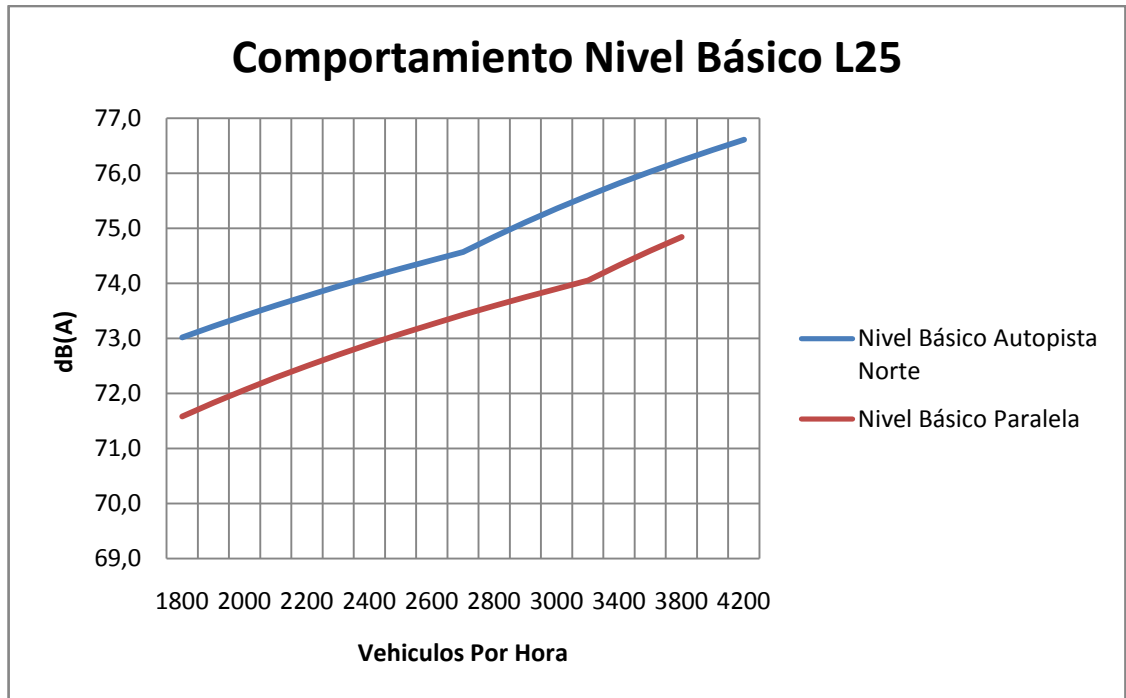
Fuente: BADEN-WÜRTTERMBERG Manual de ruido para el Desarrollo Urbano, Indicaciones para uso y planificación del suelo urbano
http://www.staedtebauliche-laermfibel.de/Noise_manual/kap_3/abb-3-4.htm

$$L_{25} = 37,3 + 10 \log [M \times (1 + 0,082 \times P)]$$

Como la ecuación tiene dos variables, se promedió el porcentaje de vehículos pesados (P) y dio como resultado un 9,46% en la autopista y un 7,03% en la paralela.

En la siguiente gráfica se puede observar que el nivel básico para la autopista, no puede ser inferior a 73,6 dB(A) y de 71,6 dB(A) en la paralela y tampoco puede superar los 76,6 dB(A) y 74,8 respectivamente. Cuando la vía tiene un flujo bajo no supera los 2100 vehículos por hora en la autopista y 1700 en la paralela. En la hora pico casi triplicó su aforo a 4800 vehículos por hora en la autopista y 3600 en la paralela.

Gráfica 10: Nivel Básico L25



El porcentaje de vehículos pesados se incrementa de la siguiente manera:

Tabla 23: Porcentaje vehículos pesados

% pesados	dB(A)
3-6	73
7-11	74
12-17	75
18-25	76

4.8.1.2. Corrección por Velocidad (C_{speed})

Para la corrección de velocidad, el método de predicción exige ingresar varias variables para ser calculado, primero pide calcular L_{truck} y L_{car} que son dos logaritmos donde hay que ingresar la velocidad media de los automóviles y los camiones. Analizando estos dos valores la velocidad promedio de los vehículos livianos es de 30km/h hasta los 80 km/h y los vehículos pesados de 30km/h hasta los 60Km/h.

$$L_{car} = 27,8 + 10 \log \left[1 + (0,02 \times V_{car})^3 \right]$$

$$L_{truck} = 23,1 + 12,5 \log(V_{truck})$$

Colocando los valores, estos son resultados:

Tablas 24: Corrección L_{car} y L_{truck}

Vel. Car (km/h)	L _{car}
30	28,6
35	29,1
40	29,6
45	30,2
50	30,8
55	31,5
60	32,2
65	32,8
70	33,5
75	34,2
80	34,9

Vel. Truck (km/h)	L _{truck}
30	41,6
35	42,4
40	43,1
45	43,8
50	44,3
55	44,9
60	45,3

Después de calcular estos dos valores se restan entre sí, para poder ingresar este número en la última ecuación y así se halla C_{speed}.

$$C = L_{truck} - L_{car}$$

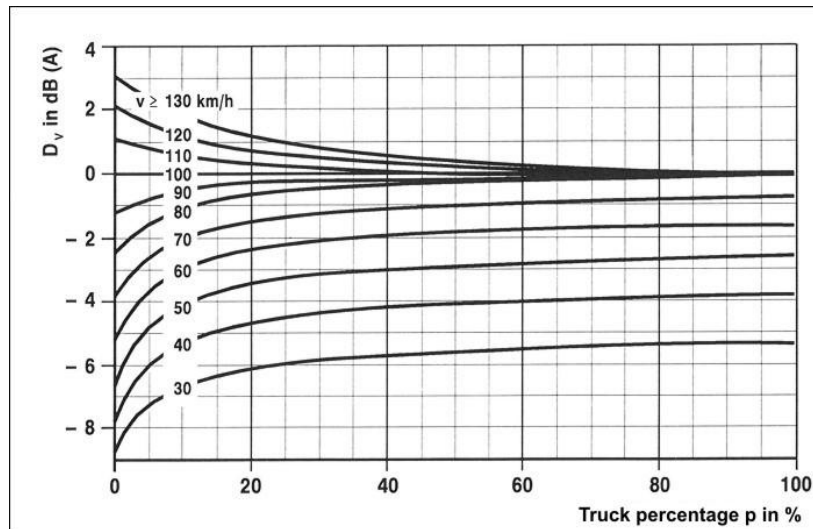
Tabla 25: Valores de C para la corrección C_{speed}.

C	C _{speed} dB(A)
10	-4,76
11	-4,26
12	-3,70
13	-3,08
14	-2,42
15	-1,70
16	-0,94

Por último se determina L_{car} , calculado anteriormente, para ingresar el porcentaje de vehículos pesados y C.

La corrección de velocidad entre 30km/h hasta 130 Km/h en función del porcentaje de los vehículos pesados, muestra a partir del 20% la corrección se comporta linealmente. Los cambios se hacen notorios en la corrección cuando los vehículos pesados están entre 0 y 20%.

Figura 19: Comportamiento de la corrección de velocidad, en función del porcentaje de vehículos pesados (P) y la velocidad máxima de los vehículos (V_{car} y V_{truck}).



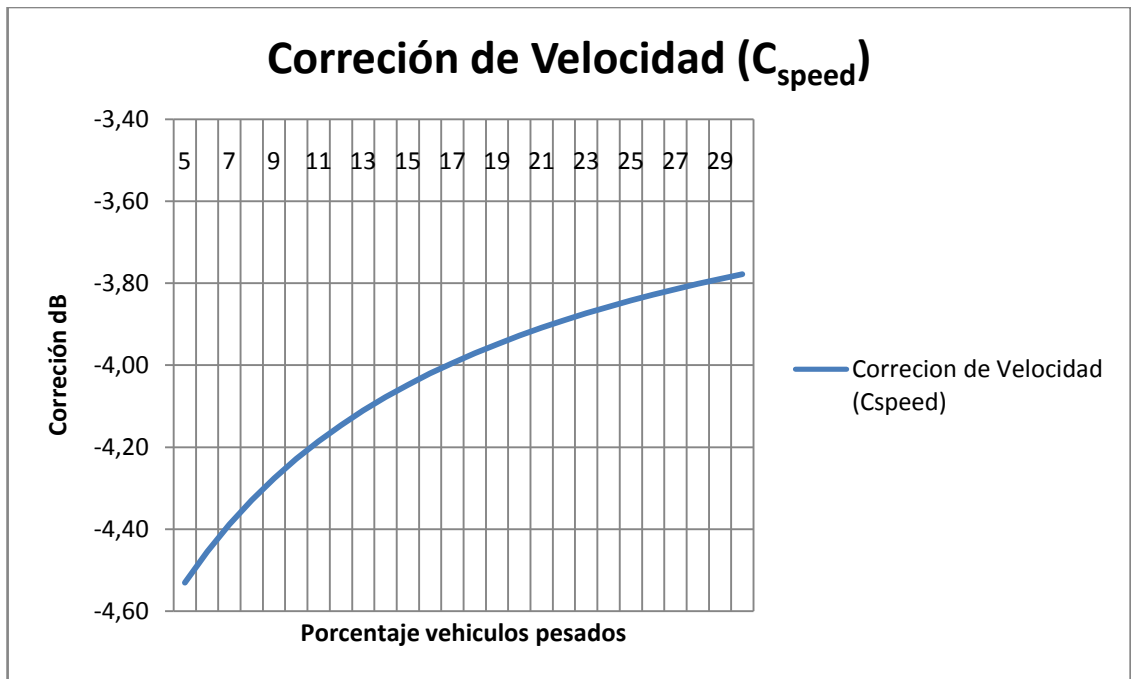
Fuente: BADEN-WÜRTTERMBERG Manual de ruido para el Desarrollo Urbano, Indicaciones para uso y planificación del suelo urbano
http://www.staedtebauliche-laermfibel.de/Noise_manual/kap_3/abb-3-5.htm

En la siguiente gráfica se puede observar que entre mayor es el porcentaje de vehículos pesados, la corrección disminuirá, estos se comportan inversamente proporcionales; explicando que entre más vehículos pesados transcurran en la vía, mayor será el ruido proporcionado por ellos, adicionalmente si la velocidad de estos vehículos aumenta también, disminuye la corrección, porque el valor de C es

mayor. Cuando se hace la resta el valor aumenta disminuyéndola, la corrección no supera los 1,2 dB de diferencia entre los valores más bajos y los más altos del porcentaje de los vehículos pesados y su rango está entre -3,4dB y -4,6 dB.

$$C_{speed} = L_{car} - 37,3 + 10 \log \left[\frac{100 + \{10^{0,1 \times C}\} \times P}{100 + 8,23 \times P} \right]$$

Gráfica 11: Corrección por velocidad



4.8.1.3. Gradiente

El gradiente es la inclinación de la vía longitudinalmente, la Autopista Norte y la paralela no tiene una inclinación superior a los 2,5 grados. Esta corrección es muy importante y hay que tener mucho cuidado al utilizarla, ya que cada grado que aumenta puede alterar directamente la ecuación, entre más este inclinada la vía más ruido produce, porque entre más inclinación más velocidad. Pero a inclinaciones menores que 2,25 esta corrección no será tomada ya que el resultado es una corrección negativa.

$$C_{\text{gradiente}} = 0,6 \times |G| - 3$$

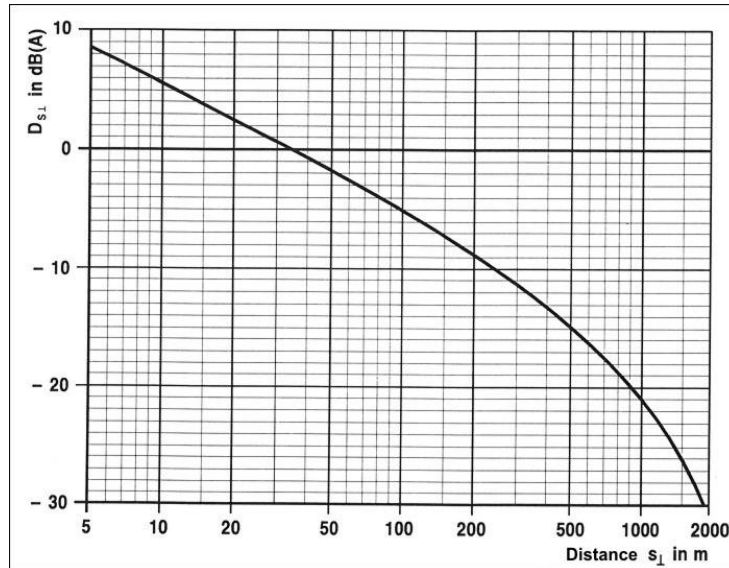
Tabla 26: Corrección por Gradiente

Gradiente	Cgradiente dB(A)	Grados
1	-2,4	0,45
2	-1,8	0,9
3	-1,2	1,35
4	-0,6	1,8
5	0	2,25
6	0,6	2,7
7	1,2	3,15
8	1,8	3,6
9	2,4	4,05
10	3	4,5

4.8.1.4. Atenuación por divergencia geométrica y absorción del aire (C_{dist})

Esta corrección es producida por la distancia entre la vía y el punto de recepción. Se puede observar en la gráfica que entre mayor distancia mayor será la atenuación del aire.

Figura 20: Comportamiento de la atenuación por divergencia geométrica y absorción del aire.



Fuente: BADEN-WÜRTTERMBERG Manual de ruido para el Desarrollo Urbano, Indicaciones para uso y planificación del suelo urbano
http://www.staedtebauliche-laermfibel.de/Noise_manual/kap_3/abb-3-6.htm

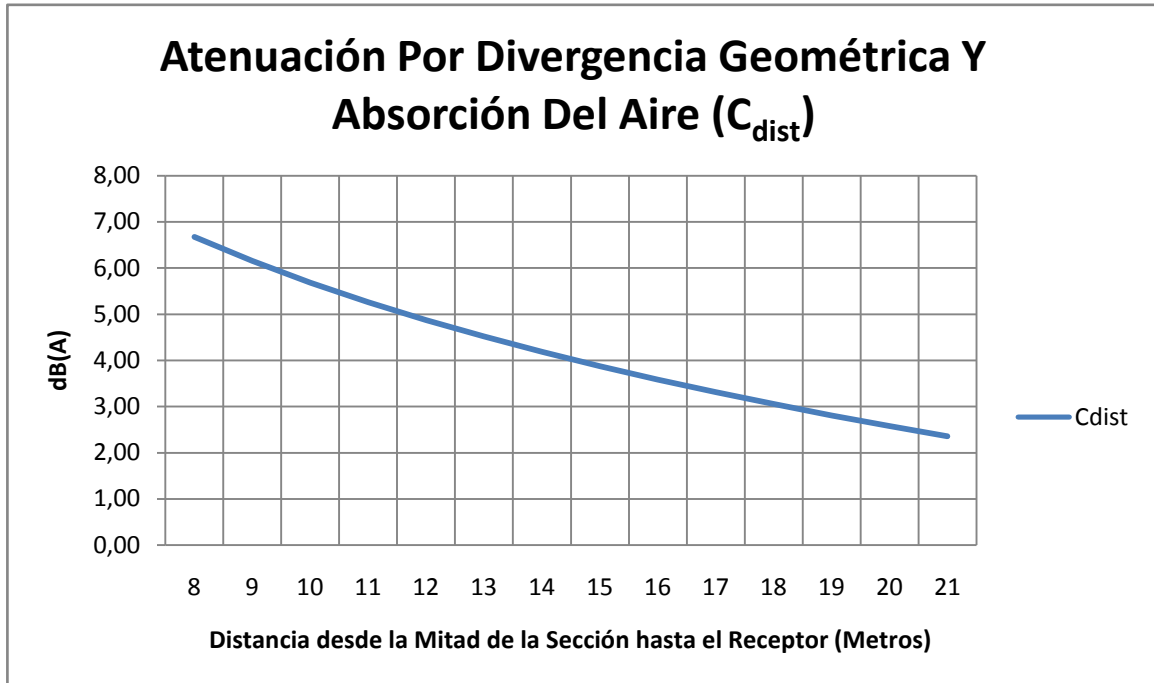
$$C_{dist} = 15,8 - 10 \text{Log}(D) - 0,0142(D)^{0,9}$$

Tabla 27: Atenuación por divergencia geométrica y absorción del aire

D	C _{dist} dB(A)
8	6,68
9	6,15
10	5,69
11	5,26
12	4,88
13	4,52
14	4,19
15	3,88
16	3,59
17	3,31
18	3,06
19	2,81

20	2,58
21	2,36

Gráfica 12: Atenuación por divergencia geométrica y absorción del aire



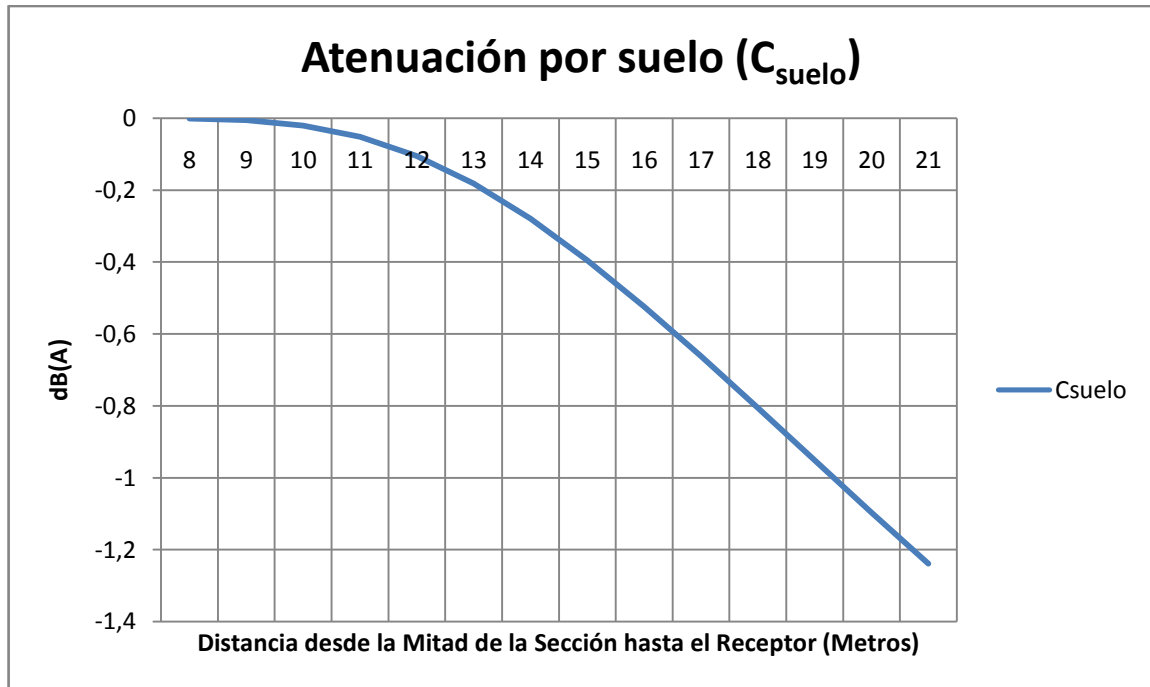
4.8.1.5. Atenuación por suelo (C_{suelo})

Elemento utilizado para mostrar la absorción meteorológica, elemento distinto a la corrección meteorológica, pues este elemento no es tomado como corrección sino elemento para mostrar el fenómeno debido a la interferencia del terreno.

$$C_{suelo} = -4,8 \left(\left(\frac{h_{prom}}{D} \left(8,5 + \frac{100}{D} \right) \right)^{1,3} \right)$$

La altura promedio no se va a variar debido a que la medición fue tomada a la misma altura, y en todo momento la altura promedio fue de 2 metros (ver gráfica altura del marco teórico).

Gráfica 13: Atenuación por Suelo



En la gráfica se puede observar que entre mayor es la distancia, disminuye la atenuación del suelo.

4.8.1.6. Modelo final

La siguiente ecuación entrega el nivel $L_{eq1hora}$ en el receptor ($L_{RECEPTOR}$), utilizando el estándar alemán RLS-90.

$$L_{RECEPTOR} = LME + C_{sección} + C_{dist} + C_{suelo} + C_{screen} + REFLEX$$

Los elementos de C_{screen} y $REFLEX$, se tomarán con valor cero, porque no hay pantallas acústicas y no hay superficies reflejantes.

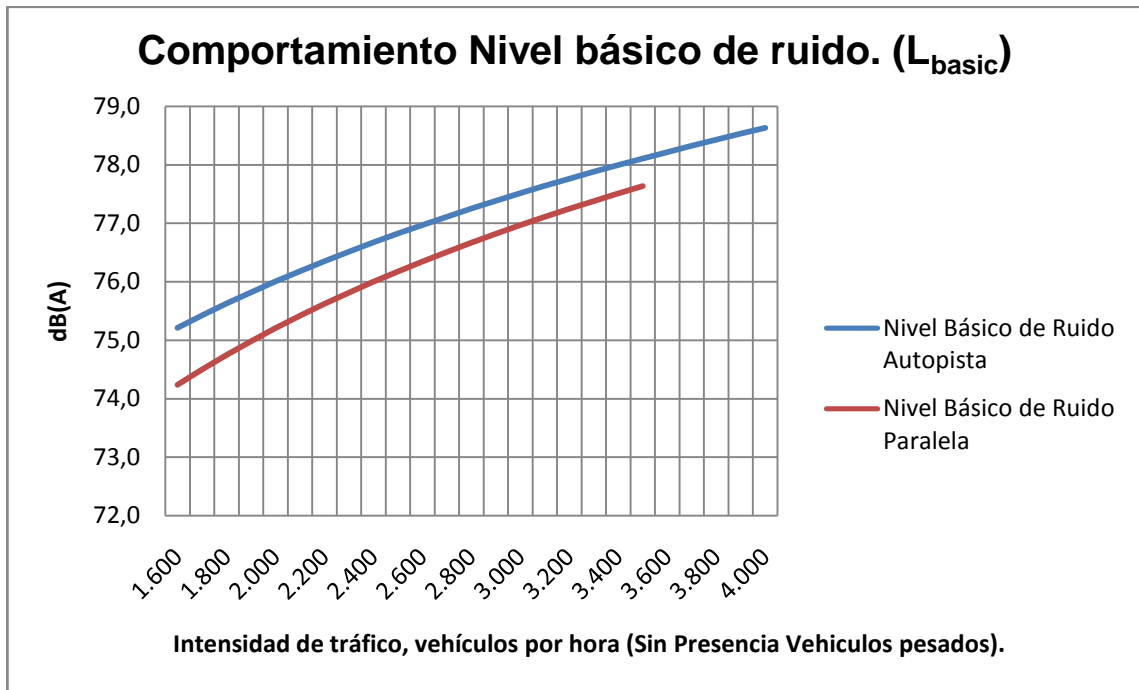
4.8.2. Análisis Modelo del Reino Unido UK-CoRTN

4.8.2.1. Nivel Básico de Ruido (L_{basic})

Para calcular la estimación del percentil L10 para 1 hora, se toma inicialmente la velocidad de vehículos livianos a 75km/h y sin presencia de vehículos pesados.

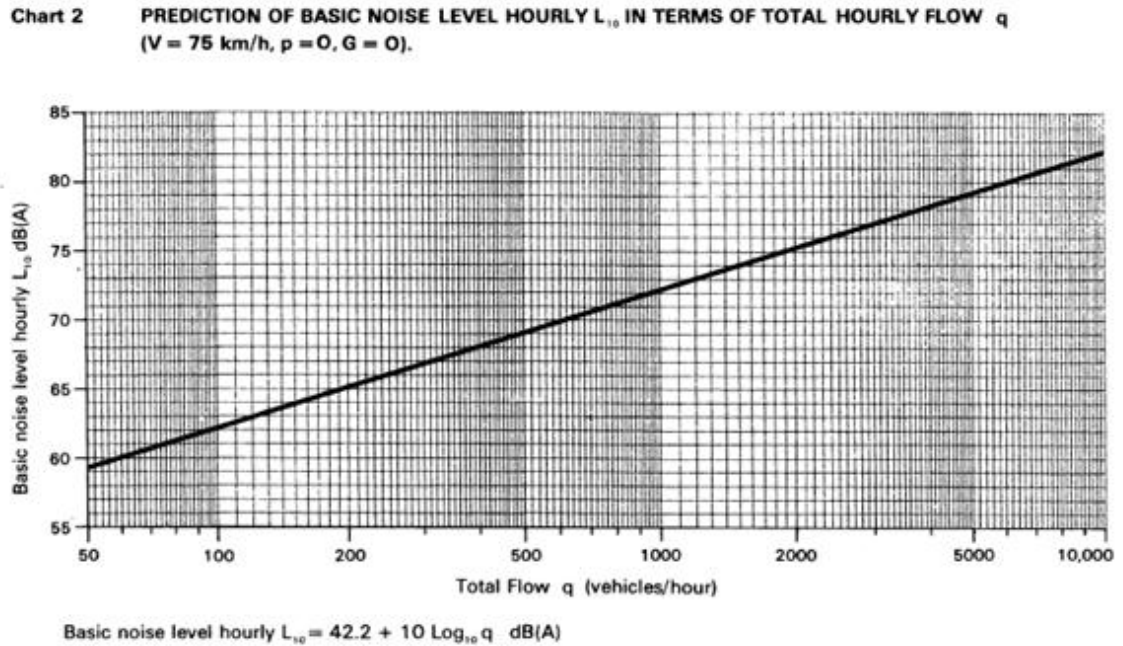
$$L_{basic} = 42,2 + 10\log q$$

Gráfica 14: Comportamiento Nivel Básico



La Autopista Norte tiene un flujo mínimo sin vehículos pesados de 2000 vehículos por hora y la paralela de 1600, por otro lado tiene un flujo máximo de 4400 y 3500 respectivamente. El nivel básico de ruido para estas dos secciones de la vía no puede ser inferior de 74,2 dB(A) y no puede ser superior a 78,6 dB(A) en toda la sección a analizar. Así mismo el nivel básico tiene un comportamiento directamente proporcional a la intensidad de vehículos por hora.

Figura 21: Comportamiento modelo básico de emisión $L_{básico}$ a 10 metros, para periodo día en función del volumen de tráfico (q), sin presencia de vehículos pesados.

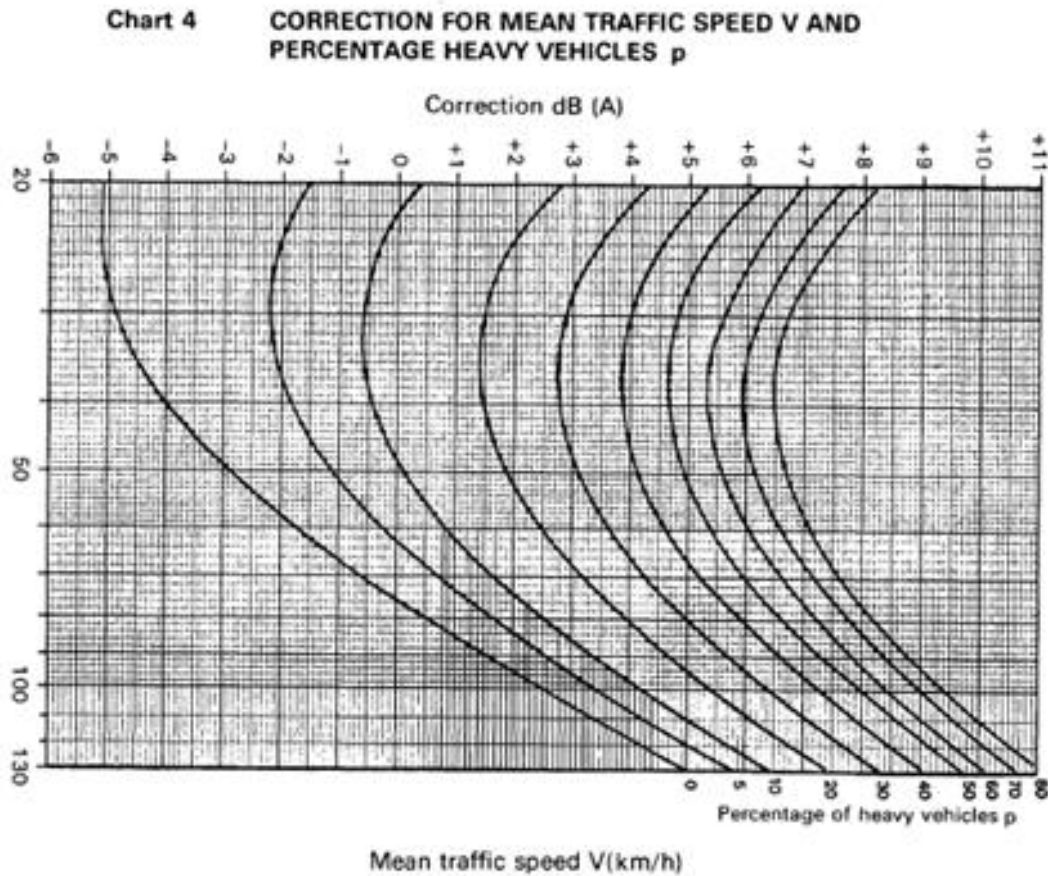


Fuente: DEPARTMENT OF TRANSPORT WELSH OFFICE (HMSO), Calculation of Traffic Noise (CoRTN), London, Ed, Crown Página. 42.

4.8.2.2. Corrección por velocidad y ajustes por vehículos pesados (C_{speed})

Para analizar esta corrección, hay que empezar promediando el porcentaje de vehículos pesados en la paralela y la autopista, se comprobó que la autopista tiene un porcentaje de vehículos pesados de 9,46% y 7,03% en la paralela. La velocidad media de los vehículos livianos es de 60 km/h y de 40 km/h para los vehículos pesados; como el método exige que la velocidad de los dos tipos de vehículos se promedie, la velocidad es de 50 km/h.

Figura 22: Comportamiento de la corrección por velocidad y ajustes por vehículos pesados, en función del porcentaje de vehículos pesados (P) y la velocidad media entre los vehículos Livianos y pesados (V).



Fuente: DEPARTMENT OF TRANSPORT WELSH OFFICE (HMSO), Calculation of Traffic Noise (CoRTN), London, Ed, Crown Página. 44.

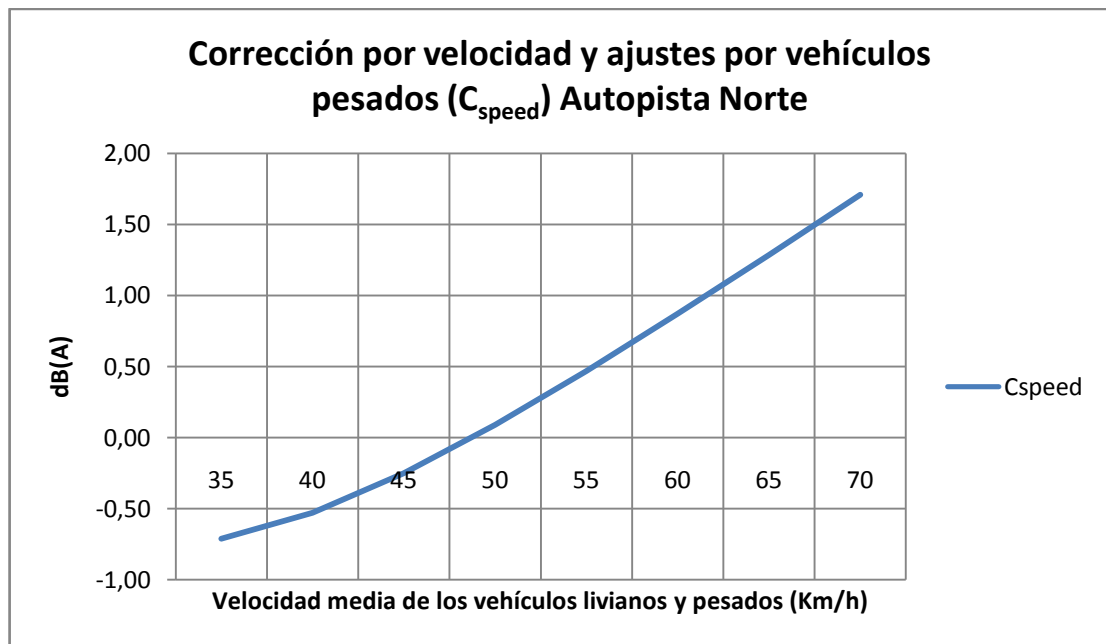
$$C_{speed} = 33 \log \left(V + 40 + \frac{500}{V} \right) + 10 \log \left(1 + 5 \times \frac{p}{V} \right) - 68,8$$

Tablas 28: Corrección por velocidad Cspeed

Autopista Norte	
V km/h	C _{speed} dB(A)
35	-0,71
40	-0,53
45	-0,25
50	0,09
55	0,47
60	0,87
65	1,29
70	1,71

Paralela	
V km/h	C _{speed} dB(A)
35	-1,40
40	-1,18
45	-0,86
50	-0,49
55	-0,08
60	0,35
65	0,79
70	1,23

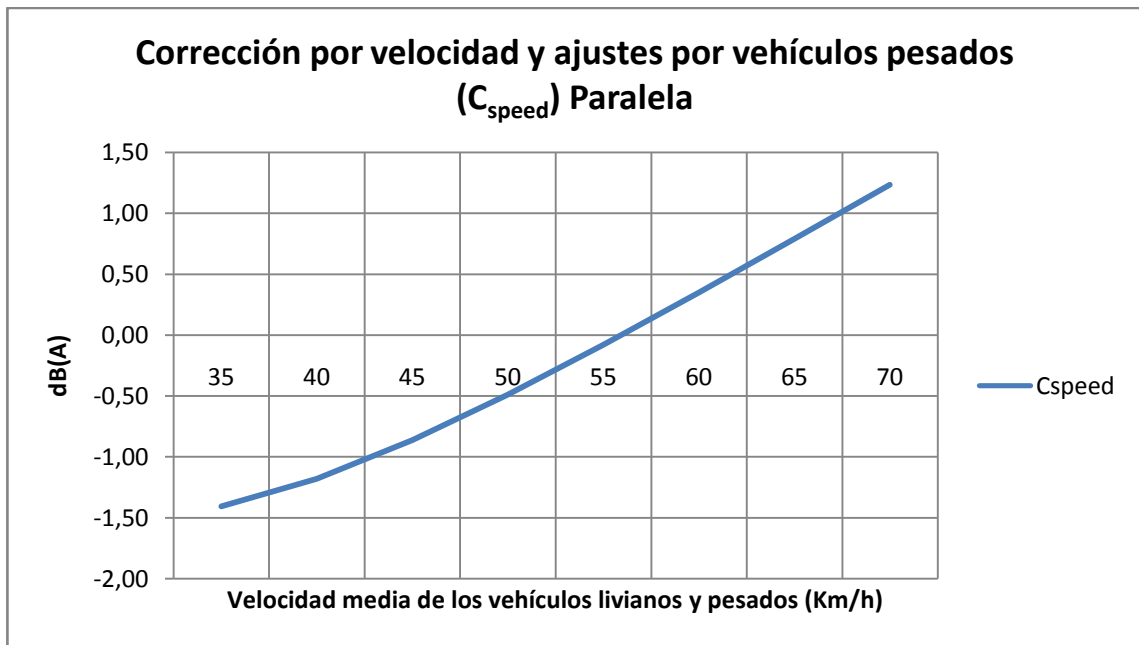
Gráfica 15: Corrección por Velocidad y ajustes por vehículos pesados



Esta corrección tiene un comportamiento característico, no se puede utilizar velocidades inferiores a 30 km/h, por dos razones, porque la Directiva del Parlamento Europeo dice que así los vehículos transcurran a velocidades muy lentas, la velocidad mínima será de 30 Km/h y que a velocidades bajas no puede

haber un aumento en el ruido, ya que el ruido de rodadura es mucho menor. Por último al aumentar la velocidad, se comporta directamente proporcional a la corrección.

Gráfica 16: Corrección por velocidad

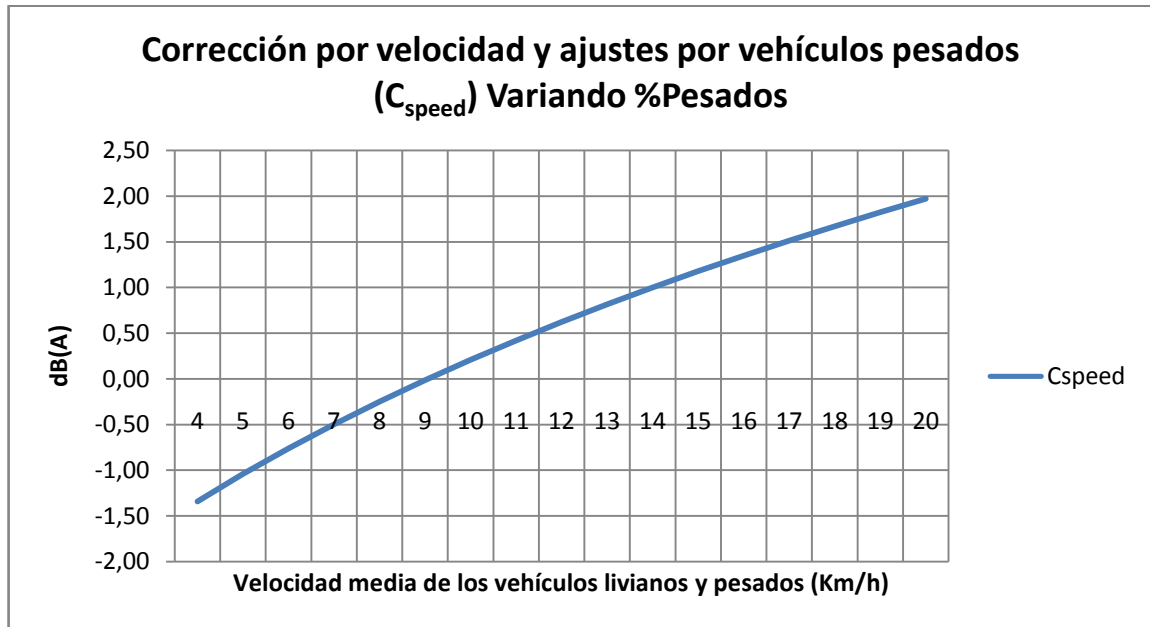


Observando la segunda gráfica, esta tiene el mismo comportamiento que la anterior, los valores de velocidad promedio menores de 30 Km/h no son tomados, así haya un cambio del porcentaje de vehículos pesados.

Como la ecuación tiene dos variables, ahora el porcentaje de vehículos pesados se cambiarán entre 4% hasta el 20% y se promedió la velocidad de los vehículos livianos y pesados a 50 Km/h.

En la siguiente gráfica se observa que para porcentajes de vehículos pesados menores al 9% la corrección será negativa y que al aumentar este porcentaje la corrección será mayor, por esta razón cuando en una vía hay más del 10% de los vehículos pesados se dice que hay un exceso de este tipo de vehículos.

Gráfica 17: Corrección por velocidad variando el porcentaje de vehículos pesados



4.8.2.3. Corrección por Gradiente ($C_{gradiente}$)

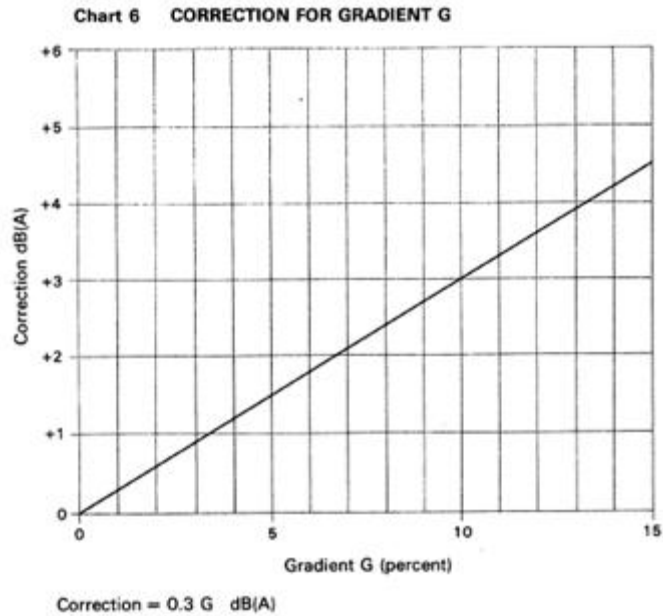
Esta corrección no puede ser superior a los 1,5 dB porque la autopista y su respectiva paralela, no tienen una inclinación mayor a 2,5 grados.

$$C_{gradiente} = 0,3 \times G$$

Tabla 29: Corrección por gradiente

Gradiente (%)	$C_{gradiente}$ (dB)	Grados
2	0,6	0,9
3	0,9	1,35
4	1,2	1,8
5	1,5	2,25
6	1,8	2,7
7	2,1	3,15
8	2,4	3,6
9	2,7	4,05
10	3	4,5

Figura 23: Comportamiento de la corrección por gradiente.



Fuente: DEPARTMENT OF TRANSPORT WELSH OFFICE (HMSO), Calculation of Traffic Noise (CoRTN), London, Ed, Crown Página. 46.

4.8.2.4. Corrección por distancia. (C_{dist})

Para la corrección de distancia, la altura siempre va a ser la misma pues los puntos de medición siempre estuvieron a 4 metros sobre el nivel del suelo. Pero la distancia entre la vía y el punto de recepción, variaron dependiendo del ancho del separador, entre la paralela y la autopista. Esta separación estuvo entre los 10 metros y los 19 metros aproximadamente.

$$C_{dist} = -10 \log \left(\frac{d'}{13,5} \right)$$

$$d' = \sqrt{h^2 + (d + 3,5)^2}$$

Tabla 30: Corrección por distancia

d (m)	d' (m)	C _{dist} dB(A)
10	14,08	-0,18
11	15,04	-0,47
12	16,01	-0,74
13	16,98	-1,00
14	17,95	-1,24
15	18,93	-1,47
16	19,91	-1,69
17	20,89	-1,90
18	21,87	-2,09
19	22,85	-2,29

Gráfica 18: Corrección por distancia

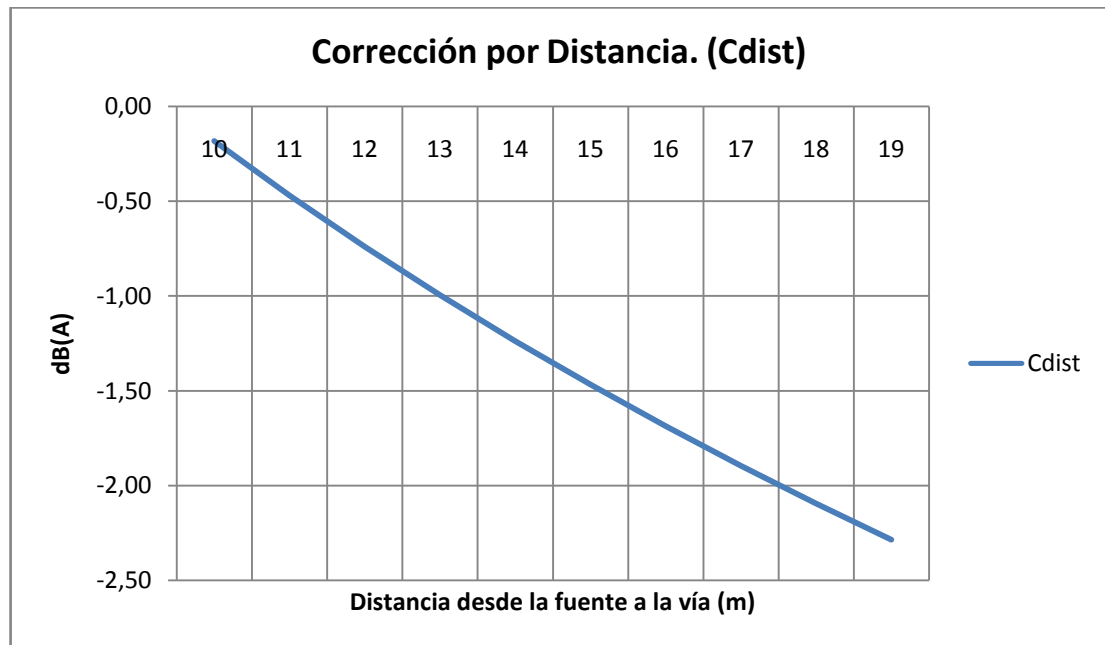
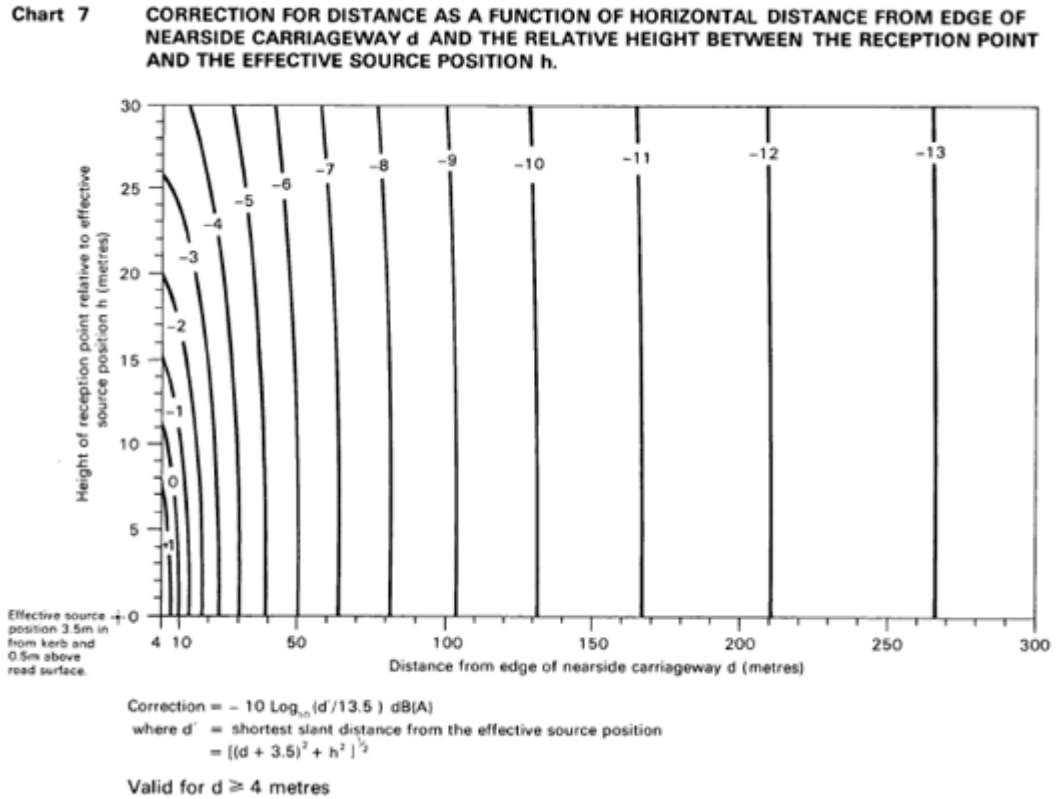


Figura 24: Comportamiento de la corrección por distancia, en función de la distancia desde la mitad de la vía hasta el receptor.



Fuente: DEPARTMENT OF TRANSPORT WELSH OFFICE (HMSO), Calculation of Traffic Noise (CoRTN), London, Ed, Crown Página. 47.

4.8.2.5. Atenuación por Suelo (C_{suelo})

La corrección por suelo depende de la altura promedio del rayo de la línea de visión, de h_{prom} será de dos metros (ver Gráfica de altura) y del porcentaje del suelo absorbente, presente en la trayectoria de propagación.

Para ello se realizó una gráfica, donde se mostró los diferentes ángulos de apertura, dependiendo de la distancia entre la mitad de la sección de la vía y el receptor.

Para: $0,75 < h_{prom} < (d+5)/6$ $C_{suelo} = 5,2 \times G \times \log\left(\frac{[6 \times h_{prom}] - 1,5}{d + 3,5}\right)$

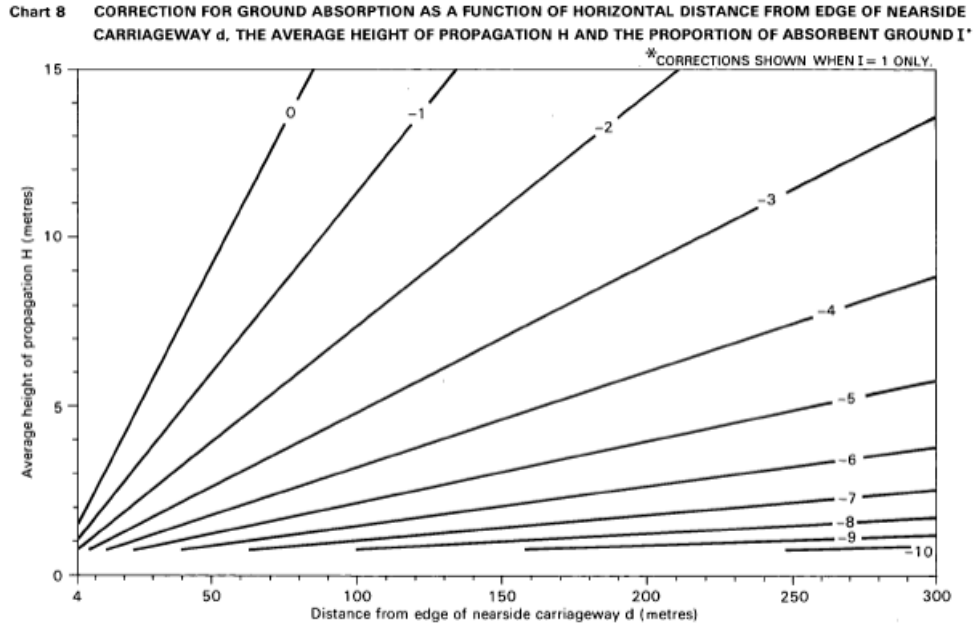
Para este caso “d” tiene que ser superior a los 7 metros de distancia:

Tabla 31: Atenuación por Suelo

D (m)	C _{suelo} dB(A)
8	0,15
9	-0,10
10	-0,14
11	-0,18
12	-0,22
13	-0,26
14	-0,29
15	-0,32
16	-0,35
17	-0,38
18	-0,40

Como G tiene una absorción de 0.25, se observa que a esta distancia, esta corrección no es considerable.

Figura 25: Comportamiento de la corrección por distancia, en función de la absorción del suelo y la distancia desde la mitad de la vía hasta el receptor.



Fuente: DEPARTMENT OF TRANSPORT WELSH OFFICE (HMSO), Calculation of Traffic Noise (CoRTN), London, Ed, Crown Página. 48.

Para: $h_{prom} > (d+5)/6$ $C_{suelo} = 0$ donde "d" debe tener valores menores a 7 metros

Esta correcci3n no se aplica, ya que el efecto suelo no existe porque la altura de medici3n fue de 4 metros.

4.8.2.6. Correcci3n por ángulo de apertura (C_{angulo})

$$C_{angulo} = 10 \log \left(\frac{\theta}{180} \right)$$

Figura 26: Angulo de Visión

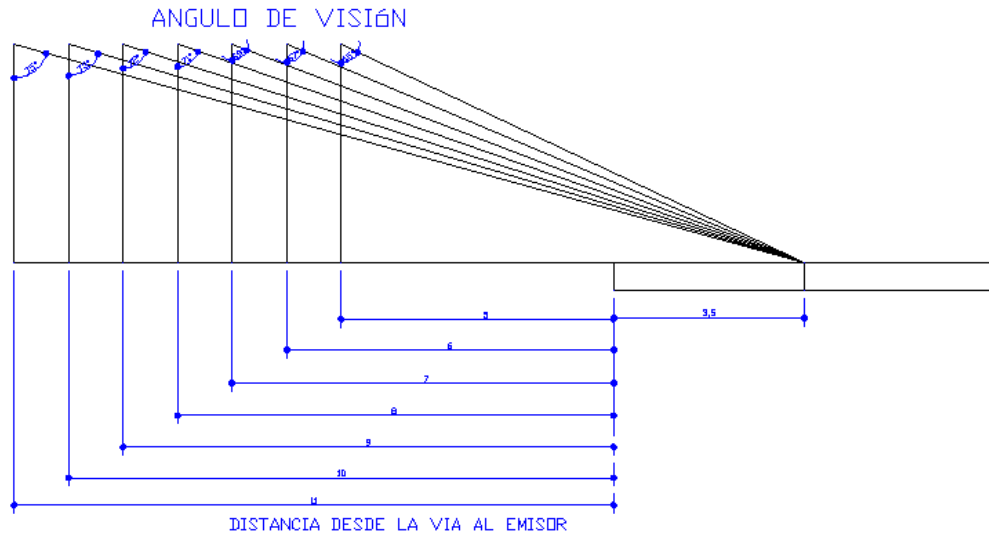


Tabla 32: Angulo de Visión

Ángulo	C _{ángulo} dB(A)
65	-4,42
66	-4,36
67	-4,29
69	-4,16
71	-4,04
72	-3,98
73	-3,92
74	-3,86
75	-3,80

Como se puede observar en la gráfica para los 6 casos de ángulo de visión, tiene una corrección de ángulo de -4,42 a -3,80 dB. Entre distancias que van desde los 5 metros hasta los 11 metros.

4.8.2.7. Modelo Final

La siguiente ecuación entrega el nivel percentil L_{10} para 1 hora según el estándar del Reino Unido CoRTN:

$$L_{10} = LRE + C_{dist} + C_{suelo} + C_{angulo} + C_{mscr} + REFLEX$$

La corrección de Múltiples apantallamientos (C_{mscr}), no es tomada pues en la Autopista Norte no hay fachada cercana.

4.8.3. Análisis Modelo Escandinavo Statens Planverk 48

Este modelo trabaja para periodos de 24 horas, el nivel de emisión básico (L_{basico}) ha sido estimado a una distancia de 10 metros desde el centro de la vía.

4.8.3.1. Modelo de emisión

A diferencia de los otros modelos, para este modelo de emisión, no hay que ingresar datos, debido a que el modelo de emisión básico, coloca los datos básicos de la vía y de ahí se parte para poner las correcciones pertinentes.

$$L_{basico} = 68dBA$$

4.8.3.2. Corrección por velocidad de los vehículos livianos (C_{speed})

Se analiza esta corrección para velocidades superiores a 51 km/h hasta 80 Km/h. Por ley, velocidad máxima permitida para este tipo de vía en Colombia.⁵⁹

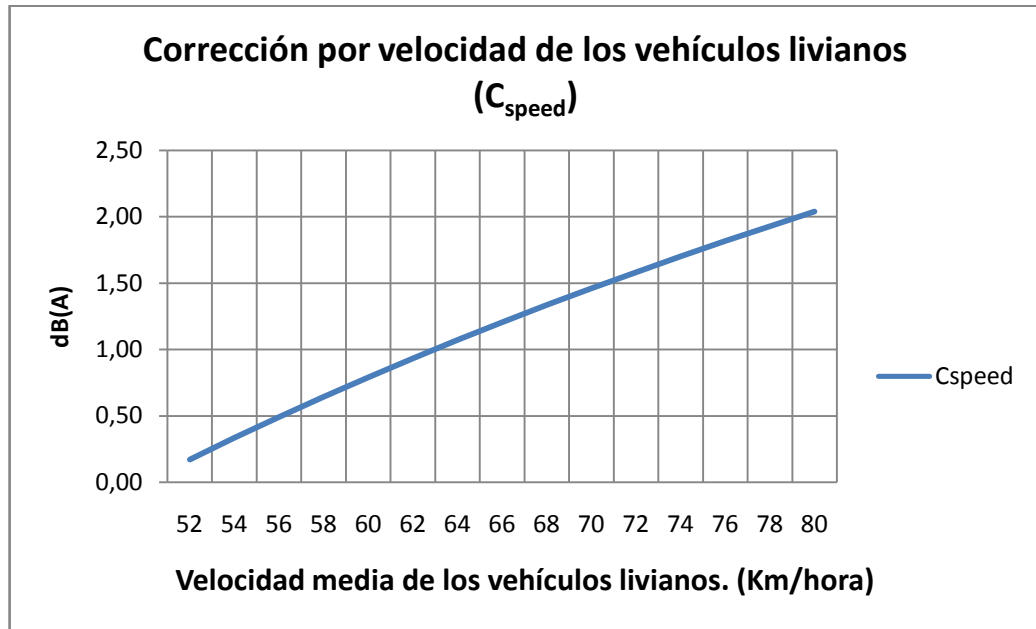
$$Si \quad V \geq 50Km/h \Rightarrow C_{speed} = 30 \log \left(\frac{V}{50} \right)$$

⁵⁹ POLICÍA DE TRÁNSITO, Código de Tránsito de Colombia, Límites de velocidad Artículos 106, 107 y 108 Sobre las normas de comportamiento.

Tabla 33: Corrección por velocidad de los vehículos livianos

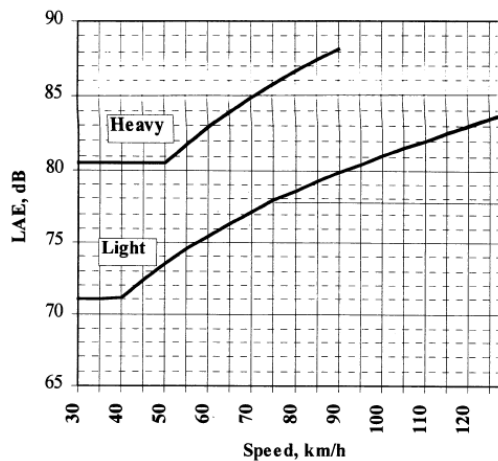
V (Km/h)	C _{speed} (dB)	Total dB(A)
52	0,17	68,17
54	0,33	68,33
56	0,49	68,49
58	0,64	68,64
60	0,79	68,79
62	0,93	68,93
64	1,07	69,07
66	1,21	69,21
68	1,34	69,34
70	1,46	69,46
72	1,58	69,58
74	1,70	69,70
76	1,82	69,82
78	1,93	69,93
80	2,04	70,04

Gráfica 19: Corrección por velocidad de los vehículos livianos



Esta corrección para la Autopista Norte y la paralela no puede ser superior a los 2 dB. Adicionalmente en la tabla se observa la suma de L_{basic} (68 dB) y esta corrección (2 dB) dando como resultado 70 dB(A). Comprando la medición realizada con este método, este valor está muy distante a la medición entre 8 dB(A) a 10 dB(A).

Figura 27: Corrección por vehículos livianos

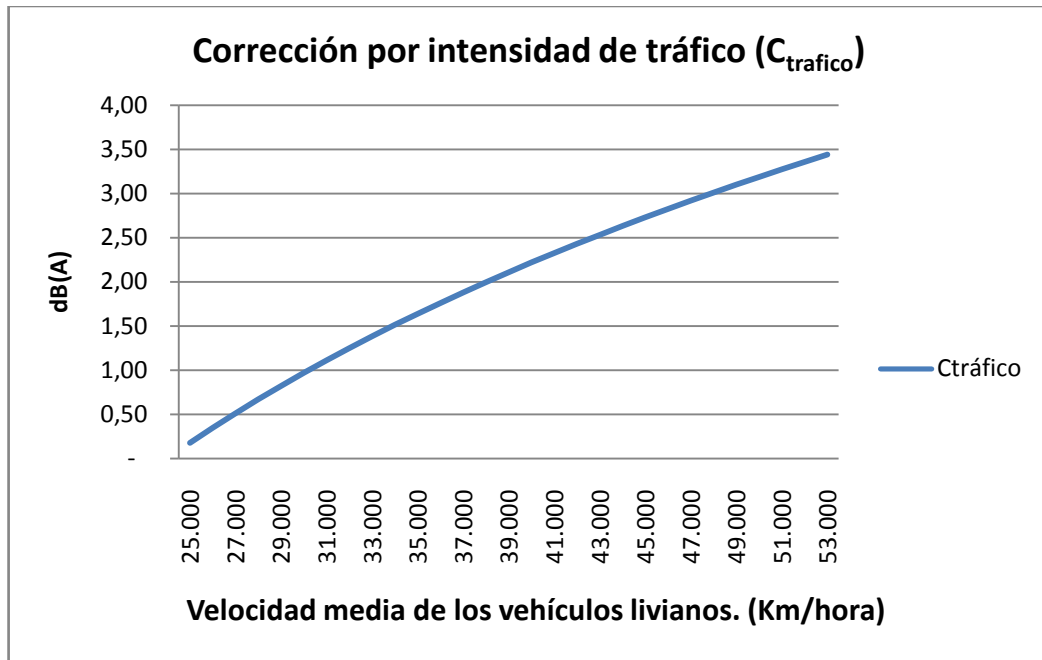


4.8.3.3. Corrección por Intensidad de Tráfico ($C_{tráfico}$)

Esta corrección contempla todo el tráfico durante las 24 horas del día, mostrando el tráfico total en las cuatro secciones de la vía.

$$C_{tráfico} = 10 \log \left(\frac{N}{24000} \right)$$

Gráfica 20: Corrección por intensidad de tráfico



Esta corrección es utilizada para intensidad de tráfico superior a 24.000 vehículos por día, para la Autopista Norte esta corrección varía entre 0 dB a 3,5 dB.

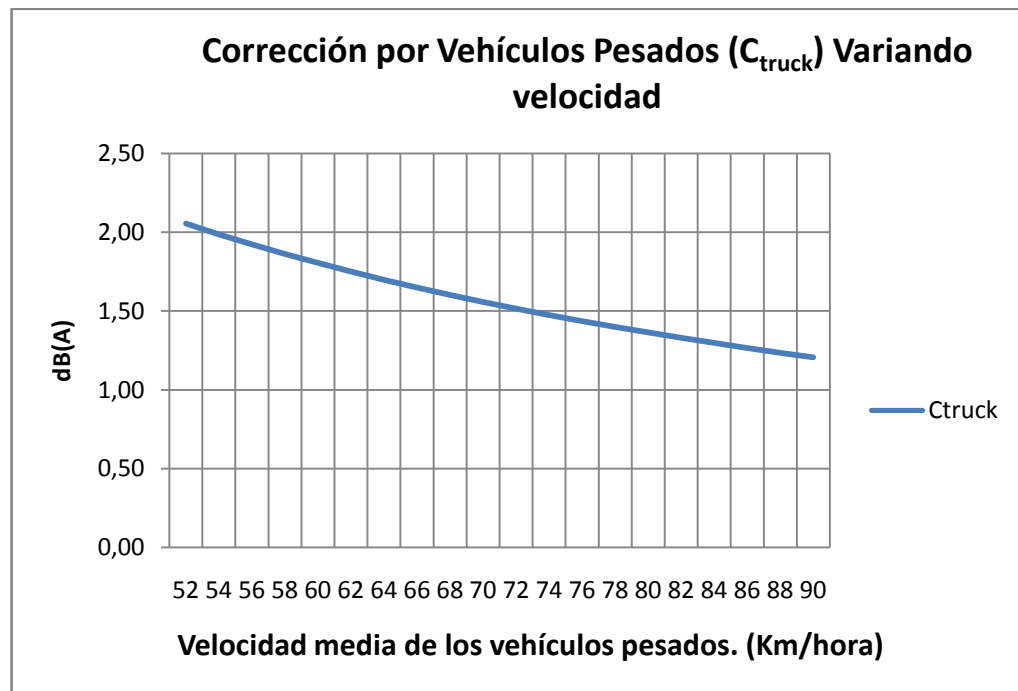
4.8.3.4. Corrección por Vehículos Pesados (C_{truck})

Para vehículos pesados entre velocidades de 50 Km/hora a 90 Km/hora se aplica esta ecuación. Esta ecuación no tiene en cuenta velocidades inferiores, por lo tanto no sirve para esta vía. De todas maneras se tomaron valores para ver el comportamiento de la ecuación.

$$C_{truck} = 10 \log \left[\frac{100 - p + 500 \times \frac{p}{v}}{100} \right]$$

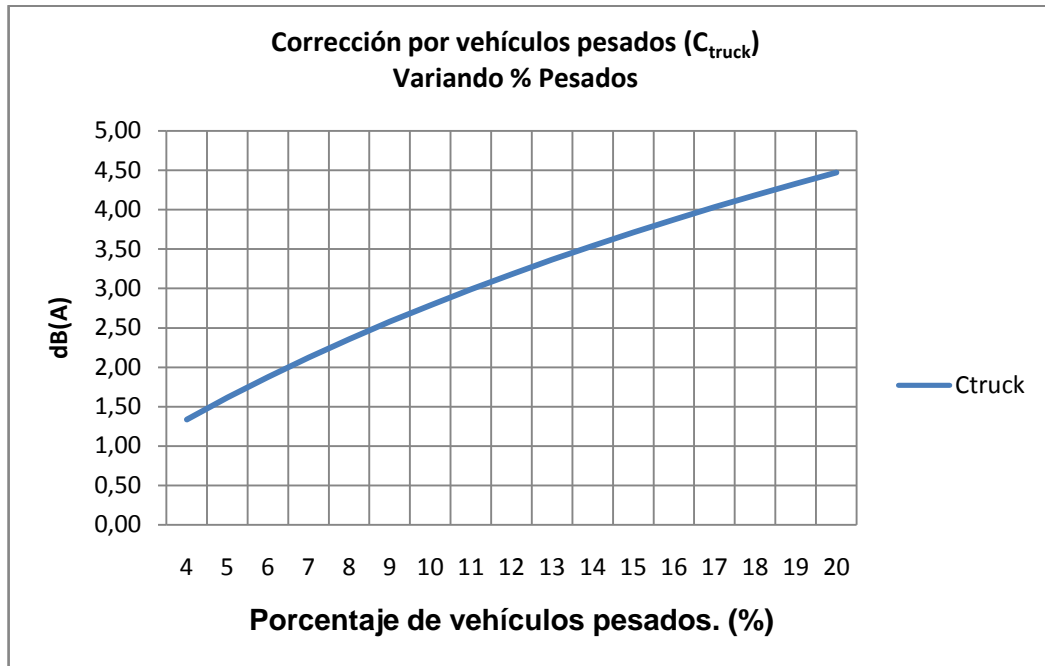
La corrección por vehículos pesados se comporta inversamente proporcional a la velocidad, ya que entre mayor sea la velocidad de los vehículos pesados menor será la corrección.

Gráfica 21: Corrección por Vehículos Pesados



Por el contrario, al aumentar el porcentaje de vehículos pesados es directamente proporcional a la corrección, promediando el porcentaje de vehículos pesados la corrección tiene un valor de 2,58 dB(A).

Gráfica 22: Corrección por vehículos pesados (C_{truck}) Variando % Pesados



4.8.3.5. Corrección por gradiente de la vía ($C_{gradient}$)

Esta corrección a diferencia de los demás métodos, introduce el porcentaje de vehículos pesados y el gradiente en una sola ecuación.

$$C_{gradient} = 2 \times \frac{G}{100} + 3 \times \frac{G}{100} \times \log(1 + p)$$

Tabla 34: Corrección por gradiente de la vía

Gradiente	$C_{gradient}$ (dB)	Grados
1	0,05	0,45
2	0,09	0,9
3	0,14	1,35
4	0,19	1,8
5	0,24	2,25
6	0,28	2,7
7	0,33	3,15
8	0,38	3,6

9	0,42	4,05
10	0,47	4,5

Se puede observar en la tabla anterior, esta corrección tiene inclinaciones de 0,45 hasta 4,5 grados, no son considerables porque la corrección no llega ni a medio decibel. Por lo cual a diferencia de los otros métodos, esta corrección no es de gran importancia.

4.8.3.6. Atenuación por divergencia geométrica (C_{dist})

Esta atenuación es utilizada para mostrar la distancia entre el emisor y el receptor.

$$C_{dist} = -10 \log \left(\frac{\sqrt{a^2 + (h_R + h_b - 0,5)^2}}{10} \right)$$

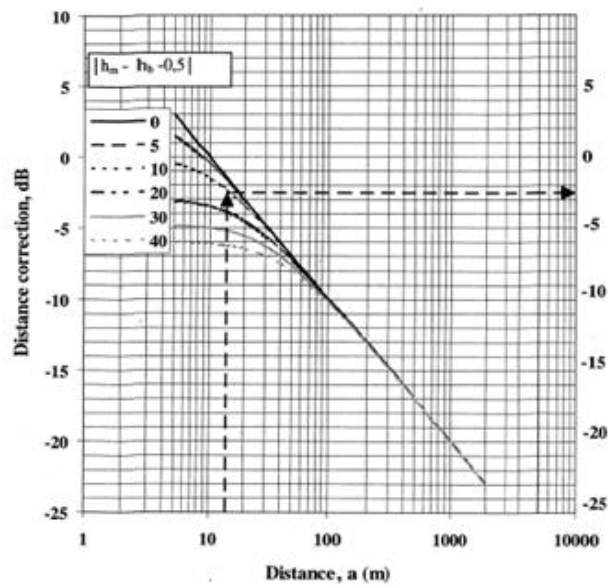
La corrección por divergencia geométrica tiene varias entradas, la distancia entre en centro de la vía y el receptor; la altura del receptor y la profundidad del concreto o asfalto. La corrección está entre -1,4 dB y -2,17 dB demuestra que entre mayor distancia mayor atenuación.

Tabla 35: Atenuación por divergencia geométrica

a	C_{dist} dB(A)
13,2	-1,40
13,4	-1,46
13,6	-1,52
13,8	-1,57
14,0	-1,63
14,2	-1,69
14,4	-1,75
14,6	-1,80
14,8	-1,86
15,0	-1,91
15,2	-1,96

15,4	-2,02
15,6	-2,07
15,8	-2,12
16,0	-2,17

Figura 28: Comportamiento de la corrección Atenuación por divergencia geométrica.



Fuente: TEMANORD, Road Traffic Noise, Nordic Prediction Method, Nordic Council Of Ministers, Pág. 23

4.8.3.7. Corrección por ángulo de apertura ($C_{\text{ángulo}}$)

La corrección de ángulo de apertura tiene el mismo comportamiento que el método de CoRTN, como tiene el mismo comportamiento al método anterior, no se volverá a explicar.

Figura 29: Comportamiento de la corrección por ángulo de apertura

Figure 2.19 The angle α indicating a road section under study

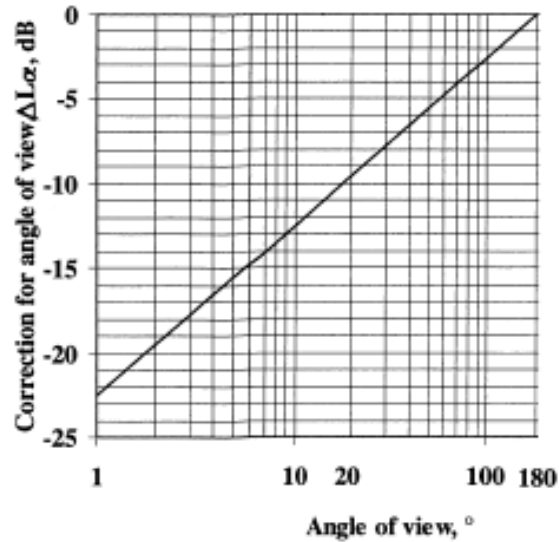


Figure 2.20 The correction ΔL_{α} relative to an infinitely long road.

Fuente: TEMANORD, Road Traffic Noise, Nordic Prediction Method, Nordic Council Of Ministers, Pág. 39

4.8.3.8. Modelo Final

El nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{eq}), con ponderación A y con un período de tiempo de 24 horas es determinado según el estándar Nórdico Statens Planverk 48 de la siguiente manera:

$$L_{Aeq} = LRE + C_{dist} + C_{suelo} + C_{screen} + C_{angulo} + C_{dp} + REFLEX$$

A diferencia de otros modelos, este permite obtener el nivel en el interior de los edificios en función del aislamiento de las fachadas.

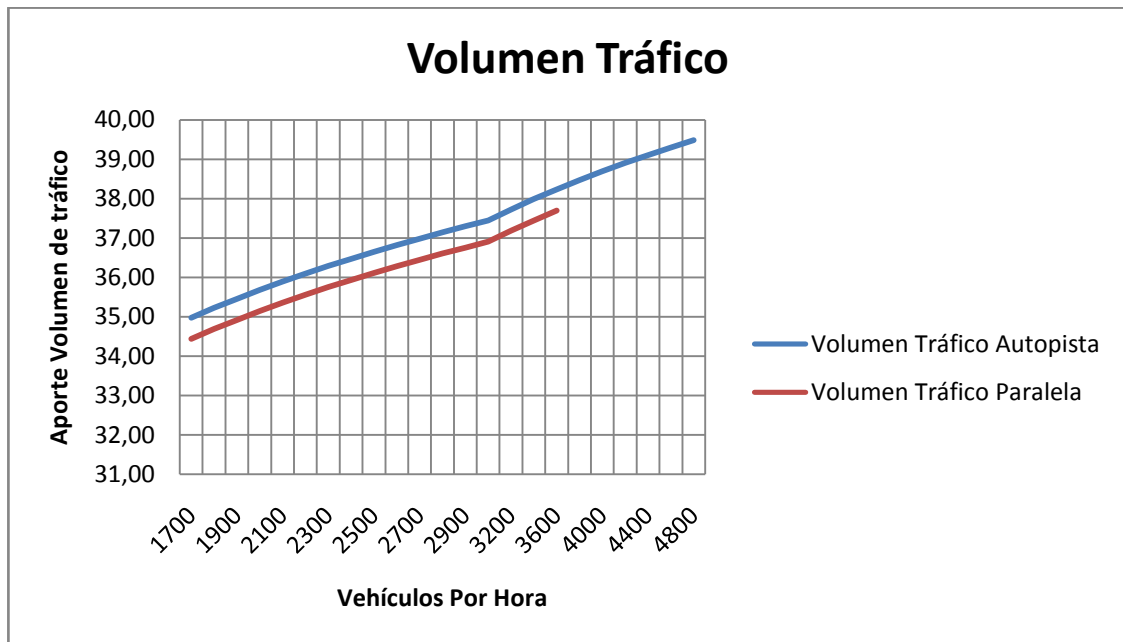
4.8.4. Análisis del Método Francés MNPB

Para utilizar este método de predicción, hay que calcular inicialmente el aforo de los vehículos livianos y los vehículos pesados, ingresando adicionalmente el

gradiente de la vía. Esta no es una corrección este modelo trabaja diferente a los demás.

4.8.4.1. Análisis de Volumen de Vehículos

Gráfica 23: Volumen de tráfico



Este método trabaja sobre la vía sin una distancia inicial, aportando su nivel básico de 55dB. El aporte de vehículos varía entre 35 a 39 dB.

4.8.4.2. Análisis Ancho de la Vía

La autopista tiene un ancho de 14 metros ya que posee 4 carriles. La paralela tiene 7 metros de ancho ya que tiene 2 carriles solamente entre las calle 134 hasta la calle 168 y 10,5 metros de ancho entre las calles 134 hasta la calle 127.

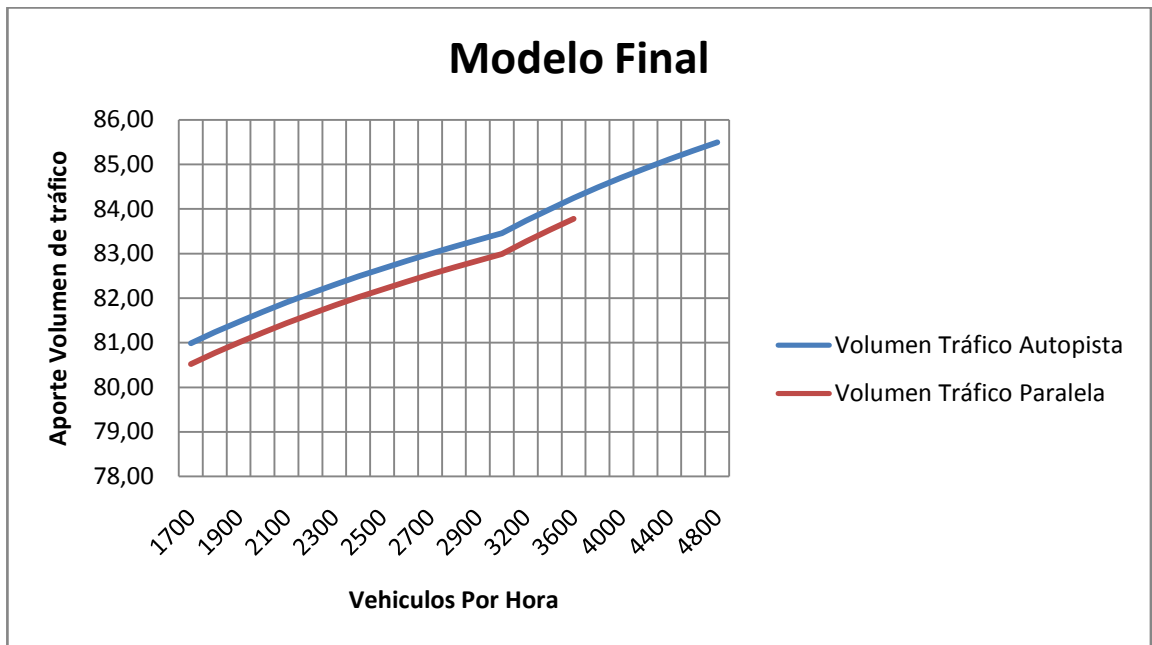
Tabla 36: Ancho de la vía

Ancho (m)	L
7	-8,5
10,5	-10,2
14	-11,5

4.8.4.3. Análisis Método Final

Para observar los niveles de este método se sumaron todas las variables obteniendo como resultado.

Gráfica 24: Modelo Final NMPB



El modelo de tráfico, trabaja solo el modelo de emisión, sin emplear el modelo de propagación, para ello hay que realizar correcciones de distancia y suelo.

4.9. APLICAR SOFTWARE DE PREDICCIÓN

El cuarto objetivo fue analizar los datos tomados de la Autopista Norte, para aplicar el software de predicción de tráfico rodado por medio de la ISO 1996-1, 2.

4.9.1. División en sectores entre la calle 127 hasta la calle 168

Toda la autopista no se comporta igual, es consecuente dividir la Autopista Norte en sectores, para realizar la predicción por partes y después ejecutar la suma del aporte de la vía en conjunto.

Para la predicción de la Autopista Norte en el sitio de estudio, primero se dividió la zona en 5 partes generales, debido a las considerables variaciones en la vía. En materia de tráfico vehicular, número de carriles y velocidad. Así mismo para la predicción, se tomaron la Autopista y la paralela como sistemas independientes, es decir, se calculó la predicción independiente en los mismos sectores y finalmente se sumarán los resultados en el mismo sector dependiendo de la distancia que tengan hacia el receptor. En la siguiente tabla se muestran las ubicaciones de los puntos en donde se realizarán las predicciones:

Tabla 37: Secciones Generales

Secciones Generales				
No.	Partes			Carriles
1	Calle 168	hasta	Calle 163	12
2	Calle 163	hasta	Calle 157	12
3	Calle 152A	hasta	Calle 141	12
4	Calle 141	hasta	Calle 135	12
5	Calle 134	hasta	Calle 127B	13

Segundo se realizó una predicción en los mismos puntos donde se efectuaron las mediciones, con el fin de comparar los resultados obtenidos en ella.

Tercero se realizó una predicción por hora durante todo el periodo día, en un solo punto, para visualizar los cambios que tuvo la vía en mención en esa zona.

4.9.1.1. Datos Autopista Norte y Paralela

Tablas 38: Datos Autopista

% Pesados		Velocidad Media (Km/h)			
		Autopista		Paralela	
Autopista	Paralela	Livianos	Pesados	Livianos	Pesados
9,4	7,0	60	40	50	30

Gradiente		Ancho		H _{prom}
Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
4	4	10,5	7	2

Se promedió la distancia del separador entre la Autopista Norte y la Paralela, donde fueron ubicados los puntos de medición.

Distancia (L) Metros		Distancia al Receptor (D)	
Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
15	11	15,3	11,9

Sentido Sur-Norte					
Secciones Generales				Vehículos por Hora (Día)	
No.	Partes			Autopista	Paralela
1	Calle 168	hasta	Calle 163	2800	2000
2	Calle 163	hasta	Calle 157	2800	2100
3	Calle 152A	hasta	Calle 141	2900	2200
4	Calle 141	hasta	Calle 135	2900	2200
5	Calle 134	hasta	Calle 127B	3100	2600

Sentido Norte-Sur					
Secciones Generales				Vehículos por Hora (Día)	
No.	Partes			Autopista	Paralela
1	Calle 168	hasta	Calle 163	2700	2100
2	Calle 163	hasta	Calle 157	2700	2100
3	Calle 152A	hasta	Calle 141	2900	2500
4	Calle 141	hasta	Calle 135	3000	2500
5	Calle 134	hasta	Calle 127B	3200	2800

4.9.2. Aplicar RLS-90 a la Autopista Norte

Al aplicar este método de predicción, se tomaron los datos con respecto a la vía tales como: el porcentaje de vehículos pesados, la velocidad media, el gradiente y el ancho de la vía. Los datos con respecto a los puntos de medición, tales como la altura promedio y la distancia longitudinal entre la vía y el punto de recepción. Se realiza esta predicción en la misma ubicación geográfica donde se hizo la medición.

Hay que tener en cuenta que el nivel de ruido que se calcula, no mide mediciones instantáneas, esta predicción representa y conduce a los resultados aleatorios dependiendo del volumen de tráfico actual, en estudios realizados en vías alemanas, tales como autopistas y vías de primer nivel.

Se va realizar tres tipos de predicción para visualizar el método y así ver la conveniencia de este en la Autopista Norte.

4.9.2.1. Predicción en las Secciones Generales

La primera predicción se realizó en 5 puntos determinantes de la Autopista Norte, para tener una primera observación del comportamiento de este método en la vía. Se calcularon las primeras correcciones con respecto a la emisión tales como: velocidad media, tipo de superficie e inclinación longitudinal de la vía.

Tablas 39: Secciones Generales RLS-90

C _{speed}		C _{road}		C _{gradiente}
Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
-4,2	-5,8	2,0	0,0	-0,6

Después se calcularon las correcciones con respecto a la propagación.

C _{suelo}		C _{dist}	
Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
-0,4	-0,1	3,8	4,9

Finalmente, se toman todas las correcciones y se suman con L25 (Nivel básico) para calcular el LME (Nivel de emisión total a 25 metros) y L_{eq} de 1 Hora.

Sentido Sur-Norte							
Sección	L25		LME Calculado		L _{eq} 1 hora		L _{eq} 1 Hora dB(A)
No.	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
1	74,2	72,2	71,4	65,8	74,7	70,6	79,0
2	74,2	72,5	71,4	66,0	74,7	70,8	79,1
3	74,4	72,7	71,5	66,2	74,9	71,0	79,2
4	74,4	72,7	71,5	66,2	74,9	71,0	79,2
5	74,7	73,4	71,8	66,9	75,2	71,8	79,7

Sentido Norte-Sur							
Sección	L25		LME Calculado		L _{eq} 1 hora		L _{eq} 1 Hora dB(A)
No.	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
1	74,1	72,5	71,2	66,1	74,6	70,8	79,0
2	74,1	72,5	71,2	66,1	74,6	70,8	79,0
3	74,4	73,2	71,5	66,8	74,9	71,6	79,5
4	74,5	73,6	71,7	66,8	75,0	71,6	79,5
5	74,8	73,7	71,9	67,3	75,3	72,1	79,9

En las tablas anteriores se puede observar que en las 5 secciones, las predicciones tienen un L_{eq} de una hora aproximadamente de 79 dB(A). La vía tiene un comportamiento de tráfico diferente en cada sección general. Así mismo según la predicción, el aporte de ruido de tráfico rodado de la autopista y la paralela es diferente. La Autopista Norte aporta un 74 dB(A) aproximadamente y la paralela un 71 dB(A).

4.9.2.2. Predicción en los 32 Puntos de Recepción

Para visualizar y comparar los resultados de la medición con el método de predicción, se tomaron todos los datos de la ubicación de cada punto de medición y se aplicaron al método de predicción RLS-90 de Alemania.

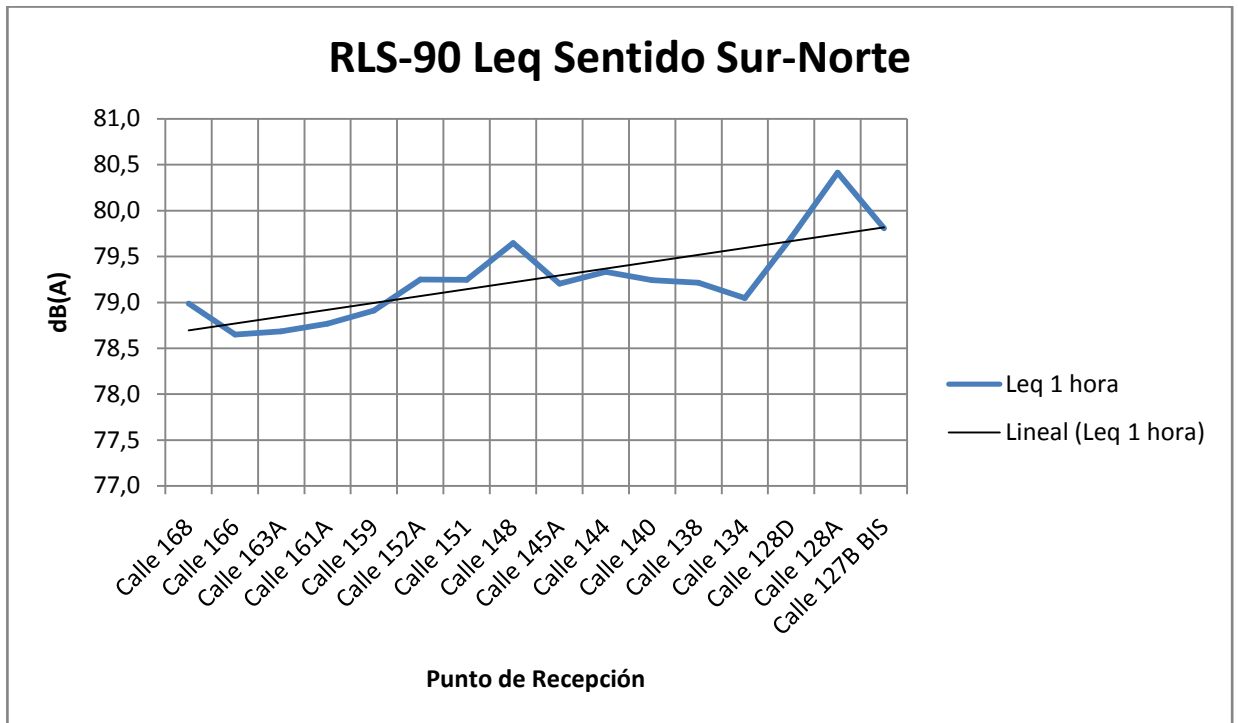
Tablas 40: Predicción 32 puntos sur-Norte

Sentido Sur-Norte							
Calle	Punto	Vehículos		L25		LME Calculado	
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
Calle 168	2	2.800	2.000	74,2	72,3	71,4	65,8
Calle 166	4	2.800	2.000	74,2	72,3	71,4	65,8
Calle 163A	6	2.800	2.000	74,2	72,3	71,4	65,8
Calle 161A	8	2.800	2.100	74,2	72,5	71,4	66,1
Calle 159	10	2.800	2.100	74,2	72,5	71,4	66,1
Calle 152A	12	2.900	2.200	74,4	72,7	71,6	66,3
Calle 151	14	2.900	2.200	74,4	72,7	71,6	66,3
Calle 148	16	2.900	2.200	74,4	72,7	71,6	66,3
Calle 145A	18	2.900	2.200	74,4	72,7	71,6	66,3
Calle 144	20	2.900	2.200	74,4	72,7	71,6	66,3
Calle 140	22	2.900	2.200	74,4	72,7	71,6	66,3
Calle 138	24	2.900	2.200	74,4	72,7	71,6	66,3
Calle 134	26	2.900	2.200	74,4	72,7	71,6	66,1
Calle 128D	28	3.100	2.600	74,7	73,4	71,8	66,9
Calle 128A	30	3.100	2.600	74,7	73,4	71,8	66,9
Calle 127B BIS	32	3.100	2.600	74,7	73,4	71,8	66,9

Sentido Sur-Norte										
Calle	Punto	Distancia al Receptor (D)		C _{suelo}		C _{dist}		L _{eq} 1 hora		L _{eq} 1 hora
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
Calle 168	2	15,3	11,9	-0,4	-0,1	3,8	4,9	74,8	70,7	79,0
Calle 166	4	16,1	12,7	-0,5	-0,1	3,5	4,6	74,4	70,3	78,6
Calle 163A	6	16,0	12,6	-0,5	-0,1	3,5	4,6	74,5	70,4	78,7
Calle 161A	8	16,0	12,6	-0,5	-0,1	3,6	4,6	74,5	70,6	78,8
Calle 159	10	15,6	12,3	-0,4	-0,1	3,6	4,7	74,6	70,7	78,9
Calle 152A	12	15,2	11,9	-0,4	-0,1	3,8	4,9	74,9	71,1	79,2
Calle 151	14	15,2	11,9	-0,4	-0,1	3,8	4,9	74,9	71,1	79,2
Calle 148	16	14,3	11,0	-0,3	-0,0	4,0	5,2	75,3	71,5	79,6
Calle 145A	18	15,3	12,0	-0,4	-0,1	3,7	4,8	74,9	71,0	79,2
Calle 144	20	15,0	11,7	-0,4	-0,0	3,8	4,9	75,0	71,2	79,3
Calle 140	22	15,3	11,9	-0,4	-0,1	3,8	4,9	74,9	71,1	79,2
Calle 138	24	15,3	12,0	-0,4	-0,1	3,7	4,8	74,9	71,0	79,2

Calle 134	26	15,7	12,4	-0,4	-0,1	3,6	4,7	74,7	70,9	79,0
Calle 128D	28	15,3	11,9	-0,4	-0,1	3,8	4,9	75,2	71,8	79,7
Calle 128A	30	13,6	10,3	-0,2	-0,0	4,3	5,5	75,9	72,5	80,4
Calle 127B BIS	32	15,0	11,7	-0,4	-0,0	3,8	5,0	75,3	71,9	79,8

Gráfica 25: Modelo RLS-90 Sentido sur-Norte



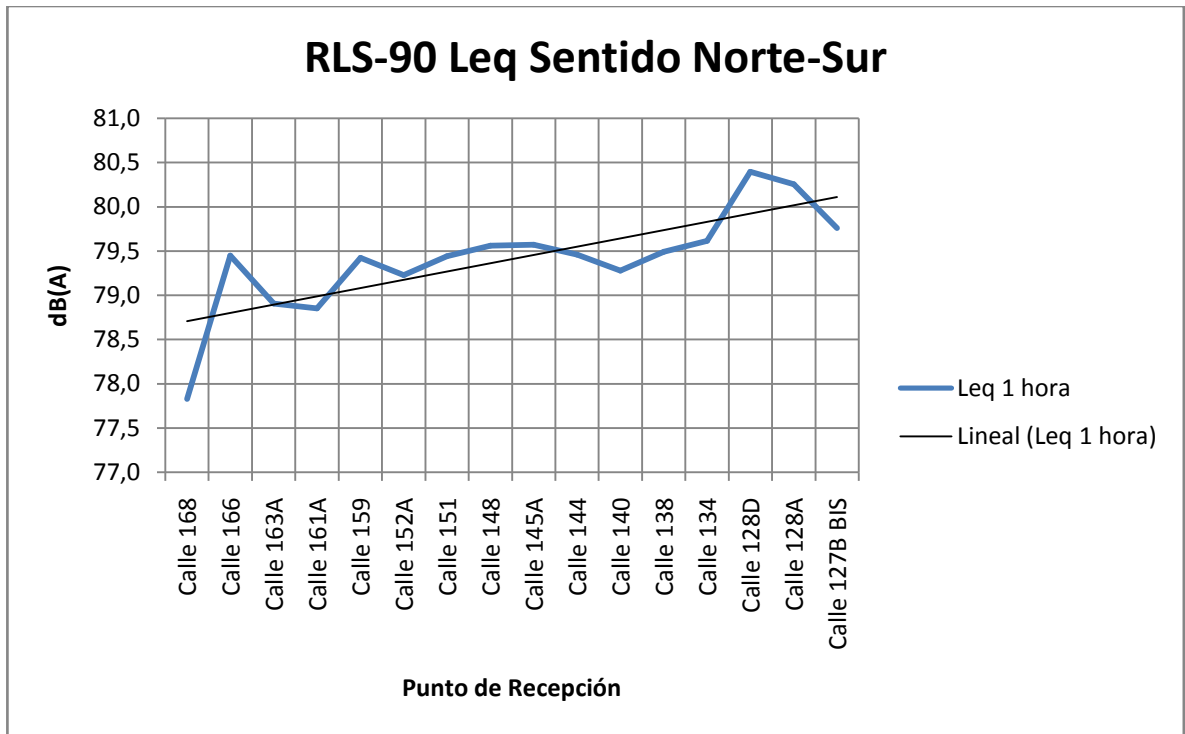
Tablas 41: Predicción 32 puntos Norte-Sur

Sentido Norte-Sur							
Calle	Punto	Vehículos		L25		LME Calculado	
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
Calle 167A	1	2.700	2.100	74,1	72,5	71,3	66,1
Calle 165	3	2.700	2.100	74,1	72,5	71,3	66,1
Calle 163B	5	2.700	2.100	74,1	72,5	71,3	66,1
Calle 161A	7	2.700	2.100	74,1	72,5	71,3	66,1
Calle 159	9	2.700	2.100	74,1	72,5	71,3	66,1
Calle 152A	11	2.900	2.500	74,4	73,2	71,6	66,8
Calle 151	13	2.900	2.500	74,4	73,2	71,6	66,8
Calle 147A	15	2.900	2.500	74,4	73,2	71,6	66,8

Calle 145A	17	2.900	2.500	74,4	73,2	71,6	66,8
Calle 144	19	2.900	2.500	74,4	73,2	71,6	66,8
Calle 141	21	3.000	2.500	74,5	73,2	71,7	66,8
Calle 137	23	3.000	2.500	74,5	73,2	71,7	66,8
Calle 131	25	3.000	2.500	74,5	73,2	71,7	66,8
Calle 128C	27	3.200	2.800	74,8	73,7	72,0	67,3
Calle 128A	29	3.200	2.800	74,8	73,7	72,0	67,3
Calle 127BIS	31	3.200	2.800	74,8	73,7	72,0	67,3

Sentido Norte-Sur										
Calle	Punto	Distancia al Receptor (D)		C _{suelo}		C _{dist}		L _{eq} 1 hora		L _{eq} 1 hora
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
Calle 167A	1	18,0	14,6	-0,8	-0,3	3,0	3,9	73,5	69,7	77,8
Calle 165	3	14,1	10,8	-0,2	-0,0	4,1	5,3	75,1	71,4	79,4
Calle 163B	5	15,4	12,1	-0,4	-0,1	3,7	4,8	74,6	70,8	78,9
Calle 161A	7	15,5	12,2	-0,4	-0,1	3,7	4,8	74,5	70,8	78,9
Calle 159	9	14,2	10,9	-0,3	-0,0	4,1	5,3	75,1	71,3	79,4
Calle 152A	11	15,8	12,5	-0,5	-0,1	3,6	4,7	74,7	71,4	79,2
Calle 151	13	15,3	12,0	-0,4	-0,1	3,7	4,8	74,9	71,6	79,4
Calle 147A	15	15,0	11,7	-0,4	-0,0	3,8	4,9	75,0	71,7	79,6
Calle 145A	17	15,0	11,7	-0,3	-0,0	3,8	5,0	75,0	71,7	79,6
Calle 144	19	15,3	11,9	-0,4	-0,1	3,8	4,9	74,9	71,6	79,5
Calle 141	21	15,9	12,5	-0,5	-0,1	3,6	4,6	74,8	71,4	79,3
Calle 137	23	15,4	12,0	-0,4	-0,1	3,7	4,8	75,0	71,6	79,5
Calle 131	25	15,1	11,8	-0,4	-0,0	3,8	4,9	75,2	71,7	79,6
Calle 128C	27	14,1	10,8	-0,2	-0,0	4,1	5,3	75,8	72,6	80,4
Calle 128A	29	14,5	11,1	-0,3	-0,0	4,0	5,2	75,7	72,5	80,3
Calle 127BIS	31	15,6	12,3	-0,4	-0,1	3,6	4,7	75,2	72,0	79,8

Gráfica 26: Modelo RLS-90 Sentido Norte-Sur



4.9.2.3. Predicción Periodo Día por Hora Calle 127

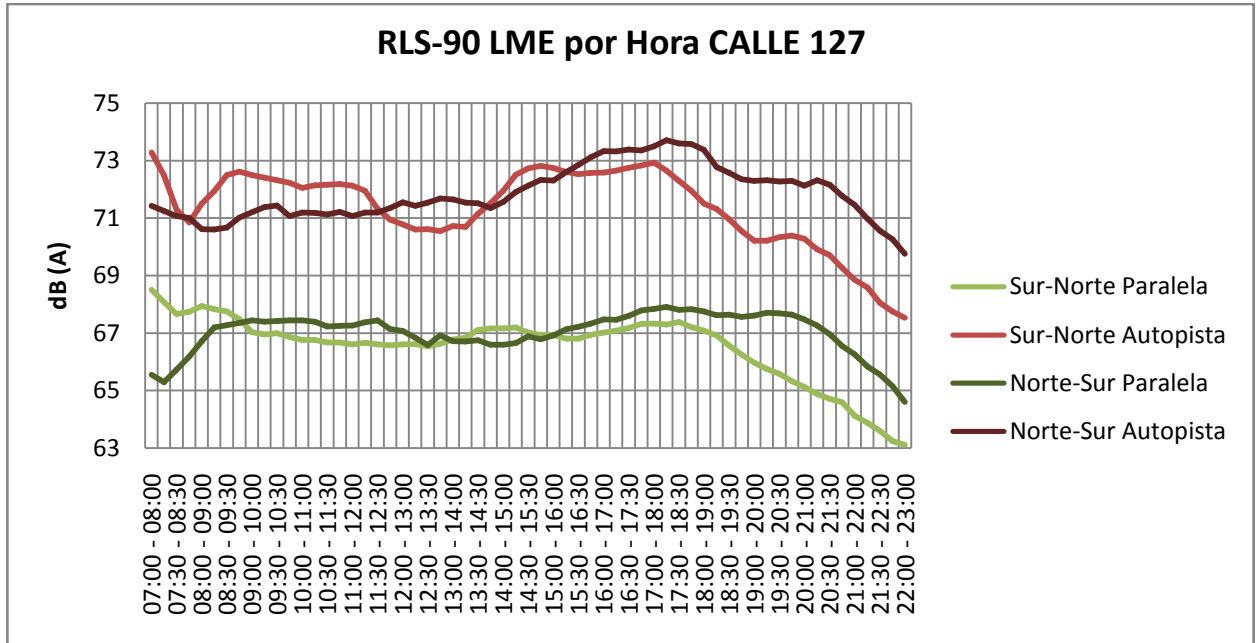
Por último se realizó la predicción durante todo el periodo día desde las 7:00 am a 9:00 pm y en la noche desde las 9:01 pm hasta las 12:00 am, para ver el comportamiento del ruido en función de los vehículos livianos y pesados.

Tablas 42: Correcciones Predicción periodo día

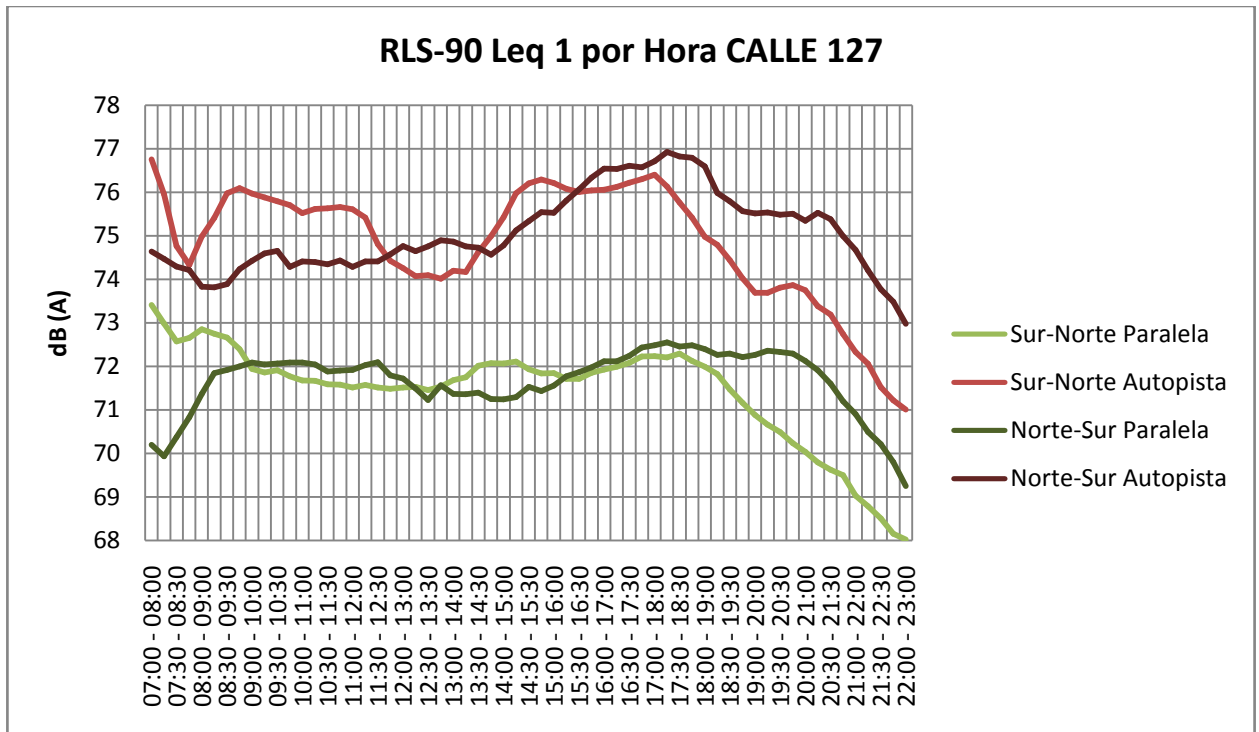
C _{speed}		C _{road}		C _{gradiente}	
Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista
-5,8	-4,2	2	0	-0,6	-0,6

C _{suelo}				C _{dist}			
Sur-Norte		Norte-Sur		Sur-Norte		Norte-Sur	
Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista
-0,1	-0,4	-0,1	-0,5	5,0	3,9	4,8	3,7

Gráfica 27: Modelo RLS-90 LME por hora



Gráfica 28: Modelo RLS-90 Leq por hora



4.9.3. Aplicar CoRTN a la Autopista Norte

Inicialmente para aplicar este método hay que hallar los primeros parámetros de cálculo tales como: el flujo de tráfico y su composición, la velocidad media, la pendiente de la carretera y el tipo de superficie de la misma.

Posteriormente se determina el nivel de ruido en el punto receptor por cada uno de los segmentos, teniendo en cuenta los modos de transmisión. El nivel obtenido se corrige por la absorción de suelo. Luego en el punto receptor se corrige el nivel proyectado, tomando en cuenta las características espaciales (reflexiones y tamaños de segmentos de fuente).

Los resultados de este modelo son significativos hasta 300 metros de la vía en estudio, si se pasa de esta distancia este modelo pierde efectividad. Se toman inicialmente las secciones generales para ver su aplicación en la Autopista y la paralela, y después se hará la predicción en cada punto de recepción.

4.9.3.1. Predicción en las Secciones Generales

Con este método se calculan todas las correcciones de la vía y de la distancia de recepción, como en el anterior método de predicción en las mismas secciones generales.

Tablas 43: Correcciones Predicción secciones generales

C _{speed}		C _{gradiente}	
Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
0,1	-1,2	1,2	1,2

C _{suelo}		C _{dist}		Angulo de Visión		C _{angulo}	
Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
-0,2	-0,1	-0,5	0,5	74,8	70,4	-3,8	-4,1

A diferencia del RLS-90, este método requiere de la corrección por ángulo de visión. El modelo básico de emisión se determina desde los bordes externos de la vía a 10 metros de la recepción.

Sentido Sur-Norte							
Sección	L _{basic} 10 Metros		LRE Calculado		L10 1 hora		L10 1 hora
No.	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
1	76,6	75,2	77,9	76,5	73,4	72,9	79,2
2	76,6	75,4	77,9	76,7	73,4	73,1	79,3
3	76,8	75,6	78,1	76,9	73,5	73,3	79,5
4	76,8	75,6	78,1	76,9	73,5	73,3	79,5
5	77,1	76,3	78,4	77,6	73,8	74,0	80,0

Sentido Norte-Sur							
Sección	L _{basic} 10 Metros		LRE Calculado		L10 1 hora		L10 1 hora
No.	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
1	76,5	75,4	77,8	76,7	73,2	73,1	79,2
2	76,5	75,4	77,8	76,7	73,2	73,1	79,2
3	76,8	76,1	78,1	77,4	73,5	73,9	79,8
4	76,9	76,1	78,2	77,4	73,7	73,9	79,8
5	77,2	76,6	78,5	77,9	74,0	74,3	80,2

4.9.3.2. Predicción en los 32 Puntos de Recepción

Igualmente para visualizar y comparar los resultados de la medición con el método de predicción, se tomaron todos los datos de la ubicación de cada punto de medición y se aplicaron al método de predicción CoRTN del Reino Unido.

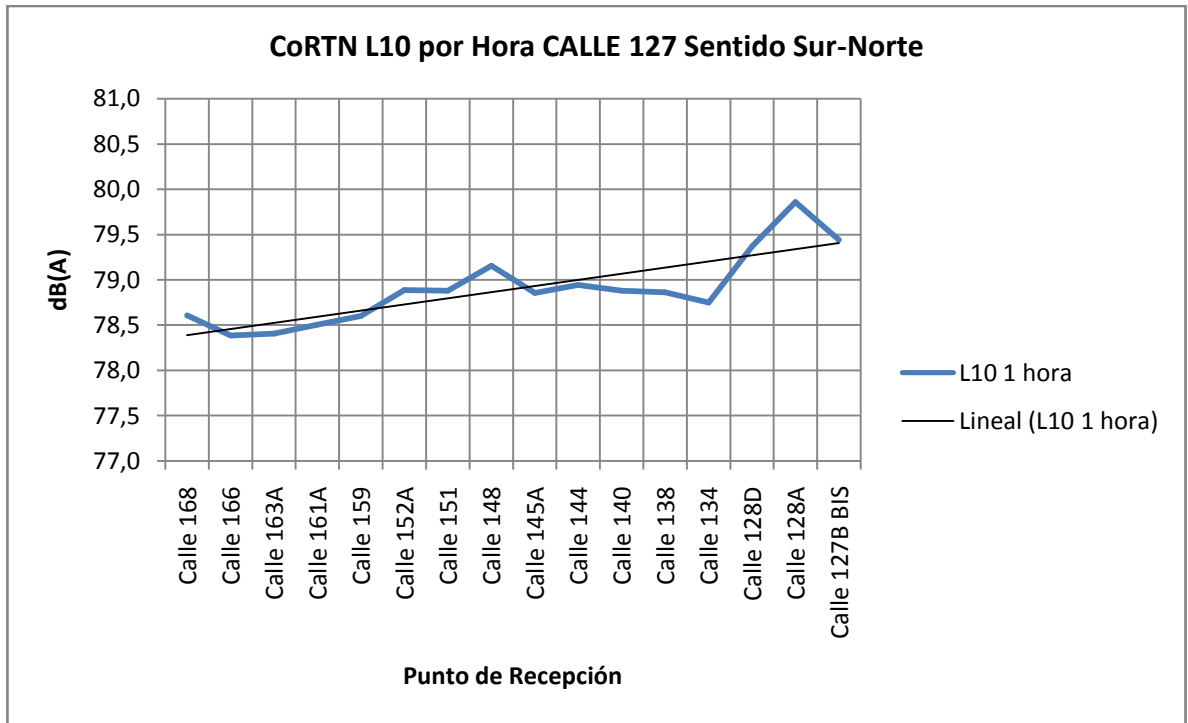
Tablas 44: Correcciones Predicción Puntos de Recepción Sur-Norte

Sentido Sur-Norte							
Calle	Punto	Vehículos		L _{basic} 10 Metros		LRE Calculado	
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
Calle 168	2	2.800	2.000	76,6	75,2	78,0	75,2
Calle 166	4	2.800	2.000	76,6	75,2	78,0	75,2
Calle 163A	6	2.800	2.000	76,6	75,2	78,0	75,2
Calle 161A	8	2.800	2.100	76,6	75,4	78,0	75,4
Calle 159	10	2.800	2.100	76,6	75,4	78,0	75,4
Calle 152A	12	2.900	2.200	76,8	75,6	78,1	75,6

Calle 151	14	2.900	2.200	76,8	75,6	78,1	75,6
Calle 148	16	2.900	2.200	76,8	75,6	78,1	75,6
Calle 145A	18	2.900	2.200	76,8	75,6	78,1	75,6
Calle 144	20	2.900	2.200	76,8	75,6	78,1	75,6
Calle 140	22	2.900	2.200	76,8	75,6	78,1	75,6
Calle 138	24	2.900	2.200	76,8	75,6	78,1	75,6
Calle 134	26	2.900	2.200	76,8	75,6	78,1	75,6
Calle 128D	28	3.100	2.600	77,1	76,3	78,4	76,4
Calle 128A	30	3.100	2.600	77,1	76,3	78,4	76,4
Calle 127B BIS	32	3.100	2.600	77,1	76,3	78,4	76,4

Sentido Sur-Norte												
Calle	Punto	Distancia al Receptor (D)		C _{suelo}		C _{dist}		C _{angulo}		L10 1 hora		L10 1 hora
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
Calle 168	2	15,2	11,9	-0,2	-0,0	-0,5	0,5	-3,8	-4,1	73,4	71,7	78,6
Calle 166	4	16,0	12,7	-0,2	-0,1	-0,7	0,3	-3,7	-4,0	73,2	71,4	78,4
Calle 163A	6	15,9	12,6	-0,2	-0,1	-0,7	0,3	-3,7	-4,0	73,2	71,4	78,4
Calle 161A	8	15,9	12,6	-0,2	-0,1	-0,7	0,3	-3,7	-4,0	73,2	71,7	78,5
Calle 159	10	15,6	12,2	-0,2	-0,1	-0,6	0,4	-3,8	-4,0	73,3	71,8	78,6
Calle 152A	12	15,2	11,8	-0,2	-0,0	-0,5	0,5	-3,8	-4,1	73,6	72,1	78,9
Calle 151	14	15,2	11,9	-0,2	-0,0	-0,5	0,5	-3,8	-4,1	73,6	72,1	78,9
Calle 148	16	14,3	10,9	-0,1	-0,0	-0,3	0,9	-3,9	-4,2	73,8	72,4	79,2
Calle 145A	18	15,3	12,0	-0,2	-0,0	-0,6	0,5	-3,8	-4,1	73,6	72,0	78,9
Calle 144	20	15,0	11,7	-0,2	-0,0	-0,5	0,6	-3,8	-4,1	73,6	72,1	78,9
Calle 140	22	15,2	11,9	-0,2	-0,0	-0,5	0,5	-3,8	-4,1	73,6	72,1	78,9
Calle 138	24	15,3	11,9	-0,2	-0,0	-0,5	0,5	-3,8	-4,1	73,6	72,1	78,9
Calle 134	26	15,7	12,3	-0,2	-0,1	-0,7	0,4	-3,8	-4,0	73,5	71,9	78,8
Calle 128D	28	15,2	11,9	-0,2	-0,0	-0,5	0,5	-3,8	-4,1	73,9	72,8	79,4
Calle 128A	30	13,6	10,3	-0,1	-0,1	-0,0	1,2	-3,9	-4,3	74,3	73,3	79,9
Calle 127B BIS	32	15,0	11,6	-0,2	-0,0	-0,5	0,6	-3,8	-4,1	73,9	72,9	79,4

Gráfica 29: Modelo CoRTN L10 32 puntos



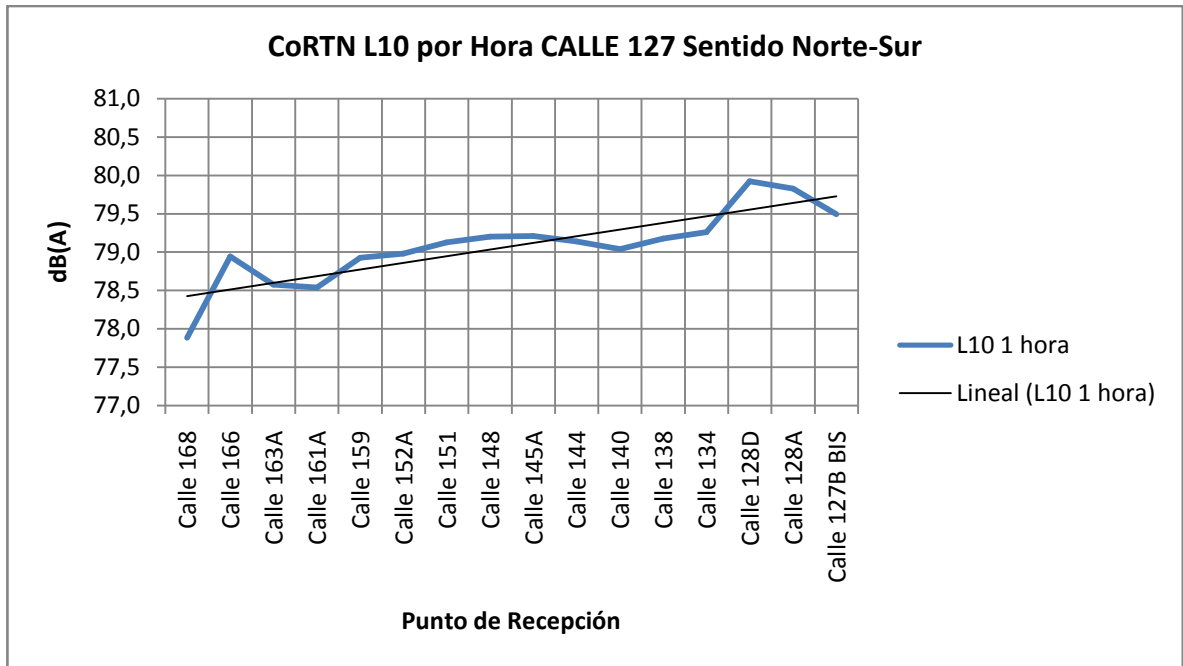
Tablas 45: Correcciones Predicción Puntos de Recepción Norte-Sur

Sentido Norte-Sur							
Calle	Punto	Vehículos		L _{basic} 10 Metros		LRE Calculado	
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
Calle 167A	1	2.700	2.100	76,5	75,42	77,8	75,4
Calle 165	3	2.700	2.100	76,5	75,4	77,8	75,4
Calle 163B	5	2.700	2.100	76,5	75,4	77,8	75,4
Calle 161A	7	2.700	2.100	76,5	75,4	77,8	75,4
Calle 159	9	2.700	2.100	76,5	75,4	77,8	75,4
Calle 152A	11	2.900	2.500	76,8	76,1	78,1	76,2
Calle 151	13	2.900	2.500	76,8	76,1	78,1	76,2
Calle 147A	15	2.900	2.500	76,8	76,1	78,1	76,2
Calle 145A	17	2.900	2.500	76,8	76,1	78,1	76,2
Calle 144	19	2.900	2.500	76,8	76,1	78,1	76,2
Calle 141	21	3.000	2.500	76,9	76,1	78,3	76,2
Calle 137	23	3.000	2.500	76,9	76,1	78,3	76,2
Calle 131	25	3.000	2.500	76,9	76,1	78,3	76,2

Calle 128C	27	3.200	2.800	77,2	76,6	78,5	76,7
Calle 128A	29	3.200	2.800	77,2	76,6	78,5	76,7
Calle 127BIS	31	3.200	2.800	77,2	76,6	78,5	76,7

Sentido Norte-Sur												
Calle	Punto	Distancia al Receptor (D)		C _{suelo}		C _{dist}		C _{angulo}		L10 1 hora		L10 1 hora
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
Calle 167A	1	18,0	14,6	-0,29	-0,1	-1,2	-0,3	-3,6	-3,8	72,6	71,1	77,9
Calle 165	3	14,1	10,8	-0,1	0,0	-0,2	0,9	-3,8	-4,2	73,6	72,2	78,9
Calle 163B	5	15,4	12,0	-0,2	-0,1	-0,5	0,4	-3,8	-4,0	73,2	71,8	78,6
Calle 161A	7	15,5	12,1	-0,2	-0,1	-0,6	0,4	-3,8	-4,0	73,2	71,8	78,5
Calle 159	9	14,2	10,8	-0,1	0,0	-0,2	0,9	-3,8	-4,2	73,6	72,2	78,9
Calle 152A	11	15,8	12,4	-0,2	-0,1	-0,6	0,3	-3,7	-4,0	73,4	72,5	79,0
Calle 151	13	15,3	11,9	-0,2	-0,0	-0,5	0,5	-3,8	-4,0	73,6	72,6	79,1
Calle 147A	15	15,0	11,6	-0,2	-0,0	-0,4	0,6	-3,8	-4,1	73,6	72,7	79,2
Calle 145A	17	15,0	11,6	-0,2	-0,0	-0,4	0,6	-3,8	-4,1	73,6	72,7	79,2
Calle 144	19	15,2	11,9	-0,2	-0,0	-0,5	0,5	-3,8	-4,0	73,6	72,6	79,1
Calle 141	21	15,9	12,5	-0,2	-0,1	-0,7	0,3	-3,7	-4,0	73,6	72,4	79,0
Calle 137	23	15,3	12,0	-0,2	-0,0	-0,5	0,4	-3,8	-4,0	73,7	72,6	79,2
Calle 131	25	15,1	11,7	-0,2	-0,0	-0,4	0,6	-3,8	-4,0	73,8	72,7	79,3
Calle 128C	27	14,1	10,8	-0,1	0,0	-0,2	0,9	-3,8	-4,2	74,3	73,5	79,9
Calle 128A	29	14,4	11,1	-0,2	0,0	-0,3	0,8	-3,8	-4,1	74,2	73,4	79,8
Calle 127BIS	31	15,6	12,2	-0,2	-0,1	-0,6	0,4	-3,7	-4,0	73,9	73,0	79,5

Gráfica 30: Modelo CoRTN Predicción 32 puntos



4.9.3.3. Predicción Periodo Día por Hora Calle 127

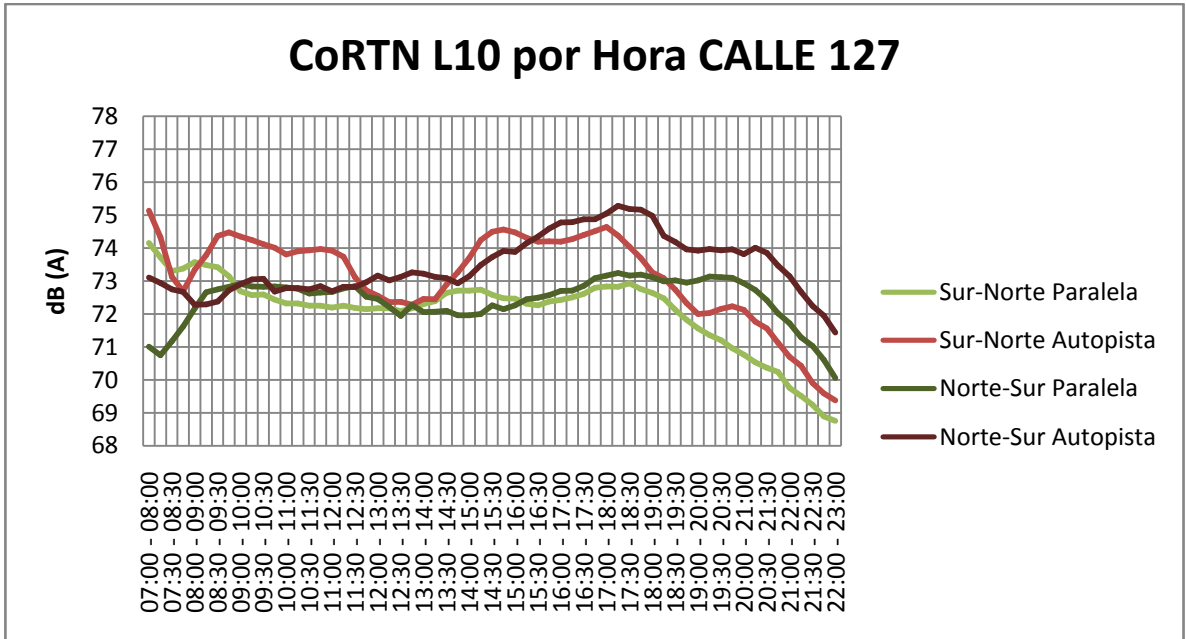
Por último se realizó la predicción durante todo el periodo día desde las 7:00 am hasta las 9:00 pm y en la noche desde las 9:01 pm hasta las 12:00 am, para ver el comportamiento del ruido en función de los vehículos livianos y pesados.

Tablas 46: Correcciones Predicción Día por Hora Calle 127

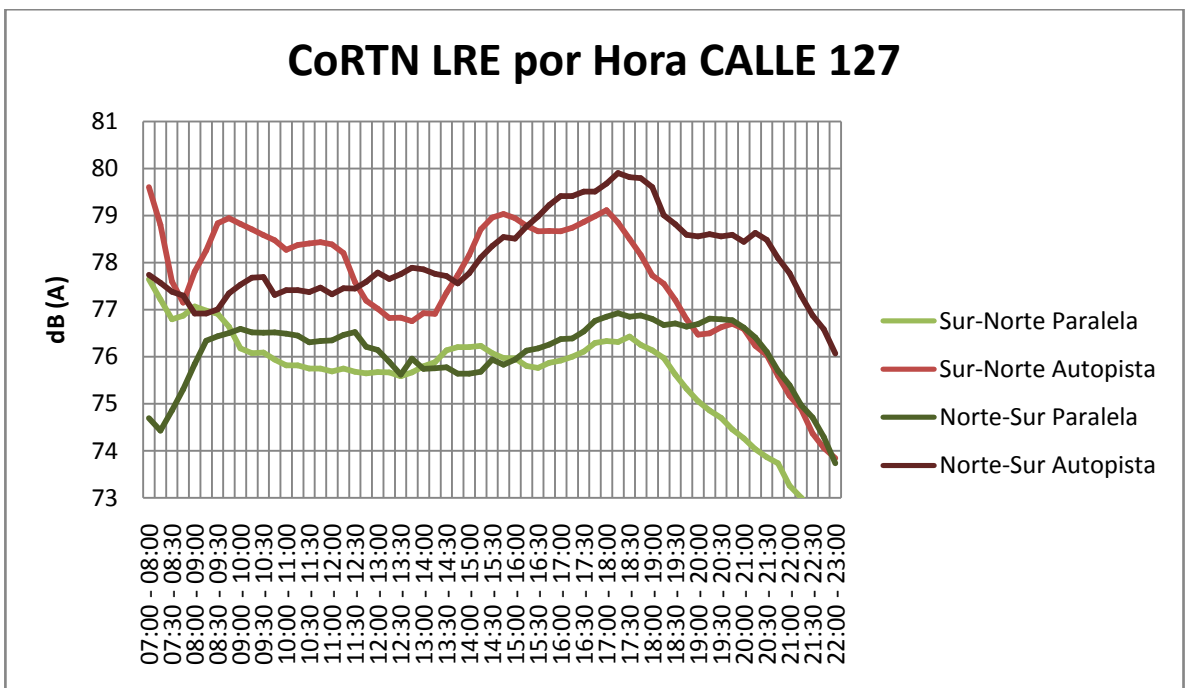
C _{speed}		C _{gradiente}	
Paralela	Autopista	Paralela	Autopista
-1,2	0,1	1,2	1,2

C _{suelo}				C _{dist}				C _{angulo}			
Sur-Norte		Norte-Sur		Sur-Norte		Norte-Sur		Sur-Norte		Norte-Sur	
Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista
-0,0	-0,2	-0,1	-0,2	0,6	-0,5	0,4	-0,6	-4,1	-3,8	-4,0	-3,8

Gráfica 31: Modelo CoRTN L10 Predicción por hora



Gráfica 32: Modelo CoRTN LRE Predicción por hora



4.9.2. Aplicar SP48 a la Autopista Norte

Este método se comporta de manera diferente a los demás métodos de predicción, ya que los anteriores entregan la información por hora, mientras este entrega el nivel continuo equivalente a 24 horas. Por lo tanto se sumó el flujo vehicular de todo el día en los mismos sectores generales de la Autopista Norte.

4.9.2.2. Predicción en las Secciones Generales

Tablas 47: Predicción secciones generales

Sentido Sur-Norte					
Secciones Generales				Vehículos por Día	
No.	Partes			Autopista	Paralela
1	Calle 168	hasta	Calle 163	45.400	23.800
2	Calle 163	hasta	Calle 157	45.400	26.200
3	Calle 152A	hasta	Calle 141	47.800	28.600
4	Calle 141	hasta	Calle 135	47.800	28.600
5	Calle 134	hasta	Calle 127B	52.600	38.200

Sentido Norte-Sur					
Secciones Generales				Vehículos por Día	
No.	Partes			Autopista	Paralela
1	Calle 168	hasta	Calle 163	40.600	26.200
2	Calle 163	hasta	Calle 157	40.600	26.200
3	Calle 152A	hasta	Calle 141	47.800	35.800
4	Calle 141	hasta	Calle 135	50.200	35.800
5	Calle 134	hasta	Calle 127B	55.000	43.000

L _{basic} 10 Metros		C _{speed}		C _{truck}		C _{gradiente}	
Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
68,0	68,0	0,8	0,0	3,2	3,2	0,2	0,2

C _{dist}		Angulo de Visión		C _{angulo}	
Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
-1,8	-0,8	74,8	70,4	-3,8	-4,1

Sentido Sur-Norte							
Sección	C _{tráfico}		LRE Calculado		L _{eq} Día		L _{eq} Día
	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
1	2,8	(0,0)	75,0	71,4	69,3	66,5	74,1
2	2,8	0,4	75,0	71,8	69,3	67,0	74,2
3	3,0	0,8	75,2	72,2	69,5	67,3	74,5
4	3,0	0,8	75,2	72,2	69,5	67,3	74,5
5	3,4	2,0	75,6	73,4	69,9	68,6	75,3

Sentido Norte-Sur							
Sección	C _{tráfico}		LRE Calculado		L _{eq} Día		L _{eq} Día
	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
1	2,3	0,4	74,5	71,8	68,8	67,0	74,0
2	2,3	0,4	74,5	71,8	68,8	67,0	74,0
3	3,0	1,7	75,2	73,2	69,5	68,3	75,0
4	3,2	1,7	75,4	73,2	69,7	68,3	75,1
5	3,6	2,5	75,8	73,9	70,1	69,1	75,7

4.9.2.3. Predicción en los 32 Puntos de Recepción

Tablas 48: Correcciones Predicción 32 puntos de medición

Sentido Sur-Norte							
Calle	Punto	Vehículos		C _{tráfico}		LRE Calculado	
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
Calle 168	2	45.400	23.800	2,8	(0,0)	75,0	71,4
Calle 166	4	45.400	23.800	2,8	(0,0)	75,0	71,4
Calle 163A	6	45.400	23.800	2,8	(0,0)	75,0	71,4
Calle 161A	8	45.400	26.200	2,8	0,4	75,0	71,8
Calle 159	10	45.400	26.200	2,8	0,4	75,0	71,8
Calle 152A	12	47.800	28.600	3,0	0,8	75,2	72,2
Calle 151	14	47.800	28.600	3,0	0,8	75,2	72,2
Calle 148	16	47.800	28.600	3,0	0,8	75,2	72,2
Calle 145A	18	47.800	28.600	3,0	0,8	75,2	72,2
Calle 144	20	47.800	28.600	3,0	0,8	75,2	72,2
Calle 140	22	47.800	28.600	3,0	0,8	75,2	72,2

Calle 138	24	47.800	28.600	3,0	0,8	75,2	72,2
Calle 134	26	47.800	28.600	3,0	0,8	75,2	72,2
Calle 128D	28	52.600	38.200	3,4	2,0	75,6	73,4
Calle 128A	30	52.600	38.200	3,4	2,0	75,6	73,4
Calle 127B BIS	32	52.600	38.200	3,4	2,0	75,6	73,4

Sentido Norte-Sur							
Calle	Punto	Vehículos		C _{tráfico}		LRE Calculado	
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela
Calle 167A	1	40.600	26.200	2,3	0,4	74,5	71,8
Calle 165	3	40.600	26.200	2,3	0,4	74,5	71,8
Calle 163B	5	40.600	26.200	2,3	0,4	74,5	71,8
Calle 161A	7	40.600	26.200	2,3	0,4	74,5	71,8
Calle 159	9	40.600	26.200	2,3	0,4	74,5	71,8
Calle 152A	11	47.800	35.800	3,0	1,7	75,2	73,2
Calle 151	13	47.800	35.800	3,0	1,7	75,2	73,2
Calle 147A	15	47.800	35.800	3,0	1,7	75,2	73,2
Calle 145A	17	47.800	35.800	3,0	1,7	75,2	73,2
Calle 144	19	47.800	35.800	3,0	1,7	75,2	73,2
Calle 141	21	50.200	35.800	3,2	1,7	75,4	73,2
Calle 137	23	50.200	35.800	3,2	1,7	75,4	73,2
Calle 131	25	50.200	35.800	3,2	1,7	75,4	73,2
Calle 128C	27	55.000	43.000	3,6	2,5	75,8	73,9
Calle 128A	29	55.000	43.000	3,6	2,5	75,8	73,9
Calle 127BIS	31	55.000	43.000	3,6	2,5	75,8	73,9

Sentido Sur-Norte												
Calle	Punto	Distancia (a)		C _{dist}		Angulo de Visión		C _{angulo}		L _{eq} día		L _{eq} día
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
Calle 168	2	15	11	-1,8	-0,8	74,8	70,4	-3,8	-4,1	69,3	66,5	74,1
Calle 166	4	16	12	-2,1	-1,0	75,6	71,6	-3,8	-4,0	69,1	66,3	73,9
Calle 163A	6	15	12	-2,0	-1,0	75,5	71,5	-3,8	-4,0	69,2	66,4	73,9
Calle 161A	8	15	12	-2,0	-1,0	75,5	71,5	-3,8	-4,0	69,2	66,8	74,1
Calle 159	10	15	12	-1,9	-0,9	75,2	71,0	-3,8	-4,0	69,2	66,9	74,1
Calle 152A	12	15	11	-1,8	-0,8	74,8	70,3	-3,8	-4,1	69,5	67,3	74,5
Calle 151	14	15	11	-1,8	-0,8	74,8	70,4	-3,8	-4,1	69,5	67,3	74,5

Calle 148	16	14	10	-1,6	-0,4	73,8	68,7	-3,9	-4,2	69,8	67,6	74,8
Calle 145A	18	15	11	-1,9	-0,8	74,9	70,5	-3,8	-4,1	69,5	67,3	74,5
Calle 144	20	14	11	-1,8	-0,7	74,6	70,0	-3,8	-4,1	69,6	67,4	74,6
Calle 140	22	15	11	-1,8	-0,8	74,8	70,4	-3,8	-4,1	69,5	67,3	74,5
Calle 138	24	15	11	-1,9	-0,8	74,9	70,5	-3,8	-4,1	69,5	67,3	74,5
Calle 134	26	15	12	-2,0	-0,9	75,3	71,1	-3,8	-4,0	69,4	67,2	74,4
Calle 128D	28	15	11	-1,8	-0,8	74,8	70,4	-3,8	-4,1	70,0	68,6	75,3
Calle 128A	30	13	10	-1,3	-0,1	72,9	67,2	-3,9	-4,3	70,3	69,0	75,7
Calle 127B BIS	32	14	11	-1,8	-0,7	74,5	70,0	-3,8	-4,1	70,0	68,7	75,4

Sentido Norte-Sur												
Calle	Punto	Distancia (a)		C _{dist}		Angulo de Visión		C _{angulo}		L _{eq} día		L _{eq} día
		Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	Paralela	
Calle 167A	1	18	14	-2,56	-1,65	77,1	74,1	-3,6	-3,8	68,2	66,3	73,3
Calle 165	3	14	10	-1,51	-0,35	73,5	68,3	-3,8	-4,2	69,1	67,2	74,2
Calle 163B	5	15	11	-1,88	-0,82	74,9	70,6	-3,8	-4,0	68,8	66,9	73,9
Calle 161A	7	15	12	-1,91	-0,86	75,0	70,8	-3,8	-4,0	68,8	66,9	73,9
Calle 159	9	14	10	-1,52	-0,37	73,6	68,4	-3,8	-4,2	69,1	67,2	74,2
Calle 152A	11	15	12	-1,99	-0,96	75,3	71,2	-3,7	-4,0	69,4	68,2	74,8
Calle 151	13	15	11	-1,85	-0,78	74,8	70,4	-3,8	-4,0	69,5	68,3	75,0
Calle 147A	15	14	11	-1,77	-0,68	74,5	69,9	-3,8	-4,1	69,6	68,4	75,0
Calle 145A	17	14	11	-1,76	-0,67	74,5	69,9	-3,8	-4,1	69,6	68,4	75,0
Calle 144	19	15	11	-1,84	-0,76	74,8	70,3	-3,8	-4,0	69,5	68,3	75,0
Calle 141	21	15	12	-2,01	-0,98	75,4	71,4	-3,7	-4,0	69,6	68,2	74,9
Calle 137	23	15	11	-1,87	-0,81	74,9	70,6	-3,8	-4,0	69,7	68,3	75,0
Calle 131	25	15	11	-1,79	-0,70	74,6	70,1	-3,8	-4,0	69,8	68,4	75,1
Calle 128C	27	14	10	-1,50	-0,34	73,5	68,3	-3,8	-4,2	70,4	69,4	75,9
Calle 128A	29	14	10	-1,60	-0,47	73,9	68,9	-3,8	-4,1	70,3	69,3	75,9
Calle 127BIS	31	15	12	-1,94	-0,89	75,1	70,9	-3,7	-4,0	70,1	69,0	75,6

4.9.2.4. Predicción Periodo Día por Hora Calle 127

Esta predicción no puede ser realizada con este método, ya que las variables de entrada exigen un número de vehículos de 24h.

4.10. MÉTODO DE PREDICCIÓN

En el quinto objetivo se seleccionaron las técnicas de predicción más apropiadas de acuerdo a los criterios de evaluación mencionados a continuación. Cada método se aplicó de manera diferente para ajustarlo a las características de la Autopista Norte y se comparó a los resultados de la medición.

4.10.1. Evaluación del Modelo de Emisión Básico

Cada uno de los modelos presenta un nivel básico a distancias diferentes del emisor al receptor. Inicialmente se van a comparar los resultados de la medición con las predicciones del modelo básico de cada uno de los modelos, para ver su eficiencia. Como el punto de medición está más cerca que el punto básico de emisión se corrigió la distancia por medio de la ley del inverso al cuadrado para evaluarlos.

4.10.1.1. Evaluación Modelo RLS-90

El modelo básico para este método de predicción comprende una distancia inicial de 25 metros desde el centro de la vía hasta el receptor. Mientras que en el punto de medición hay distancias de 11 metros a los 18 metros, dependiendo del ancho del separador central. Por esta razón se aplicó la ley del inverso al cuadrado, para llegar a la distancia de 25 metros en 32 puntos ubicados al realizar la medición.

Tablas 49: Comparación Medido-Calculado RLS-90

Sentido Sur-Norte dB(A)																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
LME 25m Medido	74,6	76,1	75,7	76,2	76,1	75,5	76,3	74,8	74,9	74,7	75,8	75,9	76,6	75,1	74,2	75,0
LME 25m Calculado	75,1	75,1	75,1	75,2	75,2	75,4	75,4	75,4	75,4	75,4	75,4	75,4	75,4	75,8	75,8	75,8
Diferencia	0,5	1,0	0,6	1,1	0,9	0,2	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	1,3	0,7	1,7	0,8

Sentido Norte-Sur dB(A)																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
LME 25m Medido	77,5	74,4	75,1	75,4	75,0	76,2	75,7	75,6	75,9	75,9	76,8	76,3	76,4	74,6	74,5	75,7
LME 25m Calculado	75,1	75,1	75,1	75,1	75,1	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,6	75,6	75,6	76,0	76,0	76,0
Diferencia	2,4	0,7	0,0	0,3	0,1	0,7	0,1	0,1	0,4	0,4	1,2	0,6	0,8	1,4	1,5	0,3

En las anteriores tablas se puede observar que la diferencia entre los valores medidos y calculados en promedio está a un 1 dB(A). El método alemán toma una distancia inicial de 25 metros, debido a que no hay presencia de superficies reflejantes o fachadas. Comparada con la Autopista Norte, la primera fachada esta a una distancia aproximada de 29 metros desde el centro del emisor y la Paralela se encuentra aproximadamente a 12 metros de la misma.

Este modelo básico se puede aplicar a la Autopista Norte por lo tanto se puede realizar un algoritmo con este método.

4.10.1.2. Evaluación Modelo Básico CoRTN

Este modelo trabaja a una distancia de referencia del modelo de emisión a 10 metros de la orilla más cercana de una vía, aproximadamente en los puntos de medición se realizaron a 8 metros de la orilla de la Autopista Norte y la paralela. Este modelo se acerca relativamente a estos puntos, por lo tanto el valor de emisión del modelo básico es mucho mayor al del modelo alemán que se encuentra a diez metros más lejos del punto de medición.

Este modelo se puede aplicar a la Autopista Norte, ya que los resultados obtenidos fueron muy cercanos a los medidos.

Tablas 50: Comparación Medido-Calculado CoRTN

Sentido Sur-Norte CoRTN dB(A)																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
LRE 10m Medido	75,8	77,6	77,7	78,3	78,1	76,8	77,5	75,6	76,2	76,4	77,0	77,2	78,6	76,3	74,2	76,7
LRE 10m Calculado	76,7	76,7	76,7	76,8	76,8	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9	77,0	77,0	77,0
Diferencia	0,9	0,9	1,0	1,5	1,3	0,1	0,6	1,4	0,8	0,5	0,1	0,3	1,7	0,7	2,9	0,3

Sentido Norte-Sur dB(A)																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
LRE 10m Medido	78,6	74,9	76,1	76,5	75,5	77,8	76,7	76,9	77,2	76,9	78,3	77,3	77,4	75,1	75,1	77,2
LRE 10m Calculado	76,7	76,7	76,7	76,7	76,7	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,3	77,3	77,3	77,6	77,6	77,6
Diferencia	1,9	1,8	0,5	0,2	1,2	0,6	0,5	0,3	0,0	0,3	1,0	0,0	0,1	2,6	2,6	0,4

4.10.1.3. Evaluación Modelo SP48

Este modelo al aplicarlo a la Autopista Norte, no presenta correcciones en el modelo básico. A diferencia de los demás métodos este no trabaja por hora, este trabaja en todo el periodo del las 24 horas, iniciando con una circulación media de veinticuatro mil vehículos. La Autopista tiene una circulación diaria de cuarenta y tres mil vehículos por día, por esta razón este método no se utilizó ya que no se puede analizar los periodos diurno y nocturno por separado adicionalmente estos se comportan de manera diferente. Es muy difícil analizar un método de predicción que trabaja inicialmente a 24 horas, cuando durante el día puede haber cambios de tráfico. Los datos arrojados por este método de predicción son incertados, no hay manera de comparar la Autopista Norte con este modelo, ya que el periodo nocturno tiene otros límites de ruido diferentes.

4.10.1.4. Evaluación Modelo NMPB

Para poder evaluar este método se realizó una corrección por distancia, para comparar los resultados de la predicción con los datos arrojados por la medición, ya que este calcula el nivel continuo equivalente sobre la vía a una altura de 4 metros sobre la misma. Se aplicó la ley del inverso al cuadrado para ubicar el punto de recepción a la distancia donde se ubicaron los puntos de medición.

Tablas 51: Comparación Medido-Calculado NMPB

Sentido Sur-Norte dB(A)																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
NMPB Medido	77,8	78,6	78,7	79,2	79,1	78,8	79,5	78,8	78,2	78,5	79,1	79,2	79,6	78,4	78,6	78,8
NMPB Calculado	78,6	78	78,1	78,2	78,4	78,9	78,9	79,6	78,8	79	78,9	78,8	78,5	79,4	80,7	79,6
Diferencia	0,8	0,6	0,6	1,0	0,7	0,1	0,6	0,8	0,6	0,5	0,2	0,4	1,1	1,0	2,1	0,8

Sentido Norte-Sur dB(A)																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
NMPB Medido	77,7	78,2	78,1	78,5	78,8	78,8	78,7	78,9	79,3	79	79,3	79,3	79,5	78,3	78,2	78,3
NMPB Calculado	76,8	79,4	78,5	78,4	79,4	78,7	79	79,2	79,2	79	78,6	79	79,2	80,4	80,1	79,3
Diferencia	0,9	1,2	0,4	0,1	0,6	0,1	0,3	0,3	0,1	0,0	0,7	0,3	0,3	2,1	1,9	1,0

Se puede observar en las tablas anteriores, que la diferencia entre el valor calculado y medido supera 1,2 dB(A), por lo que este método se tomó para la realización del algoritmo.

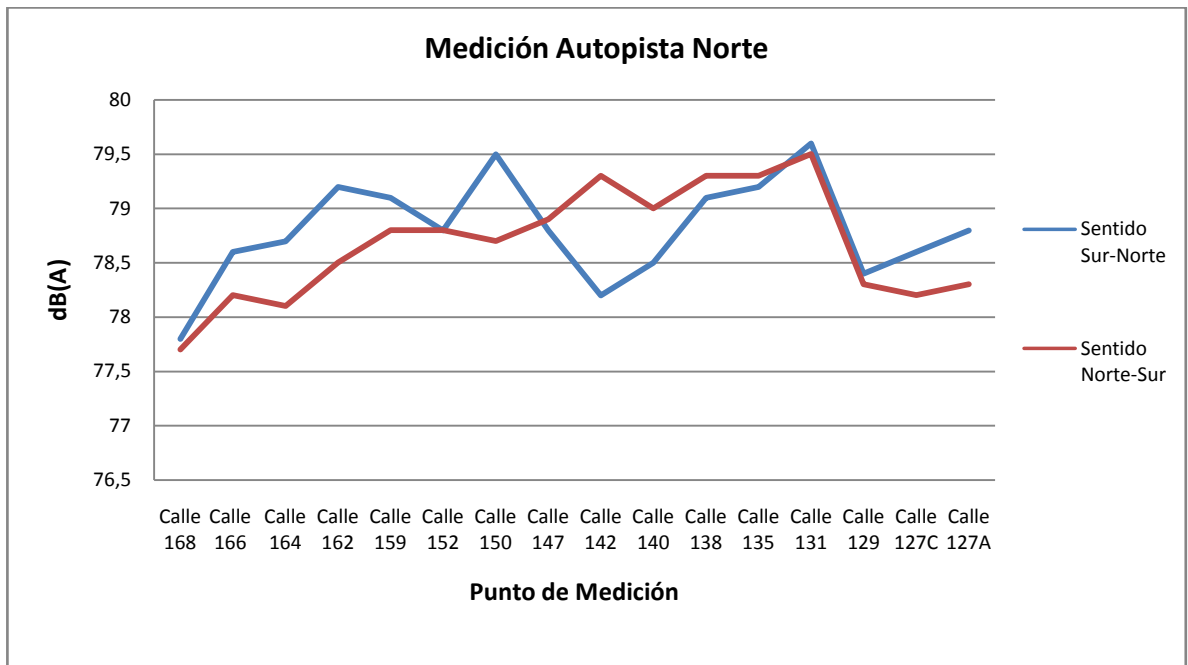
5. DESARROLLO INGENIERIL

5.1. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Después de analizar, comparar y evaluar los cuatro modelos de predicción, se realizó una comparación de los resultados obtenidos por los diferentes modelos, para sacar las diferencias entre lo medido y lo estimado. Se sacaron los porcentajes de error y que tanto se alejó de la medición realizada.

Los resultados mostrados a continuación, son el promedio de las 6 mediciones de la jornada de la mañana y de la tarde en los dos sentidos de la Autopista Norte por punto.

Gráfica 33: Resultados Medición



Se puede ver en la Gráfica 29, que el ruido de tráfico rodado en el periodo diurno entre las 7 am y las 9 pm no fue inferior a 77,7 dB(A) y no superó los 79,6 dB(A), teniendo un intervalo de diferencia entre estos dos límites de 1,9 dB(A).

Tabla 52: Resultados Medición Autopista Norte

Medición Autopista Norte dB (A)																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Sentido Sur Norte	77,8	78,6	78,7	79,2	79,1	78,8	79,5	78,8	78,2	78,5	79,1	79,2	79,6	78,4	78,6	78,8
Sentido Norte Sur	77,7	78,2	78,1	78,5	78,8	78,8	78,7	78,9	79,3	79	79,3	79,3	79,5	78,3	78,2	78,3

Se tomaron los resultados de la predicción en los 32 puntos de medición en los dos sentidos y se compararon para visualizar el margen de error entre estos valores.

Tabla 53: Comparación Medición y Métodos de Predicción Sentido Sur-Norte

Sentido Sur-Norte dB(A)																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Medición	77,8	78,6	78,7	79,2	79,1	78,8	79,5	78,8	78,2	78,5	79,1	79,2	79,6	78,4	78,6	78,8
RLS-90	79	78,6	78,7	78,8	78,9	79,2	79,2	79,6	79,2	79,3	79,2	79,2	79	79,7	80,4	79,8
CoRTN	78,6	78,4	78,4	78,5	78,6	78,9	78,9	79,2	78,9	78,9	78,9	78,9	78,8	79,4	79,9	79,4
NMPB	78,6	78	78,1	78,2	78,4	78,9	78,9	79,6	78,8	79	78,9	78,8	78,5	79,4	80,7	79,6

En el sentido sur-norte, se observó que los tres métodos de predicción de ruido de tráfico rodado, se acercaron notablemente a los resultados de la medición. Se promediaron los porcentajes de error de los 16 puntos de medición de este sentido y dio como resultado un margen de error no superior al 1%.

Método de Predicción	%
RLS-90	0,79%
CoRTN	0,71%
NMPB	0,94%

Gráfica 34: Comparación Medición y Métodos de Predicción Sentido Sur-Norte

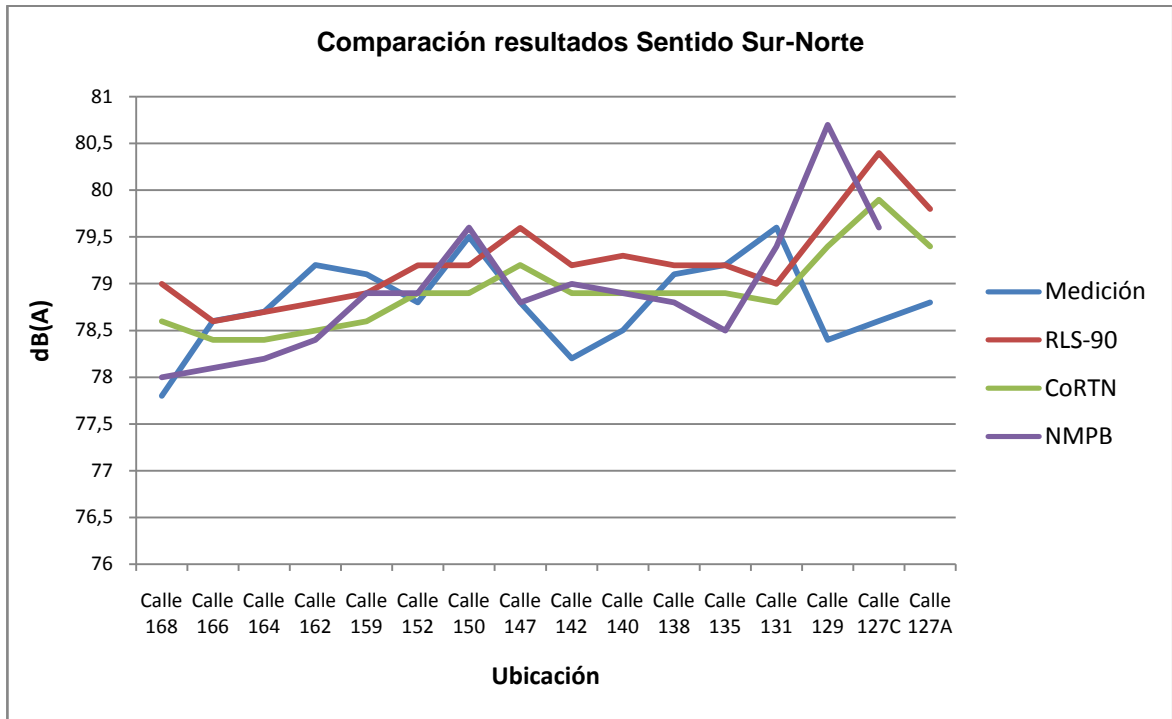


Tabla 54: Porcentaje de Error entre la medición y los Métodos de predicción

Porcentaje de Error Sentido Sur-Norte																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
RLS-90	1,54%	0,00%	0,00%	0,51%	0,25%	0,51%	0,38%	1,02%	1,28%	1,02%	0,13%	0,00%	0,75%	1,66%	2,29%	1,27%
CoRTN	1,03%	0,25%	0,38%	0,88%	0,63%	0,13%	0,75%	0,51%	0,90%	0,51%	0,25%	0,38%	1,01%	1,28%	1,65%	0,76%
NMPB	1,03%	0,76%	0,76%	1,26%	0,88%	0,13%	0,75%	1,02%	0,77%	0,64%	0,25%	0,51%	1,38%	1,28%	2,67%	1,02%

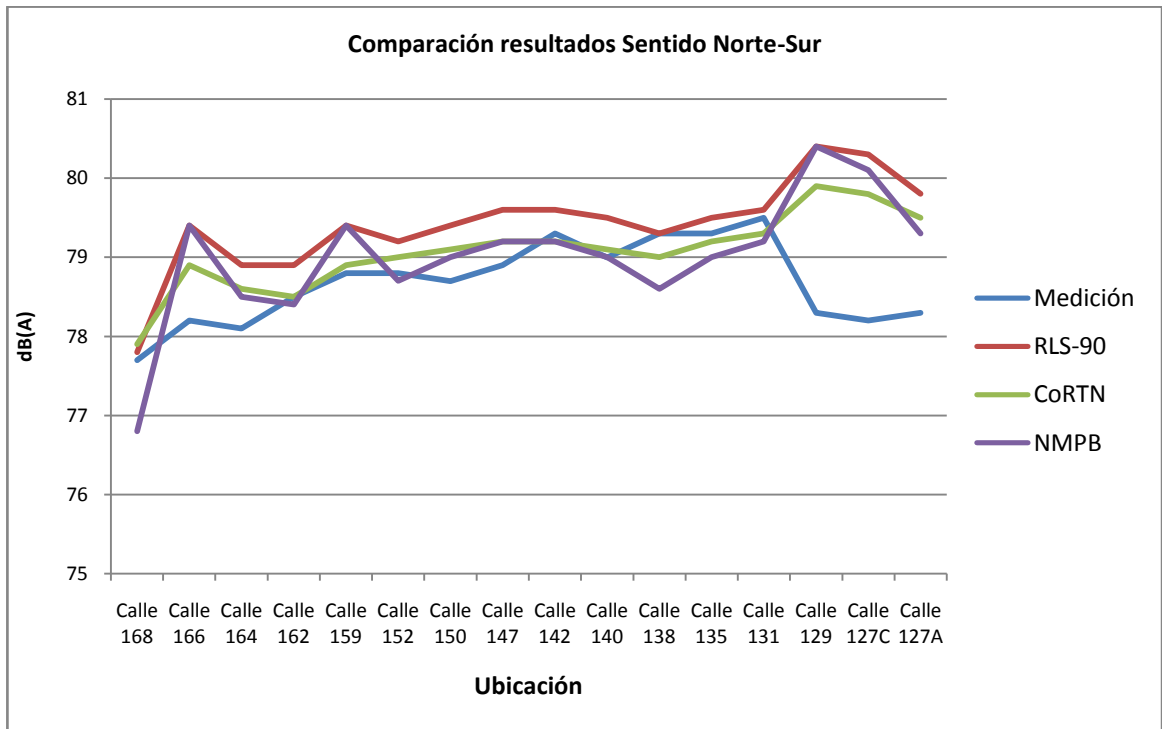
Comparando cada uno de los puntos de medición, con los resultados obtenidos por la predicción en el sentido Sur-Norte, se evidencia que el mayor margen de error, se observó en el método Francés NMPB con un 2,67% en la Calle 127C y lo sigue el método Alemán RLS-90 con un 2,29% y finalmente el método del Reino Unido CoRTN un 1,65%.

En decibeles el mayor margen de error fue de 2,1 dB(A) en el método Francés, 1,8 dB(A) en el método Alemán y 1,3 dB(A) en el método del Reino Unido.

Tabla 55: Comparación Medición y Métodos de Predicción Sentido Norte-Sur

Sentido Norte-Sur dB(A)																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Medición	77,7	78,2	78,1	78,5	78,8	78,8	78,7	78,9	79,3	79	79,3	79,3	79,5	78,3	78,2	78,3
RLS-90	77,8	79,4	78,9	78,9	79,4	79,2	79,4	79,6	79,6	79,5	79,3	79,5	79,6	80,4	80,3	79,8
CoRTN	77,9	78,9	78,6	78,5	78,9	79	79,1	79,2	79,2	79,1	79	79,2	79,3	79,9	79,8	79,5
NMPB	76,8	79,4	78,5	78,4	79,4	78,7	79	79,2	79,2	79	78,6	79	79,2	80,4	80,1	79,3

Gráfica 35: Comparación Medición y Métodos de Predicción Sentido Norte-Sur



Igualmente en este sentido se promediaron los porcentajes de error de los 16 puntos de medición de este sentido y dio como resultado un margen de error no superior al 1%.

Método de predicción	%
RLS-90	0,93%
CoRTN	0,61%
NMPB	0,82%

Tabla 56: Porcentaje de Error entre la medición y los Métodos de predicción

Porcentaje de Error Sentido Norte-Sur																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
RLS-90	0,13%	1,53%	1,02%	0,51%	0,76%	0,51%	0,89%	0,89%	0,38%	0,63%	0,00%	0,25%	0,13%	2,68%	2,69%	1,92%
CoRTN	0,26%	0,90%	0,64%	0,00%	0,13%	0,25%	0,51%	0,38%	0,13%	0,13%	0,38%	0,13%	0,25%	2,04%	2,05%	1,53%
NMPB	1,16%	1,53%	0,51%	0,13%	0,76%	0,13%	0,38%	0,38%	0,13%	0,00%	0,88%	0,38%	0,38%	2,68%	2,43%	1,28%

Comparando cada uno de los puntos de medición, con los resultados obtenidos por la predicción en el sentido Sur-Norte-Sur, se evidencia que el mayor margen de error, se observó en el método Alemán con un 2,69% en la Calle 127C y lo sigue el NMPB con un 2,43% y finalmente el método del Reino Unido CoRTN un 2,05%.

En decibeles el mayor margen de error fue de 2,1 dB(A) en el método Alemán, 1,6 dB(A) en el método Francés y 1,6 dB(A) en el método del Reino Unido.

5.2. ALGORITMO DE PREDICCIÓN

El sexto objetivo consistía en realizar por medio del software Matlab el algoritmo de ruido de tráfico con características de la Autopista Norte, entre las calles 168 y calle 127.

Se realizó un software de predicción, por medio del análisis de los métodos de predicción de ruido de tráfico rodado y una serie de mediciones ya anteriormente mencionadas y explicadas.

5.2.1. Software Utilizado

El software que se utilizó fue Matlab, para ejecutar las diferentes fórmulas y procesos utilizados para hallar el modelo final. CadnaA se utilizó para mostrar gráficamente el mapa de ruido y visualizar el comportamiento de la autopista, este software no fue utilizado para realizar cálculos de predicción, pero como tiene una interfaz gráfica, ayudó a realizar un mapa gráfico en los puntos de medición.

Para elaborar el algoritmo se procedió a realizar la programación de cada uno de los métodos de predicción, para su aplicación según lo disponga el usuario.

Se decidió incluir 4 métodos de predicción para observar los resultados independientemente si el método era apropiado o no, así se facilitó la comparación entre ellos. A continuación se exponen los algoritmos junto con los diagramas de flujo de cada uno de los métodos, para poder ser implementados en Matlab y poder ejecutarlos. Estos deben ser considerados un esquema típico en la mayoría de los métodos, dependiendo principalmente de la velocidad, porcentaje de vehículos pesados, aforo de los vehículos livianos, gradiente o pendiente de la vía relacionándolo con la propagación de la fuente al receptor. Las ecuaciones son la base de los 4 métodos de predicción estándar del cálculo de ruido de tráfico rodado, todos los niveles son expresados en términos de ponderado A, pero cada

método por separado tiene una manera diferente de mostrar los resultados durante un tiempo determinado.

5.2.2. Menú

Se realizó un menú para que el usuario pueda escoger cual método quiere trabajar.

Figura 30: Menú del Programa



5.2.3. RLS-90

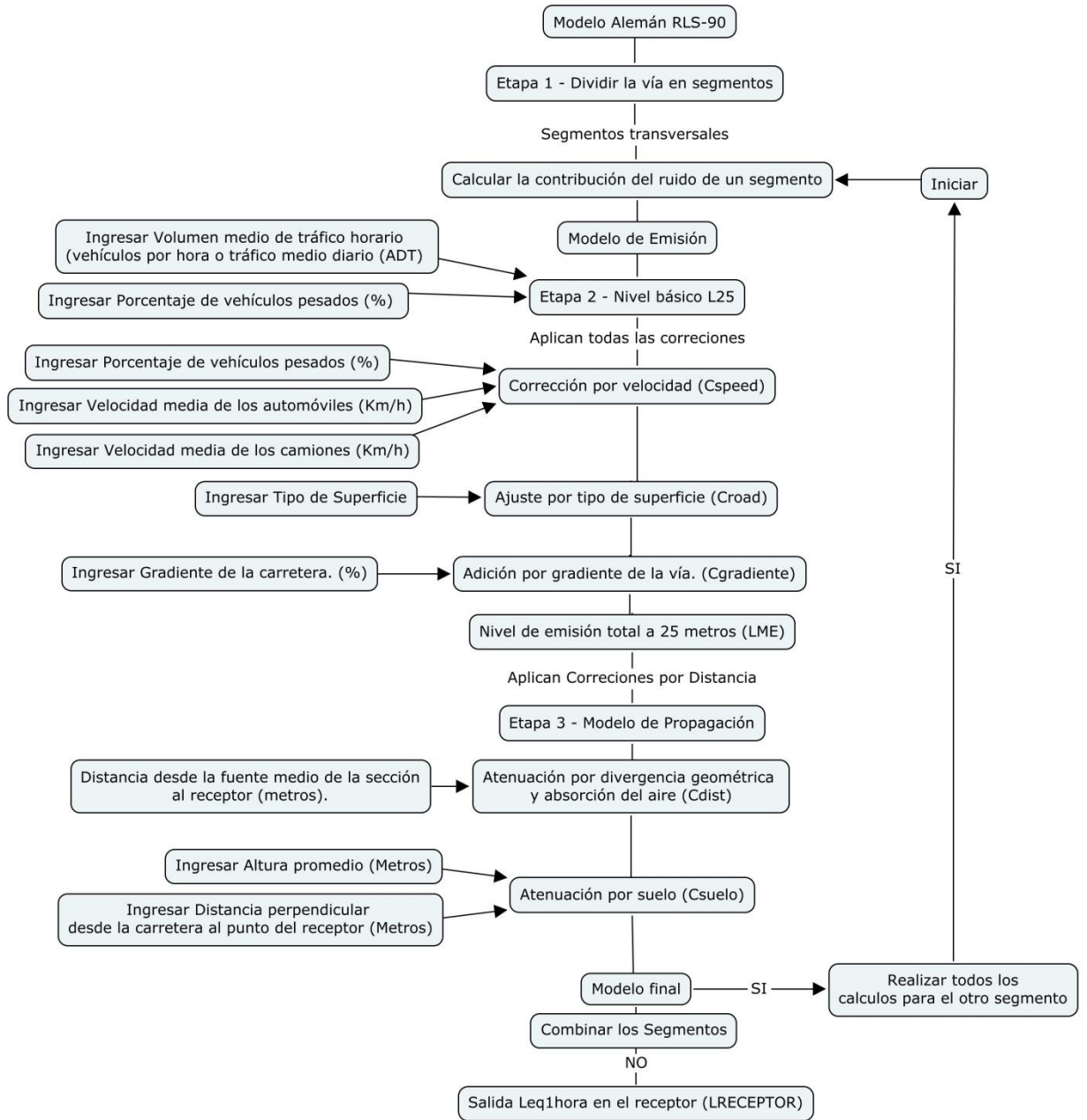
Este modelo consiste en calcular el Leq_{1hora} o ADT (Average Daily Traffic), que entrega resultados en el día, ingresando en vez del tráfico por una hora, el promedio de tráfico en día, dependiendo de lo que quiera el usuario calcular. Este método entrega inicialmente el LME (nivel de emisión estandarizado básico a 25 metros) donde se ingresan la Intensidad de vehículos, el porcentaje de vehículos

pesados (que excedan las 2,8 toneladas), la velocidad de vehículos livianos y pesados, la corrección por velocidad, los ajustes sobre la carpeta de la superficie (tipo de pavimento) y el gradiente de la vía (pendiente de la vía). Las adiciones de múltiples reflexiones en presencia de muros de contención, no se toman en el algoritmo de predicción, ya que la Autopista Norte no tiene barreras en el lugar de estudio.

Para calcular el Leq_{1hora} obligatoriamente hay que ingresar 10 variables, dependiendo de las características de la vía y de la distancia entre el emisor y el receptor. Se tiene que realizar una predicción cada vez que haya un cambio en el flujo de tráfico, en la pendiente de la vía y en el aumento o disminución de los carriles, ya que se puede alterar los resultados. Así mismo hay que dividir la vía en secciones para analizarla, ya que en la Autopista Norte hay una paralela en cada sentido. Se tiene que tomar como sistemas independientes para finalmente sumarlos como fuentes no coherentes y no correlacionadas, para calcular el Leq_{1hora} de toda la vía.

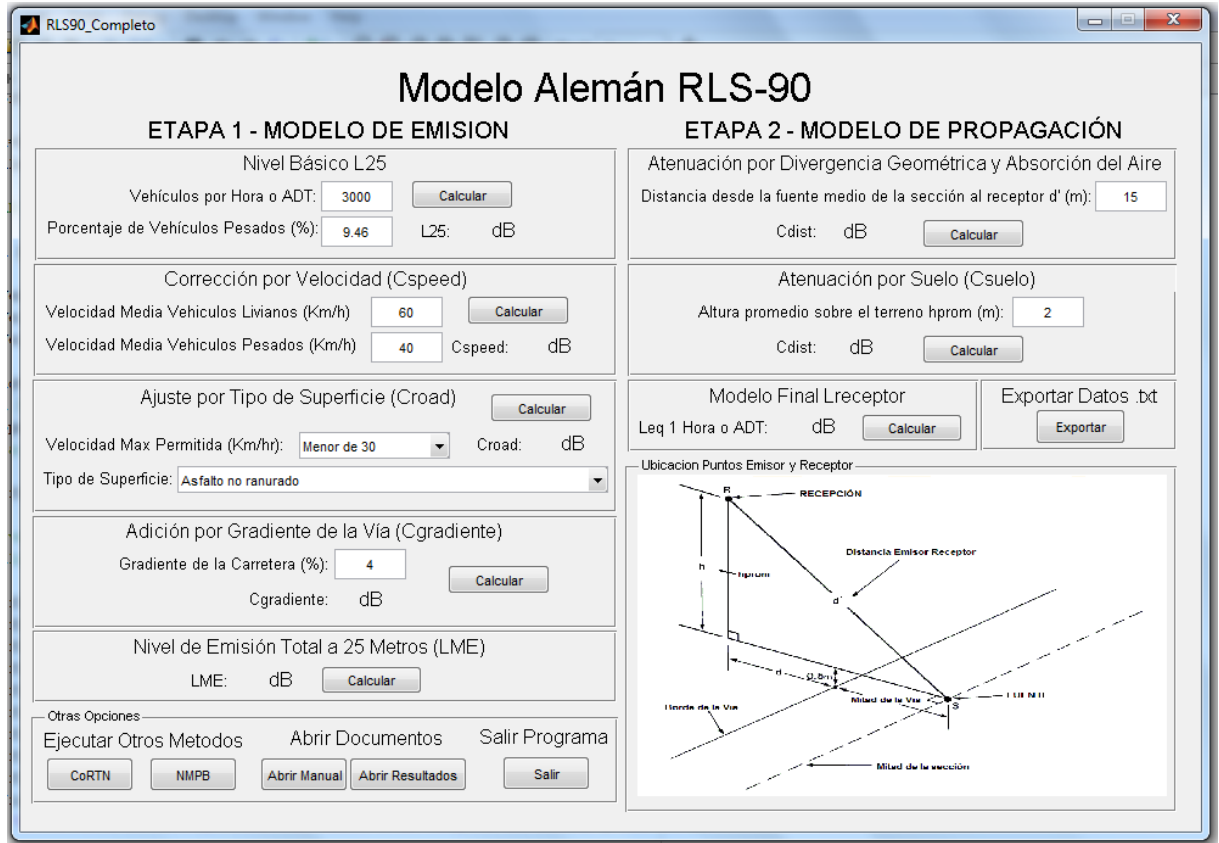
El diagrama de flujo para este método se divide en tres etapas la primera es dividir la vía en secciones, la segunda etapa es calcular el LME, por medio de las dimensiones de la vía y finalmente calcular el modelo de propagación para determinar el Leq_{1hora} o el Leq_{dia} .

5.2.3.1. Diagrama de Flujo de RLS-90



5.2.3.2. Vista programa Modelo Alemán RLS-90

Figura 31: Vista programa RLS-90



El programa consiste en dos etapas de cálculo, una de emisión y otra de propagación. Se divide en tres partes visuales, en la primera se ingresan los valores de las diferentes variables, la segunda es la imagen para poder visualizar los puntos de ubicación de las correcciones y el tercero son otras opciones, que permiten ejecutar los otros dos métodos, abrir los resultados, el manual y el botón de salida del programa.

5.2.4. CoRTN

El modelo consiste en determinar el descriptor estadístico percentil L10 durante una hora, este elemento será la salida final del algoritmo. Este método inicialmente entregará un modelo de emisión llamado LRE, donde tienen las variables de nivel básico, velocidad, porcentaje de vehículos pesados y gradiente de la vía. A continuación entregará un modelo de propagación que toma el nivel de referencia LRE, la distancia, atenuación del terreno, el ángulo de apertura. Las difracciones por apantallamientos y las múltiples difracciones no serán tomadas al crear el algoritmo, ya que no están presente en la autopista.

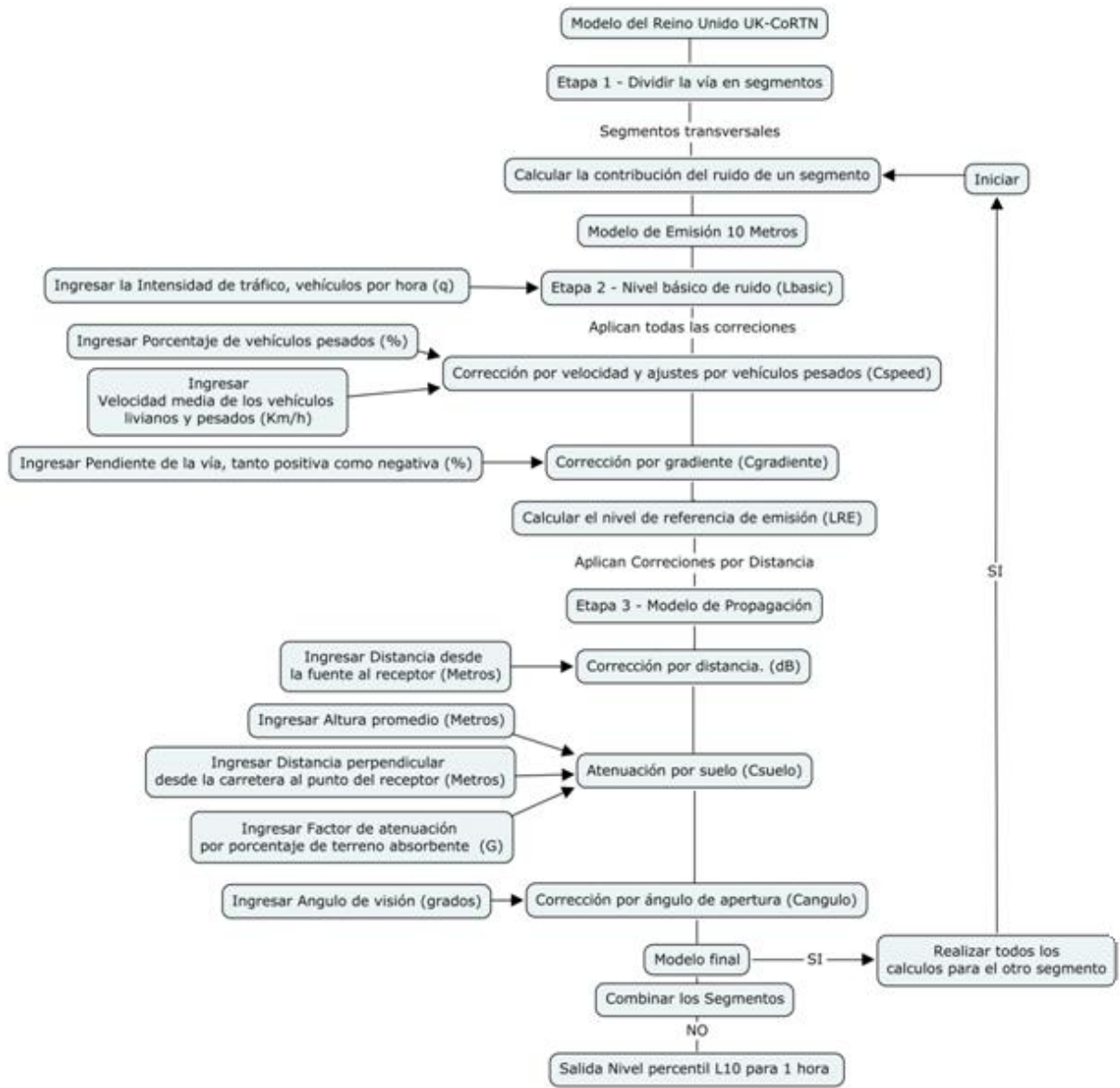
Para calcular en nivel percentil L10, se tendrán que ingresar obligatoriamente 9 variables que dependiendo de la vía serán diferentes en cada sección tomada. Este algoritmo no puede calcular 2 secciones de la vía al mismo tiempo. Si por ejemplo en la autopista hay 4 secciones transversales en los dos sentidos, hay que determinar la predicción para cada una de ellas y en el mismo punto sumar cada uno de los resultados obtenidos.

Al calcular el nivel percentil L10, en un punto determinado se tiene que tener en cuenta que este punto tiene un radio de cobertura de 300 metros⁶⁰, si se supera esta distancia se aumentará considerablemente el margen de error, ya que en esta distancia podría cambiar la distancia entre el emisor y el receptor y/o podría cambiar las dimensiones de la vía.

El diagrama de flujo para este método se divide en tres etapas de cálculo, la primera dice que hay que dividir la vía en secciones, la segunda etapa se ingresan las variables de la vía y la tercera etapa se ingresan las correcciones de distancia y atenuación del suelo.

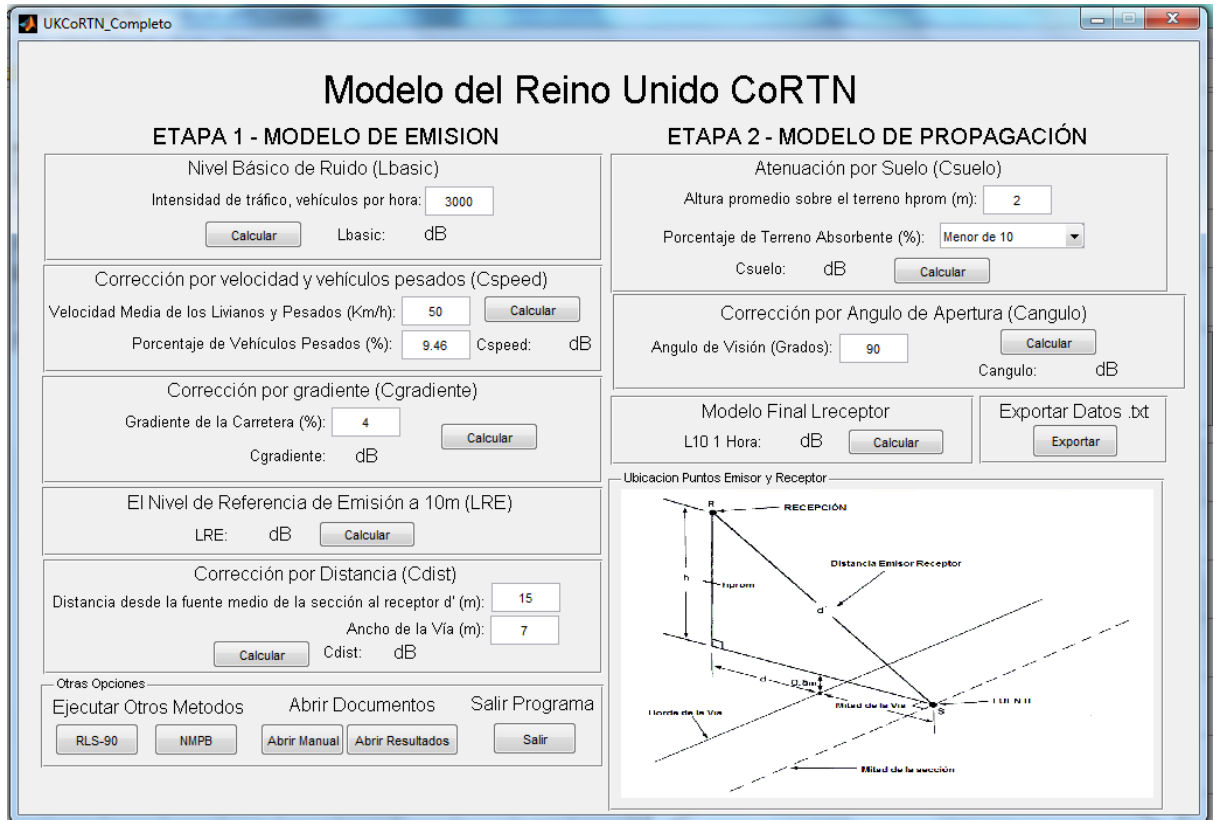
⁶⁰ HMSO, United Kingdom. 1988. Calculation of Road Traffic Noise. 1988. Método nacional de cálculo Reino Unido. London, Ed, Crown Página 6.

5.2.4.1. Diagrama de Flujo de CoRTN



5.2.4.2. Vista programa Modelo del Reino Unido CoRTN

Figura 32: Vista programa CoRTN

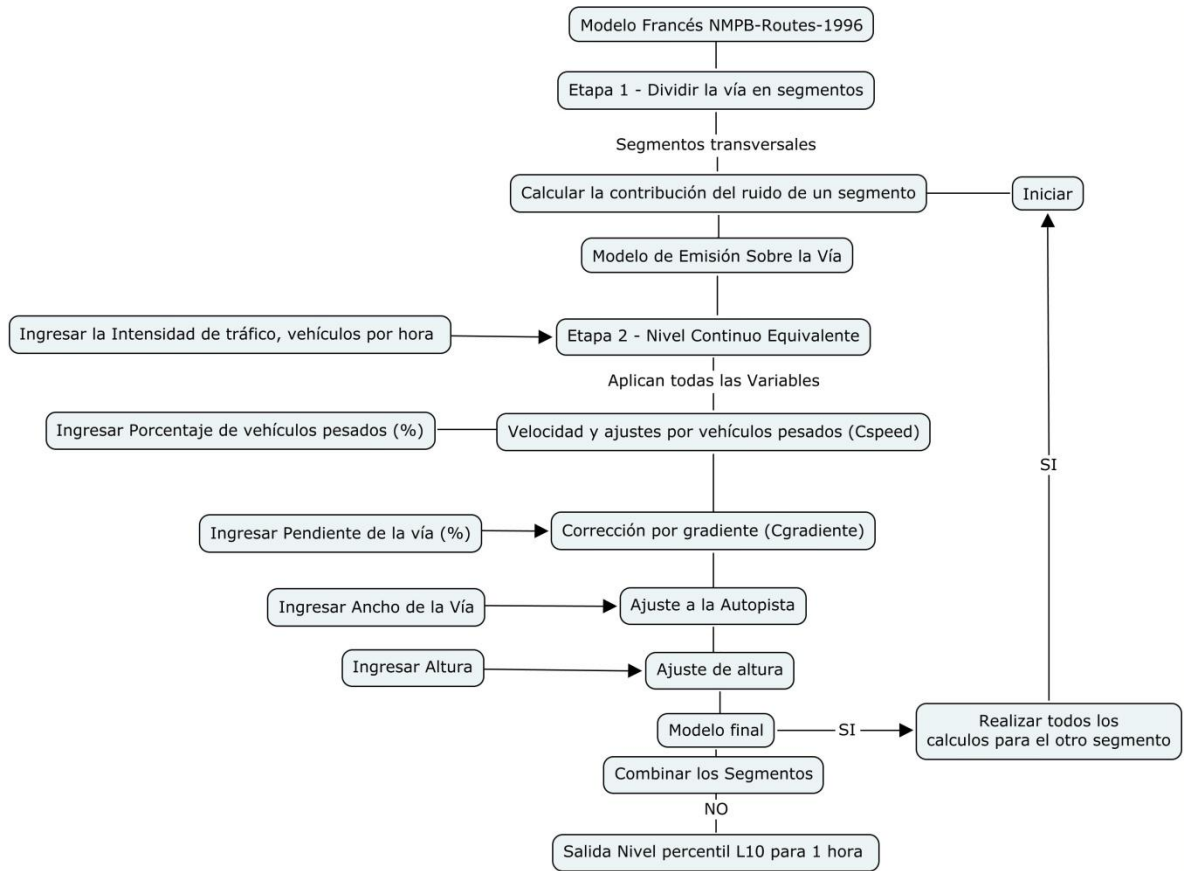


Las correcciones de distancia y suelo fueron modificados para el ancho de la autopista Norte y la paralela, ya que esta vía presenta más carriles que la del método; esto se pudo hacer porque este método puede variarse mientras la vía no supere diez mil vehículos por hora.

5.2.5. NMPB

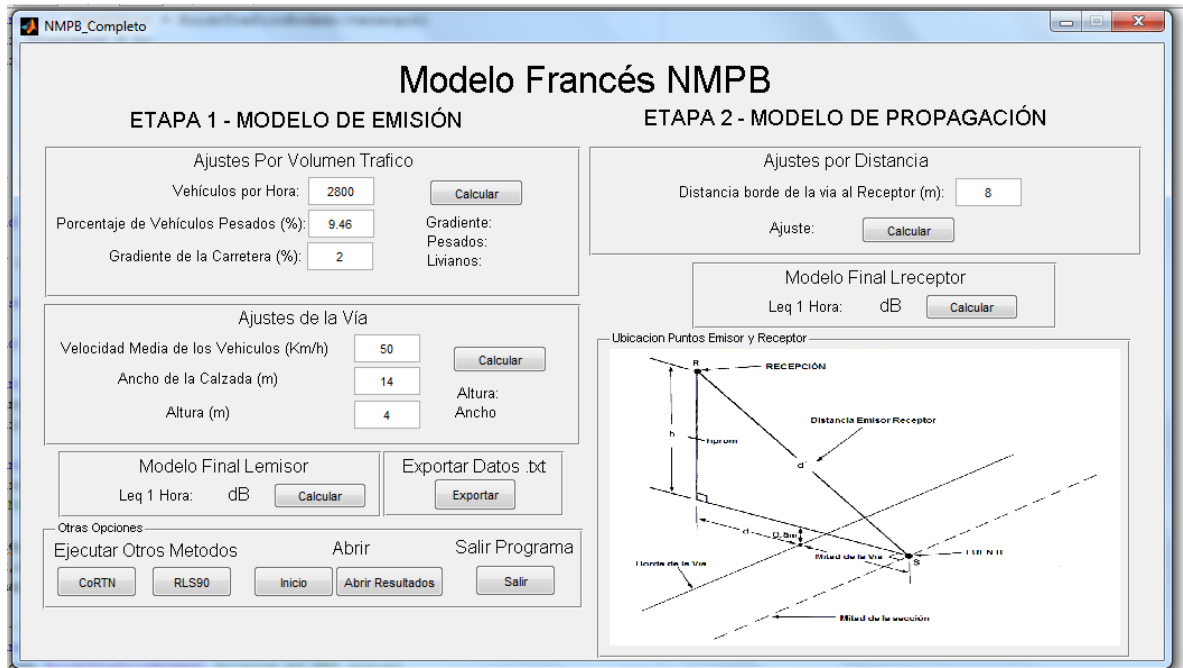
Este modelo consiste en calcular el Leq_{1hora} , entregando el Leq (nivel de emisión sobre la vía) donde se ingresan la Intensidad de vehículos, el porcentaje de vehículos pesados (que excedan las 3,5 toneladas), la velocidad de vehículos livianos y pesados, gradiente y tipo de pavimento.

5.2.5.1. Diagrama de Flujo de NMPB



5.2.5.2. Vista programa Modelo Francés NMPB

Figura 33: Vista programa NMPB



5.3. MAPA DE RUIDO AUTOPISTA NORTE ENTRE LAS CALLES 127-168

El séptimo objetivo fue realizar un mapa de ruido estratégico de ruido de tráfico rodado, para mostrar el software de predicción donde se usan los métodos recomendados por la Directiva Europea y las ISO 1996-2 en el anexo E.1 sobre los métodos nacionales específicos de cálculo para el tráfico rodado.⁶¹ A continuación se dan a conocer los resultados de la población afectada y los niveles de ruido emitido por la Autopista Norte.

5.3.1. Análisis Mapa de ruido

El tráfico es la principal fuente de ruido, al igual que ocurre en la mayoría de las ciudades, hecho que puede confirmarse a partir del análisis de resultados del mapa de ruido.

El mapa ruido en la Autopista Norte se va a realizar en el periodo diurno, no se va a tomar el periodo nocturno, ya que la mayoría del flujo vehicular transcurre en el día y el funcionamiento del servicio de Transmilenio funciona en este periodo.

Los posibles caminos de hecho para minimizar el impacto acústico originado por el tráfico rodado, corresponden a las acciones sobre la fuente emisora, el medio de difusión y/o sobre el receptor; pero inicialmente había que realizar un análisis de la vía posteriormente una medición y finalizando un mapa de ruido, para visualizar el daño emitido por la vía, y así poder plantear las diferentes soluciones que se pueden hacer en este lugar.

El mapa de ruido se realizó conforme a las mediciones mencionadas anteriormente y la predicción utilizando los 3 métodos en el periodo diurno entre

⁶¹ **ISO, International Organization for Standardization. 2007.** Description and Measurement of Environmental Noise."Descripción y medida del ruido ambiental". 2007. ISO 1996-2 Acoustics. Pagina 38.

las 7am y las 9pm. La zona abarca toda la Autopista Norte con su respectiva paralela entre las calles 127 hasta la calle 168.

5.3.2. Valoración de la población del sector expuesta al ruido

Para analizar la población en riesgo, se obtuvieron datos en el Dane, en el censo realizado en el año 2005, en el cual se mostraron los siguientes resultados:

La ciudad de Bogotá está distribuida por localidades, sectores urbanos y manzanas. La autopista está localizada entre las localidades de Usaquén y Suba, la población en riesgo está incluida entre un área de 5.000 km² albergando 14 sectores urbanos.

Figura 34: Localidades de Bogotá



Fuente: PORTAL OFICIAL DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, Localidades de Bogotá. <http://pixelclubservers.com/taxonomy/term/13>.

5.3.2.1. Sectores Urbanos de Usaquén

8501, 8516, 8519, 8530, 8515 y 8401

5.3.2.2. Sectores Urbanos de Suba

9101, 9103, 9102, 9110, 9104, 9105, 9106 y 9107

En la Autopista Norte a los costados de la paralela, hay calles secundarias y terciarias de doble sentido vehicular donde tienen acceso a la vía. En estos sectores se encuentran zonas residenciales, comerciales, educativas, entidades de salud e industrias pequeñas, etc.

5.3.3. Población General

Con esta información se quiere dar a conocer el tipo de población que se ve afectada en la zona estudiada.

Bogotá tiene una población total de 7'467.804⁶². La zona estudiada cuenta con una población de 157.187 habitantes.

En la siguiente tabla se puede ver la población por sexo en los 14 sectores urbanos. La población superior en la zona son mujeres.

Tabla 57: Tabla Censo Dane por Sexo

Sexo	Casos	%
Hombre	71.608	45,58%
Mujer	85.479	54,42%
Total	157.087	100%

Fuente: Censo DANE 2005 Sexo:

<http://190.25.231.242/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CG2005BASICO&MAIN=WebServerMain.inl>

En la siguiente tabla se puede observar, la población por edades. La población infantil entre los 0 a los 18 años de edad comprende un 28,07%, la población adulta joven entre los 18 hasta los 30 años comprende un 18,78%, la población adulta entre los 30 a los 60 años comprende un 42.29% y la población adulta

⁶² Índice de población estimado de 2005-2009

http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&task=category§ionid=16&id=497&Itemid=995

mayor de los 61 años en adelante comprende un 10%. La población está distribuida de igual manera entre la población joven y adulta, no se observó mayor población imponente en ningún rango de edad.

Tabla 58: Tabla Censo Dane por Edad Decenal

Edad	Casos	%
0 a 9 años	20.490	13,04%
10 a 19 años	23.603	15,03%
20 a 29 años	29.501	18,78%
30 a 39 años	24.914	15,86%
40 a 49 años	24.145	15,37%
50 a 59 años	17.369	11,06%
60 a 69 años	9.732	6,20%
70 a 79 años	5.237	3,33%
80 años o más	2.096	1,33%
Total	157.087	100%

Fuente: Censo DANE 2005 Sexo:

<http://190.25.231.242/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CG2005BASICO&MAIN=WebServerMain.inl>

En la realización del mapa de ruido se tienen en cuenta los sectores de: tranquilidad y silencio, ruido moderado, ruido intermedio restringido y zona de tranquilidad.

Se encontraron diversos subsectores en la zona de estudio tales como: Hospitales, clínicas, hoteles, zonas residenciales, colegios, escuelas, parques, zonas comerciales y oficinas.

En la zona de estudio se detectaron varias urbanizaciones tales como: Toberin, Pijao de Oro, Villa Magdala, Mazurén, las Margaritas, Santa Ana de Bravieria, Santa Coloma, la calleja y Prado Veraniego, donde viven gran cantidad de residentes (Ver Plano Anexo). Se hallaron 50.447 viviendas, en donde la mayoría son apartamentos. En promedio viven de 3 a 4 personas en las casas y apartamentos. En cambio en la vivienda tipo cuarto viven de 1 a 2 personas.

Tabla 59: Censo Dane por Tipo de Vivienda

Tipo de Vivienda	Casos	%
Casa	11.125	22,05%
Apartamento	36.640	72,63%
Tipo cuarto	2.661	5,27%
Otro tipo de vivienda	21	0,04%
Total	50.447	100%

Tabla 60: Censo Dane Uso de la Vivienda

Uso de la Vivienda	Casos	%
Uso Residencial	50.447	88,16%
Uso Unidad Económica	6.777	11,84%
Total	57.224	100%

En la zona de estudio el 88,16%, tiene vivienda de uso residencial, y como tal la resolución 0627 establece que es como una zona de tranquilidad y ruido moderado. Así mismo se encontraron 3.301 servicios económicos (restaurantes, establecimientos educativos, entidades de salud entre otros) y 3.476 de industria mediana y pequeña (actividades empresariales).

5.3.4. Población de Industria y Servicio

La población de industria y servicio está determinada por los códigos CIU (código industrial internacional uniforme), donde se establecieron las actividades comerciales del sector.

Tabla 61: Censo Dane por Servicio

Servicios	Casos	%
Alojamiento	102	3,09%
Actividad Empresarial	381	11,54%
Asociaciones	56	1,70%
Actividad Comercial	499	15,12%
Construcción	188	5,70%
Restaurantes	921	27,90%
Educación	174	5,27%

Salud	432	13,09%
Esparcimiento	158	4,79%
Otros Servicios	390	11,81%
Total	3301	100%

En la tabla anterior se puede observar la cantidad de población vulnerable por servicio en la Autopista Norte. En la zona de estudio se encuentran Hoteles, Educación primaria, básica secundaria, Centros de salud, consultorios médicos, Actividades deportivas, Servicios Sociales, Orfanatos, albergues infantiles, guarderías, Hospitales, clínicas, IPS, Teatros, Actividades musicales y artísticas.

5.3.5. Ruido de Tráfico Rodado

El tráfico es la principal fuente de ruido en la zona de estudio, al igual que ocurre en la mayoría de las principales ciudades colombianas. Este hecho puede corroborarse a partir del análisis de los resultados de un mapa de ruido entre la calle 168 y calle 127.

A continuación se mostrarán los resultados de la medición y de la predicción en los 32 puntos estratégicos de la Autopista Norte y su respectiva paralela.

Tabla 62: Resultados medición de Ruido de Tráfico Rodado Sur-Norte

Sentido Sur-Norte																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Medición	77,8	78,6	78,7	79,2	79,1	78,8	79,5	78,8	78,2	78,5	79,1	79,2	79,6	78,4	78,6	78,8
RLS-90	79	78,6	78,7	78,8	78,9	79,2	79,2	79,6	79,2	79,3	79,2	79,2	79	79,7	80,4	79,8
CoRTN	78,6	78,4	78,4	78,5	78,6	78,9	78,9	79,2	78,9	78,9	78,9	78,9	78,8	79,4	79,9	79,4
NMPB	78,6	78	78,1	78,2	78,4	78,9	78,9	79,6	78,8	79	78,9	78,8	78,5	79,4	80,7	79,6

Tabla 63: Resultados medición de Ruido de Tráfico Rodado Norte-Sur

Sentido Norte-Sur																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Medición	77,7	78,2	78,1	78,5	78,8	78,8	78,7	78,9	79,3	79	79,3	79,3	79,5	78,3	78,2	78,3
RLS-90	77,8	79,4	78,9	78,9	79,4	79,2	79,4	79,6	79,6	79,5	79,3	79,5	79,6	80,4	80,3	79,8
CoRTN	77,9	78,9	78,6	78,5	78,9	79	79,1	79,2	79,2	79,1	79	79,2	79,3	79,9	79,8	79,5
NMPB	76,8	79,4	78,5	78,4	79,4	78,7	79	79,2	79,2	79	78,6	79	79,2	80,4	80,1	79,3

5.3.6. Planos de Ubicación de puntos y Predicción

Finalmente se entregan dos planos en tamaño A0. El primero para la visualización de los puntos de medición, los puntos de conteo vehicular, la dirección de los carriles, los recuadros de división a 250 metros y las urbanizaciones cercanas a la Autopista Norte. El segundo para visualizar el mapa de ruido de la zona que se estudió. Se entregaron estos datos para que los lectores puedan ver los resultados de la predicción del método RLS-90. Así mismo para que puedan ver la gran contaminación acústica que hay en esta zona y así se puedan tomar medidas para solucionar este problema.

CONCLUSIONES

- La Autopista Norte es una vía apropiada para la predicción, ya que con ella se puede utilizar todos los métodos de predicción ruido de tráfico rodado, porque cumple con todas las características tales como: inclinaciones, velocidad, flujo vehicular y tipo de pavimento, para poder hacer un estudio de simulación de ruido.
- Se utilizó esta vía por las siguientes características: es una de las vías más importantes de Bogotá, posee alta velocidad superior a los 50km/h, tiene un flujo continuo de vehículos y se asemeja a vías Europeas posee tres carriles rápidos y dos lentos basandose en este tipo de vías.
- Los niveles de ruido en la Autopista Norte durante todo el periodo día son constantes aproximadamente 79 dB(A). Durante el transcurso del día el tráfico varía de manera considerable, esto sucede por dos razones, porque mientras aumenta el tráfico vehicular la velocidad de los vehículos disminuye y el comportamiento de los vehículos es lineal, mientras que los cálculos de predicción y mediciones son logarítmicos.
- El ruido generado por una vía se debe a las fuentes móviles, pero al realizar el algoritmo de predicción se toman varias fuentes puntuales, porque cuando se va a realizar la predicción, para calcular los valores de emisión y propagación, los métodos determinaron las ecuaciones de estudios mediciones realizadas por ellos.
- Bogotá tiene un sistema de transporte masivo, diferente a las vías Europeas, donde cuentan con metro y tren. En la zona de estudio hay un sistema de transporte masivo basado en vehículos pesados de más de 3,5 toneladas de tres ejes (Transmilenio), por lo cual fue incluido como tráfico rodado en este estudio.
- Los cuatro métodos trabajan a distancias iniciales diferentes, como el RLS-90 a 25 metros y el CoRTN, el SP48 y el NMPB a 10 metros. Al ubicar el

punto de recepción real, este se encuentra a una distancia diferente a los métodos, por lo tanto hay que realizar correcciones de distancia que en este caso fueron máximo de 10 metros y de suelo 4 metros, para acercarse al punto de recepción.

- Al analizar los cuatro métodos de predicción, se concluye que las correcciones de emisión y propagación no pueden ser superiores a 6 dB(a), porque estas ya han sido elaboradas por los métodos y ellos ya han fijado los límites para cada una de ellas.
- Es mejor medir que realizar una predicción, porque se puede observar ruido tonal o ruido de baja frecuencia, que en la predicción sería imposible de calcular. El algoritmo de predicción es una herramienta que sirve para calcular vías que se construirán en un futuro y ver el impacto que causarían en una determinada zona.
- Los datos de la población son importantes conocerlos, puesto que con ellos se puede observar que tipo de población está expuesta. Así mismo si esta investigación quiere entregarse a un estamento gubernamental, serviría de apoyo para detectar un problema de salud pública que es importante ser tratado ya que, 88,16% de la zona estudiada es zona residencial.
- Para facilitar e interpretar los datos arrojados por esta investigación, se elaboró un mapa de ruido, para favorecer la comprensión de los resultados, ya que se puede observar la contaminación acústica más fácilmente, en vez de tener que analizarlos numéricamente.
- Con respecto a los métodos de tráfico rodado, se puede afirmar que el RLS-90, el CoRTN y el MNPB son apropiados para este tipo vía, porque al evaluarlos y analizarlos se encontraron medidas que se acomodaron a la Autopista Norte no superando los 2,1 dB(A) de diferencia entre lo medido y lo calculado. A diferencia del método SP-48 que da los resultados a 24 horas, es imposible detectar el problema en el transcurso del día y compararlo con los resultados de la medición.

- El programa sirve como base para estudios preliminares en vías ya construidas, para tener una primera observación del ruido. Esta herramienta ayuda a obtener el nivel continuo equivalente de un periodo determinado, más no entrega resultados precisos del ruido que está produciendo.
- La diferencia de margen de error entre los tres métodos de predicción fue mínima, se obtuvo un margen promediado en el método NMPB de un 1,77% seguido por el método RLS-90 con un 1,72% y finalmente el CoRTN con un 1,31%. Según estos datos el mejor método para la autopista fue el CoRTN por su cercanía con los resultados de la medición.
- Al analizar las correcciones de los tres métodos, por la diferenciación entre pavimento, por el análisis de las correcciones de velocidad y porcentajes de vehículos pesados. Se determinó que el mejor método en el modelo de emisión fue el RLS-90, se alejó 0,41% del método CoRTN ya que la distancia entre la vía y el punto de medición es mayor y el modelo CoRTN tiene un mejor modelo de propagación que el alemán.

RECOMENDACIONES

- Los modelos de predicción trabajan de la misma manera que la medición. Se recomienda no superar distancias entre predicciones de 250 metros, ya que se puede alterar el resultado de la misma, porque en diferentes puntos pueden haber cambios de flujo de tráfico, porcentaje de vehículos pesados o gradiente.
- Si existen varias secciones de la vía, estas se tomaran por separado como es el caso de la Autopista Norte y la paralela. La predicción se realizara por cada sección, ya que son sistemas diferentes y finalmente se sumarán todas las secciones.
- Si durante la predicción alguna corrección supera los 6dB(A), se recomienda ver cuidadosamente cada variable de entrada, debido a que puede existir un problema en el resultado de la predicción.
- Para mejorar la eficiencia del algoritmo de predicción, sería importante crear un método para la ciudad de Bogotá, ya que las características de todas las ciudades son diferentes y las correcciones se pueden modificar de acuerdo a la vía, debido a que todos los métodos que se utilizaron, se tuvieron que acomodar para a la Autopista Norte para realizar la predicción.
- Al hacer un estudio de contaminación acústica, esta información debe darse a conocer a las entidades gubernamentales encargadas del caso, para que ellas tomen las medidas necesarias sobre este problema.
- El programa fue diseñado para ingresar las cifras recomendadas por los métodos, el aforo no puede ser inferior a mil vehículos por hora y no puede ser superior a diez mil vehículos por hora, el porcentaje de vehículos pesados no puede superar el 35% y la inclinación no puede superar los 45 grados. De lo contrario no se puede realizar la predicción.

- Es importante anotar, que en este tipo de trabajo, el clima juega un papel muy importante, ya que este fue un obstáculo para poder realizar la medición en un periodo menor de tiempo. Por esta razón, en esta investigación las fechas de medición se apartaron 5 meses.

GLOSARIO

AGLOMERACIÓN

Es una parte de un territorio, delimitado por el Estado, con más de 100.000 habitantes y con una densidad de población tal que el Estado la considera zona urbanizada.

EVALUACIÓN

Cualquier método que permita calcular, predecir, estimar o medir el valor de un indicador de ruido o el efecto o efectos nocivos correspondientes.

GRAN EJE VIARIO

Cualquier carretera regional, nacional o internacional, especificada por el Estado, con un tráfico superior a tres millones de vehículos por año.

INDICADOR DE RUIDO

Es una magnitud física para describir el ruido ambiental, que tiene una relación con un efecto nocivo.

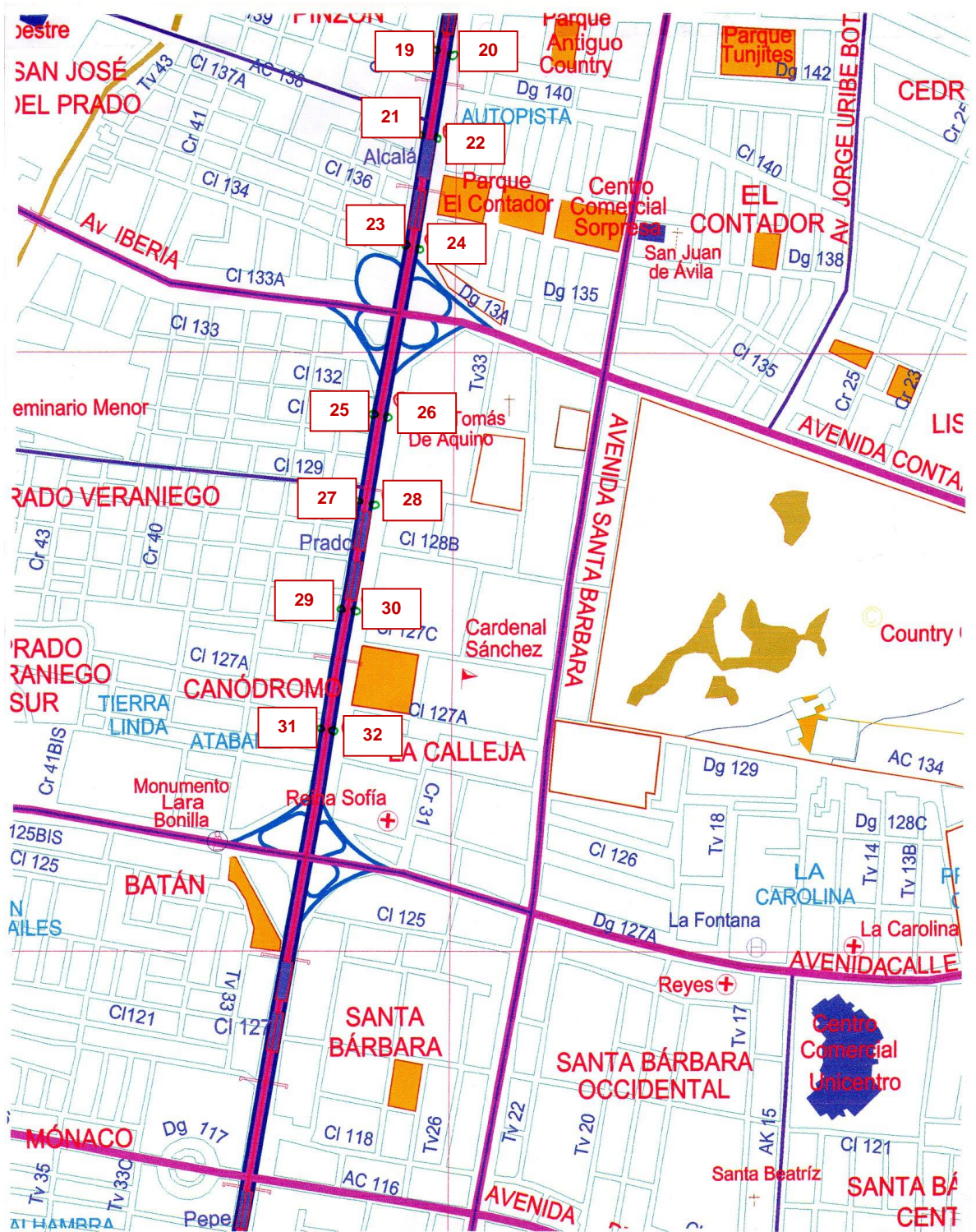
MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO

Es un mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona.

RUIDO AMBIENTAL

Es el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido el ruido emitido por los medios de transporte, por el tráfico rodado, ferroviario y aéreo; por actividades industriales o de construcción, relativas a la prevención y al control integrado de la contaminación.

ANEXO 1: Ubicación de los Puntos De Medición



ANEXO 2: Protocolo Medición Autopista Norte

1ra Jornada Mañana

Punto	Dirección Sur-Norte	Archivo	Hora	Punto	Dirección Norte-Sur	Archivo	Hora
1	Calle 168	@AUT000	7:00-7:05 AM	4	Calle 168	@AUT003	7:35-7:40 AM
2	Calle 166	@AUT001	7:10-7:15 AM	5	Calle 166	@AUT004	7:50-7:55 AM
3	Calle 164	@AUT002	7:25-7:30 AM	6	Calle 164	@AUT005	8:00-8:05 AM
9	Calle 162	@AUT008	8:40-8:45 AM	7	Calle 162	@AUT006	8:15-8:20 AM
10	Calle 159	@AUT009	8:50-8:55 AM	8	Calle 159	@AUT007	8:25-8:30 AM
11	Calle 152	@AUT010	9:05-9:10 AM	14	Calle 152	@AUT014	9:40-9:45 AM
12	Calle 150	@AUT011	9:15-9:20 AM	15	Calle 150	@AUT015	9:55-10:00 AM
13	Calle 147	@AUT012	9:30-9:35 AM	16	Calle 147	@AUT016	10:05-10:10 AM
20	Calle 142	@AUT019	10:55-11:00 AM	17	Calle 142	@AUT017	10:20-10:25 AM
21	Calle 140	@AUT021	11:10-11:15 AM	18	Calle 140	@AUT018	10:30-10:35 AM
22	Calle 138	@AUT022	11:20-11:25 AM	19	Calle 138	@AUT019	10:45-10:50 AM
23	Calle 135	@AUT023	11:35-11:40 AM	28	Calle 135	@AUT028	12:35-12:40 PM
24	Calle 131	@AUT024	11:45-11:50 AM	29	Calle 131	@AUT029	12:50-12:55 PM
25	Calle 129	@AUT025	12:00-12:05 PM	30	Calle 129	@AUT030	1:00-1:05 PM
26	Calle 127C	@AUT026	12:10-12:15 PM	31	Calle 127C	@AUT031	1:15-1:20 PM
27	Calle 127A	@AUT027	12:25-12:30 PM	32	Calle 127A	@AUT032	1:25-1:30 PM

2da Jornada Mañana

Punto	Dirección Sur-Norte	Archivo	Hora	Punto	Dirección Norte-Sur	Archivo	Hora
1	Calle 127A	@AUT000	7:00-7:05 AM	6	Calle 127A	@AUT005	8:00-8:05 AM
2	Calle 127C	@AUT001	7:10-7:15 AM	7	Calle 127C	@AUT006	8:15-8:20 AM
3	Calle 129	@AUT002	7:25-7:30 AM	8	Calle 129	@AUT007	8:25-8:30 AM
4	Calle 131	@AUT003	7:35-7:40 AM	9	Calle 131	@AUT008	8:40-8:45 AM
5	Calle 135	@AUT004	7:50-7:55 AM	10	Calle 135	@AUT009	8:50-8:55 AM
14	Calle 138	@AUT013	9:40-9:45 AM	11	Calle 138	@AUT010	9:05-9:10 AM
15	Calle 140	@AUT014	9:55-10:00 AM	12	Calle 140	@AUT011	9:15-9:20 AM
16	Calle 142	@AUT015	10:05-10:10 AM	13	Calle 142	@AUT012	9:30-9:35 AM
17	Calle 147	@AUT016	10:20-10:25 AM	20	Calle 147	@AUT019	10:55-11:00 AM
18	Calle 150	@AUT017	10:30-10:35 AM	21	Calle 150	@AUT020	11:10-11:15 AM
19	Calle 152	@AUT018	10:45-10:50 AM	22	Calle 152	@AUT021	11:20-11:25 AM
25	Calle 159	@AUT025	12:00-12:05 PM	23	Calle 159	@AUT023	11:35-11:40 AM
26	Calle 162	@AUT026	12:10-12:15 PM	24	Calle 162	@AUT022	11:45-11:50 AM
27	Calle 164	@AUT027	12:25-12:30 PM	32	Calle 164	@AUT033	1:25-1:30 PM
28	Calle 166	@AUT028	12:35-12:40 PM	31	Calle 166	@AUT032	1:15-1:20 PM
29	Calle 168	@AUT029	12:50-12:55 PM	30	Calle 168	@AUT031	1:00-1:05 PM

ANEXO 2: Protocolo Medición Autopista Norte
3ra Jornada Mañana

Punto	Dirección Sur-Norte	Archivo	Hora	Punto	Dirección Norte-Sur	Archivo	Hora
16	Calle 127A	@AUT049	10:20-10:25 AM	32	Calle 168	@AUT065	7:00-7:05 AM
15	Calle 127C	@AUT048	10:30-10:35 AM	31	Calle 166	@AUT064	7:10-7:15 AM
14	Calle 129	@AUT047	10:45-10:50 AM	20	Calle 164	@AUT063	7:25-7:30 AM
13	Calle 131	@AUT046	10:55-11:00 AM	29	Calle 162	@AUT062	7:35-7:40 AM
12	Calle 135	@AUT045	11:10-11:15 AM	28	Calle 159	@AUT061	7:50-7:55 AM
11	Calle 138	@AUT044	11:20-11:25 AM	27	Calle 152	@AUT060	8:00-8:05 AM
10	Calle 140	@AUT043	11:35-11:40 AM	26	Calle 150	@AUT059	8:15-8:20 AM
9	Calle 142	@AUT042	11:45-11:50 AM	25	Calle 147	@AUT058	8:25-8:30 AM
8	Calle 147	@AUT041	12:00-12:05 PM	24	Calle 142	@AUT057	8:40-8:45 AM
7	Calle 150	@AUT040	12:10-12:15 PM	23	Calle 140	@AUT056	8:50-8:55 AM
6	Calle 152	@AUT039	12:25-12:30 PM	22	Calle 138	@AUT055	9:05-9:10 AM
5	Calle 159	@AUT038	12:35-12:40 PM	21	Calle 135	@AUT054	9:15-9:20 AM
4	Calle 162	@AUT037	12:50-12:55 PM	20	Calle 131	@AUT053	9:30-9:35 AM
3	Calle 164	@AUT036	1:00-1:05 PM	19	Calle 129	@AUT052	9:40-9:45 AM
2	Calle 166	@AUT035	1:15-1:20 PM	18	Calle 127C	@AUT051	9:55-10:00 AM
1	Calle 168	@AUT034	1:25-1:30 PM	17	Calle 127A	@AUT050	10:05-10:10 AM

4ta. Jornada Tarde

Punto	Dirección Sur-Norte	Archivo	Hora	Punto	Dirección Norte-Sur	Archivo	Hora
1	Calle 168	@AUT001	2:00-2:05 PM	17	Calle 127A	@AUT020	5:20-5:25 PM
2	Calle 166	@AUT002	2:10-2:15 PM	18	Calle 127C	@AUT021	5:30-5:35 PM
3	Calle 164	@AUT003	2:25-2:30 PM	19	Calle 129	@AUT022	5:45-5:50 PM
4	Calle 162	@AUT004	2:35-2:40 PM	20	Calle 131	@AUT023	5:55-6:00 PM
5	Calle 159	@AUT005	2:50-2:55 PM	21	Calle 135	@AUT024	6:10-6:15 PM
6	Calle 152	@AUT006	3:00-3:05 PM	22	Calle 138	@AUT025	6:20-6:25 PM
7	Calle 150	@AUT007	3:15-3:20 PM	23	Calle 140	@AUT026	6:35-6:40 PM
8	Calle 147	@AUT008	3:25-3:30 PM	24	Calle 142	@AUT027	6:45-6:50 PM
9	Calle 142	@AUT009	3:40-3:45 PM	25	Calle 147	@AUT028	7:00-7:05 PM
10	Calle 140	@AUT010	3:50-3:55 PM	26	Calle 150	@AUT029	7:10-7:15 PM
11	Calle 138	@AUT011	4:05-4:10 PM	27	Calle 152	@AUT030	7:25-7:30 PM
12	Calle 135	@AUT012	4:15-4:20 PM	28	Calle 159	@AUT031	7:35-7:40 PM
13	Calle 131	@AUT013	4:30-4:35 PM	29	Calle 162	@AUT032	7:50-7:55 PM
14	Calle 129	@AUT017	4:40-4:45 PM	30	Calle 164	@AUT033	8:00-8:05 PM
15	Calle 127C	@AUT018	4:55-5:00 PM	31	Calle 166	@AUT034	8:15-8:20 PM
16	Calle 127A	@AUT019	5:05-5:10 PM	32	Calle 168	@AUT035	8:25-8:30 PM

ANEXO 2: Protocolo Medición Autopista Norte
5ta. Jornada Tarde

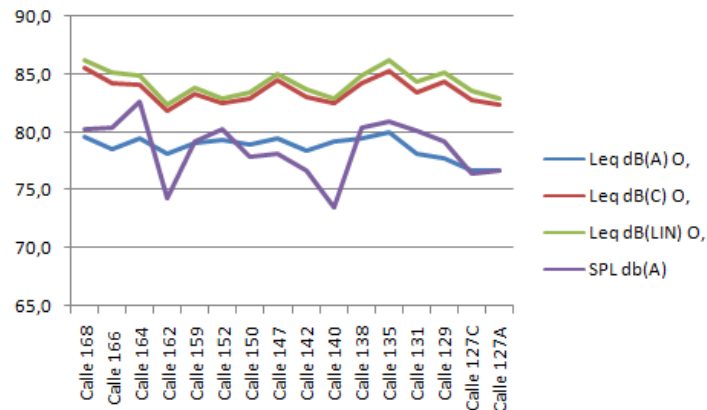
Punto	Dirección Oriental	Archivo	Hora	Punto	Dirección Occidental	Archivo	Hora
17	Calle 168	@AUT020	5:20-5:25 PM	1	Calle 127A	@AUT001	2:00-2:05 PM
18	Calle 166	@AUT021	5:30-5:35 PM	2	Calle 127C	@AUT002	2:10-2:15 PM
19	Calle 164	@AUT022	5:45-5:50 PM	3	Calle 129	@AUT003	2:25-2:30 PM
20	Calle 162	@AUT023	5:55-6:00 PM	4	Calle 131	@AUT004	2:35-2:40 PM
21	Calle 159	@AUT024	6:10-6:15 PM	5	Calle 135	@AUT005	2:50-2:55 PM
22	Calle 152	@AUT025	6:20-6:25 PM	6	Calle 138	@AUT006	3:00-3:05 PM
23	Calle 150	@AUT026	6:35-6:40 PM	7	Calle 140	@AUT007	3:15-3:20 PM
24	Calle 147	@AUT027	6:45-6:50 PM	8	Calle 142	@AUT008	3:25-3:30 PM
25	Calle 142	@AUT028	7:00-7:05 PM	9	Calle 147	@AUT009	3:40-3:45 PM
26	Calle 140	@AUT029	7:10-7:15 PM	10	Calle 150	@AUT010	3:50-3:55 PM
27	Calle 138	@AUT030	7:25-7:30 PM	11	Calle 152	@AUT011	4:05-4:10 PM
28	Calle 135	@AUT031	7:35-7:40 PM	12	Calle 159	@AUT012	4:15-4:20 PM
29	Calle 131	@AUT032	7:50-7:55 PM	13	Calle 162	@AUT013	4:30-4:35 PM
30	Calle 129	@AUT033	8:00-8:05 PM	14	Calle 164	@AUT014	4:40-4:45 PM
31	Calle 127C	@AUT034	8:15-8:20 PM	15	Calle 166	@AUT015	4:55-5:00 PM
32	Calle 127A	@AUT035	8:25-8:30 PM	16	Calle 168	@AUT016	5:05-5:10 PM

6ta. Jornada Tarde

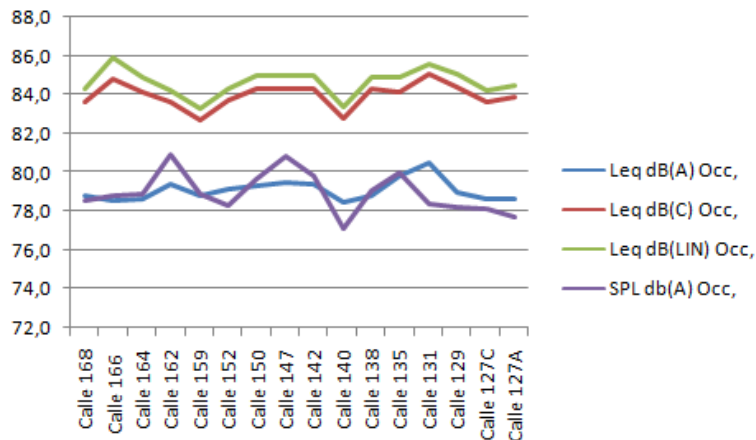
Punto	Dirección Oriental	Archivo	Hora	Punto	Dirección Occidental	Archivo	Hora
17	Calle 127A	@AUT020	5:20-5:25 PM	1	Calle 168	@AUT001	2:00-2:05 PM
18	Calle 127C	@AUT021	5:30-5:35 PM	2	Calle 166	@AUT001	2:10-2:15 PM
19	Calle 129	@AUT022	5:45-5:50 PM	3	Calle 164	@AUT003	2:25-2:30 PM
20	Calle 131	@AUT023	5:55-6:00 PM	4	Calle 162	@AUT004	2:35-2:40 PM
21	Calle 135	@AUT024	6:10-6:15 PM	5	Calle 159	@AUT005	2:50-2:55 PM
22	Calle 138	@AUT025	6:20-6:25 PM	6	Calle 152	@AUT006	3:00-3:05 PM
23	Calle 140	@AUT026	6:35-6:40 PM	7	Calle 150	@AUT007	3:15-3:20 PM
24	Calle 142	@AUT027	6:45-6:50 PM	8	Calle 147	@AUT008	3:25-3:30 PM
25	Calle 147	@AUT028	7:00-7:05 PM	9	Calle 142	@AUT009	3:40-3:45 PM
26	Calle 150	@AUT029	7:10-7:15 PM	10	Calle 140	@AUT010	3:50-3:55 PM
27	Calle 152	@AUT030	7:25-7:30 PM	11	Calle 138	@AUT011	4:05-4:10 PM
28	Calle 159	@AUT031	7:35-7:40 PM	12	Calle 135	@AUT012	4:15-4:20 PM
29	Calle 162	@AUT032	7:50-7:55 PM	13	Calle 131	@AUT013	4:30-4:35 PM
30	Calle 164	@AUT033	8:00-8:05 PM	14	Calle 129	@AUT014	4:40-4:45 PM
31	Calle 166	@AUT034	8:15-8:20 PM	15	Calle 127C	@AUT015	4:55-5:00 PM
32	Calle 168	@AUT035	8:25-8:30 PM	16	Calle 127A	@AUT016	5:05-5:10 PM

ANEXO 3: Resultados de la Medición

Sur-Norte - Jornada 1ra Mañana																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	79,6	78,5	79,5	78,1	79,1	79,3	78,9	79,5	78,4	79,2	79,5	80,0	78,2	77,8	76,7	76,7
Leq dB(C)	85,5	84,2	84,1	81,8	83,3	82,4	82,9	84,4	83,0	82,4	84,2	85,2	83,4	84,3	82,7	82,3
Leq dB(LIN)	86,2	85,2	84,9	82,4	83,9	82,9	83,5	85,0	83,7	82,9	84,9	86,2	84,4	85,2	83,6	82,9
SPL db(A)	80,2	80,3	82,6	74,3	79,2	80,2	77,9	78,1	76,6	73,5	80,3	80,9	80,1	79,2	76,4	76,7

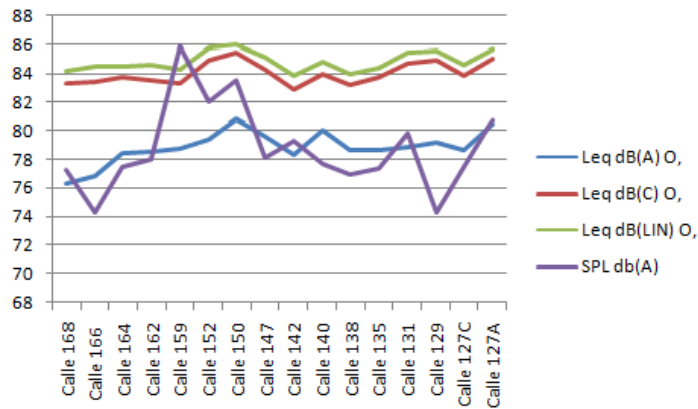


Norte-Sur - Jornada 1ra Mañana																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	78,8	78,6	78,7	79,4	78,8	79,2	79,3	79,5	79,4	78,5	78,8	79,8	80,5	79,0	78,7	78,7
Leq dB(C)	83,6	84,8	84,2	83,6	82,7	83,7	84,3	84,3	84,3	82,8	84,3	84,2	85,1	84,4	83,6	83,9
Leq dB(LIN)	84,3	85,9	84,9	84,2	83,3	84,3	85,0	85,0	85,0	83,4	84,9	84,9	85,6	85,1	84,2	84,5
SPL db(A)	78,5	78,8	78,9	80,9	78,9	78,3	79,6	80,8	79,8	77,1	79,0	80,0	78,4	78,2	78,1	77,7

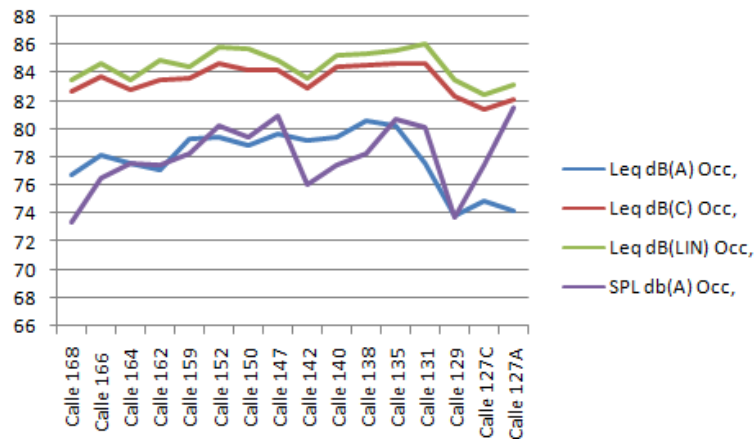


ANEXO 3: Resultados Medición Mañana

Sur-Norte Norte - Jornada 2da Mañana																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	76,3	76,8	78,4	78,6	78,8	79,4	80,8	79,6	78,3	80	78,7	78,7	78,9	79,2	78,7	80,5
Leq dB(C)	83,2	83,3	83,7	83,5	83,2	84,9	85,4	84,2	82,8	83,9	83,1	83,7	84,6	84,9	83,8	85,0
Leq dB(LIN)	84,1	84,5	84,5	84,6	84,2	85,8	86	85,1	83,8	84,8	83,9	84,4	85,4	85,6	84,6	85,7
SPL db(A)	77,3	74,3	77,5	78	85,9	82,1	83,6	78,1	79,3	77,7	77	77,4	79,8	74,3	77,5	80,8

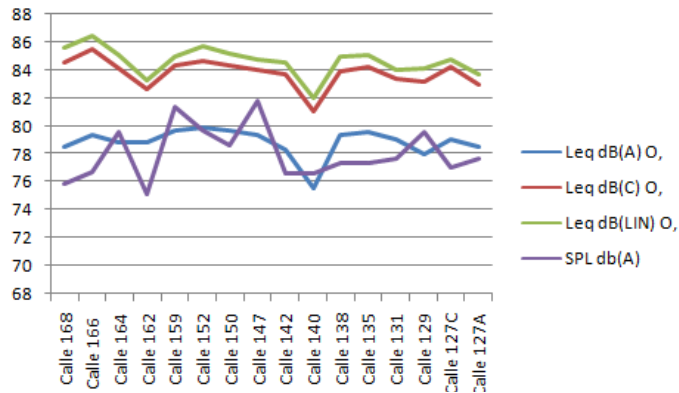


Norte-Sur - Jornada 2da Mañana																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	76,7	78,1	77,5	77,1	79,3	79,4	78,8	79,7	79,2	79,4	80,6	80,2	77,5	73,8	74,9	74,2
Leq dB(C)	82,7	83,8	82,8	83,5	83,6	84,7	84,2	84,2	82,9	84,5	84,6	84,7	84,7	82,4	81,4	82,1
Leq dB(LIN)	83,5	84,6	83,5	84,8	84,4	85,8	85,7	84,8	83,6	85,2	85,3	85,5	86	83,4	82,4	83,1
SPL db(A)	73,4	76,5	77,6	77,4	78,3	80,2	79,4	80,9	76,1	77,4	78,3	80,7	80,1	73,7	77,4	81,5

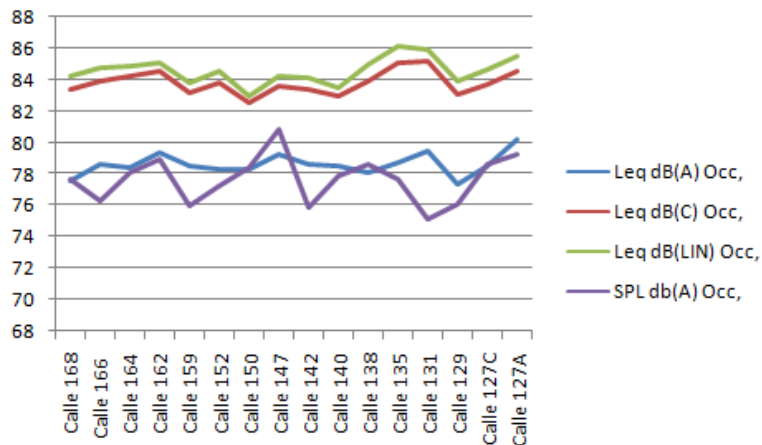


ANEXO 3: Resultados Medición Mañana

Sur-Norte - Jornada 3ra Mañana																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	78,5	79,4	78,9	78,9	79,7	79,9	79,7	79,4	78,3	75,6	79,4	79,6	79,1	78	79,1	78,5
Leq dB(C)	84,6	85,5	84,1	82,7	84,3	84,7	84,3	84	83,7	81,1	83,9	84,2	83,4	83,2	84,2	83
Leq dB(LIN)	85,6	86,4	85	83,3	84,9	85,7	85,1	84,7	84,5	82	84,9	85	84	84,1	84,7	83,7
SPL db(A)	75,8	76,7	79,6	75,1	81,4	79,7	78,6	81,8	76,6	76,6	77,3	77,3	77,7	79,6	77	77,6

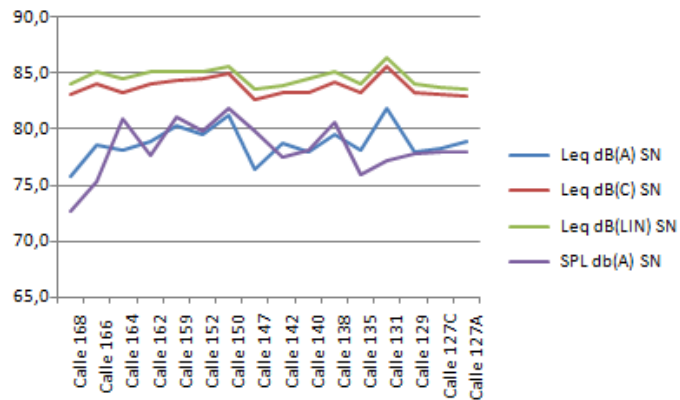


Norte-Sur - Jornada 3ra Mañana																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A)	77,5	78,6	78,4	79,3	78,5	78,3	78,3	79,2	78,6	78,5	78,1	78,7	79,5	77,3	78,5	80,2
Leq dB(C)	83,4	83,9	84,2	84,5	83,1	83,8	82,5	83,6	83,4	82,9	83,9	85,1	85,2	83	83,7	84,6
Leq dB(LIN)	84,2	84,8	84,9	85,1	83,8	84,6	83	84,2	84,1	83,5	85	86,1	85,9	83,9	84,7	85,5
SPL db(A)	77,6	76,3	78,1	78,9	75,9	77,2	78,4	80,8	75,8	77,8	78,6	77,6	75,1	76,1	78,6	79,2

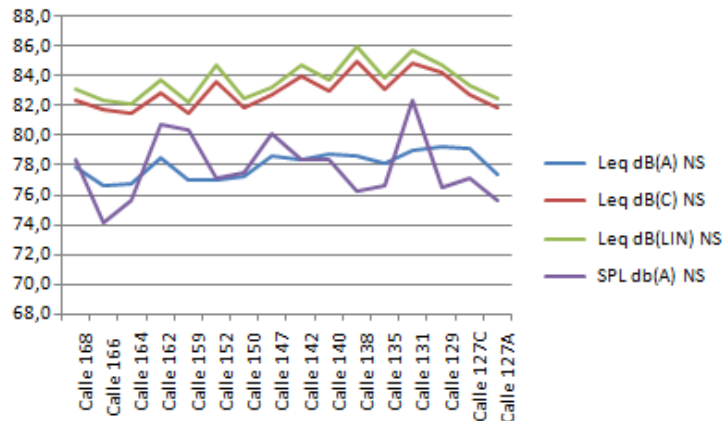


ANEXO 3: Resultados Medición Tarde

Sur-Norte Jornada 4ta Tarde																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A) SN	75,8	78,6	78,2	78,9	80,4	79,5	81,2	76,5	78,7	78,0	79,5	78,2	81,9	78,0	78,3	78,9
Leq dB(C) SN	83,0	84,1	83,3	84,0	84,3	84,5	85,0	82,6	83,3	83,3	84,2	83,2	85,6	83,2	83,0	82,9
Leq dB(LIN)	84,0	85,1	84,5	85,2	85,1	85,2	85,6	83,6	83,9	84,5	85,2	84,0	86,4	84,0	83,8	83,6
SPL db(A) SN	72,7	75,3	80,9	77,7	81,0	79,8	81,8	79,8	77,5	78,1	80,6	76,0	77,2	77,8	78,0	78,0

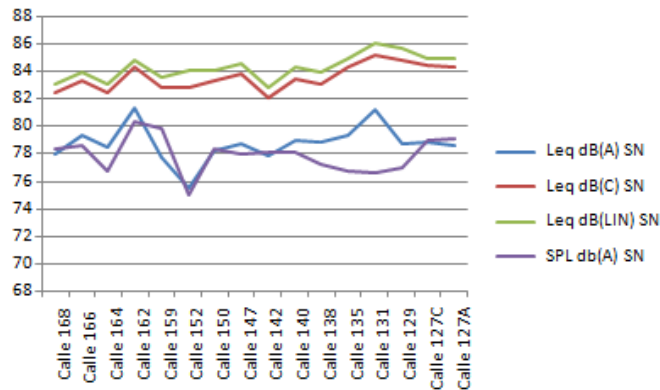


Norte-Sur Jornada 4ta Tarde																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A) NS	77,8	76,6	76,7	78,4	77,0	77,0	77,2	78,6	78,3	78,7	78,6	78,1	78,9	79,2	79,1	77,3
Leq dB(C) NS	82,4	81,8	81,5	82,9	81,5	83,6	81,9	82,8	84,0	83,0	85,0	83,1	84,9	84,2	82,7	81,9
Leq dB(LIN)	83,1	82,4	82,1	83,7	82,2	84,7	82,5	83,2	84,8	83,7	86,0	83,9	85,8	84,8	83,3	82,5
SPL db(A) NS	78,3	74,1	75,6	80,7	80,3	77,1	77,5	80,1	78,3	78,3	76,2	76,6	82,3	76,5	77,1	75,6

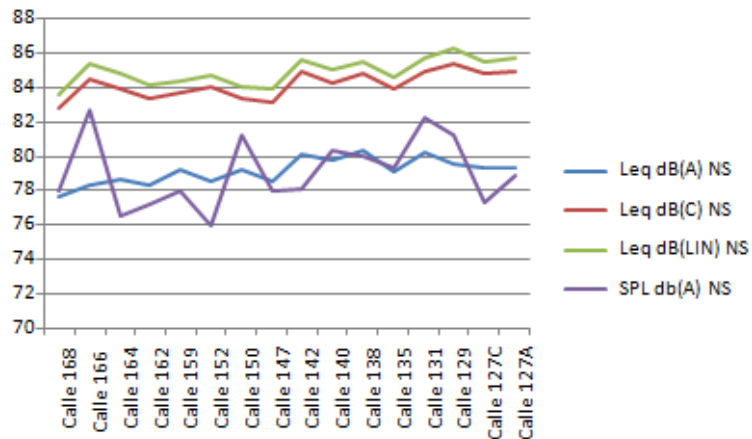


ANEXO 3: Resultados Medición Tarde

Sur-Norte Jornada 5ta Tarde																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A) SN	78	79,3	78,5	81,3	77,7	75,5	78,2	78,7	77,8	78,9	78,8	79,3	81,2	78,7	78,8	78,6
Leq dB(C) SN	82,5	83,3	82,5	84,3	82,8	82,9	83,3	83,8	82,1	83,5	83,1	84,3	85,2	84,8	84,4	84,3
Leq dB(LIN) SN	83,1	83,9	83,1	84,8	83,6	84,1	84,1	84,6	82,8	84,3	83,9	85	86,1	85,7	85	85,0
SPL db(A) SN	78,3	78,6	76,7	80,3	79,8	75	78,3	77,9	78,1	78,1	77,2	76,7	76,6	77	79	79,1

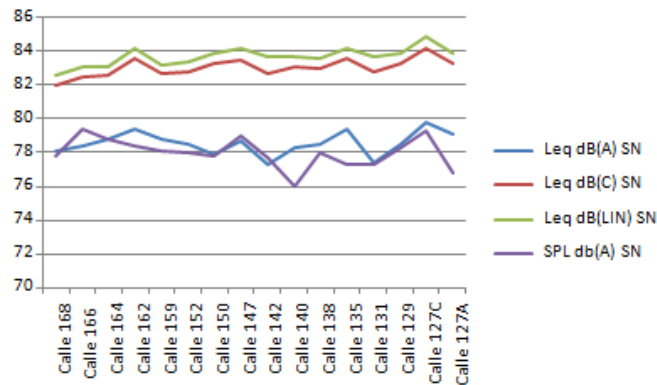


Norte-Sur Jornada 5ta Tarde																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A) NS	77,7	78,4	78,7	78,3	79,2	78,6	79,2	78,6	80,1	79,8	80,3	79,1	80,2	79,5	79,3	79,3
Leq dB(C) NS	82,8	84,5	83,9	83,4	83,7	84	83,4	83,1	84,9	84,3	84,8	83,9	85	85,4	84,8	85
Leq dB(LIN)	83,6	85,4	84,8	84,2	84,4	84,7	84	83,9	85,6	85,1	85,5	84,6	85,7	86,3	85,5	85,7
SPL db(A) NS	78	82,7	76,6	77,2	78	76	81,3	78	78,1	80,3	80	79,4	82,2	81,3	77,3	78,9

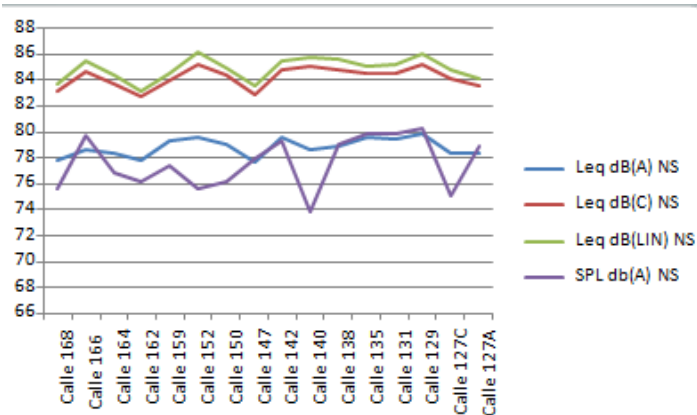


ANEXO 3: Resultados Medición Tarde

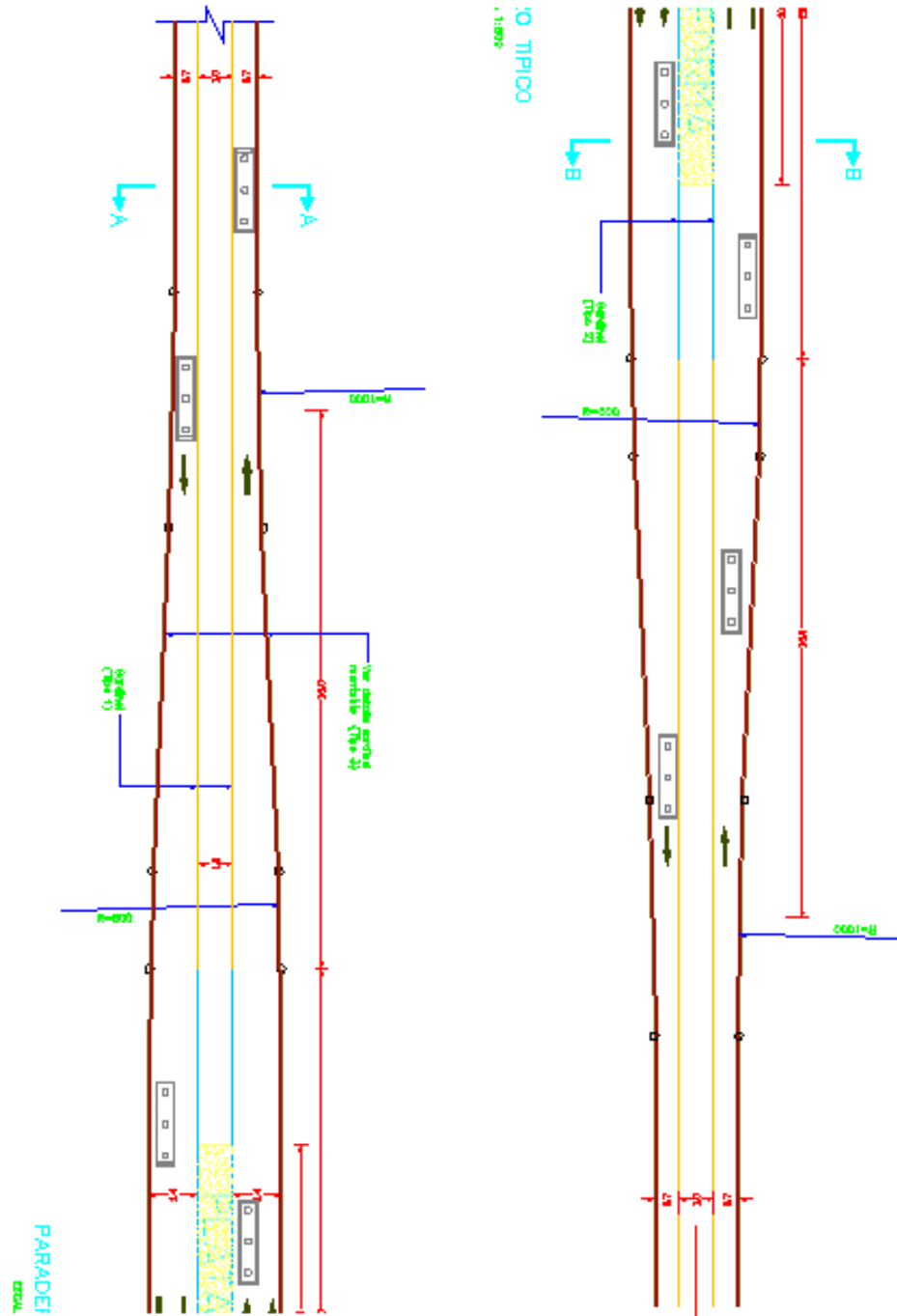
Sur-Norte Jornada 6ta Tarde																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A) SN	78,1	78,4	78,8	79,4	78,8	78,5	77,9	78,7	77,3	78,3	78,5	79,4	77,4	78,5	79,8	79,1
Leq dB(C) SN	82	82,5	82,6	83,6	82,7	82,8	83,3	83,5	82,7	83,1	83	83,6	82,8	83,3	84,2	83,3
Leq dB(LIN) SN	82,6	83,1	83,1	84,2	83,2	83,4	83,9	84,2	83,7	83,7	83,6	84,2	83,7	83,9	84,9	83,9
SPL db(A) SN	77,8	79,4	78,8	78,4	78,1	78	77,8	79	77,7	76	78	77,3	77,3	78,3	79,3	76,8



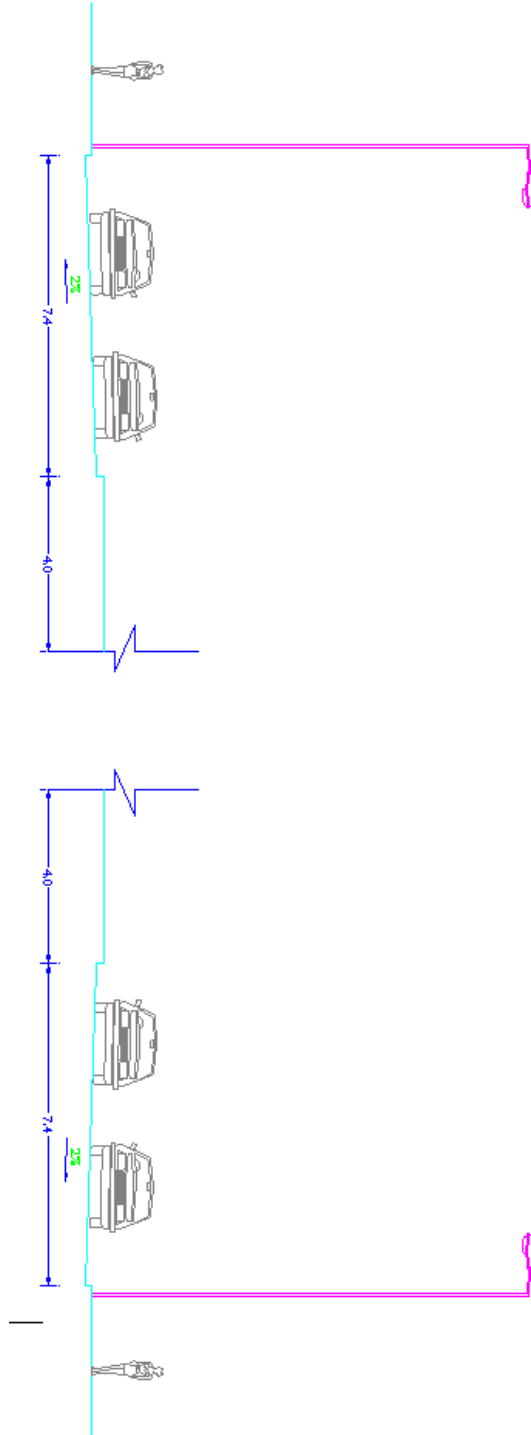
Norte-Sur Jornada 6ta Tarde																
Punto	Calle 168	Calle 166	Calle 164	Calle 162	Calle 159	Calle 152	Calle 150	Calle 147	Calle 142	Calle 140	Calle 138	Calle 135	Calle 131	Calle 129	Calle 127C	Calle 127A
Leq dB(A) NS	77,8	78,7	78,4	77,8	79,3	79,6	79,1	77,7	79,6	78,7	79	79,6	79,5	79,9	78,4	78,4
Leq dB(C) NS	83,1	84,6	83,7	82,7	83,9	85,2	84,3	82,8	84,8	85,1	84,8	84,5	84,5	85,2	84,1	83,5
Leq dB(LIN) NS	83,8	85,5	84,4	83,2	84,5	86,2	85	83,6	85,5	85,8	85,6	85,1	85,2	86	84,9	84,2
SPL db(A) NS	75,7	79,8	76,9	76,2	77,5	75,7	76,2	78	79,3	73,9	79,1	79,9	79,9	80,3	75,1	78,9



ANEXO 4: Dimensiones de la Vía
Corte Transversales paraderos Sentido Norte-Sur y Sur-Norte



ANEXO 4: Dimensiones de la Vía
Corte Transversales Paralela Sentido Norte-Sur y Sur-Norte



ANEXO 5: Censo Vehicular Tomado por la Secretaría de Movilidad de Bogotá

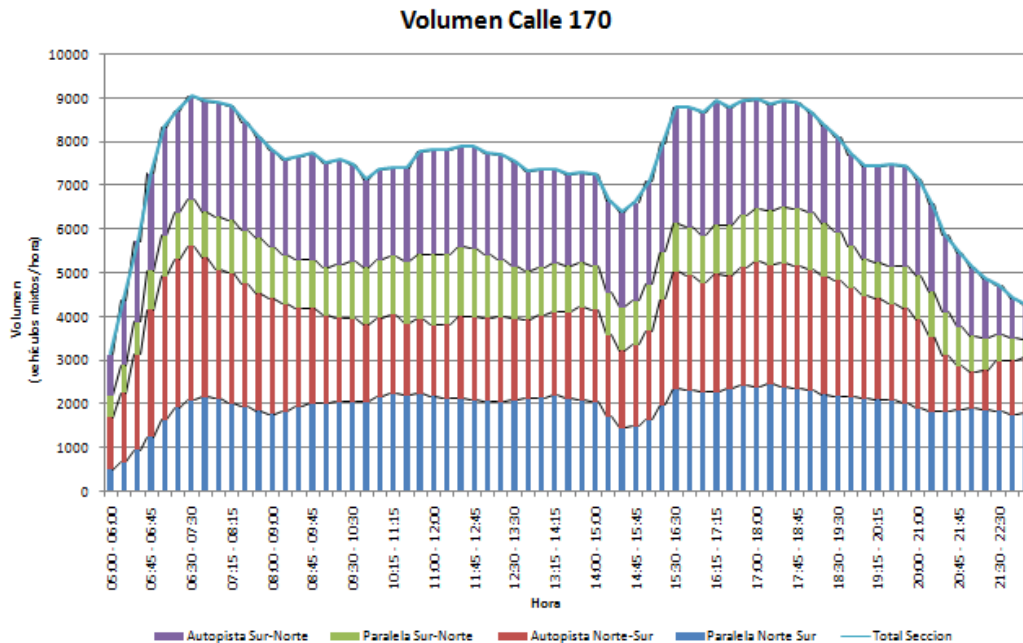
CALLE 127								
Hora	Sur-Norte		Norte-Sur		Total Sección	% pesados	Livianos	
	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista				
Día	07:00 - 08:00	3.680	4.307	1.864	2.805	12.656	5,21%	94,79%
	08:00 - 09:00	3.232	2.863	2.440	2.330	10.865	5,58%	94,42%
	09:00 - 10:00	2.620	3.591	2.879	2.670	11.760	5,05%	94,95%
	10:00 - 11:00	2.464	3.239	2.878	2.660	11.241	7,19%	92,81%
	11:00 - 12:00	2.377	3.304	2.768	2.585	11.034	6,52%	93,48%
	12:00 - 13:00	2.375	2.421	2.647	2.889	10.332	6,84%	93,16%
	13:00 - 14:00	2.469	2.389	2.438	2.959	10.255	7,71%	92,29%
	14:00 - 15:00	2.699	3.167	2.372	2.897	11.135	7,39%	92,61%
	15:00 - 16:00	2.565	3.799	2.551	3.441	12.356	7,68%	92,32%
	16:00 - 17:00	2.612	3.666	2.900	4.353	13.531	10,25%	89,75%
Tarde	17:00 - 18:00	2.805	3.969	3.157	4.522	14.453	8,11%	91,89%
	18:00 - 19:00	2.651	2.857	3.092	4.402	13.002	7,16%	92,84%
	19:00 - 20:00	2.054	2.124	2.997	3.432	10.607	6,51%	93,49%
	20:00 - 21:00	1.690	2.155	2.904	3.302	10.051	5,29%	94,71%
Noche	21:00 - 22:00	1.340	1.554	2.194	2.830	7.918	5,28%	94,72%
	22:00 - 23:00	1.063	1.145	1.498	1.912	5.618	5,36%	94,64%
	23:00 - 24:00	753	645	727	939	3.064	5,13%	94,87%
	00:00 - 01:00	387	258	268	505	1.418	8,67%	91,33%
	01:00 - 02:00	209	200	197	296	902	13,12%	86,88%
	02:00 - 03:00	128	128	78	230	564	15,63%	84,37%
	03:00 - 04:00	156	174	67	128	525	25,27%	74,73%
	04:00 - 05:00	260	391	57	263	971	28,92%	71,08%
	05:00 - 06:00	743	1.833	453	987	4.016	18,56%	81,44%
	06:00 - 07:00	1.558	4.300	1.568	2.452	9.878	10,12%	89,88%
Total		42.890	54.479	44.994	55.789	198.152		

Jordana	Sur-Norte		Norte-Sur		Total Sección	%pesados
	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista		
Promedio Día	2.709	3.275	2.574	2.959	11.517	6,94%
Promedio Tarde	2.300	2.776	3.038	3.915	12.028	6,77%
Promedio Noche	660	1.063	711	1.054	3.487	13,61%

ANEXO 5: Conteo Vehicular Calle 170

Conteo Vehicular tomado por la Secretaría de Movilidad en Bogotá D.C.

CALLE 170					
Hora	Sur-Norte		Norte-Sur		Total Sección
	Paralela	Autopista	Paralela	Autopista	
07:00 - 08:00	1.213	2.609	2.117	2.973	8.912
08:00 - 09:00	1.173	2.233	1.776	2.658	7.840
09:00 - 10:00	1.089	2.379	2.032	2.015	7.515
10:00 - 11:00	1.313	2.067	2.171	1.823	7.374
11:00 - 12:00	1.610	2.392	2.183	1.637	7.822
12:00 - 13:00	1.429	2.325	2.071	1.920	7.745
13:00 - 14:00	1.096	2.224	2.146	1.898	7.364
14:00 - 15:00	988	2.087	2.059	2.121	7.255
15:00 - 16:00	1.063	2.352	1.640	2.054	7.109
16:00 - 17:00	1.094	2.802	2.262	2.516	8.674
17:00 - 18:00	1.221	2.517	2.400	2.864	9.002
18:00 - 19:00	1.306	2.302	2.323	2.764	8.695
19:00 - 20:00	836	2.125	2.142	2.349	7.452
20:00 - 21:00	997	2.205	1.901	2.049	7.152
21:00 - 22:00	812	1.565	1.892	865	5.134



ANEXO 6 ALGORITMOS

ANEXO 6.1. CÓDIGO MENÚ

```

function varargout = RuidoTraficoRodado(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @RuidoTraficoRodado_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @RuidoTraficoRodado_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function RuidoTraficoRodado_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

function varargout = RuidoTraficoRodado_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
varargout{1} = handles.output;
%IMAGEN AUTOPISTA

axes(handles.Gráfica)
[x,map]=imread('Autopista.bmp','bmp');
image(x),colormap(map),axis off,hold on

% --- Executes on button press in CoRTN.
function CoRTN_Callback(hObject, eventdata, handles)
close RuidoTraficoRodado %Cierra el GUI actual
UKCoRTN_Completo

% --- Executes on button press in NMPB.
function NMPB_Callback(hObject, eventdata, handles)
close RuidoTraficoRodado %Cierra el GUI actual
NMPB_Completo

% --- Executes on button press in RLS90.
function RLS90_Callback(hObject, eventdata, handles)
close RuidoTraficoRodado %Cierra el GUI actual
RLS90_Completo

```

```

% --- Executes on button press in AbrirManual.
function AbrirManual_Callback(hObject, eventdata, handles)
[FileName Path]=uigetfile({'*.doc'}, 'Abrir documento');
if isequal(FileName,0)
return
else
winopen(strcat(Path,FileName));
end

function Salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
ans=questdlg('¿Desea salir del programa?', 'Salir RLS-90', 'Si', 'No', 'No');
if strcmp(ans, 'No')
return;
end
clear,clc,close all

```

ANEXO 6.2. CÓDIGO RLS-90

```

function varargout = RLS90_Completo(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @RLS90_Completo_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @RLS90_Completo_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function RLS90_Completo_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
function varargout = RLS90_Completo_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)

varargout{1} = handles.output;

%IMAGEN DE UBICACION DE PUNTOS

axes(handles.Gráfica)
[x,map]=imread('RLS-90.bmp','bmp');
image(x),colormap(map),axis off,hold on

```

```
%BOTON SALIR
```

```
function Salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
ans=questdlg('¿Desea salir del programa?', 'Salir RLS-90', 'Si', 'No', 'No');
if strcmp(ans, 'No')
return;
end
clear,clc,close all
```

```
%ABRIR CORTN
```

```
function AbrirCortn_Callback(hObject, eventdata, handles)
close RLS90_Completo %Cierra el GUI actual
UKCoRTN_Completo
```

```
%ABRIR NMPB
```

```
function NMPB_Callback(hObject, eventdata, handles)
[FileName Path]=uigetfile({'UKCoRTN.fig'}, 'Abrir documento');
if isequal(FileName,0)
return
else
winopen(strcat(Path,FileName));
end
```

```
function Inicio_Callback(hObject, eventdata, handles)
close RLS90_Completo %Cierra el GUI actual
RuidoTraficoRodado
```

```
function AbrirResultados_Callback(hObject, eventdata, handles)
[FileName Path]=uigetfile({'*.txt'}, 'Abrir Resultados');
if isequal(FileName,0)
return
else
winopen(strcat(Path,FileName));
end
```

```
%Nivel básico L25
```

```
%Este es el nivel de emisión estimado (Leq1hora) y normalizado para las
siguientes condiciones:
%• Velocidad de 100 Km/Hora para los vehículos livianos y de 80 Km/Hora
para vehículos pesados.
%• Carpeta de asfalto no ranurado.
%• Gradiente de la vía inferior a 5%.
%• Propagación en campo libre.
```

```
function VehiculosPorHora_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
```

```

end
function VehiculosPorHora_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.VehiculosPorHora=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

function PorcentajePesados_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.PorcentajePesados=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación
function PorcentajePesados_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function CalcularL25_Callback(hObject, eventdata, handles)
global NBL25 VehiculosPorHora PorcentajePesados Calcular1
VehiculosPorHora=handles.VehiculosPorHora;
PorcentajePesados=handles.PorcentajePesados;

if VehiculosPorHora>=10000
errordlg('Los vehiculos por Hora o ADT no puede Superar los 10.000
Vehiculos', ' RSL-90 ');
end
if VehiculosPorHora<=99
errordlg('Los vehiculos por Hora o ADT no puede ser Inferior los 100
Vehiculos', ' RSL-90 ');
Calcular1=2;
else
Calcular1=4;
end

if PorcentajePesados>=101
errordlg('El Porcentaje de Vehiculos Pesados va entre 0-100%', ' RSL-90
');
end
if PorcentajePesados<=-1
errordlg('El Porcentaje de Vehiculos Pesados no puede ser Negativo', '
RSL-90 ');
end

NBL25=37.3+10*log10(VehiculosPorHora*(1+0.082*PorcentajePesados));
set(handles.L25,'String',NBL25);

%Cspeed : Corrección por velocidad de los vehículos (dB)

%P      : Porcentaje de vehículos pesados. (%)
%Vcar   : Velocidad media de los automóviles. (Km/hr.). (Entre 30 y 130
Km/hr)

```

```

%Vtruck : Velocidad media de los camiones. (Km/hr.). (Entre 30 y 130
Km/hr)

function VelocidadMediaLivianos_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function VelocidadMediaLivianos_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.VelocidadMediaLivianos=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicaci3nn

function VelocidadMediaPesados_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function VelocidadMediaPesados_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.VelocidadMediaPesados=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicaci3n

function CalcularCspeed_Callback(hObject, eventdata, handles)
global VelocidadMediaLivianos VelocidadMediaPesados PorcentajePesados
CorreccionCspeed Calcular2
VelocidadMediaLivianos=handles.VelocidadMediaLivianos;
VelocidadMediaPesados=handles.VelocidadMediaPesados;
PorcentajePesados=handles.PorcentajePesados;

if VelocidadMediaLivianos>=131
errordlg('La Velocidad Media de los Vehiculos Livianos no puede ser
superior a 130 Km/h',' RSL-90 ');
Calcular2=2;
else
Calcular2=4;
end
if VelocidadMediaLivianos<=29
errordlg('La Velocidad Media de los Vehiculos Livianos no puede ser
inferior a 30 Km/h',' RSL-90 ');
end

if VelocidadMediaPesados>=131
errordlg('La Velocidad Media de los Vehiculos Pesados no puede ser
superior a 130 Km/h',' RSL-90 ');
end
if VelocidadMediaPesados<=29
errordlg('La Velocidad Media de los Vehiculos Pesados no puede ser
inferior a 30',' RSL-90 ');
end

```

```

Lcar=27.8+10*log10(1+((0.02*VelocidadMediaLivianos)^3));
Ltruck=23.1+12.5*log10(VelocidadMediaPesados);
C=Ltruck-Lcar
CorreccionCspeed=Lcar-
37.3+10*log10((100+((10^(0.1*C))*PorcentajePesados))/(100+8.23*Porcentaje
Pesados));
set(handles.Cspeed, 'String', CorreccionCspeed);

%Ajuste por tipo de superficie (CorreccionCroad)
%La superficie de la carretera (llamada también carpeta)
%generará un aumento o una disminución en el nivel de emisión según el
tipo de pavimento

function VelocidadMaximaPermitida_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Vper VelocidadMaximaPermitida Calcular3

VelocidadMaximaPermitida=get(hObject, 'Value'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(VelocidadMaximaPermitida); %Transformar a formato
double
handles.VelocidadMaximaPermitida=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject, handles); %Salvar datos de la aplicación

switch VelocidadMaximaPermitida
case 1
Vper=1
Calcular3=4
case 2
Vper=2
Calcular3=4
case 3
Vper=3
Calcular3=4
case 4
Vper=4
Calcular3=4
end
handles.VelocidadMaximaPermitida=Vper; %Almacenar en identificador
guidata(hObject, handles);
function VelocidadMaximaPermitida_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function TipoDeSuperficie_Callback(hObject, eventdata, handles)
global CalcularCroad Vper VelocidadMaximaPermitida TipoDeSuperficie
Calcular4

VelocidadMaximaPermitida=handles.VelocidadMaximaPermitida;
TipoDeSuperficie=get(hObject, 'Value');

```

```

switch TipoDeSuperficie
case 1
CalcularCroad=0
Calcular4=4
case 2
if VelocidadMaximaPermitida==1
CalcularCroad=1
Calcular4=4
end
if VelocidadMaximaPermitida==2
CalcularCroad=1.5
Calcular4=4
end
if VelocidadMaximaPermitida==3 || VelocidadMaximaPermitida==4
Calcular4=4
end
case 3
if VelocidadMaximaPermitida==1
CalcularCroad=2
Calcular4=4
end
if VelocidadMaximaPermitida==2
CalcularCroad=2.5
Calcular4=4
end
if VelocidadMaximaPermitida==3 || VelocidadMaximaPermitida==4
CalcularCroad=3
Calcular4=4
end
case 4
if VelocidadMaximaPermitida==1
CalcularCroad=3
Calcular4=4
end
if VelocidadMaximaPermitida==2
CalcularCroad=4.5
Calcular4=4
end
if VelocidadMaximaPermitida==3 || VelocidadMaximaPermitida==4
CalcularCroad=6
Calcular4=4
end
case 5
CalcularCroad=1
Calcular4=4
case 6
CalcularCroad=0
Calcular4=4
if VelocidadMaximaPermitida==4
CalcularCroad=-2
Calcular4=4
end
case 7

```

```

CalcularCroad=0
Calcular4=4
if VelocidadMaximaPermitida==4
CalcularCroad=-4
Calcular4=4
end
case 8
CalcularCroad=0
Calcular4=4
if VelocidadMaximaPermitida==4
CalcularCroad=-5
Calcular4=4
end
end
handles.TipoDeSuperficie=CalcularCroad; %Almacenar en identificador
guidata(hObject, handles);
function TipoDeSuperficie_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function CalcularCorreccionCroad_Callback(hObject, eventdata, handles)
global CalcularCroad TipoDeSuperficie Calcular3
CalcularCroad=handles.TipoDeSuperficie;
set(handles.CorreccionCroad,'String',CalcularCroad);

%El gradiente de una carretera se define como la inclinación de ésta
sobre
%el nivel horizontal. Usualmente no se mide en grados, sino que se
entrega un
%porcentaje (%) de inclinación. Teóricamente, 100%
%de pendiente equivale a una inclinación de 45° de la vía.

function Gradiente_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.Gradiente=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación
function Gradiente_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function CalcularCgradiente_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Cgradiente Gradiente Calcular5
Gradiente=handles.Gradiente;

if Gradiente>=46
errordlg('El Gradiente va entre -45 a 45%', ' RSL-90');
Calcular5=2;

```

```

else
Calcular5=4;
end
if Gradiente<=-46
errordlg('El Gradiente va entre -45 a 45%', ' RSL-90');
end

if Gradiente>=5
Cgradiente=(0.6*Gradiente)-3;
else
Cgradiente=0;
end
handles.Cgradiente=Cgradiente; %Almacenar en identificador
set(handles.CorreccionCgradiente, 'String',Cgradiente);

%Nivel de emisión total a 25 metros (LME)

%El nivel de presión sonora LME es el valor a partir del
%cuál se aplican las consideraciones sobre la propagación sonora.

function CalcularLME_Callback(hObject, eventdata, handles)
global NBL25 LME CorreccionCspeed CalcularCroad Cgradiente
global Calcular1 Calcular2 Calcular3 Calcular4 Calcular5

if Calcular1==4
else
errordlg('Hay que Calcular el Nivel básico L25', ' RSL-90 ');
end

if Calcular2==4
else
errordlg('Hay que Calcular la Corrección por velocidad (Cspeed)', '
RSL-90 ');
end

if Calcular4==4 || Calcular3==4
else
errordlg('Hay que Calcular el Ajuste por tipo de superficie
(Croad)', ' RSL-90 ');
end

if Calcular5==4
else
errordlg('Hay que Calcular la Adición por gradiente de la vía
(Cgradiente)', ' RSL-90 ');
end

LME=NBL25+CorreccionCspeed+CalcularCroad+Cgradiente;
set(handles.LME, 'String', LME);

%Atenuación por divergencia geométrica y absorción del aire (Cdist)

```

```
%RLS-90 establece una atenuación por distancia considerando una fuente de
emisión puntual;
%por lo tanto, una disminución de 6 dB por duplicación de la distancia
desde la fuente.
```

```
function DistanciaAlReceptor_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.DistanciaAlReceptor=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación
```

```
function DistanciaAlReceptor_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function CalcularCdist_Callback(hObject, eventdata, handles)
global CorreccionCdist DistanciaAlReceptor
DistanciaAlReceptor=handles.DistanciaAlReceptor;
```

```
if DistanciaAlReceptor>=2001
errordlg('Distancia desde la fuente al receptor no puede ser superior a
2000m', ' RSL-90');
end
```

```
if DistanciaAlReceptor<=4
errordlg('Distancia desde la fuente al receptor no puede ser inferior a
5m', ' RSL-90');
end
```

```
CorreccionCdist=15.8-10*log10(DistanciaAlReceptor)-
0.0142*((DistanciaAlReceptor)^(0.9));
set(handles.Cdist,'String',CorreccionCdist);
```

```
%Atenuación por suelo (Csuelo)
```

```
%En el modelo RLS-90 la atenuación por suelo
%incorpora un aspecto que denominado "absorción meteorológica"
```

```
function AlturaPromedio_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.AlturaPromedio=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación
```

```
function AlturaPromedio_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```

end

function CalcularCsuelo_Callback(hObject, eventdata, handles)
global DistanciaAlReceptor AlturaPromedio CorreccionCsuelo Calcular6
DistanciaAlReceptor=handles.DistanciaAlReceptor;
AlturaPromedio=handles.AlturaPromedio;

if AlturaPromedio>=6
errordlg('La Altura promedio de la línea de visión sobre el terreno no
debe ser superior a 6m', ' RSL-90');
Calcular6=2;
else
Calcular6=4;
end
if AlturaPromedio<=1
errordlg('La Altura promedio de la línea de visión sobre el terreno no
debe ser inferior a 1m', ' RSL-90');
end

CorreccionCsuelo=(-4.8)*exp(-
((AlturaPromedio/DistanciaAlReceptor)*(8.5+(100/DistanciaAlReceptor)))^(
1.3));
set(handles.Csuelo, 'String', CorreccionCsuelo);

%La siguiente ecuación entrega el nivel Leqlhora en el receptor
%(LRECEPTOR), utilizando el estándar alemán RLS-90.

function CalcularLeq_Callback(hObject, eventdata, handles)
global LME CorreccionCsuelo CorreccionCdist Leqlhora Calcular6
if Calcular6==4
else
errordlg('Hay que Calcular Csuelo y Cdist', ' RSL-90 ');
end
Leqlhora=LME+CorreccionCsuelo+CorreccionCdist;
set(handles.Leq, 'String', Leqlhora);

%EXPORTAR .TXT

function ExportarTXT_Callback(hObject, eventdata, handles)

global VehiculosPorHora PorcentajePesados NBL25 VelocidadMediaLivianos
global VelocidadMediaPesados CorreccionCspeed
global Velocidad TipoDeSuperficie CalcularCroad Vper

warndlg('El Archivo se ha exportado con Exito a la carpeta de
MATLAB', 'RLS-90');

Velocidad=(Vper*10)+20;
% open a file for writing
fid = fopen('Rls-90 - Prediccion.txt', 'w');
% print a title, followed by a blank line

```

```
fprintf(fid, 'PREDICION RLS-90\t\n');

% print values in column order
% two values appear on each row of the file

fprintf(fid, ' Vehiculos Livianos por Hora: %.f\n', VehiculosPorHora);
fprintf(fid, ' % Vehiculos Pesados: %.f %\n', PorcentajePesados);
fprintf(fid, ' LME (dB): %.fdB(A)\n', NBL25);
fprintf(fid, ' Velocidad vehiculos Livianos: %.fKm/h\n',
VelocidadMediaLivianos);
fprintf(fid, ' Velocidad vehiculos Pesados: %.fKm/h\n',
VelocidadMediaPesados);
fprintf(fid, ' Corrección por velocidad de los vehículos: %.fdB(A)\n',
CorreccionCspeed);
fprintf(fid, ' Velocidad Máx permitida: %.fKm/h\n', Velocidad);
fprintf(fid, ' Tipo De Superficie: %.f\n', CalcularCroad);
fprintf(fid, ' Atenuación Por Divergencia geometrica: %.fdB(A)\n',
CorreccionCdist);
fprintf(fid, ' Atenuación por Suelo: %.fdB(A)\n', CorreccionCsuelo);
fprintf(fid, ' Leq 1 Hora: %.fdB(A)\n', Leqlhora);
fclose(fid);
```

ANEXO 6.3. CÓDIGO UKCORTN

```
function varargout = UKCoRTN_Completo(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',      mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @UKCoRTN_Completo_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @UKCoRTN_Completo_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function UKCoRTN_Completo_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

function varargout = UKCoRTN_Completo_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
varargout{1} = handles.output;
```

```
%IMAGEN DE UBICACION DE PUNTOS
```

```
axes(handles.Gráfica)
[x,map]=imread('RLS-90.bmp','bmp');
image(x),colormap(map),axis off,hold on
```

```
%ABRIR MANUAL
```

```
function Inicio_Callback(hObject, eventdata, handles)
close UKCoRTN_Completo %Cierra el GUI actual
RuidoTraficoRodado
```

```
%ABRIR RESULTADOS
```

```
function AbrirResultados_Callback(hObject, eventdata, handles)
[FileName Path]=uigetfile({'UKCortn - Prediccion.txt'},'Abrir documento');
if isequal(FileName,0)
return
else
winopen(strcat(Path,FileName));
end
```

```
%ABRIR RLS-90
```

```
function AbrirRLS90_Callback(hObject, eventdata, handles)
close UKCoRTN_Completo %Cierra el GUI actual
RLS90_Completo
```

```
%ABRIR NMPB
```

```
function AbrirNMPB_Callback(hObject, eventdata, handles)
[FileName Path]=uigetfile({'NMPB.fig'},'Abrir documento');
if isequal(FileName,0)
return
else
winopen(strcat(Path,FileName));
end
```

```
%BOTON SALIR
```

```
function Salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
ans=questdlg(' Desea salir del programa?','Salir RLS-90','Si','No','No');
if strcmp(ans,'No')
return;
end
clear,clc,close all
```

```
%Nivel Básico de Ruido (Lbasic)
```

```
%Corresponde a la estimación del percentil CalcularL10 ya sea para 1 hora
o para 18 horas,
```

```
%bajo condiciones de campo libre. Se asume que la velocidad de los
vehículos livianos
%es 75 Km/h y sin vehículos pesados presentes.
```

```
function IntensidadTrafico_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.IntensidadTrafico=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación
```

```
function IntensidadTrafico_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function CalcularLbasic_Callback(hObject, eventdata, handles)
global IntensidadTrafico CLbasic Calcular1
IntensidadTrafico=handles.IntensidadTrafico;
```

```
if IntensidadTrafico>=10000
errordlg('La Intensidad de tráfico, vehículos por hora no puede Superar
los 10.000 Vehiculos',' UKCoRTN ');
end
if IntensidadTrafico<=99
errordlg('La Intensidad de tráfico, vehículos por hora puede ser Inferior
los 100 Vehiculos',' UKCoRTN ');
Calcular1=2;
else
Calcular1=4;
end
```

```
CLbasic=42.2+10*log10(IntensidadTrafico);
set(handles.Lbasic,'String',CLbasic);
```

```
%Corrección por velocidad y ajustes por vehículos pesados(Cspeed)
```

```
%Cspeed : Corrección por velocidad y vehículos pesados (dBA).
% V : Velocidad media de los vehículos livianos y pesados (Km/h).
% p : Porcentaje de vehículos pesados.
```

```
function VelocidadMediaTrafico_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.VelocidadMediaTrafico=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación
```

```
function VelocidadMediaTrafico_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```

function PorcentajePesados_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.PorcentajePesados=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

function PorcentajePesados_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function CalcularCspeed_Callback(hObject, eventdata, handles)
global VelocidadMediaTrafico PorcentajePesados CCspeed Calcular2
PorcentajePesados=handles.PorcentajePesados;
VelocidadMediaTrafico=handles.VelocidadMediaTrafico;

if PorcentajePesados>=101
errordlg('El Porcentaje de Vehiculos Pesados va entre 0-100%', ' UKCoRTN
');
end
if PorcentajePesados<=-1
errordlg('El Porcentaje de Vehiculos Pesados no puede ser Negativo', '
UKCoRTN ');
end

if VelocidadMediaTrafico>=131
errordlg('La Velocidad Media de los Vehiculos Livianos no puede ser
superior a 130 Km/h', ' UKCoRTN ');
Calcular2=2;
else
Calcular2=4;
end
if VelocidadMediaTrafico<=29
errordlg('La Velocidad Media de los Vehiculos Livianos no puede ser
inferior a 30 Km/h', ' UKCoRTN ');
end

CCspeed=33*log10(VelocidadMediaTrafico+40+(500/VelocidadMediaTrafico))+10
*log10(1+5*(PorcentajePesados/VelocidadMediaTrafico))-68.8;
set(handles.Cspeed,'String',CCspeed);

function Gradiente_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.Gradiente=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

function Gradiente_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function CalcularCGradiente_Callback(hObject, eventdata, handles)
global CCgradiente Gradiente Calcular3
Gradiente=handles.Gradiente;

if Gradiente>=46
errordlg('El Gradiente va entre -45 a 45%', ' UKCoRTN ');
Calcular3=2;
else
Calcular3=4;
end
if Gradiente<=-46
errordlg('El Gradiente va entre -45 a 45%', ' UKCoRTN ');
end

CCgradiente=0.3*Gradiente;
set(handles.Cgradiente, 'String', CCgradiente);

function CalcularLRE_Callback(hObject, eventdata, handles)
global CLbasic CCspeed CCgradiente Calcular1 Calcular2 Calcular3 LREm

if Calcular1==4
else
    errordlg('Hay que Calcular el Nivel Básico de Ruido (Lbasic)', '
UKCoRTN ');
end

if Calcular2==4
else
    errordlg('Hay que Calcular la Corrección por velocidad y ajustes por
vehículos pesados (Cspeed)', ' UKCoRTN ');
end

if Calcular3==4
else
    errordlg('Hay que Calcular la Corrección por gradiente de la vía
(Cgradiente)', ' UKCoRTN ');
end

LREm=CLbasic+CCspeed+CCgradiente;
set(handles.LRE, 'String', LREm);

%Corrección por Distancia. (Cdist)

%Cdist : Corrección por distancia (dB)
%d' : Distancia desde la fuente al receptor

```

```

function DistanciaFueteReceptor_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.DistanciaFueteReceptor=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

function DistanciaFueteReceptor_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function AnchoVia_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.AnchoVia=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

function AnchoVia_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function CalcularCdist_Callback(hObject, eventdata, handles)
global CCdist DistanciaFueteReceptor AnchoVia
DistanciaFueteReceptor=handles.DistanciaFueteReceptor;
AnchoVia=handles.AnchoVia;

if DistanciaFueteReceptor>=2001
errorldg('Distancia desde la fuente al receptor no puede ser superior a
2000m', ' UKCoRTN ');
end

if DistanciaFueteReceptor<=4
errorldg('Distancia desde la fuente al receptor no puede ser inferior a
5m', ' UKCoRTN ');
Calcular4=2;
else
Calcular4=4;
end

if AnchoVia>=15
errorldg('El Ancho de la Vía no puede ser superior a 14m', ' UKCoRTN ');
end

if AnchoVia<=6
errorldg('El Ancho de la Vía no puede ser inferior a 6m', ' UKCoRTN ');
end

CCdist=-10*log10(DistanciaFueteReceptor/AnchoVia);
set(handles.Cdist,'String',CCdist);

```

```

%Atenuación por suelo (Csuelo)

%La corrección debida al tipo de suelo dependerá de la altura
%promedio del rayo de la línea de visión hprom mostrada en la figura del
programa y
%del porcentaje del suelo absorbente presente en la trayectoria de
propagación.

function AlturaPromedio_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.AlturaPromedio=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

function AlturaPromedio_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function TerrenoAbsorbente_Callback(hObject, eventdata, handles)
global TerrenoAbsorbente
TerrenoAbsorbente=get(hObject,'Value'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(TerrenoAbsorbente); %Transformar a formato double
handles.TerrenoAbsorbente=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

switch TerrenoAbsorbente
case 1
TerrenoAbsorbente=0
case 2
TerrenoAbsorbente=0.25
case 3
TerrenoAbsorbente=0.5
case 4
TerrenoAbsorbente=0.75
case 5
TerrenoAbsorbente=1
end
handles.TerrenoAbsorbente=TerrenoAbsorbente; %Almacenar en identificador
guidata(hObject, handles);

function TerrenoAbsorbente_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function CalcularSuelo_Callback(hObject, eventdata, handles)
global CCsuelo AlturaPromedio DistanciaFueteReceptor TerrenoAbsorbente
DistanciaFueteReceptor=handles.DistanciaFueteReceptor;

```

```

AlturaPromedio=handles.AlturaPromedio;
TerrenoAbsorbente=handles.TerrenoAbsorbente;

if AlturaPromedio>=6
errordlg('La Altura promedio de la línea de visión sobre el terreno no
debe ser superior a 6m',' UKCoRTN ');
Calcular5=2;
else
Calcular5=4;
end
if AlturaPromedio<=1
errordlg('La Altura promedio de la línea de visión sobre el terreno no
debe ser inferior a 1m',' UKCoRTN ');
end

if AlturaPromedio>0.75 && AlturaPromedio<((DistanciaFueteReceptor+5)/6)
%2>0.75 && 2<1.5
CCsuelo=(5.2*TerrenoAbsorbente)*(log10((6*AlturaPromedio)/(DistanciaFuete
Receptor+3.5)));
end
if AlturaPromedio<=0.75 % 2<0.75
CCsuelo=(5.2*TerrenoAbsorbente)*(log10((3)/(DistanciaFueteReceptor+3.5)))
;
end
if AlturaPromedio>((DistanciaFueteReceptor+5)/6) %2>1.5
CCsuelo=0;
end

set(handles.Csuelo,'String',CCsuelo);

function AnguloVision_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.AnguloVision=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación
function AnguloVision_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function CalcularCangulo_Callback(hObject, eventdata, handles)
global AnguloVision CCangulo Calcular6
AnguloVision=handles.AnguloVision;

if AnguloVision>=181
errordlg('El Angulo de Vision no debe ser superior a 180 Grados','
UKCoRTN ');
Calcular6=2;
else
Calcular6=4;
end

```

```

if AnguloVision<=9
errordlg('El Angulo de Vision no debe ser inferior a 10 Grados','
UKCoRTN ');
end

CCangulo=10*log10(AnguloVision/180);
set(handles.Cangulo,'String',CCangulo);

function CalcularL10_Callback(hObject, eventdata, handles)
global CCangulo CCSuelo CCdist LREm L10m
L10m=LREm+CCangulo+CCsuelo+CCdist;
set(handles.L10h,'String',L10m);

function Exportar_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

ANEXO 6.4: CÓDIGO NMPB

```

function varargout = NMPB_Completo(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',  @NMPB_Completo_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @NMPB_Completo_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function NMPB_Completo_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

function varargout = NMPB_Completo_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

%IMAGEN DE UBICACION DE PUNTOS

axes(handles.Grafica)
[x,map]=imread('RLS-90.bmp','bmp');
image(x),colormap(map),axis off,hold on

%BOTON SALIR

```

```

function Salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
ans=questdlg('¿Desea salir del programa?', 'Salir NMPB', 'Si', 'No', 'No');
if strcmp(ans, 'No')
return;
end
clear,clc,close all

%ABRIR CORTN

function CoRTN_Callback(hObject, eventdata, handles)
close NMPB_Completo %Cierra el GUI actual
UKCoRTN_Completo

%ABRIR RLS90

function RLS90_Callback(hObject, eventdata, handles)
close NMPB_Completo %Cierra el GUI actual
RLS90_Completo

%ABRIR MENU

function Inicio_Callback(hObject, eventdata, handles)
close NMPB_Completo %Cierra el GUI actual
RuidoTraficoRodado

%ABRIR RESULTADOS

function AbrirResultados_Callback(hObject, eventdata, handles)
[FileName Path]=uigetfile({'*.txt'}, 'Abrir Resultados');
if isequal(FileName,0)
return
else
winopen(strcat(Path,FileName));
end

%Modelo de Emisión

%El nivel de emisión que se predice es un nivel de
%presión sonora de referencia, que se obtiene aplicando todas las
%correcciones al nivel básico referido a en la vía completa y medidos a 4
metros
%sobre el suelo. NMPB asume que la mitad de la vía, recibe la mitad del
volumen del tráfico.
%El modelo trabaja con una fuente lineal ubicada en la mitad y a 0,5
metros de altura,
%que recibe todo el volumen del tráfico.

function VehiculosPorHora_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    end

function VehiculosPorHora_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.VehiculosPorHora=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

function PorcentajeVehiculosPesados_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function PorcentajeVehiculosPesados_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.PorcentajeVehiculosPesados=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

function GradienteCarretera_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function GradienteCarretera_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.GradienteCarretera=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

function CalcularAjustesVolumenTrafico_Callback(hObject, eventdata,
handles)

global GradienteCarretera PorcentajeVehiculosPesados VehiculosPorHora
CalcularVolumenTrafico E Livianos Pesados

GradienteCarretera=handles.GradienteCarretera;
PorcentajeVehiculosPesados=handles.PorcentajeVehiculosPesados;
VehiculosPorHora=handles.VehiculosPorHora;

if GradienteCarretera>=2
    E=10;
end
if GradienteCarretera>=3
    E=13;
end
if GradienteCarretera>=4
    E=16;
end
end

```

```

if GradienteCarretera>=5
    E=18;
end
if GradienteCarretera>=6
    E=20;
end

if GradienteCarretera>=46
    errordlg('El Gradiente va entre -45 a 45%', ' NMPB ');
end
if GradienteCarretera<=-46
    errordlg('El Gradiente va entre -45 a 45%', ' NMPB ');
end

if PorcentajeVehiculosPesados>=101
    errordlg('El Porcentaje de Vehiculos Pesados va entre 0-100%', ' NMPB ');
end
if PorcentajeVehiculosPesados<=-1
    errordlg('El Porcentaje de Vehiculos Pesados no puede ser Negativo', '
NMPB ');
end

if VehiculosPorHora>=10000
    errordlg('Los vehiculos por Hora no puede Superar los 10.000 Vehiculos', '
NMPB ');
end
if VehiculosPorHora<=99
    errordlg('Los vehiculos por Hora no puede ser Inferior los 100
Vehiculos', ' NMPB ');
end

Livianos=(VehiculosPorHora-
(VehiculosPorHora*(PorcentajeVehiculosPesados/100)));
Pesados=(VehiculosPorHora*(PorcentajeVehiculosPesados/100));
CalcularVolumenTrafico=55+10*log10(Livianos+E*Pesados);

set(handles.Grad, 'String', E);
set(handles.Pesa, 'String', Pesados);
set(handles.Livi, 'String', Livianos);

function VelocidadMedia_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject, 'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.VelocidadMedia=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject, handles); %Salvar datos de la aplicación
function VelocidadMedia_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function AnchoCalzada_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.AnchoCalzada=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicaci3n
function AnchoCalzada_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Altura_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject,'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.Altura=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicaci3n
function Altura_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function CalcularAjustesVia_Callback(hObject, eventdata, handles)

global Altura AnchoCalzada VehiculosPorHora h CalcularVolumenTrafico E

Altura=handles.Altura;
AnchoCalzada=handles.AnchoCalzada;
VelocidadMedia=handles.VelocidadMedia;

if Altura<=4
    h=0;
end
if Altura>4
    h=-((Altura-4)/AnchoCalzada);
end

if VelocidadMedia>=101
errordlg('La Velocidad Media de los Vehiculos no puede ser superior a 100
Km/h',' NMPB ');
end
if VelocidadMedia<=29
errordlg('La Velocidad Media de los Vehiculos no puede ser inferior a 30
Km/h',' NMPB ');
end
Ancho=-10*log10(AnchoCalzada);
set(handles.Anc,'String',Ancho);
set(handles.Alt,'String',h);

function CalcularModelo_Callback(hObject, eventdata, handles)
global Altura AnchoCalzada VehiculosPorHora h CalcularNMPB
global CalcularVolumenTrafico
CalcularNMPB=CalcularVolumenTrafico-10*log10(7)+h;

```

```

set(handles.NMPB, 'String', CalcularNMPB);

function Distancia_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=get(hObject, 'String'); %Almacenar valor ingresado
NewVal = str2double(Val); %Transformar a formato double
handles.Distancia=NewVal; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación
function Distancia_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function CalcularCorreccionDistancia_Callback(hObject, eventdata, handles)
global CalcularNMPB CorreccionDistancia Distancia

Distancia=handles.Distancia;

CorreccionDistancia=CalcularNMPB-(CalcularNMPB+20*log10(4/(Distancia+4)));

set(handles.Cdist, 'String', CorreccionDistancia);

function CalcularModeloFinal_Callback(hObject, eventdata, handles)
global CalcularNMPB Distancia Final

Final=CalcularNMPB+(20*log10(4/(Distancia+4)));

set(handles.ModeloFinal, 'String', Final);

function Exportar_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

BIBLIOGRAFÍA

- **PARLAMENTO Y CONSEJO, EUROPEO. 25 de Junio de 2002.** DIRECTIVA 2002/49/EC. 25 de Junio de 2002. Sobre evaluación y gestión ambiental. (En línea 31 de Octubre de 2011). (<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0025:ES:PDF>).
- **DIARIO OFICIAL DE LA UNION, EUROPEA. 6 de Agosto de 2003.** COMISION 2003/613/CE. 6 de Agosto de 2003. Relativa a las orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario y los datos de emisiones correspondientes. (En línea 31 de Octubre de 2011) (http://www.belt.es/legislacion/reciente/pdf/decision_22_agosto_03.pdf).
- **ISO, International Organization for Standarization. 2007.** Description and Measurement of Environmental Noise."Descripción y medida del ruido ambiental". 2007. ISO 1996-2 Acoustics.
- **ESPAÑA. 17 de Noviembre de 2003.** LEY 37/2003. 17 de Noviembre de 2003. Gestion del Ruido; BOE núm. 276; 40494 3/4. En línea 31 de Octubre de 2011) (<http://www.boe.es/boe/dias/2003/11/18/pdfs/A40494-40505.pdf>).
- **BAST, Germany. 1990.** Richtlinien für den Lärmschutz an Straben (RLS-90). 1990. Método nacional de cálculo Alemán.
- **CARLOS PULIDO SÁNCHEZ,** Norma Alemana de Ruido en Carreteras Rls-90, Ingeniero de Montes, Jefatura Provincial de Tráfico de Toledo.
- **BADEN-WÜRTTERMBERG, WIRTSCHAFTS MINISTERIUM,** RLS-90, Noise Manual For Urban Development, Indications for urban land use planning, Ministry of Economy Baden-Württemberg in cooperation with Environmental Protection Department of Stuttgart, Chapter 3. (En línea 31 de Octubre de 2011) (http://www.staedtebauliche-laermfibel.de/Noise_manual/index-1.htm).

- **HMSO, United Kingdom. 1988.** Calculation of Road Traffic Noise. 1988. Método nacional de cálculo Reino Unido. London, Ed, Crown
(En línea 31 de Octubre de 2011).
(http://www.noiseni.co.uk/calculation_of_road_traffic_noise.pdf).
- **NMPB-ROUTES-2008, (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB). Original 10 de Mayo 1995.** RUIDO DEL TRÁFICO RODADO. 10 de Mayo 1995. El método nacional de cálculo francés, mencionado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6. (En línea 31 de Octubre de 2011).
(http://www.setra.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/US_09572A_Road_noise_predictionDTRF.pdf).
- **STATENS PLANVERK 48, Nordic Countries. 1996.** Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise. 1996. Método nacional de cálculo de los Países Nórdicos. (En línea 31 de Octubre de 2011).
(http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/1996-525/at_download/publicationfile).
- **HARRIS, C.M,** "Manual de medidas acústicas y control de ruido"; Ed. 3ª ed.; McGraw-Hill, Madrid, 1998.
- **AYUNTAMIENTO DE VALLADOLID,** "Plan Municipal contra la Contaminación Acústica"
- **GARCIA RODRÍGUEZ, A.;**"La Contaminación Acústica: Fuentes, Evaluación, Efectos y Control"; Sociedad Española de Acústica; Madrid, 2006.
- **RECUERO LÓPEZ, M.** "Contaminación acústica"; Ed. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2003.
- **DAVID A. BIES AND COLIN H. HANSEN,** "Engineering Noise Control", Fourth edition, Theory And Practice

- **KEITH ATTENBOROUGH, KAI MING LI AND KIRING HOROSHENKOV**
“Predicting Outdoor Sound” Ed: Taylor & Francis London & New York, 2007,
First Published.
- **ROGER P. ROESS, ELENA S. PRASSAS AND WILLIAM R. MCSHANE,**
“Traffic Engineering”. Third Edition, International Edition, Ed: Pearson, 2004.