



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“METODOLOGÍA DE ENSAYO DE LABORATORIO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA PARA LA MEDICIÓN DE RUIDO
AMBIENTAL Y LABORAL”**

AUTORES: Luis Alberto Ortiz Peñafiel

Darwin Bladimir Pilapanta Lasso

TUTOR: Ing. Mg. Christian Byron Castro Minigano

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“METODOLOGÍA DE ENSAYO DE LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA PARA LA MEDICIÓN DE RUIDO AMBIENTAL Y LABORAL”**, elaborado por los señores **Darwin Bladimir Pilapanta Lasso** portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805308523 y **Luis Alberto Ortiz Peñafiel** portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1600839235, estudiantes de la Carrera de Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2022

Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, **Darwin Bladimir Pilapanta Lasso** , con C.I. 1805308523 y **Luis Alberto Ortiz Peñafiel** con C.I. 1600839235 declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema “**METODOLOGÍA DE ENSAYO DE LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA PARA LA MEDICIÓN DE RUIDO AMBIENTAL Y LABORAL**”, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2022



Darwin Bladimir Pilapanta Lasso
C.I. 1805308523
AUTOR



Luis Alberto Ortiz Peñafiel
C.I. 1600839235
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los Derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando nuestros derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2022



Darwin Bladimir Pilapanta Lasso
C.I. 1805308523
AUTOR



Luis Alberto Ortiz Peñafiel
C.I. 1600839235
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por los estudiantes Darwin Bladimir Pilapanta Lasso y Luis Alberto Ortiz Peñafiel de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“METODOLOGÍA DE ENSAYO DE LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA PARA LA MEDICIÓN DE RUIDO AMBIENTAL Y LABORAL”**.

Ambato, Septiembre 2022

Para constancia firman:

Ing. Víctor Rodrigo Espín Guerrero Mg.
Miembro Calificador

Ing. Alejandra Marlene Lascano Moreta Mg.
Miembro Calificador

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado primeramente a Dios por permitirme estar presente en la Universidad Técnica de Ambato logrando cumplir mis metas y sueños, a mis padres Luis Ortiz y Mónica Peñafiel, por el apoyo incondicional brindado en esta etapa de mi vida, por guiarme y darme fuerzas para culminar mis estudios, también a mi hermana Melany Ortiz, por el apoyo brindado.

Va dedicada a toda mi familia que han sido parte de este duro proceso, de igual manera a mis amigos de Mera y Ambato, a mi compañero de tesis Darwin Pilapanta, que hemos trabajado duro durante los últimos años para lograr con el objetivo.

A mis profesores que durante el tiempo de estudio transcurrido han ido educándonos y guiándonos, a mi tutor el Ing. Christian Castro, por guiarnos en el proyecto final de titulación, y durante los últimos semestres.

De igual forma va dedicada para mi compañera de aventuras Paola T. que ha estado en los buenos y malos momentos.

Luis Ortiz

El presente trabajo de titulación va dedicado a Dios por haber sido mi guía y fortaleza durante todos los años de mi vida.

A mis padres Luis Aníbal Pilapanta y María Erlinda Lasso por brindarme su amor, comprensión y apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida, por haber permitido mi formación profesional y personal, a toda mi familia Pilapanta Lasso que siempre estuvieron pendiente de mí persona, me brindaron palabras de aliento para poder culminar mi carrera y cumplir mis sueños, gracias a todo su apoyo el día de hoy son mi inspiración.

Al Ingeniero Christian Castro por haberme brindado sus conocimientos y guiado durante la elaboración del proyecto final de Titulación.

A mi compañera de vida Yolanda P. Por brindarme su apoyo y amor incondicional.

A todas las personas, amigos que me brindaron unas palabras de aliento que quedarán guardados en mi corazón.

Bladimir Pilapanta

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la prestigiosa Universidad Técnica de Ambato por permitirme formarme como profesional.

Agradezco a mis profesores de la carrera de Mecánica, por impartir todos sus conocimientos en cada uno de los semestres.

De igual forma un agradecimiento a mi familia por brindarme el apoyo.

Agradezco a los técnicos del CADME que nos guiaron para realizar el trabajo de titulación, de igual forma a mi compañero de tesis Darwin Pilapanta.

Luis Ortiz

En primera instancia agradezco a Diosito por haberme brindado valentía para culminar esta etapa de mis estudios.

Un infinito agradecimiento a mi querida madre María Erlinda Lasso por haber confiado en mí y haber hecho hasta lo imposible por verme cumplir mis metas.

A mi padre Luis Aníbal Pilapanta por su apoyo moral y económico.

A mis hermanos Oscar, Jenny, Stalin, Paulina por siempre haberme brindado su apoyo incondicional.

A la Universidad Técnica de Ambato por haber permitido mi formación profesional.

A mi compañero de tesis Luis Ortiz al cual considero un amigo, por brindarme sus conocimientos, su amistad durante la carrera y trabajo de titulación.

A los ingenieros del CADME e Ingeniero Christian Castro por haberme guiado en el proyecto final de titulación.

A mi compañera de vida Yolanda P. Por brindarme su apoyo y amor incondicional.

A todas las personas, amigos que me brindaron unas palabras de aliento que quedarán guardados en mi corazón.

Bladimir Pilapanta

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	2
1.2.1 Contaminación	2
1.2.2 Contaminación acústica	3
1.2.3 El sonido	3
1.2.4 Velocidad del sonido.....	4
1.2.5 Rango de audición humano.....	4
1.2.6 Unidades de medida del sonido	5
1.2.6.1 Decibel (dB).....	5
1.2.6.2 Decibelio con ponderación A(dBA).....	5
1.2.6.3 Decibelio con ponderación C (dBC).....	5
1.2.7 Ruido.....	6
1.2.8 Tipos de ruido	6
1.2.9 Tipos de fuentes	8
1.2.10 Fuentes de origen del ruido.....	8
1.2.11 Fuentes de ruido según el uso de suelo	9
1.2.12 Instrumentación y equipos de medida acústica	10
1.2.12.1 Sonómetro	10
1.2.12.2 Sonómetros integradores- promediadores.....	11
1.2.13 Ponderación frecuencial.....	11
1.2.14 Medición del ruido.....	11

1.2.15	Medición de ruido ambiental	12
1.2.15.1	Ruido ambiental	12
1.2.15.2	Efectos auditivos en las personas	12
1.2.15.3	Efectos del ruido sobre el sueño.....	13
1.2.15.4	Factores que intervienen en la medición del ruido ambiental	13
1.2.15.5	Mapa de ruido	14
1.2.15.6	Niveles máximos permisibles en el Ecuador.....	15
1.2.15.7	Líneas base ambiental	16
1.2.15.8	Evaluación de impacto ambiental (EIA)	16
1.2.15.9	Acuerdo Ministerial No 0.97 Ministerio del Ambiente	16
1.2.15.10	NTE INEN-ISO 1996-1	16
1.2.15.11	NTE INEN-ISO 1996-2	17
1.2.16	Medición de ruido laboral	17
1.2.16.1	Ruido laboral.....	17
1.2.16.2	Efectos auditivos en las personas	17
1.2.16.3	Efectos del ruido en el trabajo.....	18
1.2.16.4	Niveles máximos permisibles en el ecuador	18
1.2.16.5	Marco legal	18
1.2.16.6	Decreto ejecutivo 2393	18
1.2.16.7	NTE INEN-ISO 9612.....	19
1.2.17	Estrategias para la medición de ruido laboral	19
1.2.17.1	Medición para la estrategia basada en la tarea	19
1.2.17.2	Medición para la estrategia basada en la función.....	20
1.2.17.3	Medición para la estrategia basada en la jornada completa	21
1.2.18	Evaluación estadística ruido ambiental y laboral.....	22
1.2.19	Análisis de varianza ANOVA.....	24
1.2.20	Tipos de incertidumbre	25
1.3	Objetivos.....	25
1.3.1	Objetivo general.....	25
1.3.2	Objetivos específicos	25
CAPÍTULO II.....		27
METODOLOGÍA		27
2.1	Materiales.....	27
2.1.1	Equipos: KIT sonómetro CR:171C.....	27
2.1.2	Anemómetro	28
2.1.3	Flexómetro	29
2.1.4	Computador.....	29

2.2	Métodos.....	29
2.2.1	Metodología de ruido ambiental	29
2.2.1.1	Selección del método de ruido ambiental	31
2.2.1.2	Protocolo de medición y determinación del LK _{eq}	36
2.2.1.3	Selección de tipo de validación.....	37
2.2.1.4	Objetivos de validación.....	37
2.2.1.5	Elaboración de hojas de cálculo y procedimientos	38
2.2.1.6	Procedimiento de validación	39
2.2.1.7	Requisitos de los equipos de medición	39
2.2.1.8	Calibración de los equipos de medición.....	39
2.2.1.9	Comprobaciones.....	40
2.2.1.10	Pruebas experimentales de ruido ambiental	40
2.2.1.11	Determinación del LK _{eq}	42
2.2.1.12	Evaluación estadística ruido ambiental	49
2.2.1.13	Evaluación de la incertidumbre de la medida	53
2.2.1.14	Especificaciones de medición del ruido ambiental	53
2.2.1.15	Determinación de las fuentes de incertidumbre	54
2.2.1.16	Cuantificación de los factores de incertidumbre	55
2.2.1.17	Estimación de incertidumbre combinada	60
2.2.1.18	Estimación de la incertidumbre expandida	61
2.2.1.19	Evaluación del método de ruido ambiental	62
2.2.2	Metodología de ruido laboral	62
2.2.2.1	Selección del método ruido laboral.....	64
2.2.2.2	Características del método	64
2.2.2.3	Selección de la estrategia de medición.....	67
2.2.2.4	Objetivos de validación.....	69
2.2.2.5	Elaboración de hojas de cálculo y procedimientos	69
2.2.2.6	Procedimiento de validación	70
2.2.2.7	Revisión del equipo de medición (general).....	70
2.2.2.8	Calibración de los equipos de medición.....	71
2.2.2.9	Calibración externa	71
2.2.2.10	Comprobación del sonómetro	71
2.2.2.11	Pruebas experimentales de ruido laboral.....	72
2.2.2.12	Determinación del LEX,8h	74
2.2.2.13	Evaluación estadística ruido laboral.....	77
2.2.2.14	Evaluación de la incertidumbre de medida	78
2.2.2.15	Determinación de las fuentes de incertidumbre	79

2.2.2.16	Cuantificación de los componentes de la incertidumbre para la estrategia basada en la tarea	80
2.2.2.17	Estimación de la incertidumbre combinada	81
2.2.2.18	Estimación de la incertidumbre expandida	83
2.2.2.19	Evaluación del desempeño del método	84
CAPÍTULO III.....		85
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		85
3.1	Análisis de resultados de ruido ambiental.....	85
3.1.1	Corrección de datos obtenidos por el sonómetro.	88
3.1.2	Determinación de nivel de presión sonora continua equivalente corregido... ..	90
3.1.3	Prueba de precisión	94
3.1.4	Prueba de veracidad (Incertidumbre grupal).....	100
3.1.5	Campo de linealidad del sonómetro.....	106
3.1.6	Determinación de la incertidumbre de medida	106
3.1.7	Resultados de ruido ambiental	110
3.1.8	Cálculo de la incertidumbre de medida.....	118
3.1.9	Análisis y discusión de resultados de ruido ambiental.....	119
3.2	Análisis de resultados de ruido laboral	122
3.2.1	Pruebas experimentales para la estrategia basada en la tarea.....	122
3.2.1.1	Prueba de precisión	130
3.2.1.2	Prueba de veracidad (cálculo de la incertidumbre grupal).....	135
3.2.2	Campo de linealidad del sonómetro.....	143
3.2.3	Determinación de la incertidumbre.....	144
3.2.4	Reporte de datos ruido laboral	148
3.2.5	Cálculo de la incertidumbre de medida.....	162
3.2.6	Análisis y discusión de resultados de ruido laboral	165
CAPÍTULO IV.....		168
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		168
4.1	CONCLUSIONES	168
4.2	RECOMENDACIONES	169
REFERENCIAS.....		170
ANEXOS		176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Rango audible de frecuencias [6].	4
Figura 2.	Niveles audibles en función de la frecuencia [6].....	5

Figura 3. Ruido continuo [6].	7
Figura 4. Ruido continuo intermitente [6].	7
Figura 5. Ruido de Impacto [6].	8
Figura 6. sonómetro CR:171C [34].	28
Figura 7. Anemómetro HoldPeak.	28
Figura 8. Flexómetro STANLEY.	29
Figura 9. Diagrama de flujo de la metodología de medición de ruido ambiental.	30
Figura 10. Flujo 04: Ruido específico con contenido de ruido impulsivo y con contenido energético alto en bajas frecuencias [9].	36
Figura 11. Mapa del sitio de medición.	41
Figura 12. Ubicación de los puntos de medición.	42
Figura 13. Diagrama de flujo del procedimiento evaluación estadística.	50
Figura 14. Diagrama de Ishikawa de las fuentes principales de incertidumbre en la determinación del L _{Keq} .	55
Figura 15. Radio de curvatura de la trayectoria sonora (R) y la contribución a la incertidumbre de medición asociada, debido a la influencia climática [21].	59
Figura 16. Diagrama de flujo de la metodología de medición de ruido laboral.	63
Figura 17. Mapa del sitio de medición, Correería Patricio Cepeda Cía. Ltda.	72
Figura 18. Diagrama de flujo de la evaluación estadística de ruido laboral.	77
Figura 19. Diagrama de Ishikawa con las fuentes de incertidumbre en la determinación de L _{EX} , 8h.	80
Figura 20. Verificación de condiciones ambientales.	85
Figura 21. Ubicación del sonómetro a 1,5 m fuera del lindero de la empresa.	86
Figura 22. Ubicación del sonómetro a una altura de 1,5 m a partir del suelo.	86
Figura 23. Verificación del ángulo del sonómetro.	87
Figura 24. Calibración del sonómetro.	87
Figura 25. Recolección de datos en los diferentes puntos de medición.	88
Figura 26. Calibración del sonómetro.	122
Figura 27. Posición del sonómetro.	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de ponderación frecuencial [10].	11
--	----

Tabla 2. Límite permisible de audición [11].	12
Tabla 3. Nivel de presión sonora con su color y trama.	14
Tabla 4. Niveles máximos de emisión de ruido para FFR [9].	15
Tabla 5. Determinación mínima acumulativa ng.	21
Tabla 6. Especificaciones KIT sonómetro CR:171C [34].	27
Tabla 7. Objetivos de validación ruido ambiental.	38
Tabla 8. Determinación de puntos de medición.	42
Tabla 9. Correcciones por componentes impulsivas y bajas frecuencias [9].	49
Tabla 10. Modelo de estudio experimental [33].	50
Tabla 11. ANOVA	51
Tabla 12. Selección de la estrategia de medición básica.	66
Tabla 13. Matriz de criterios ponderados.	68
Tabla 14. Objetivos de validación ruido laboral.	69
Tabla 15. Incertidumbre típica u_2 o $u_{2,m}$, de los instrumentos [14].	81
Tabla 16. Datos obtenidos del sonómetro en la medición 1 en el punto 3 del día 2.	88
Tabla 17. Correcciones emitidas por el certificado de calibración externa del sonómetro y calibrador acústico.	89
Tabla 18. Datos emitidos por el sonómetro con la corrección del sonómetro al lado izquierdo.	90
Tabla 19. Medición corregida 1 del día 2 en el punto 3.	90
Tabla 20. Prueba experimental de LKeq en el punto 1.	95
Tabla 21. ANOVA de la prueba experimental de LKeq en el Punto 1	98
Tabla 22. Medición de los 3 días en el punto 1.	100
Tabla 23. Campo de linealidad del sonómetro Cirrus CR:171C [34].	106
Tabla 24. Medición 3 en el día 2 en el punto 1 y valores de LKeq.	106
Tabla 25. Comprobación del sonómetro con el calibrador acústico antes de las mediciones.	110
Tabla 26. Comprobación del sonómetro con el calibrador acústico antes de las mediciones.	111
Tabla 27. Condiciones meteorológicas durante los días de medición de ruido ambiental.	111
Tabla 28. Evaluación del Nivel de presión sonora y cálculo de LKeq de las mediciones durante los 3 días.	113
Tabla 29. Evaluación de precisión ANOVA.	117
Tabla 30. Evaluación de precisión.	117
Tabla 31. Evaluación de veracidad (Incertidumbre grupal).	118
Tabla 32. Incertidumbre de la medida.	118
Tabla 33. Medidas del día 1 a una distancia de 1 metro.	125
Tabla 34. Correcciones emitidas por el certificado de calibración externa del sonómetro y calibrador acústico.	126
Tabla 35. Datos emitidos por el sonómetro con su respectiva corrección al lado izquierdo.	127
Tabla 36. Medición 1 del día 1 a una distancia de 1 metro.	127

Tabla 37. Prueba experimental de LEX,8h a 1 metro.	130
Tabla 38. Prueba experimental ANOVA de LEX,8h a 1 metro.	133
Tabla 39. Grupo de datos de los 3 días de medición a 1 metro de distancia de la tarea 1.	135
Tabla 40. Grupo de datos de los 3 días de medición a 1 metro de distancia de la tarea 2.	139
Tabla 41. Campo de linealidad del sonómetro Cirrus CR:171C [34].	143
Tabla 42. Medición del día 1 a 1 metro de distancia.	144
Tabla 43. Comprobación del sonómetro antes de las mediciones de la tarea 1.	149
Tabla 44. Comprobación del sonómetro antes de las mediciones de la tarea 2.	150
Tabla 45. Evaluación del Nivel de presión sonora y cálculo de LEX,8h de los 3 días.	151
Tabla 46. Evaluación precisión ANOVA.	160
Tabla 47. Evaluación de precisión	160
Tabla 48. Evaluación de veracidad (incertidumbre grupal)	161
Tabla 49. Determinación de la incertidumbre de medida.	162

RESUMEN

En el presente proyecto técnico se elaboró y validó la metodología de ensayo de ruido ambiental y Laboral, la elaboración y validación corresponde a una verificación del método de ensayo del Anexo 5 del Acuerdo Ministerial 097-A, NTE INEN-ISO 1996-1 y 2 -2014 para ruido ambiental; Art 55 del Decreto Ejecutivo 2393, NTE INEN-ISO 9612-2014 para ruido laboral, que permite evaluar el ruido específico con características impulsivas y con contenido energético en bajas frecuencias y el Nivel de exposición en el trabajo respectivamente. Para ello se realizó mediciones reales.

Para el aseguramiento y validez del método se utilizaron dos niveles con un sonómetro clase I, se configuró en los parámetros requeridos tanto para ruidos Ambiental y Laboral: nivel de presión sonora ponderado A (lento e impulsivo), nivel de presión sonora ponderado C (lento), se midió el ruido total utilizando la metodología de Leq 15s con las fuentes fijas de ruido encendidas y ruido residual con las fuentes fijas de ruido apagadas y para el ruido laboral se utilizó la estrategia basada en la tarea.

Para ambos métodos se evaluó y aceptó el desempeño global de la metodología en un intervalo de trabajo de 20 dB a 140 dB, ya que se demostró que los criterios de aceptación si cumplen con los parámetros de validación establecidos: medida de precisión CVr y CVI menor o igual que 5 por ciento, veracidad en incertidumbre menor o igual que 10 por ciento de la medida mínima tomada por el sonómetro e incertidumbre dinámica.

Palabras claves: Ruido ambiental, Ruido laboral, Sonómetro, Precisión, Medidas de Precisión, Veracidad, Validación del método, Incertidumbre.

ABSTRACT

In this technical project, the methodology for Environmental and Occupational noise testing was developed and validated, the development and validation corresponds to a verification of the test method of Annex 5 of Ministerial Agreement 097-A, NTE INEN-ISO 1996-1 and 2 -2014 for Environmental noise; Art 55 of Executive Decree 2393, NTE INEN-ISO 9612-2014 for occupational noise, which allows evaluating the specific noise with impulsive characteristics and with energy content at low frequencies and the Level of exposure at work respectively. For this purpose, real measurements were performed.

For the assurance and validity of the method two levels were used with a class I sound level meter, it was configured in the required parameters for both Environmental and Occupational noise: A-weighted sound pressure level (slow and impulsive), C-weighted sound pressure level (slow), total noise was measured using the Leq 15s methodology with the fixed noise sources on and residual noise with the fixed noise sources off and for Occupational Noise the task-based strategy was used.

For both methods, the overall performance of the methodology was evaluated and accepted in a working range of 20 dB to 140 dB, since it was demonstrated that the acceptance criteria met the established validation parameters: CV_r and CV_I precision measurement less than or equal to 5 percent, veracity in uncertainty less than or equal to 10 percent of the minimum measurement taken by the sound level meter and dynamic uncertainty.

Keywords: Environmental Noise, Occupational Noise, Sound Level Meter, Accuracy, Accuracy Measurements, Trueness, Method Validation, Uncertain

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Según el estudio desarrollado por el investigador James Stalin Vallejo Yanes, el cual centra su trabajo en establecer características de desempeño y criterios de aceptabilidad en base al Anexo 5 del AM No. 0.97-A, generando hojas de cálculo y procedimientos para la ejecución de este método. Para verificar este método se utiliza un sonómetro clase I configurando los diferentes parámetros, verificando la metodología de 15 segundos (Leq 15s), se consideró una distancia de 15 m, 10 m, 5 m, para la evaluación de la precisión, realizando 5 mediciones durante 3 días para cada una de las distancias. Se concluyó que la aplicación del método de 15 segundos (Leq 15s) de ruido ambiental del Acuerdo Ministerial No. 097-A del TULSMA puede ser aplicado de forma competente en el laboratorio AMBIENLAB Cía. Ltda. [1].

Según el estudio desarrollado por el investigador Franklin Vinicio Ortega Armas, el mismo que centra su trabajo en establecer características de desempeño y criterios de aceptabilidad del método de ensayo en base a la NTE-INEN-ISO 9612-2014, generando hojas de cálculo y procedimientos para la ejecución de este método. Para verificar este método se utiliza un sonómetro clase I para la estrategia basada en la tarea y un dosímetro para las estrategias basadas en función y jornada completa. Se concluyó la validez del informe de verificación evidencia la correcta aplicación del método, en esta se observa el cumplimiento de los objetivos de validación establecidos: coeficientes de precisión $\leq 5\%$, veracidad de ensayo de aptitud $Z|\leq 2$; la incertidumbre de medida se determinará en cada medición y esta se estima en base a la norma con un nivel de confianza del 95%. en el laboratorio AMBIENLAB Cía. Ltda [2].

Según el estudio desarrollado por el investigador Jaime Patricio Llinguicota Guarquila centra su trabajo en el monitoreo de presión sonora (Leq) de ruido ambiental existente en la ciudad de Sucúa para posterior a su estudio proponer un proyecto de ordenanza

municipal para el control de este tipo de ruido. Se precisaron 18 puntos de monitoreo con un sonómetro EXTECH 407750 tipo 2 durante 3 periodos a horas diferentes, teniendo en total 21 tipo de mediciones además de realizar un conteo vehicular. Después de realizar todas las mediciones. Se obtuvo un promedio total de 65.70 dB(A), un mínimo de 50.9 dB (A) y un máximo de 90.30 dB(A), concluyendo que, si existe contaminación acústica en la ciudad de Sucúa, siendo el principal problema la mala definición de rutas para vehículos grandes como volquetas y tractores que transitan por la ciudad a cualesquier hora, por lo que se ha visto pertinente que se elabore una propuesta de Ordenanza Municipal para el control del ruido ambiental en la ciudad estudiada [3].

Según el estudio desarrollado por la investigadora Gissela Carolina Chico Paredes centra su trabajo en la evaluación de los niveles de presión sonora que existe en la planta ensambladora de vehículos de la marca Great Wall, CIAUTO Cía. Ltda. Verificando el ruido en el proceso productivo debido al uso permanente de maquinaria y herramientas neumáticas, la recolección de datos se lo realizo con un sonómetro certificado y la metodología utilizada está basada en la tarea propuesta por el Instituto Nacional de seguridad e Higiene en el trabajo (INSHT) además de la utilización de las Normas técnicas de Prevención como: NTP 950, NTP 951, NTP 952. Los resultados obtenidos en las estaciones estudiadas son preocupantes, por lo cual se debe tomar medidas preventivas, caso contrario existe riesgo de enfermedades profesionales por ruido, Concluyendo que existe un nivel máximo de presión sonora del 95,6 dB [4].

1.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.2.1 Contaminación

Para el (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica) el ruido es una de las principales fuentes de contaminación, molestia para la población y el ambiente, el causante de varios problemas de salud, el mismo que provoca alteración en condiciones naturales, se menciona que causa mayor daño en conglomerados urbanos, ocasionando lesiones psicológicas y de igual manera lesiones fisiológicas que se las detecta cuando el daño es irreversible [5].

El MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador) es el encargado de realizar el control y seguimiento al ruido esto se genera a partir de la verificación del cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental [5].

1.2.2 Contaminación acústica

La contaminación acústica es una de las molestias para la población y el ambiente, ya que generan problemas de salud, de igual forma altera las condiciones de los ecosistemas, se dice que es mayor la contaminación en el casco urbano, la Organización Mundial de la Salud estableció que como máximo nivel de exposición al ruido en 8 horas continuas es 85 decibelios, esto que solo se mira que fuera en entornos urbanos, también causa afectaciones a la vida silvestre, tanto en flora como en fauna [5].

Si bien es cierto, la contaminación acústica es la fuente principal de alteración de los ciclos normales de la vida tanto en la vida silvestre como en la vida humana, es un elemento con características no permanentes, el mismo que se puede mitigar con una buena práctica a nivel urbano, industrial, productivo, con lo que se puede mitigar de forma paulatina los impactos negativos producidos en la salud humana y en el ambiente [5].

1.2.3 El sonido

Se puede definir al sonido como una pequeña variación de la presión atmosférica que se produce por la oscilación de partículas, mediante la cual se transmite longitudinalmente la onda sonora, provocando una sensación auditiva. Para definir completamente el sonido se debe considerar dos fenómenos: físico y acústico [6].

Las variaciones de presión se pueden presentar de la siguiente manera, por ejemplo:

Una corriente de aire punzante, como las producidas las aspas de un ventilador al girar.

Vibraciones de superficies sólidas, líquidas o gaseosas.

Para que exista sonido es necesario:

- 1) Que exista una fuente sonora, es decir, un objeto que vibre.

- 2) Que exista un medio material que permita que se propague el sonido. Puede ser el aire, un gas, pero también un sólido o un líquido.
- 3) Que exista un receptor de dicho sonido, por ejemplo, nuestro oído [7].

1.2.4 Velocidad del sonido

Se dice que la velocidad del sonido varía entre distintos medios, la velocidad del sonido en un medio depende de la rapidez con que la energía vibratoria se pueda transferir a través del medio [8].

Por esta razón es que la derivación de la velocidad del sonido en un entorno depende del medio y también de su estado, en términos generales la ecuación que se produce es la velocidad de una onda mecánica, un medio donde la raíz cuadrada de la fuerza restauradora, o de las propiedades elásticas, dividida entre la propiedad inercial [8].

1.2.5 Rango de audición humano

El oído humano tiene la capacidad de percibir una extensa escala de sonidos, dos de ellos se encuentran dentro del rango audible. Este rango está definido por dos ejes, la frecuencia y la amplitud como se puede visualizar en la figura 1 [6].



Figura 1. Rango audible de frecuencias [6].

El oído humano puede reconocer sonidos entre 20 y 20 000 Hz en el eje de la frecuencia y entre 0 y 140 dB en el eje de la amplitud aproximadamente. Cabe recalcar que la percepción del oído humano no es lineal a todas las frecuencias en la figura 2 se puede apreciar que el oído humano es más sensible a frecuencias medias, siendo más sordas a frecuencias bajas y altas [6]. Haciendo una comparación tenemos que un sonido de 60 dB a una baja frecuencia puede producir el mismo estímulo auditivo que un sonido de 0 dB a una frecuencia media [6].

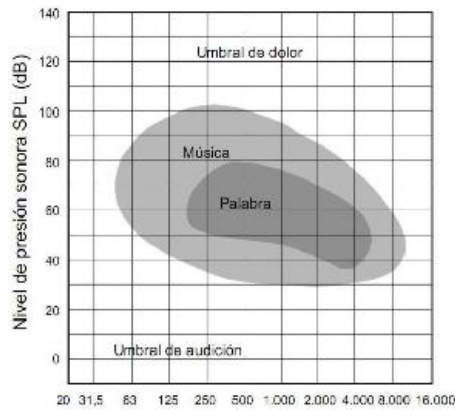


Figura 2. Niveles audibles en función de la frecuencia [6].

1.2.6 Unidades de medida del sonido

1.2.6.1 Decibel (dB)

Según el Acuerdo Ministerial 097 A el decibelio Es una unidad adimensional que se la utiliza para expresar el logaritmo de la razón entre la cantidad medida y una cantidad de referencia, en la norma de ruido ambiental y laboral se usa para describir niveles de presión sonora [9].

Podemos mencionar que de igual manera el decibelio se usa en el ámbito de las telecomunicaciones, la electricidad, la acústica, con respecto a la intensidad del sonido esta unidad de sonido se la emplea como magnitud de referencia el origen más bajo de percepción en el ser humano [9].

1.2.6.2 Decibelio con ponderación A (dBA)

Es un tipo de decibelio adaptado a la percepción del oído humano, donde lo que se hace es “Quitar” una parte de las bajas y altas frecuencias, con esto luego de la medición se filtra el sonido para conservar solamente las frecuencias que causan más daño al oído por lo que la exposición medida en dBA es un excelente indicador del riesgo auditivo [8].

1.2.6.3 Decibelio con ponderación C (dBC)

Es un tipo de decibelio diseñado para la evaluación de sonidos de alto nivel de presión acústica Esta ponderación, junto con la A, es obligatorio su montaje en los sonómetros de clase I, según la norma estándar de medición IEC 537. Se utiliza en:

- Aislamientos acústicos para dar una importancia mayor a las frecuencias bajas del espectro.

La ponderación C se usa para esto para darnos la presión sonora máxima para el ruido impulsivo al que el oído humano está expuesto a dB (C) (o LCpico) [10].

1.2.7 Ruido

El ruido es un conjunto de sonidos originados por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído y provoca una sensación desagradable, está integrado por dos componentes como el físico (sonido, magnitud física definida) y la sensación de molestia [11].

1.2.8 Tipos de ruido

Existen diferentes tipos de ruido, los cuales varían dependiendo de sus características.

Según el ACUERDO MINISTERIAL No. 097-A (TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE)

a) Ruido específico

Es el ruido que se genera y emite por una FFR (fuentes fijas de ruido) o una FMR (fuentes móviles de ruido) este se encarga de cuantificar y evaluar efectos del cumplimiento de los niveles máximos de emisión de ruido los mismos que se establecen en esta norma a través del LK_{eq} (Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente Corregido) [9].

b) Ruido residual

Se define como el ruido que existe en el ambiente donde se lleva a cabo la medición en ausencia del ruido específico en el momento de la medición [9].

c) Ruido total

Es la unión del ruido específico y el ruido residual.

d) Ruido impulsivo

Este tipo de ruido se caracteriza por breves incrementos importantes de la presión sonora por lo general la duración de un ruido impulsivo es menor al 1 s [9].

e) Ruido Continuo

Se presenta cuando el nivel de presión sonora es prácticamente constante durante el periodo de observación (a lo largo de la jornada de trabajo). Este tipo de ruido es típico de las industrias como la textil y un taller de herramientas automáticas, donde el nivel de ruido no varía significativamente durante todo el día de trabajo, como se muestra en el esquema de la figura 3 [6].

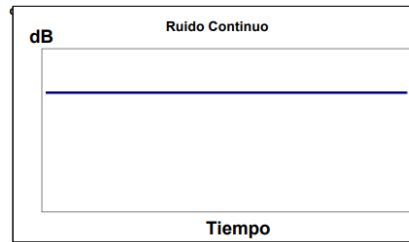


Figura 3. Ruido continuo [6].

f) Ruido Intermitente

Es cuando se producen caídas bruscas hasta el nivel ambiental de forma intermitente, volviéndose a alcanzar el nivel superior. El nivel superior debe mantenerse durante más de un segundo antes de producirse una nueva caída. Ruido característico de plantas de fundición, aserraderos, industria metal mecánica etc., en la figura 4 se muestra un esquema de ruido continuo intermitente [6].

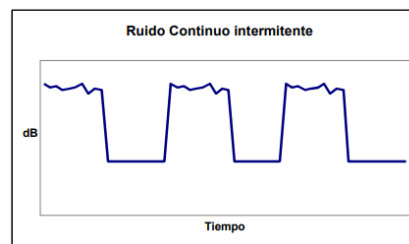


Figura 4. Ruido continuo intermitente [6].

g) Ruido de impacto

Se caracteriza por una elevación brusca de ruido en un tiempo inferior a 35 milisegundos y una duración total de menos de 500 milisegundos. Ejemplos explosiones, máquinas compactadoras, en la figura 5 se muestra un esquema de ruido de impacto [6].

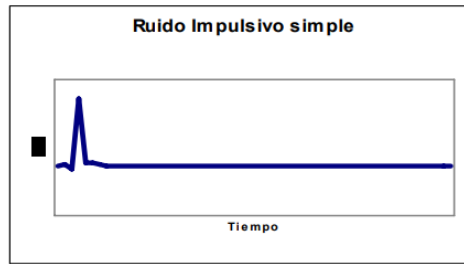


Figura 5. Ruido de Impacto [6].

1.2.9 Tipos de fuentes

Acorde al patrón de propagación las fuentes acústicas pueden dividirse de la siguiente manera:

a) Fuente puntual o esférica

Es una fuente puntual cuando una fuente de ruido es pequeña en comparación con la distancia del oyente, por ejemplo, las chimeneas.

Los niveles de presión sonora es el mismo en cualquier punto a una misma distancia de la fuente y puede disminuir debido a que la energía sonora se propaga de forma esférica, si la distancia es el doble esta disminuye en 6 dB [12].

b) Fuentes planas

Una fuente plana es aquella que emite energía en una sola dirección distribuyéndola de la misma manera de frentes de onda plana, un ejemplo claro es un tubo, ya que el sonido solo recorre por su interior [13].

c) Fuente lineal

Es una fuente lineal cuando el ruido se estrecha en una dirección y se alarga en la otra en comparación del oyente, esta puede ser una fuente individual o muchas fuentes puntuales operando juntamente.

El nivel de energía se propaga cilíndricamente, por ello el nivel de presión sonora será la misma en cualquier punto a la misma distancia lineal, si la distancia es el doble, esta disminuye 3 dB [12].

1.2.10 Fuentes de origen del ruido

Las principales fuentes de ruido son de: Fuente natural y fuente artificial.

Fuente natural

Se considera fuentes naturales de ruido a los sonidos causados por los cambios de leves y drásticos de la naturaleza, tales como: Truenos, terremotos, erupciones volcánicas, lluvia, etc.

Fuente artificial

Se consideran fuentes artificiales a los ruidos generados por el hombre al realizar las distintas actividades, esta se puede subclasificar de la siguiente manera:

- **Fuentes Fijas de Ruido (FFR)**

Se considera una fuente fija de ruido a una fuente emisora de ruido o a un conjunto de fuentes emisoras de ruido establecidos dentro de los límites físicos y legales de un predio ubicado en un lugar determinado [9].

Como ejemplo de estas fuentes de ruido tenemos: lavaderos de carros, metalmecánicas, fábricas, terminales de buses, discotecas, centros comerciales, etc.

- **Fuente Móvil de Ruido (FMR)**

Se considera fuentes móviles de ruido a cualquier vehículo motorizado capaz de emitir ruido al medio ambiente [9].

Esta fuente de ruido puede ser denominado ruido de tráfico, ya que hace referencia a cualquier vehículo que circula en un lugar determinado, por lo general esta fuente de ruido están en lugares de alta población.

1.2.11 Fuentes de ruido según el uso de suelo

Acorde al TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MEDIO AMBIENTE [9] el uso de suelo se define como el destino asignado con relación a las actividades a ser desarrolladas en ellos, y estos puede clasificarse de la siguiente manera.

- a) **Uso residencial (RI)**

El destino principal es la vivienda humana permanente. Son sitios de uso residencial donde las personas realizan actividades de descanso en paz y calidez [9].

b) Uso industrial (ID)

Son zonas que tienen como destino las actividades de elaboración, transformación, tratamiento y manipulación de materia prima e insumos para producir bienes o productos [9].

El suelo industrial se clasifica en:

- **Industrial 1 (ID1):** establecimientos industriales con impacto ambiental no significativo.
- **Industrial 2 (ID2):** establecimientos industriales con impacto ambiental bajo.
- **Industrial 3 (ID3):** establecimientos industriales con impacto ambiental medio.
- **Industrial 4 (ID4):** establecimientos industriales con impacto ambiental alto con riesgo ambiental.

c) Equipamiento de servicios sociales (EQ1)

Son establecimientos destinados a actividades que generen bienes y servicios en relación con la satisfacción de las necesidades de desarrollo social, tales como la educación, salud, deporte, religión, bien estar, recreación, etc. [9]

d) Equipamiento de servicio público (EQ2)

Destinados a actividades de carácter de gestión y al mantenimiento de territorios y sus estructuras, tales como: seguridad ciudadana, transporte, servicios financieros, etc. [9]

e) Uso comercial (CM)

Destinados a actividades donde se intercambian bienes y servicios en diferentes escalas, estas pueden ser: de servicio barrial y comercial, comercial y de servicio zonal, etc. [9]

f) Uso agrícola residencial (AR)

Son áreas y asentamientos humanos relacionados con actividades agrícolas, pecuarias, forestales, etc.

1.2.12 Instrumentación y equipos de medida acústica

1.2.12.1 Sonómetro

Se puede emplear únicamente la medición de L_{pA} (Nivel de presión sonora ponderado A) cuando el ruido es estable, para considerar el nivel de presión acústica continua la

lectura promedio será ponderada A (L_{Aeq}). Se debe ajustar a las prescripciones que establece la norma CEI-651 para los sonómetros “tipo I” o del “tipo II”.

Para empezar con la medición se lo efectúa en “SLOW” ponderación frecuencial A, se debe procurar apuntar con el micrófono a la zona donde se obtenga mayor frecuencia de lectura de datos [14].

1.2.12.2 Sonómetros integradores- promediadores

Se podrá realizar la medición del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}) de cualquier tipo de ruido, siempre y cuando estén regidas a las prescripciones de la norma CEI-804 para los instrumentos de medición “tipo I” o del “tipo II” [14].

1.2.13 Ponderación frecuencial

En las mediciones acústicas, la ponderación de frecuencia se usa para hacer que los datos de campo reales se parezcan a lo que realmente escucha el oído humano. Como resultado, se introdujeron filtros ponderados en frecuencia que se aplicaron al nivel de presión registrado por un sonómetro tipo I u II para corregir un espectro lineal cercano al número de respuesta de frecuencia del oído humano, lo que permite la cuantificación de la magnitud sonora [10].

Dependiendo del nivel de presión sonora medido surgen diferentes niveles de ponderación. En la tabla 1 se puede observar los diferentes tipos de ponderaciones acordes a los niveles de presión acústica [10].

Tabla 1. Niveles de ponderación frecuencial [10].

Ponderación	SPL (Nivel de presión sonora)
A	Bajo
B	Medio
C	Alto
D	Aplicaciones especiales

1.2.14 Medición del ruido

El ruido se mide con un instrumento electrónico denominado sonómetro, el sonómetro está conformado por un micrófono, una sección de procesamiento, y una unidad de

lectura, y “está diseñado para responder al sonido en aproximadamente la misma manera que lo hace el oído humano y dar mediciones objetivas y reproducibles del nivel de presión sonora” [15].

1.2.15 Medición de ruido ambiental

1.2.15.1 Ruido ambiental

El ruido ambiental es un sonido poco agradable no deseado, que modifican las condiciones normales de un cierto lugar. Este puede ser causado por actividades de las personas, medios de transporte, industrias, su evaluación determina el grado de molestia del sonido no deseado hacia las personas.

El ruido ambiental puede ser conocido con un sinnúmero de nombres tales como: ruido residencial, ruido urbano, ruido doméstico. Algunos ejemplos de principales fuentes de ruido son la construcción de obras públicas, bares, comercio, tránsito automotor, entre otros.

1.2.15.2 Efectos auditivos en las personas

Cuando una persona está expuesta a niveles de sonido menores a 70 dB durante 8 horas o más no hay ningún daño auditivo, si una persona está expuesta a niveles de sonido mayores a 85 dB durante 8 horas o más existe un daño auditivo potencialmente peligroso, como se puede visualizar en la tabla 2 [11].

Tabla 2. Límite permisible de audición [11].

Nivel sonoro	Duración de la exposición	Efecto
< 70 dB	Independiente	No hay daño auditivo
> 85 dB	Más de 8 horas diarias	Daños auditivos

El deterioro auditivo se define como un incremento en el umbral auditivo, el daño está relacionado con la presión sonora medida en dB y el tiempo de exposición.

1.2.15.3 Efectos del ruido sobre el sueño

Para que un individuo tenga un excelente funcionamiento fisiológico y mental deberá tener un sueño ininterrumpido. Uno de los factores principales de interrupción del sueño es el ruido ambiental. Esta interrupción provoca cambios de humor, disminución del rendimiento y diferentes efectos a largo plazo. [11]

a) Insomnio

El insomnio es causado por el ruido y puede ser un marcador de revueltas del sueño, aunque no existen estudios completos sobre sus efectos a largo plazo. Se recela que el insomnio crónico provoca un deterioro del comportamiento, tal como: bajo rendimiento, fatiga, dificultades en la memoria, problemas de concentración, problemas psicológicos como: ansiedad, depresión y médicos, tales como: obesidad, dolor, deterioro del sistema inmune [11].

b) Estrés

El estrés es un estado donde la homeostasis se encuentra amenazada, estas amenazas son llamadas estresores. El ruido es un estresor físico común que perturba la homeostasis de los sistemas cardiovascular es, endocrino e inmune haciendo frente a demandas ambientales.

Homeostasis: capacidad de mantener un estado interno estable [11].

c) Interferencia con la comunicación oral

El ruido ambiental interfiere con la capacidad de comprender una conversación normal entre personas y puede ser el principio de una serie de discapacidades personales, cambios en el comportamiento [11].

El ruido también puede obstruir con el proceso educativo, en escuelas situadas cerca de aeropuertos causando desde una simple molestia hasta riesgos severos e la seguridad [11].

1.2.15.4 Factores que intervienen en la medición del ruido ambiental

Al momento de realizar una medición de ruido, el principal inconveniente es el desconocimiento del tipo de ruido.

Por ello el Dr. Robert Barti Domingo presenta cuatro factores que te permiten describir el sonido y que recomienda se considere al momento de la medición del ruido ambiental [16].

Dichos factores son:

- Los niveles de presión sonora y frecuencias presentes en el ruido.
- La variación de las características del ruido con el tiempo.
- La existencia de componentes tonales y / o impulsivas.
- Impresiones subjetivas que produce sobre las personas.

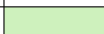










Para los dos últimos puntos es imprescindible utilizar tecnología adecuada y sobre todo técnicos con conocimientos suficientes. Esta permitirá obtener información valiosa para valorar el grado de contaminación en la zona realizada la medición [16].

1.2.15.5 Mapa de ruido

Un mapa de ruido entrega información gráfica del comportamiento acústico de un área geográfica (país, región, ciudad) en un instante fijo. A partir de un mapa de ruido se puede obtener valiosa información para la planificación urbana, así como medidas de apoyo en la medición y control de ruido ambiental [17].

Comúnmente los niveles de ruido son representados por medio de colores. Esta serie de colores se puede encontrar en la norma técnica ISO 1996-2 organiza una serie de colores dependiendo el nivel de presión sonora en tramos de 5 dB con un color distinto como se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3. Nivel de presión sonora con su color y trama.

Nivel Sonoro (dB)	Color	Nombre del Color	Trama
< 35		Verde claro	Puntos pequeños, densidad baja.
35-40		Verde	Puntos medianos, densidad media.
40-45		Verde oscuro	Puntos grandes, densidad alta.
45-50		Amarillo	Líneas verticales, densidad baja.
50-55		Ocre	Líneas verticales, densidad media.
55-60		Naranja	Líneas verticales, densidad alta.
60-65		Cinabrio	Entramado de cruces, densidad baja.
65-70		Carmín	Entramado de cruces, densidad media.
70-75		Rojo lila	Entramado de cruces, densidad alta.
75-80		Azul	Rayas verticales anchas.
80-85		Azul oscuro	Totalmente negro.

1.2.15.6 Niveles máximos permisibles en el Ecuador

En el Acuerdo Ministerial No. 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente con el fin de salvaguardar la salud y el bienestar de las personas y el medio ambiente establece los límites permisibles de emisión de ruido para fuentes fijas y fuentes móviles de ruido. Por lo tanto, las fuentes emisoras de ruido no podrán exceder los siguientes valores especificados en la tabla 4 [9].

Tabla 4. Niveles máximos de emisión de ruido para FFR [9].

NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE RUIDO PARA FFR		
Uso de suelo	Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido (Lkeq) (dB)	
	Periodo Diurno	Periodo Nocturno
	07:01 hasta 21:00 horas	21:01 hasta 07:00 horas
Residencial	55	45
Equipamiento de Servicios Sociales (EQ1)	55	45
Equipamiento de Servicios Públicos (EQ2)	60	50
Comercial (CM)	60	50
Agrícola Residencial (AR)	65	45
Industrial (ID1/ID2)	65	55
Industrial (ID3/ID4)	70	65
Uso Múltiple	Cuando exista uso de suelo múltiple o combinado se utilizará el Lkeq más bajo de cualquiera de los usos de suelo que componen la combinación Ejemplo: Uso de suelo Residencial ID2 Lkeq para este caso = Diurno 55 dB y Nocturno 45dB.	
Protección Ecológica (PE) Recursos Naturales (RN)	La determinación del Lkeq para este caso se los llevará a cabo de acuerdo con el procedimiento descrito en el Anexo 4 del A. M No. 097-A	

1.2.15.7 Líneas base ambiental

Describe aspectos físicos, biológicos, socioeconómicos y culturales del área de influencia del proyecto o actividad, con el fin de evaluar los efectos que pueden surgir o manifestarse sobre los elementos del entorno. El área de impacto del proyecto o actividad se definirá y justificará para cada componente del entorno afectado, teniendo en cuenta los posibles impactos ambientales asociados al mismo [18].

La línea de base ambiental de ruido proporciona información básica sobre el ruido en las cercanías del sitio del proyecto. El nivel de ruido de fondo se registra en función del nivel de presión sonora continuo equivalente (SPL) y los parámetros de SPL máximo y mínimo. Los procedimientos de medición se llevan a cabo de acuerdo con la normativa aplicable [18].

1.2.15.8 Evaluación de impacto ambiental (EIA)

El proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento de gestión científico-técnica que ayuda a identificar y predecir los impactos que una actividad, función o proyecto tendrá en el medio ambiente, identificándolos y poniéndolos para llegar a una decisión [19].

1.2.15.9 Acuerdo Ministerial No 0.97 Ministerio del Ambiente

Se basó en el Acuerdo ministerial No 0.97 Ministerio del Ambiente del registro oficial publicado el 30 de julio del 2015, Anexo 5 (NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE RUIDO Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES MÓVILES Y NIVELES). Esta norma técnica se encuentra amparado bajo la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, donde: “se detalla la metodología para la evaluación de ruido ambiental y se establece los límites permisibles de ruido ambiental para fuentes fijas, fuentes móviles y para vibraciones” [9].

1.2.15.10 NTE INEN-ISO 1996-1

“Acústica, descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: magnitudes básicas y métodos de evaluación (ISO 1996-1:2003, IDT)” Este documento fue publicado en enero del 2014 en la ciudad de Quito Ecuador, aprobado

por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y aplicado en todo el territorio de Ecuador. Esta norma ecuatoriana es una traducción correspondiente a ISO 1996-1:2003 [20].

1.2.15.11 NTE INEN-ISO 1996-2

“Acústica, descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: determinación de los niveles de ruido ambiental (ISO 1996-2:2007, IDT)”. Este documento fue publicado en enero de 2014 en la ciudad de Quito Ecuador, aprobado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y aplicado en todo el territorio de Ecuador. Esta norma ecuatoriana es una traducción correspondiente a ISO 1996-2:2007 [21].

1.2.16 Medición de ruido laboral

1.2.16.1 Ruido laboral

Se expresa que el ruido es uno de los contaminantes más comunes en el ámbito laboral, la gran mayoría de trabajadores están expuestos todos los días a niveles sonoros altos que se convierten en peligrosos para el oído, el causante de enfermedades que perjudican la salud de los trabajadores. En varios casos se puede controlar técnicamente el exceso de ruido siempre y cuando se apliquen técnicas de ingeniería acústica sobre las fuentes generadoras de ruido, algunos de los efectos que sufren las personas que están expuestas al ruido son [22]:

1.2.16.2 Efectos auditivos en las personas

Los daños que se producen por la exposición prolongada no son permanentes sobre los 10 días tienden a desaparecer, pero si dicha exposición al ruido sigue se provocaran lesiones definitivas, las cuales provocaran sordera que causara la pérdida total de la audición.

Los efectos psicopatológicos más comunes al estar expuesto al ruido pueden ser dilatación de las pupilas, aceleración del pulso, dolor de cabeza, menor irrigación sanguínea y menor actividad muscular esto se produce al estar expuesto a 60 dBA, pero si supera los 85 dBA son efectos más fuertes como aumento del colesterol y triglicéridos, disminución de la secreción gástrica, gastritis o colitis, problemas cardiovasculares, los ruidos fuertes o súbitos pueden causar un infarto, además de tener

efectos psicológicos como es el insomnio, dificultad para conciliar el sueño, fatiga, ansiedad, depresión, aislamiento social.

1.2.16.3 Efectos del ruido en el trabajo

- Pérdida de capacidad auditiva.
- Insomnio
- Estrés
- Interferencia con la comunicación oral

1.2.16.4 Niveles máximos permisibles en el ecuador

El límite permisible en el ecuador es de 85 decibeles escala A del sonómetro, esto se mide en el lugar en donde el trabajador mantiene habitualmente la cabeza, y para el ruido continuo es 8 horas de trabajo. No obstante, los puestos de trabajo demanden fundamentalmente actividades intelectuales o de igual manera una tarea de regulación o de vigilancia, concentración o cálculo, el mismo que no excederán 70 decibles de ruido [23].

En otro aspecto para el ruido continuo, estos niveles sonoros, están medidos en decibeles con filtro “A” lenta, el mismo que está relacionado con el tiempo de exposición acorde a la tabla de los niveles máximos permisibles en el Ecuador de acuerdo con el Decreto Ejecutivo 2393 el nivel sonoro a 85 dB (A-lento) tiene como máximo tiempo de exposición por jornada/hora de 8 [23].

1.2.16.5 Marco legal

El presente trabajo investigativo está basado en distintas normativas de acuerdo con la orientación del proyecto

1.2.16.6 Decreto ejecutivo 2393

DECRETO EJECUTIVO 2393 REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO

Art. 55. RUIDOS Y VIBRACIONES

La prevención de riesgos por ruidos y vibraciones se efectuará aplicando la metodología expresada en el apartado 4 del artículo 53.

1.2.16.7 NTE INEN-ISO 9612

“ACÚSTICA. DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO EN EL TRABAJO. MÉTODO DE INGENIERÍA” (ISO 9612:2009, IDT)

Esta norma ayuda a especificar un método de ingeniería que mide la exposición al ruido de los trabajadores en un entorno de trabajo el cual permite calcular el nivel de exposición al ruido provocado, esta norma trata de los niveles ponderados A, pero también se la puede aplicar para niveles ponderados C, en esta norma se presentan tres estrategias diferentes de medición.

Para el proceso se requiere de la observación y el análisis de las condiciones en las que se halla la exposición al ruido, con el fin de controlar la calidad de las mediciones, esta norma permite estimar la incertidumbre de los resultados.

Además, podemos detallar las tres formas de medición

- Medición basada en la tarea
- Medición basada en la función
- Medición de una tarea de trabajo completa.

1.2.17 Estrategias para la medición de ruido laboral

1.2.17.1 Medición para la estrategia basada en la tarea

a) División de la jornada nominal en tareas

Para determinar la jornada nominal se dividirá en tareas que las componen, se debe definir de acuerdo que $L_{p,A,eqT}$ sea de posibilidad repetible de igual manera que todas las contribuciones al ruido se incluyan [14].

b) Duración de las tareas

Para determinar las duraciones de las tareas T_m se lo puede hacer de diferentes maneras entre ellas entrevistas con los trabajadores y supervisores, recopilación de información con respecto al funcionamiento de ruido típicas en el cual encaja lo

referente a procesos de trabajo, máquinas, actividades en el lugar de trabajo y entorno, de igual forma con base en la observación y medición de las duraciones durante la medición del ruido [14].

c) Medición de $L_{p,A,eqT,m}$ de las tareas

Para la medición de la tarea debe ser lo suficientemente larga como para representar niveles de presión sonora continuo equivalente medio para la tarea real.

De ser el caso si la tarea que está siendo medida tiene una duración inferior a los 5 minutos, la duración de la medición debe ser igual a la duración de la tarea, y si la tarea supera los 5 minutos se debe tomar como mínimo al menos 5 minutos de medición, sin embargo, la duración de cada medición se puede reducir si el nivel es constante o repetitivo [14].

Si el ruido es cíclico debe cubrir al menos la duración de tres ciclos bien definidos. Si la duración de los tres ciclos es menor a 5 minutos se debe realizar cada medición de al menos 5 minutos, estas mediciones deben corresponder a la duración de un número de ciclos enteros [14].

Si el ruido es fluctuante de forma aleatoria durante una tarea, debe ser lo suficientemente larga la medicino para garantizar que la medición de $L_{p,A,eqT,m}$ sea representativo.

1.2.17.2 Medición para la estrategia basada en la función

El principio fundamental de esta metodología de investigaciones es establecer una estrategia de medición de muestras aleatorias de la exposición al ruido midiendo $L_{p,A,eqT}$ durante la realización de las funciones que se han identificado durante el trabajo analizado [14].

Plan de medición – Número, duración y distribución de las mediciones

Se debe establecer de acuerdo con los lineamientos de la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01, en la que a partir de las funciones identificadas se puede establecer grupos de exposición homogéneos al ruido, para los cuales se debe seguir los siguientes pasos:

- Determinar con la ayuda de la tabla 5 la duración mínima acumulativa para el número de trabajadores n_G , del grupo de exposición homogéneo.
- Escoger una duración de muestra y un número de muestras, deben ser de al menos cinco, de tal manera que las acumulativas sean superiores o iguales a la duración mínima que se ha determinado en el paso anterior.
- Se debe planificar la toma de muestras aleatorias entre los miembros del grupo a lo largo de la jornada laboral [14].

Tabla 5. Determinación mínima acumulativa n_G .

Número de trabajadores en el grupo de exposición homogénea n_G	Duración mínima acumulativa de medición a repartir entre grupos de exposición homogéneo
$n_G \leq 5$	$5h$
$5 < n_G \leq 15$	$5h + (n_G - 5) * 0,5 h$
$15 < n_G \leq 40$	$10h + (n_G - 15) * 0,25 h$
$n_G \leq 40$	$17h$ o fraccionar el grupo

1.2.17.3 Medición para la estrategia basada en la jornada completa

Para la medición de jornada completa se deberá cubrir con las contribuciones al ruido incluido los periodos tranquilos de la jornada laboral, en caso de que no se pueda hacer en la jornada completa se debe realizar durante la parte del día más larga posible y cubriendo todos los periodos significativos de ruido.

Es práctico realizar estas mediciones de largo plazo usando un exposímetro sonoro personal o instrumentos similares [14].

Mediciones para jornada completa de $L_{p,A,eqT}$

Se procede a realizar tres mediciones de una jornada completa, si las mediciones difieren en menos de 3 dB, se procederá a calcular el $L_{p,A,eqT}$ durante la jornada nominal, en el caso de que difieran en más de 3 dB se deberá efectuar al menos dos mediciones más adicionales, y se procederá a calcular el $L_{p,A,eqT}$ durante la jornada nominal de todas las mediciones [14].

1.2.18 Evaluación estadística ruido ambiental y laboral

Características del desempeño

Los laboratorios, dependiendo del tipo de ensayos, aplicando métodos cuantitativos podrán, al menos considerar las siguientes características de desempeño.

Intervalo de trabajo: es el intervalo en el cual el método proporciona resultados con una incertidumbre aceptable [24].

El intervalo de trabajo del método, dado en el alcance del método, se relaciona con la concentración de la muestra de laboratorio. El intervalo de trabajo del instrumento está definido en términos de la concentración de una muestra de ensayo procesada presentada al instrumento para su medición [24].

Si se desea evaluar el intervalo de trabajo, el laboratorio deberá considerar el procedimiento de calibración, así como la linealidad del método propuesto [24].

Linealidad: La capacidad del método analítico para lograr resultados directos o mediante una transformación matemática específica que sea proporcional a la concentración del componente en la muestra. La linealidad se determina utilizando materiales de referencia certificados, de modo que la calificación para las pruebas de verificación se distingue por la respuesta del dispositivo a distancia (metros).

Exactitud: proximidad entre el resultado de una medición y el valor verdadero del mesurando. Es la combinación de la precisión y la veracidad [25].

A) **Precisión:** se define como la convergencia de indicadores medidos o valores obtenidos a partir de mediciones repetidas de objetos iguales o similares, bajo condiciones específicas. Estos términos se conocen principalmente como términos de frecuencia o reproducibilidad y, por lo tanto, el término precisión a menudo se refiere simplemente a la repetibilidad, es decir, está relacionado con la dispersión de una medida repetida, a menudo expresada numéricamente con medidas de dispersión como desviación estándar, varianza, o coeficiente de variación bajo condiciones especificadas [26].

Repetibilidad: Según VIM (Vocabulario Internacional de Metrología), se define como una estrecha concordancia entre los resultados de mediciones

sucesivas de la misma medición bajo las mismas condiciones de medición [27], donde:

1. Estas condiciones se denominan condiciones de recurrencia.
2. Las condiciones de repetición incluyen: el mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición, utilizado en las mismas condiciones, en el mismo lugar y repetido en un corto período de tiempo [27].

La reproducibilidad: Se define como una concordancia cercana entre los resultados de mediciones sucesivas de la misma escala y bajo diferentes condiciones de medición [27], donde:

1. Una declaración de reproductibilidad válida requiere especificar la condición de cambio.
2. Las condiciones cambiantes pueden incluir: principios de medición, métodos de medición, monitores, instrumentos de medición, estándares de referencia, ubicación, condiciones de uso y clima [27].
3. Comprender que los resultados a menudo se corrigen.

Cave recalcar que tanto el estudio de repetibilidad y reproductibilidad se puede expresar de manera cuantitativa como una dispersión característica de resultados [27].

- B) **Veracidad:** cercanía entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia [28].

La veracidad no se puede expresar de forma numérica, ya que no es una medida de magnitud. Por lo general esta medida se expresa en términos de “sesgo”.

Sesgo de medida: Es la diferencia entre el valor medio de varias medidas realizadas sobre una pieza y el valor de referencia (o valor real) de la misma pieza. Es un estimador sistemático del error del sistema de medida [29].

En numeral 7.2.2.1 de la norma NTE-ISO/IEC 17025:2018 especifica los métodos por los cuales se puede validar un método.

Incertidumbre de medida: Parámetro que se asocia con el resultado de la medida, que define la dispersión de los valores que prudentemente pueden atribuirse al mensurado [30].

La incertidumbre de medición es el intervalo de tiempo asociado con un resultado de medición que es el rango de valores que razonablemente se pueden atribuir a una medida. Una estimación de la incertidumbre debe tener en cuenta todas las influencias reconocidas que afectan los resultados. La incertidumbre asociada con cada efecto se combina de acuerdo con procedimientos bien establecidos [24].

1.2.19 Análisis de varianza ANOVA

El análisis de varianza ANOVA es un conjunto de técnicas estadísticas muy útil y versátil. Es de gran utilidad cuando es necesario comparar dos grupos o más, cuando las mediciones se repiten más de dos veces, cuando los sujetos pueden diferir en una o más características que afectan sus resultados e impacto necesitan ajustarse, o cuando se desea analizar la eficacia de dos o más tratamientos diferentes al mismo tiempo [31]. El ANOVA de un solo factor es utilizado cuando existe una sola variable independiente y se desea comparar dos medidas de dos grupos independientes utilizando la distribución F [31].

Suponiendo que la hipótesis nula es verdadera, la metodología estadística utilizada en el análisis de varianza es la prueba de distribución F de Fisher- Snedecor con $k-1$ y $n-k$ grados de libertad, donde k es el número de muestras y n es el número global de observaciones del ensayo [32]. El contraste F es estimado como la razón de las dos varianzas de muestras, es decir varianza entre e intra grupos, si F calculada es superior a un valor crítico entonces la hipótesis nula es rechazada [33].

Si F calculada es menor que F crítico, entonces la hipótesis nula es aceptada. El nivel de significancia P es definida como la probabilidad a la derecha de una estadística respectiva [33].

1.2.20 Tipos de incertidumbre

a) Evaluación Tipo A de la incertidumbre típica

Para la evaluación se la refiere con fuentes de errores aleatorios los mismos que pueden ser estimados a partir de reparticiones estadísticas de una serie de resultados los que se caracterizan por desviaciones estándar.

La precisión de medida tiene que ser tomada como un componente de incertidumbre por lo que la evaluación tipo A se usó para tener una estimación de la incertidumbre asociada de medición de ruido en las diferentes estrategias.

b) Evaluación Tipo B de la incertidumbre típica

Para la medición de tipo B se evalúa la incertidumbre por medios distintos a un análisis estadístico de una serie de observaciones los mismos que son provenientes de fabricantes o por proveedores, un ejemplo son los certificados de materiales de referencia, certificados de calibración, catálogos, manuales, especificaciones técnicas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar y validar un método de ensayo de laboratorio de medición de ruido ambiental y laboral para el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar la base legal de los métodos de ensayos de ruido ambiental y laboral aplicables en la provincia de Tungurahua.

(Se recopiló información acerca de las normativas, decretos, acuerdos ministeriales vigentes para los ensayos de ruido ambiental y laboral en las diferentes Entidades, Ministerios de la provincia de Tungurahua, obteniendo información real para la generación del método de ensayo)

- Verificar los documentos necesarios para la acreditación de un laboratorio bajo la norma NTE-ISO-IEC 17025-2018.

(Se revisó datos técnicos esta normativa internacional desarrollada por ISO, donde establece requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración, esta es una normativa de calidad basada en la norma ISO 9000, la misma que

introduce una serie de requisitos técnicos para que un laboratorio sea acreditado. Con ello lograr ser técnicamente competentes y tener resultados eficaces)

- Generar un procedimiento para la determinación del ruido ambiental con sus respectivos registros y hojas de cálculo.

(Mediante la norma NTE INEN-ISO 1996-2-2014 [2], ACUERDO No. 097-A [3] se generará un método detallado de ensayo de ruido ambiental, con sus respectivas hojas de registro, indicando el registro de campo de la medición de nivel de presión sonora, reporte de análisis)

- Generar un procedimiento para la determinación del ruido laboral con sus respectivos registros y hojas de cálculo.

(Mediante la norma NTE INEN-ISO 9612-2014 [4], Decreto Ejecutivo 2393 [5] ART. 55 se generará un método detallado de ensayo de ruido ambiental, con sus respectivas hojas de registro, indicando el registro de campo de la medición de nivel de presión sonora, reporte de análisis)

- Validar los métodos desarrollados en los ensayos de ruido ambiental y laboral. (Se desarrollará una hoja de cálculo, recolectando datos estadísticos de mediciones (con la metodología de ensayo generada) tanto para el ruido ambiental y laboral, aplicando métodos estadísticos se verificará si los datos obtenidos sean confiables y precisos, con ello se asegurará que la metodología desarrollada sea real, corrigiendo posibles errores, manejándonos dentro de los rangos de error permisibles)

- Elaborar un informe de validación del método aplicado para la medición del ruido ambiental y laboral.

(Se elaborará un informe detallado paso a paso de la metodología de ensayo de laboratorio generada y validada, tanto para el ruido ambiental y laboral, además de realizar un análisis de los resultados obtenidos acorde a los límites de ruido máximos establecidos por las diferentes entidades vigentes de la provincia de Tungurahua).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Equipos: KIT sonómetro CR:171C

Tabla 6. Especificaciones KIT sonómetro CR:171C [34].

Micrófono	Instrumentos de clase 1: Condensador pre polarizado de campo libre de 1/2" MK:224 o MK:229 Instrumentos de clase 2: Condensador pre polarizado de campo libre de 1/2" MK:216
Preamplificador de micrófono	Preamplificador extraíble MV:200 para instrumentos de clase 1 y clase 2
Gama de medición	Una gama de medición única que cubre 120 dB sin ningún ajuste
Intervalo de funcionamiento lineal	De acuerdo con IEC 61672: Ponderado A: de 24 a 139 dB Ponderado C: de 30 a 139 dB Ponderado Z: de 45 a 139 dB
Ruido autogenerado	<19 dB(A) clase 1, <22 dB(A) clase 2
Ponderaciones de frecuencia	RMS: A, C, y Z medidos simultáneamente Pico: A, C, y Z medidos simultáneamente
Ponderaciones temporales	Rápido, lento e impulso medidos simultáneamente
Pantalla	Pantalla de alta resolución con sensor de luz ambiental y teclado iluminado
Muestra:	Parámetros de medición recuperados (versiones con registro de datos) Nivel de las pilas y conexión de alimentación externa Ponderaciones temporales y de frecuencia Tiempo de medición transcurrido
Resolución	Pantalla: 0,1 dB (opción predet.), 0,01 dB opcional seleccionable en NoiseTools Almacenamiento: 0,01 dB
Memoria	4 GB de serie (versiones con registro de datos) Opción de 32 GB de fábrica
Historial cronológico	10 ms, 62,5 ms, 100 ms, 125 ms, 250 ms, 1/2 s, 1 s, 2 s (seleccionable por el usuario)
Memoria para auditorías	En cada medición, los siguientes datos se almacenan en una memoria independiente no volátil para su uso con la función de memoria para auditorías:
Grabación de audio VoiceTag	Grabación seleccionable por el usuario de notas de voz antes de cada medición para su descarga en el software NoiseTools (versiones con registro de datos). 30 segundos por grabación con archivos de audio descargados con información de medición de ruido.
Tamaño	283 x 65 x 30 mm

Peso	300 g /10 oz
Pilas	4 de tipo AA alcalinas
Duración de las pilas	Normalmente 12 horas en el caso de pilas alcalinas. La duración de las pilas depende del tipo y la calidad de las pilas, y del brillo de la pantalla.
Alimentación externa	5 V a través de la toma USB de un PC 12 V a través de la toma Multi-IO
Trípode	Conexión Whitworth de 1/4"
Material de la carcasa	ABS-PC de alto impacto con reverso de tacto suave y teclado
Temperatura	De funcionamiento: De -10 °C a +50 °C Almacenamiento: De -20 °C a +60 °C
Humedad	Hasta un 95 % de HR sin condensación
Rendimiento electromagnético	IEC 61672-1:2013 Excepto cuando haya sido enmendada por EN 61000-6-1:2007 y EN 61000-63:2007
Opciones de idioma	Inglés, francés, alemán, español e italiano
Soporte de software	Software de descarga, configuración y análisis NoiseTools de serie. Compatible con Microsoft Windows 7, 8,8.1 y 10 (32 bits y 64 bits)



Figura 6. sonómetro CR:171C [34].

2.1.2 Anemómetro

Marca HoldPeak, mide la velocidad del viento en un rango de 0,3-45 m/s, temperatura de 0-45°C, luz de fondo de enfriamiento del viento.



Figura 7. Anemómetro HoldPeak.

2.1.3 Flexómetro

Marca STANLEY, longitud de 8 m, ancho de la cinta de 1,5 cm, exactitud de $\pm 1,8$ mm.



Figura 8. Flexómetro STANLEY.

2.1.4 Computador

16Gb en RAM, 1Tb disco duro

2.2 Métodos

2.2.1 Metodología de ruido ambiental

En la figura 9 se explica a breve rasgos la metodología que se elaboró y siguió para la medición de ruido ambiental basada en el Anexo 5 del Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), el cual determina:

- *Los niveles máximos de emisión de ruido emitido al medio ambiente por fuentes fijas de ruido (FFR) Ver tabla 4.*
- *Los niveles máximos de emisión de ruido emitido al medio ambiente por fuentes móviles de ruido (FMR).*
- *Los métodos y procedimientos destinados a la determinación del cumplimiento de los niveles máximos de emisión de ruido para FFR y FMR, dichos métodos son: Método de 15 segundos (Leq 15s), en este método se tomarán y reportarán un mínimo de 5 muestras, de 15 segundos cada una. Método de 5 segundos (Leq 5s), en este método se tomarán y reportarán un mínimo de 10 muestras, de 5 segundos cada una [9].*

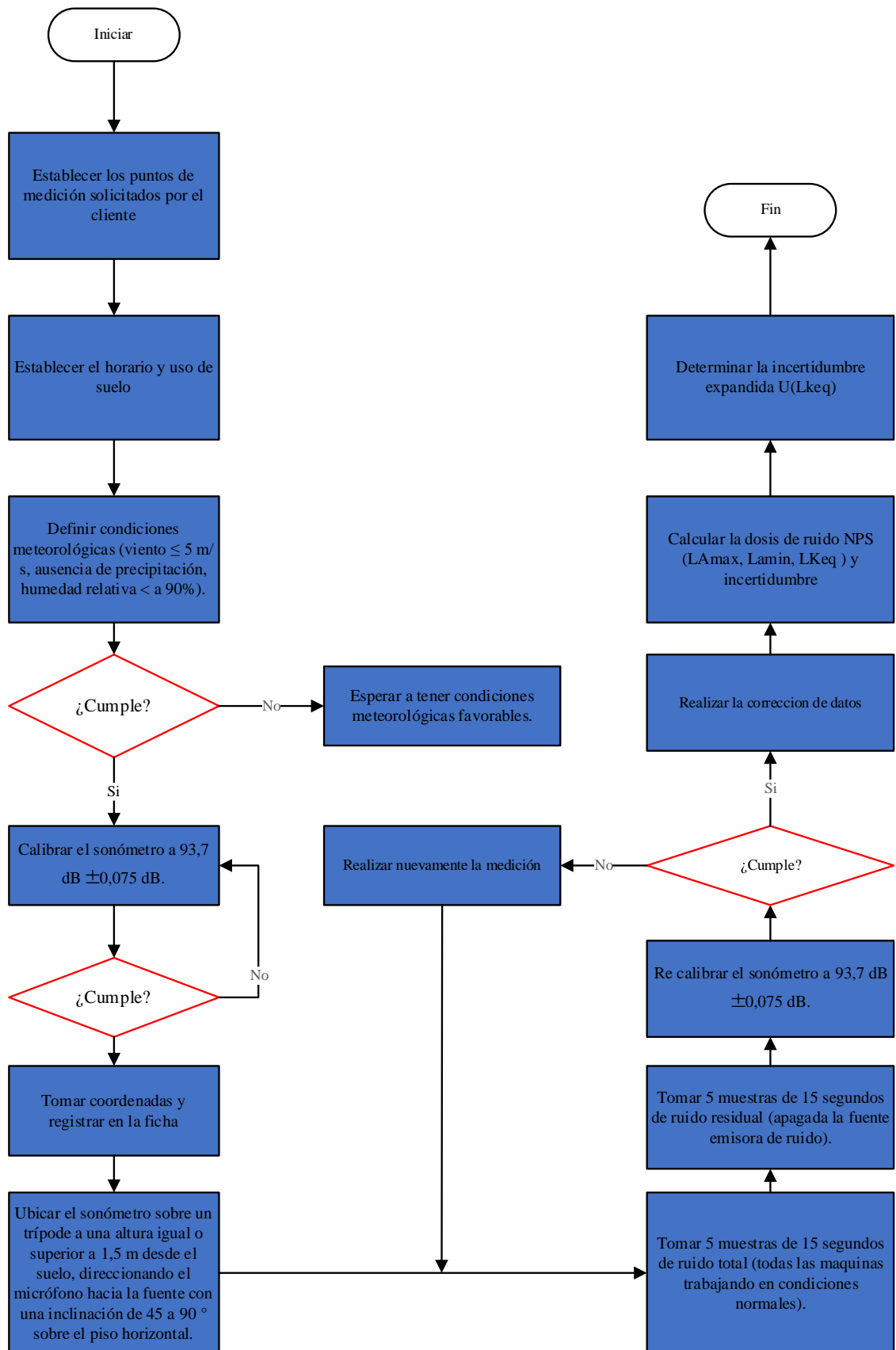


Figura 9. Diagrama de flujo de la metodología de medición de ruido ambiental.

El objetivo de la serie de Normas ISO 1996 es el de contribuir a la armonización internacional de métodos de descripción, medición y evaluación del ruido medioambiental de cualesquiera fuentes. Los métodos y procedimientos descritos en esta parte de la Norma ISO 1996 pretenden poder ser aplicados al ruido procedente de varias fuentes, individuales o en conjunto, que contribuyen a la exposición total en un lugar. En el estado tecnológico actual, la evaluación de la molestia producida por el ruido a largo plazo parece llevarse a cabo mejor adoptando el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A corregido, denominado “nivel de evaluación” [20].

La NTE INEN-ISO 1996-1:2014 define las cantidades básicas utilizadas para describir el ruido en un entorno comunitario y describe los procedimientos básicos de evaluación. También describe métodos para evaluar el ruido ambiental y brinda pautas para predecir la respuesta potencial a una perturbación de una comunidad expuesta a una exposición prolongada a varios tipos de ruido ambiental [20].

La NTE INEN-ISO 1996-2: 2014 Describe cómo se pueden determinar los niveles de presión sonora mediante la medición directa, extrapolando los resultados de la medición, mediante la aritmética o mediante cálculos únicamente. Además de proponer pautas para proponer la incertidumbre de la medida, esta es una incertidumbre de medición expandida con una probabilidad de cobertura del 95 % aproximadamente [21].

2.2.1.1 Selección del método de ruido ambiental

Se decidió seguir el método de 15 segundos (Leq 15s), ya que la fuente real emitió ruido continuo o intermitente mayor a 5 segundos, abarcando la mayor cantidad de variaciones de ruido, para realizar el cálculo de Nivel de Presión sonora Equivalente Corregido (LKeq) para el siguiente caso: Ruido específico con características impulsivas y con contenido energético alto en frecuencias bajas para la determinación de niveles de ruido ambiental en fuentes fijas así como se muestra en el flujo 04 del Anexo 5 “Niveles máximos de emisión de ruido y metodología de medición para fuentes fijas y fuentes móviles” del Acuerdo Ministerial No. 097-A.

Los dos métodos (Leq 15s, Leq 5s) que ayudan en la determinación de los niveles de ruido ambiental pueden ser utilizados dentro del país y la provincia de Tungurahua

acorde con el SAE y lo escrito en el TULSMA en este método se tomarán y reportarán como mínimo 5 muestras de 15 segundos de cada una [9].

Para realizar el cálculo de la incertidumbre se siguió los lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN-ISO 1996-2: 2014 “ACÚSTICA. DESCRIPCIÓN, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL. PARTE 2: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL”, el cual indica que su validación estará acorde a las especificaciones que muestra el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) especificado en la norma GA01 Criterios Generales para la Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración según NTE INEN-ISO/IEC 17025:2018.

Se aplicó la metodología de medición para el cálculo de $L_{K_{eq}}$, acorde a los principios y procedimientos para realizar las mediciones de ruido ambiental en campo, en este caso ruido específico con características impulsivas y con contenido energético alto en frecuencias bajas [9] detalladas en Anexo 5 del Acuerdo Ministerial No. 097-A, Flujo 04 del Anexo 3. Además, se tuvo en cuenta el manual del propietario del Sonómetro Optimus Green clase I CR:171C y las recomendaciones del técnico asesor del CADME para la evaluación del ruido ambiental. El Anexo 5 del Acuerdo Ministerial No. 097-A, del Ministerio del Ambiente, establece:

Determinación de los puntos de medición

La medición del ruido específico de una FFR se realizará:

- *En los puntos críticos de afectación (PCA) determinados en: la evaluación ambiental base de ruido y estudios ambientales, o aquellos determinados por la Autoridad ambiental competente.*
- *En sitios y momentos donde la FFR emita los NPS más altos en el perímetro exterior (fuera del lindero) [9].*

Número mínimo de puntos de medición

No se fija un número mínimo de puntos de medición, sin embargo, se recomienda que el número mínimo de puntos de medición se los determine a través de los siguientes criterios:

- *Tomando en cuenta los PCA cercanos a la FFR.*

PCA: Sitios o lugares, cercanos a una FFR, ocupados por receptores sensibles (humanos, fauna, etc.) que requieren de condiciones de tranquilidad y serenidad.

- *Tomando en cuenta los NPS más altos emitidos por la FFR en su perímetro exterior [9].*

Determinación de los sitios donde se debe llevar a cabo la medición

Sitios donde existen PCA cercanos: Estos sitios serán determinados a través de la evaluación ambiental base de ruido realizada por los sujetos de control dentro de la línea base o diagnóstico ambiental.

En caso de que no exista puntos de medición específicos, el sitio de medición se elegirá efectuando una evaluación previa por medio de un barrido rápido del nivel de ruido emitido (nivel sonoro instantáneo, SPL) con filtro de ponderación frecuencial A y respuesta temporal rápida (F), el cual se hace a 1.50 m de la fachada, por fuera del perímetro, límites físicos, linderos o líneas de fábrica de la FFR, los puntos de medición coinciden generalmente frente a puertas o ventanas.[9].

Criterios acerca del punto de medición

- *Se determinará el punto de medición considerando el sitio/punto donde el ruido específico es más alto, por fuera del perímetro, límites físicos, linderos o líneas de fábrica de la FFR.*
- *Se deberá tomar en consideración la topografía del medio y la ubicación del PCA.*
- *La medición debe ser realizada en el punto determinado y el evaluador deberá minimizar el efecto de superficies que reflejen el sonido. Por lo menos a una distancia de 3 metros de una superficie reflectante.*

Momentos en los que se debe llevar a cabo la medición

El personal de evaluación es responsable de efectuar la medición en el (los) momento(s) en los cuales la FFR emite los NPS más altos para cada punto de evaluación, en condiciones normales de funcionamiento.

Requisitos De Los Equipos De Medición

Las evaluaciones deben realizarse utilizando sonómetros integradores clase I o clase 2, de acuerdo con la Norma de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 61672-1:2002, o cualquiera que la sustituya.

Para verificar el correcto funcionamiento del sonómetro durante las mediciones, se utilizará un calibrador acústico que sea apropiado para el sonómetro. Se medirá el NPS del calibrador con el sonómetro antes y después de la medición, estos NPS deben constar en el informe de mediciones. El sonómetro podrá ser usado para la medición solo si el NPS medido con el calibrador tiene una desviación máxima acorde al criterio del Servicio de Acreditación Ecuatoriano o el que lo reemplace.

Los equipos de medición de ruido y sus componentes deberán estar en óptimas condiciones de funcionamiento y poseer los debidos certificados de calibración, emitidos por un laboratorio competente. Se recomienda que los certificados de calibración de los calibradores acústicos sean renovados cada año calendario y el de los sonómetros cada dos. No se permitirá la realización de mediciones con instrumentos cuyos certificados de calibración hayan caducado [9].

Condiciones ambientales durante la medición

- *Las mediciones no deben efectuarse en condiciones adversas que puedan afectar el proceso de medición, por ejemplo: presencia de lluvias, truenos, etc.*
- *El micrófono debe ser protegido con una pantalla protectora contra el viento durante las mediciones.*
- *Las mediciones deben llevarse a cabo, solamente, cuando la velocidad del viento sea igual o menor a 5 m/s [9].*

Ubicación del Sonómetro

Altura del sonómetro: *El sonómetro deberá estar colocado sobre un trípode y ubicado a una altura igual o superior a 1,5 m de altura desde el suelo, direccionando el micrófono hacia la fuente con una inclinación de 45 a 90 grados, sobre su plano horizontal. Durante la medición el operador debe estar alejado del equipo, al menos 1 metro [9].*

Distancia del sonómetro en el exterior (fuera del lindero): Se puede utilizar cualquiera de las posiciones descritas a continuación, siempre y cuando se notifique la posición empleada, y si se ha hecho o no alguna corrección a la condición de referencia.

a) posición de campo libre.

Esta es una posición donde no existen superficies reflectantes que no sean un suelo lo suficientemente próximo como para influir en el nivel de presión sonora. La distancia desde el micrófono a cualquier superficie reflectante, aparte del suelo, debe ser al menos dos veces la distancia desde el micrófono a la parte dominante de la fuente sonora.

b) Micrófono cerca de una superficie reflectante.

Se ubicará el micrófono entre 0,5 metros y 2 metros frente a la superficie reflectante. La fachada debe ser plana con una tolerancia de $\pm 0,3$ m, y el micrófono no se debe colocar en posiciones donde el campo sonoro esté influenciado por las reflexiones múltiples del sonido entre superficies que sobresalgan del edificio. Las ventanas se deben considerar como parte de la fachada. Deben estar cerradas durante la medición, pero se permite una pequeña abertura para el cable del micrófono.

Ruido residual en el momento de la medición

Durante la medición, el ruido residual debe ser tal que influya de manera mínima en el ruido total, es decir que la contribución del ruido específico de la FFR en el ruido total sea máxima.

Métodos para la toma de muestras de ruido y determinación de $L_{K_{eq}}$

Para la medición de ruido total y residual esta norma contempla el uso de dos métodos que pueden ser usados según el caso lo requiera. En este caso las mediciones de ruido ambiental se lo realizo con el método (Leq 15s) [9].

Consideraciones para el muestreo

Se utilizará el mismo método (Leq 15s) para medir el ruido total y el residual.

La serie de muestras reportadas se considerará válida, cuando la diferencia entre los valores extremos obtenidos en ella sea menor o igual a 4 dB.

Con la finalidad de validar los niveles de ruido durante las mediciones y facilitar el análisis y comparación de las muestras, se reportarán: el NPS mínimo (L_{Amin}) y el NPS máximo (L_{Amax}) medidos de cada muestra.

En el Anexo 4 se puede observar la metodología descrita en esta sección paso a paso para su mejor entendimiento.

2.2.1.2 Protocolo de medición y determinación del L_{Keq}

Se generó un procedimiento de medición de ruido ambiental basada en la metodología de los 15 segundos (L_{eq} 15s) para realizar las mediciones y determinar el cálculo de nivel de presión sonora continua equivalente corregido (L_{Keq}) en el caso de: Ruido específico con características impulsivas y con contenido energético alto en frecuencias bajas, la metodología de medición para este caso se encuentra detallada en el Anexo 3.4; Flujo 04 del Anexo 5 del Acuerdo Ministerial No. 097A como se evidencia en la figura 10.

El procedimiento se puede ver en el Anexo 4.

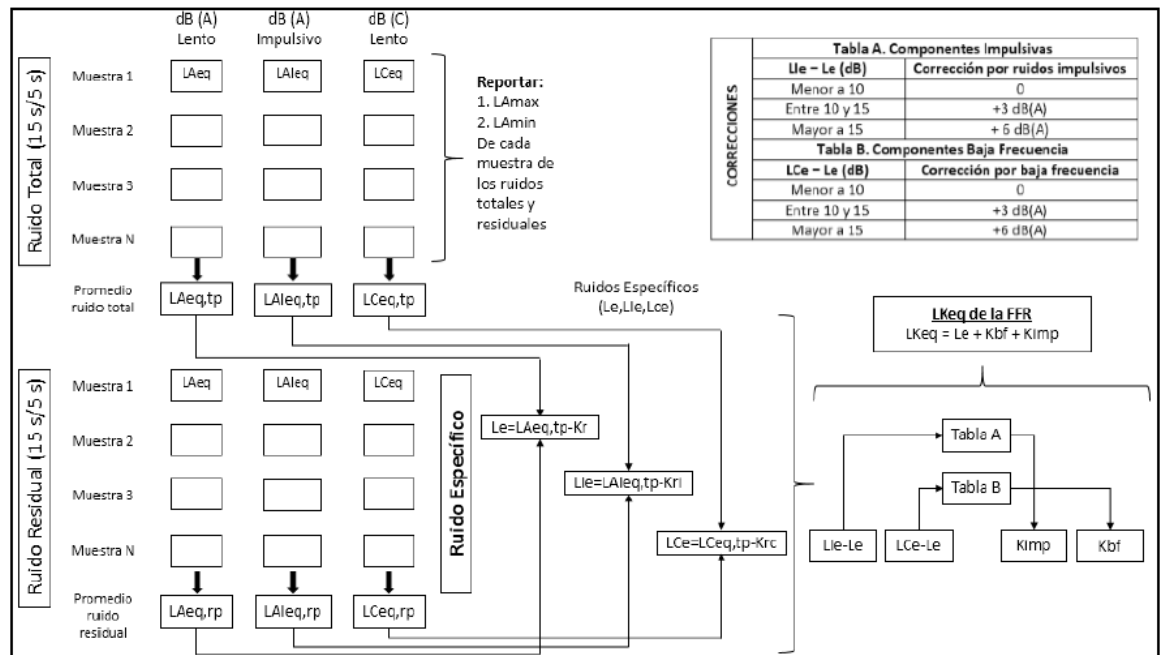


Figura 10. Flujo 04: Ruido específico con contenido de ruido impulsivo y con contenido energético alto en bajas frecuencias [9].

2.2.1.3 Selección de tipo de validación

Si un laboratorio acoge un procedimiento ya validado escrito en una norma y para una aplicación específica, no es de vital importancia validar el método, debido a que la validación ya ha sido realizada. Sin embargo *“El laboratorio debe confirmar que puede operar adecuadamente los métodos normalizados antes de introducir los ensayos o calibraciones”* acorde a la norma NTE INEN-ISO/ IEC 17025 [35] por lo que el laboratorio debe verificar el desempeño del método, también deberá verificar cuando exista cambios importantes, como por ejemplo el uso de nuevos equipos o el traslado de equipos. Debido a ello la validación que se realiza en el presente proyecto pertenece a la verificación del método de 15 segundos (Leq 15s) del Anexo 5 del Acuerdo Ministerial No. 097 y así poder demostrar que el método puede ser aplicado de manera correcta en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Las técnicas de validación más comunes utilizadas para verificar el método de 15 segundos (Leq 15s) son:

- Evaluación de la precisión de equipos
- Calibración de equipos
- Evaluación de la incertidumbre de medición
- Comparación entre laboratorios [35].

2.2.1.4 Objetivos de validación

La Society of Toxicological and Forensic Chemistry establece criterios para validar métodos analíticos: la medida de precisión debe ser $\leq 5\%$. Acorde a esto se han planteado criterios de los objetivos de validación que se indican en la tabla 7. Además, se tomó en cuenta la recomendación de los asesores técnicos del CADME, tutor académico de la tesis con la finalidad de evidenciar la vigencia y validez de los resultados del ensayo de identificación de ruido ambiental, cabe recalcar que la norma ecuatoriana no tiene valores específicos para estos criterios [36].

Tabla 7. Objetivos de validación ruido ambiental.

Parámetros de desempeño	Criterios de aceptación
Intervalo de trabajo	20 dB a 140 dB
Precisión	Coeficiente de variación de repetibilidad (CVr) $\leq 5\%$ Coeficiente de variación de precisión intermedia (CVI) $\leq 5\%$
Veracidad (Incertidumbre grupal)	Incertidumbre grupal $< 10\%$ de la medida mínima tomada por el sonómetro.
Incertidumbre	Incertidumbre dinámica calculada en cada medición.

2.2.1.5 Elaboración de hojas de cálculo y procedimientos

Al finalizar el desarrollo de un método el laboratorio debe documentar a detalle el procedimiento de medición, tal que el método sea usado de manera correcta. Dicho documento es el que se toma en cuenta para la validación formal del método [24].

Acorde a lo especificado anteriormente se elaboró un documento correspondiente a la metodología para la determinación de ruido ambiental, para ello se basó en la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025:2018, ver Anexo 4.

Para la metodología de ensayo de ruido ambiental se generaron y registraron los siguientes documentos y hojas de cálculo:

- Reporte de análisis de ruido ambiental en fuentes fijas.
- Registro de campo para la determinación de ruido ambiental y fuentes fijas.
- Registro de validación de análisis de varianza de ruido ambiental en fuentes fijas.
- Registro técnico de verificación del método de ensayo de ruido ambiental en fuentes fijas.

Los registros, hojas de cálculo de la metodología se realizaron en formato digital.

2.2.1.6 Procedimiento de validación

Para garantizar la metodología de ensayo de ruido ambiental utilizada por el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se realizaron actividades que determinan que el sonómetro y calibrador adquirido son los adecuados para realizar este tipo de mediciones.

- **Revisión del equipo de medición (general)**

Se utilizó y verificó que el kit del sonómetro CR: 171C contenga los siguientes equipos y accesorios.

- Sonómetro Optimus Green clase I CR: 171C
- Calibrador acústico clase I CR:515
- Protector de viento
- Cable de datos/ corriente USB
- Memoria USB

Se evidenció que estén en buen estado y sus respectivos certificados de calibración estén en vigencia, tanto del sonómetro y calibrador, ver Anexo 12.

2.2.1.7 Requisitos de los equipos de medición

Acorde a lo que especifica el Anexo 5 del Acuerdo ministerial 097- A la medición y evaluación de ruido ambiental se lo debe realizar con sonómetros de clase I o clase II en consideración a la Norma de la Comisión Electrónica Internacional IEC 61672-1: 2002 [9], dichas especificaciones se los puede evidenciar en el certificado de calibración, así mismo en las especificaciones de los equipos, el cual se contempla en el Anexo 12.

2.2.1.8 Calibración de los equipos de medición

Los equipos fueron calibrados externamente por un laboratorio certificado por la SAE, cumpliendo los requisitos establecidos para llevar a cabo de manera eficaz el proceso de medición, obteniendo los siguientes parámetros de calibración.

- a) El sonómetro integrador clase I modelo CR: 171C, mide el nivel de presión sonora se encuentra calibrado en un rango de 20 a 140 dB.

- b) El calibrador acústico modelo CR: 515, se calibró en los niveles de presión sonora de 93,7 dB con el cual se realizó la comprobación del sonómetro.

2.2.1.9 Comprobaciones

Como especifica el Anexo 5 del Acuerdo Ministerial 097-A con el calibrador se realizó la comprobación del sonómetro antes y después de cada medición.

1. Se colocó el micrófono del sonómetro en la cavidad del calibrador.
2. Se encendió el sonómetro
3. Se encendió el calibrador
4. Se comprobó que el nivel de presión sonora en 93.7 dB y estos niveles no exceda de un rango $\pm 0,075$ dB
5. Se apagó el sonómetro
6. Se apagó el calibrador
7. Se retiró el micrófono del sonómetro del calibrador.

Acorde al manual del propietario KIT sonómetro CR:171C se aceptó un criterio de aceptación en un rango de $\pm 0,075$ dB, debido a que no existe una normativa ecuatoriana que especifique un rango de desviación.

La comprobación con este KIT es rápida, ya que no toma más allá de 10 segundos para comprobar la calibración, así que no se tiene mucho problema en que el micrófono se pueda mover del calibrador.

2.2.1.10 Pruebas experimentales de ruido ambiental

Una vez desarrollado la metodología de medición se realizó las pruebas experimentales de medición de ruido ambiental como se detalla a continuación.

- **Fuente Fija de Ruido Real**

Para realizar las pruebas de validación se tomó datos reales en la empresa de carrocerías Patricio Cepeda Cia. Ltda, donde se evidenció que existía las diferentes fuentes fijas de ruido, tales como:

- Fuentes emisoras de ruido.
- Fuente con características impulsivas.

- Fuente con características de bajas frecuencias.

Las fuentes emisoras estaban distribuidas en toda la planta de producción, con una separación mínima de 1 m entre cada fuente, y sobre un terreno plano.

- **Determinación del lugar y puntos de medición**

El lugar donde se realizó el ensayo de ruido ambiental fue en la empresa de carrocerías Patricio Cepeda Cia. Ltda, localizada en la Avenida José Peralta y Humberto Fierro km 11-2 vía, Guaranda, Ambato 180103. A continuación, en la figura 11, se presenta la ubicación del sitio de medición, el mapa del lugar del ensayo que se obtuvo de la aplicación Google Maps.



Figura 11. Mapa del sitio de medición

Para poder determinar un lugar donde se realizará las mediciones de ruido, se debe considerar que el lugar no tenga mayor influencia de ruido residual ambiental, ya que en las pruebas previas factores como: ladridos de mascotas, trinar de las aves, tráfico vial, etc. Produjeron alteraciones en las mediciones.

Para que las pruebas experimentales sean válidas se realizaron las mediciones por tres días, logrando condiciones de precisión intermedia, especificados en los criterios generales de acreditación de laboratorios de ensayo y calibración, el cual indica que para validar un método se debe de considerar como mínimo tres puntos o niveles para que los datos obtenidos sean estadísticamente válidos [35].

En este caso se consideró cuatro puntos de medición estratégicos, en el entorno de la empresa y distintas plantas de producción, el cual se indica en la tabla 8 y la figura 12.

Tabla 8. *Determinación de puntos de medición.*

Número de punto	Coordenadas	Referencia
1	763116E-9858398N	Galpón de Estructuras
2	763105E-9858421N	Galpón de Estructuras
3	763043E-9858396N	Galpón de Pinturas y terminados
4	763100E-9858344N	Galpón de Estructuras y bodega



Figura 12. *Ubicación de los puntos de medición.*

2.2.1.11 Determinación del LKeq

Para proceder a realizar la prueba de precisión, se empleó la metodología PROC-RA-01(ver Anexo 4) con la fuente fija real.

En cada punto se tomó medidas tanto de ruido total como residual emitida por la fuente fija real, el ruido total se midió cuando la fuente fija real estaba encendida, es decir en horario normal de trabajo diurno (08:00-13:00), mientras que para la medición de ruido residual se apagó la fuente fija real, para ello se optó por realizar el ensayo en horario de almuerzo (13:00-14:00)

Con la finalidad de tener condiciones de repetibilidad, se tomaron cinco muestras por cada punto, aplicando la misma metodología, los mismos equipos, al igual que no se cambió de lugar ni de técnico.

Como indica la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025:2018 el laboratorio debe de tener un plan y un método de muestreo para el siguiente subsiguiente ensayo. Acorde a esto se procedió a realizar la toma de muestras [35].

Una vez determinado la fuente de ruido real y especificado los cuatro puntos donde se desarrollará la toma de mediciones, el técnico del laboratorio encargado ubicó los equipos en el primer punto y realizó cinco mediciones de los niveles de presión sonora a una determinada hora y condición meteorológica. El técnico realizó el mismo procedimiento al día siguiente, en el mismo sitio, pero a una hora diferente, generando una condición de precisión intermedia. Un día después se realizó el mismo procedimiento, en el mismo sitio, a una hora diferente, tomando las cinco mediciones correspondientes.

Se realizó el mismo procedimiento de medición para los cuatro puntos en los tres días especificados, obteniendo las cinco mediciones de cinco muestras cada una. Una vez realizada la toma de datos, se corrigió los datos con la ecuación 1 para luego obtener el LKeq.

Corrección de datos (Errores de medida)

Una magnitud X , cuyo valor se desea conocer, tiene un valor exacto X_{exacto} representado por un número real puro más la unidad correspondiente. Al medir dicha magnitud con el instrumento adecuado se desea el valor X_{medido} debido a esto los resultados no son idénticos, existe un error de medida [37].

Error absoluto

Se suele definir como la diferencia entre el valor considerado como óptimo y el valor verdadero (que no se conoce) de la cantidad que se mide.

$$Error = X_{medido} - X_{exacto}$$

$$X_{exacto} = X_{medido} - Error$$

$$LSp(A)_{exacto} = LSp(A)_{medido} - Error \quad \text{Eq. (1)}$$

La definición indicada ha de hacerse más rigurosa. Por consiguiente, se define el error absoluto de una medida, como el valor máximo de las estimaciones de las incertidumbres tanto de los errores sistemáticos como de los errores aleatorios, indicando que es “razonablemente seguro” de que el valor verdadero de la medida x está en el intervalo de confianza [37].

En lo posible, se especifica el porcentaje de confianza que tiene dicha aseveración. El error absoluto de una cantidad, en sí mismo, no indica la calidad de la medida. El error absoluto se define siempre positivo, tiene la misma dimensión y unidad que la magnitud medida, y por tener dimensión no resulta muy útil para cuantificar la incertidumbre de las medidas [37].

Para obtener el valor de LK_{eq} de cada una de las muestras tomadas, se realizó los cálculos con los valores obtenidos en el registro de campo, previamente corregidos, determinando el nivel de ruido ambiental en fuentes fijas, para ello se siguió la metodología del flujo 04 del Anexo 5 del Acuerdo Ministerial No. 097-A, el cual describiremos a continuación [9].

Promedio de mediciones de ruido total y ruido residual

$$Leq, p = 10 \log \left[\frac{1}{n_i} (10^{0,1Leq_1} + 10^{0,1Leq_2} + 10^{0,1Leq_i}) \right] \quad \text{Eq. (2)}$$

Para ruido total

$$LA_{eq, tp} = 10 \log \left[\frac{1}{n_i} (10^{0,1LA_{eq_1}} + 10^{0,1LA_{eq_2}} + 10^{0,1LA_{eq_i}}) \right] \quad \text{Eq. (3)}$$

$$LA_{leq, tp} = 10 \log \left[\frac{1}{n_i} (10^{0,1LA_{leq_1}} + 10^{0,1LA_{leq_2}} + 10^{0,1LA_{leq_i}}) \right] \quad \text{Eq. (4)}$$

$$LC_{eq, tp} = 10 \log \left[\frac{1}{n_i} (10^{0,1LC_{eq_1}} + 10^{0,1LC_{eq_2}} + 10^{0,1LC_{eq_i}}) \right] \quad \text{Eq. (5)}$$

Donde:

LAeq: Nivel de Presión Sonora Equivalente en ponderación A, temporal lento.

LAIeq: Nivel de Presión Sonora Equivalente en ponderación A, temporal Impulsivo.

LCeq: Nivel de Presión Sonora Equivalente en ponderación C, temporal Lento.

LAeq,tp: Promedio de muestras del nivel de Presión Sonora Equivalente con ponderación A del ruido total.

LAIeq,tp: Promedio de muestras del nivel de Presión Sonora Equivalente con ponderación A y con ponderación temporal normalizada IMPULSIVO del ruido total.

LCeq,tp: Promedio de muestras del nivel de Presión Sonora Equivalente con ponderación C del ruido total.

Para ruido residual

$$LAeq, rp = 10 \log \left[\frac{1}{n_i} (10^{0,1LAeq_1} + 10^{0,1LAeq_2} + 10^{0,1LAeq_i}) \right] \quad \text{Eq. (6)}$$

$$LAIeq, rp = 10 \log \left[\frac{1}{n_i} (10^{0,1LAIeq_1} + 10^{0,1LAIeq_2} + 10^{0,1LAIeq_i}) \right] \quad \text{Eq. (7)}$$

$$LCeq, rp = 10 \log \left[\frac{1}{n_i} (10^{0,1LCeq_1} + 10^{0,1LCeq_2} + 10^{0,1LCeq_i}) \right] \quad \text{Eq. (8)}$$

Donde:

LAeq,rp: Promedio de muestras del nivel de Presión Sonora Equivalente con ponderación A del ruido residual.

LAIeq,rp: Promedio de muestras del nivel de Presión Sonora Equivalente con ponderación A y con ponderación temporal normalizada IMPULSIVO del ruido residual.

LCeq,rp: Promedio de muestras del nivel de Presión Sonora Equivalente con ponderación C del ruido residual.

Variación de ruido

$$\Delta L = \text{Ruido total promedio} - \text{Ruido residual promedio} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$\Delta Lr = LAeq, tp - LAeq, rp \quad \text{Eq. (10)}$$

$$\Delta Li = LAIeq, tp - LAIeq, rp \quad \text{Eq. (11)}$$

$$\Delta Lc = LCeq, tp - LCeq, rp \quad \text{Eq. (12)}$$

Donde:

ΔLr : Variación por ruido residual, se utiliza para calcular Kr .

ΔLi : Variación por ruido residual con características impulsivas, se utiliza para calcular Kri .

ΔLc : Variación por ruido residual con características en bajas frecuencias, se utiliza para calcular Krc .

Para todos los casos mostrados la variación de ruido (ΔL) se considera válido solo si este valor es mayor o igual a 3 dB si la diferencia de variación por ruido residual ΔL es menor a 3 dB se deberá seguir los lineamientos del literal 5.3.4.1 del Anexo 5 del Acuerdo Ministerial No. 097-A [9], que especifica:

- *Cuando la diferencia aritmética entre el ruido total y el ruido residual del caso ΔLr sea menor a tres decibeles, será necesario efectuar la medición bajo condiciones de menor ruido residual. Si bajo condiciones de menor ruido residual posible, persiste la diferencia, se considerará que no existen las condiciones para llevar a cabo mediciones que permitan cuantificar el LK_{eq} de la fuente.*

En estos casos, la Autoridad ambiental competente previo análisis técnico deberá determinar si existe incumplimiento por parte de la FFR.

- *Si el ruido específico de la FFR es más bajo que el ruido residual existente en el ambiente en horas normales de funcionamiento, el criterio que se debería aplicar es que la FFR debe cumplir con los niveles máximos de emisión de ruido según el uso de suelo.*
- *Si el ruido de la FFR no es audible en el perímetro exterior de la FFR, aun en condiciones de ruido residual bajo, la Autoridad ambiental competente en*

estos casos, previo análisis técnico, deberá determinar si existe incumplimiento por parte de la FFR.

- Cuando la FFR no pueda apagar las FER sujetas a evaluación imposibilitando medir el ruido residual, y si el ruido de estas es audible, no se aplicará corrección por ruido residual, es decir $K=0$. En este caso el ruido total promedio será el reportado como LK_{eq} .
- Cuando el ruido específico ($LA_{eq,tp}$) es más alto que el ruido residual ($LA_{eq,rp}$), la corrección K_r da una reducción máxima de tres decibeles del ruido total. En estos casos la FFR puede aceptar que el ruido total es el ruido específico y de esa manera evitar realizar mediciones de ruido residual.

Corrección por ruido residual (K)

$$K = -10 \log (1 - 10^{-0,1\Delta L}) \quad \text{Eq. (13)}$$

Correcciones de ruido residual:

$$K_r = -10 \log (1 - 10^{-0,1\Delta L_r}) \quad \text{Eq. (14)}$$

$$K_{ri} = -10 \log (1 - 10^{-0,1\Delta L_i}) \quad \text{Eq. (15)}$$

$$K_{rc} = -10 \log (1 - 10^{-0,1\Delta L_c}) \quad \text{Eq. (16)}$$

Donde:

K_r : Corrección por ruido residual para mediciones de LA_{eq} .

K_{ri} : Corrección por ruido residual para mediciones de LA_{Ieq} .

K_{rc} : Corrección por ruido residual para mediciones de LC_{eq} .

NO se debe calcular K_{ri} y K_{rc} si ΔL_c y ΔL_i respectivamente es menor a 3 dB [9].

Ruido específico (L_e , L_i , L_{Ce})

$$\text{Ruido específico} = \text{Ruido total} - K \quad \text{Eq. (17)}$$

Tipos de ruido específicos:

$$Le = LAeq, tp - Kr \quad \text{Eq. (18)}$$

$$Lle = LAeq, tp - Kri \quad \text{Eq. (19)}$$

$$LCe = LCeq, tp - Kr \quad \text{Eq. (20)}$$

Donde:

Le: Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente de ruido específico con ponderación A (medido).

Lle: Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente de ruido específico con ponderación temporal IMPULSIVO (medido).

LCe: Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente de ruido específico con ponderación C (medido).

Correcciones de ruido con características impulsivas (Kimp) y contenido energético alto en bajas frecuencias (Kbf)

$$Lle - Le \rightarrow Kimp \quad \text{Eq. (21)}$$

$$LCe - Le \rightarrow Kbf \quad \text{Eq. (22)}$$

Donde:

Kimp: Corrección en dB de ruido específico (Le) con características impulsivas.

Kbf: Corrección en dB de ruido específico (Le) con contenido energético alto en frecuencias bajas.

Las correcciones de ruido específico con características impulsivas y con contenido energético en frecuencias bajas son valores ya establecidos, el cual se lo puede contemplar en la tabla A y B respectivamente del Flujo 04 del Anexo 5 del Acuerdo Ministerial No. 097-A, los cuales se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Correcciones por componentes impulsivas y bajas frecuencias [9].

Componentes Baja Frecuencia	
LCe- Le (dB)	Corrección por baja frecuencia
Menor a 10	0
Entre 10 y 15	+ 3 dB (A)
Mayor a 15	+ 6 dB (A)
Componentes Impulsivas	
Lie-Le(dB)	Corrección por ruidos impulsivos
Menor a 10	0
Entre 10 y 15	+ 3 dB (A)
Mayor a 15	+ 6 dB (A)

Para proceder al cálculo de las correcciones de K_{imp} y K_{bf} es necesario conocer el Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente de ruido específico medido con ponderación A (L_e), si no es posible establecer él L_e a través de los valores de L_{ie} y L_{Ce} no se toman en cuenta [9].

Nivel de presión sonora continua equivalente corregido (L_{Keq})

$$L_{Keq} = L_e + K_{bf} + K_{imp} \tag{Eq. (23)}$$

Si no se pudiese apagar la fuente fija de ruido se asume que el valor de L_{Keq} es igual al de $L_{Aeq,tp}$, aludiendo que no hay correcciones de ruido residual ($K=0$) [9].

2.2.1.12 Evaluación estadística ruido ambiental

En la figura 13 se explica los métodos estadísticos que se utilizaron para comprobar que los datos obtenidos durante los 3 días de medición sean estadísticamente válidos, tales como la precisión y veracidad.

a) Precisión

Como se desea tener condiciones de presión intermedia y repetibilidad del nivel de presión sonora se realizó un análisis de varianza ANOVA de un factor de los datos obtenidos.

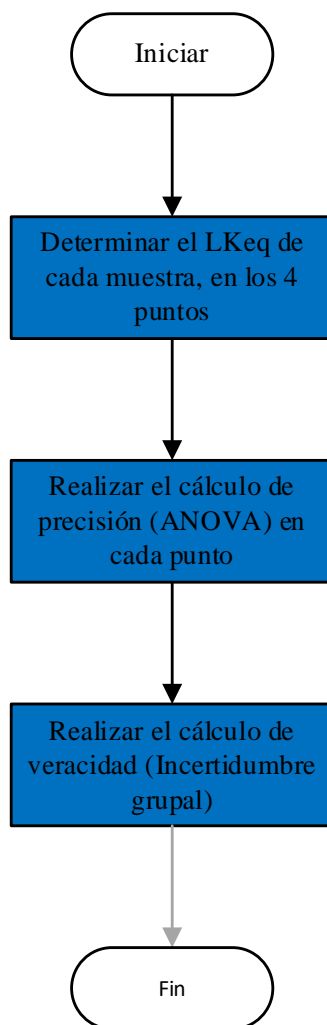


Figura 13. Diagrama de flujo del procedimiento evaluación estadística.

La tabla 10 muestra un estudio experimental con un total de N resultados, repartidos en diferentes grupos (p) y (n) observaciones.

Tabla 10. Modelo de estudio experimental [33].

Observaciones	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	...	Muestra p
1	$x_{1,1}$	$x_{2,1}$	$x_{3,1}$...	$x_{p,1}$
2	$x_{1,2}$	$x_{2,2}$	$x_{3,2}$...	$x_{p,2}$
3	$x_{1,3}$	$x_{2,3}$	$x_{3,3}$...	$x_{p,3}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N	$x_{1,n}$	$x_{2,n}$	$x_{3,n}$...	$x_{p,n}$
Media (\bar{x}_i)	\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_3	...	\bar{x}_p
Media global	\bar{x}				

En la tabla 11 se puede observar la estructura de una tabla ANOVA de un factor, donde se muestra la relación que existe entre las fuentes de variación, suma de los cuadrados

y grados de libertad, se exterioriza que es para un nivel de confianza del 95% y nivel de significancia del 5% (P=0.05). Los valores descritos se obtuvieron del Apéndice 2 de las tablas estadísticas, tabla A.3 (Valores críticos de F para P= 0.05). Estas tablas se lo pueden encontrar en el Anexo 2 [33].

Tabla 11. ANOVA

Fuente de Variación	Suma de cuadrados (SS)	Grados de libertad (v)	Cuadrado medio (MS)	F	F crítico (P=0.05)
Entre grupos	$SS_e = n \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$v_e = p - 1$	$MS_e = \frac{SS_e}{v_e}$	$\frac{MS}{MS}$	
Intra grupos	$SS_i = \sum_i \sum_j (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$v_i = N - p$	$MS_i = \frac{SS_i}{v_i}$		
Total	$SS_t = SS_e + SS_i$	$v_t = N - 1$			

Al momento de realizar la evaluación de la precisión se propuso como hipótesis nula que la variación existente en los resultados recopilados en los distintos días no sea superior a la variación de los resultados recopilados en un día. Después de realizar la evaluación de la hipótesis nula se realizó el cálculo de los diferentes tipos de desviaciones, detalladas a continuación:

- **Desviación estándar de repetibilidad (Sr)**

$$S_r = \sqrt{MS_i} \quad \text{Eq. (24)}$$

Donde:

MS_i : Cuadrado medio intra grupos.

- **Desviación estándar entre grupos (Se)**

$$S_e = \sqrt{\frac{MS_e - MS_i}{n}} \quad \text{Eq. (25)}$$

Donde:

MS_e : Cuadrado medio entre grupos.

MS_i : Cuadrado medio intra grupos.

n : Número de mediciones.

- **Desviación estándar de precisión intermedia (SI)**

$$S_I = \sqrt{S_r^2 + S_e^2} \quad \text{Eq. (26)}$$

Donde:

S_r : Desviación estándar de repetibilidad.

S_e : Desviación estándar entre grupos.

- **Coefficiente de variación de repetibilidad (CVr)**

$$CV_r = \frac{S_r}{\bar{x}} * 100 \quad \text{Eq. (27)}$$

Donde:

\bar{x} : Media global.

- **Coefficiente de variación de precisión intermedia (CVt)**

$$CV_t = \frac{S_I}{\bar{x}} * 100 \quad \text{Eq. (28)}$$

Donde:

S_I : Desviación estándar de precisión intermedia

b) Veracidad (Incertidumbre grupal)

De acuerdo con el literal f del numeral 7.2.2.1 de la norma NTE-ISO-IEC 17025-2018. Se realizó la evaluación de la incertidumbre de medición de los resultados basada en la comprensión de los principios teóricos de los métodos y de la experiencia práctica del desempeño del método de muestreo o ensayo.

Para obtener una medida de veracidad se realizó el cálculo de la incertidumbre de los datos recopilados durante los tres días de medición los cuales se agruparon por punto, determinando su incertidumbre, realizando una comparación entre ellos y verificando que se encuentre dentro de los parámetros establecidos. Se determinó la incertidumbre acorde al literal 2.2.1.13 y la norma NTE INEN-ISO 1996-2.

2.2.1.13 Evaluación de la incertidumbre de la medida

Para evaluar la incertidumbre de los datos obtenidos en la medición del nivel de presión sonora en fuentes fijas, se optó por acatar la metodología de la norma NTE INEN-ISO 1996-2, la cual se basa en un procedimiento determinado por la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM). Este procedimiento se encuentra plasmado en la tabla 1 (Resumen de la incertidumbre de medición LAeq). Los valores de incertidumbre debido a la instrumentación se los obtuvo del artículo Uncertainties in Environmental Noise Assessments – ISO 1996, Effects of Instrument Class and Residual Sound [38].

Así mismo para obtener los valores de incertidumbre de ruido residual, se tomó en consideración el artículo Incertidumbre de medida en ruido ambiental según la ISO 1996-2:2007. Aplicación a un estudio acústico [39].

2.2.1.14 Especificaciones de medición del ruido ambiental

Como se lo menciono antes el Nivel de Presión Sonora continua equivalente en fuentes fijas de ruido se lo midió utilizando la metodología descrita en Anexo 5 del Acuerdo Ministerial No. 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), se debe utilizar esta metodología siempre y cuando no exista presencia de lluvia y la velocidad del viento sea menor o igual a 5 m/s. el modelo matemático seguido para la determinación de LK_{eq} se describe a continuación

$$LK_{eq} = (Ruido\ total - K_{ruido\ residual}) + K_{imp} + K_{bf} \quad Eq. (29)$$

$$LK_{eq} = 10 \log \left(10^{\frac{Leq,tp}{10}} \right) + 10 \log(1 - 10^{-0,1\Delta L}) + K_{imp} + K_b \quad Eq. (30)$$

$$LK_{eq} = 10 \log \left(10^{\frac{Leq,tp}{10}} \right) + 10 \log(1 - 10^{-0,1(Leq,tp - Leq,ep)}) + K_{imp} + K_{bf} \quad Eq. (31)$$

$$LK_{eq} = 10 \log \left(10^{\frac{Leq,tp}{10}} - 10^{\frac{Leq,rp}{10}} \right) + K_{imp} + K_{bf} \quad Eq. (32)$$

Donde:

LK_{eq}: Nivel de Presión Sonora continua equivalente corregido.

Leq,tp: Nivel de Presión Sonora equivalente promedio de Ruido Total.

Leq,rp: Nivel de Presión Sonora continua equivalente promedio de Ruido Residual.

Kimp y Kbf: Constantes de corrección.

2.2.1.15 Determinación de las fuentes de incertidumbre

Las características de rendimiento, como la precisión y el sesgo, son incertidumbres relacionadas, estas incertidumbres suelen ser los principales factores que contribuyen a las estimaciones de incertidumbre [24].

Una vez que se han definido una escala de medición, principios, métodos y procedimientos, se identifican las posibles fuentes de incertidumbre de medición [40].

Estas fuentes provienen de los diversos factores que intervienen en la medición, por ejemplo:

- Resultados de calibración del instrumento utilizado.
- Variación de las condiciones del medio ambiente.
- Reproducibilidad de los datos, por cambio de instrumento, técnicos, etc.
- Repetibilidad de lecturas.
- Características propias del instrumento utilizado.
- Metodología de medición.

No debe excluirse ninguna fuente de incertidumbre basándose en la suposición de que es pequeña y que su contribución se basa en mediciones relativas a otras fuentes. Incluir demasiados recursos es mejor que ignorar un recurso importante que se puede descartar. Sin embargo, con la debida consideración, la experiencia, el conocimiento y la postura crítica de un técnico siempre tendrán efectos insignificantes [41].

Dado que es difícil e imposible expresar la formulación exacta de la función LK_{eq} en las mediciones de ruido ambiental, la incertidumbre de medición de la determinación del nivel de presión sonora continuo equivalente corregido es dinámica y determinada con cada medición, ya que depende de varios factores, las fuentes a considerar son las que determinan la norma NTE INEN-ISO 1996-2:2014, las cuales se especifican en el Anexo 1 [21].

La GUM (“Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”) Proporciona principios generales para evaluar y expresar la incertidumbre, pero no establece un

formato de cálculo específico. Como resultado, los laboratorios diseñan sus propias hojas de cálculo, a menudo hojas de cálculo. Donde se describa de forma detallada una metodología que identifique las diferentes fuentes de incertidumbre, evitando contabilizar dos veces la misma fuente de incertidumbre que influya en la incertidumbre de medida [42].

Para que este análisis sea confiable es indispensable generar un diagrama causa-efecto de una estimación de incertidumbre general. Para identificar las fuentes de incertidumbre se desarrolló gráficos de Ishikawa donde cada espina representa las principales contribuciones de incertidumbre enumeradas en la NTE INEN-ISO 1996:2 y las contribuciones a su posible relevancia, esta gráfica se lo puede observar en la figura 14:

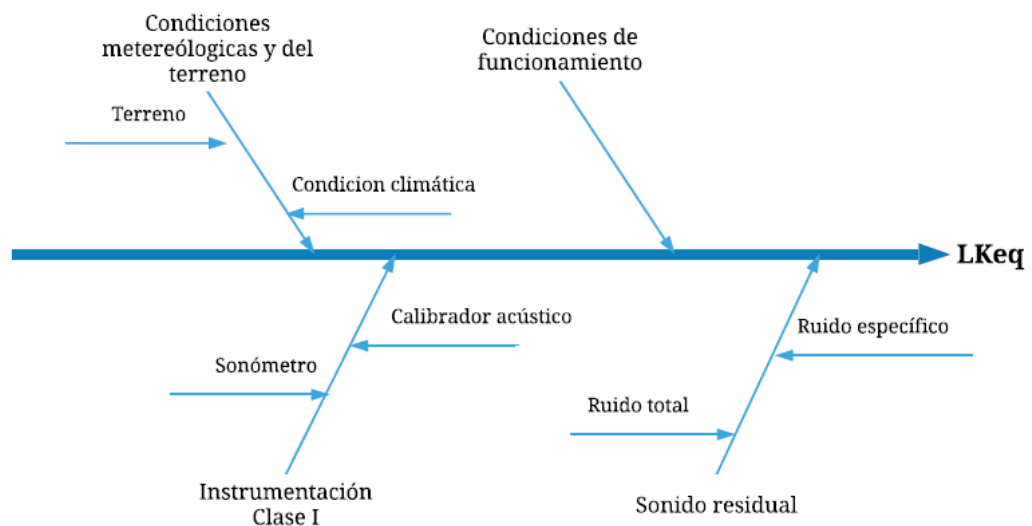


Figura 14. Diagrama de Ishikawa de las fuentes principales de incertidumbre en la determinación del L_{Keq} .

2.2.1.16 Cuantificación de los factores de incertidumbre

Después de haber identificado las diferentes fuentes de incertidumbre, estas deben ser cuantificadas mediante una evaluación de incertidumbre asociada a las diferentes fuentes, sea individual o combinada de los resultados de estas fuentes [24].

Si a un componente se lo expresa como una desviación típica, entonces podrá ser llamada como incertidumbre típica. La desviación típica es la más utilizada, ya que es más agradable y contiene las mismas dimensiones, y un valor más notable que un valor de la varianza [41].

Existen dos métodos principales para cuantificar las fuentes de incertidumbre: las evaluaciones de tipo A se basan en el análisis estadístico de una amplia gama de mediciones, mientras que las evaluaciones de tipo B incluyen todos los demás métodos para estimar la incertidumbre [41].

a) Evaluación tipo A de la incertidumbre típica

Basada en un análisis estadístico a partir de observaciones en condiciones de repetibilidad, estimado en base a la dispersión de los resultados individuales [41].

El Nivel de presión sonora continua equivalente corregido corresponde a la desviación estándar de repetibilidad de la incertidumbre asociada a condiciones de funcionamiento, entonces:

La dispersión de los resultados de nivel de presión sonora continua equivalente corregido (S_{rX}) de la serie de mediciones (LKeq), así como la incertidumbre por ruido residual $u(z)$ corresponde al cuadrado de la diferencia entre la desviación estándar del nivel de presión sonora continua equivalente corregida (S_{rX}) y la desviación estándar del ruido total (S_{rT}) de una serie de mediciones, las cuales se calcula acorde a las siguientes formulas:

$$u(X) = S_{rX} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (LKeq_i - \overline{LKeq})^2} \quad \text{Eq. (33)}$$

$$u(z) = \sqrt{S_{rX}^2 - S_{rT}^2} \quad \text{Eq. (34)}$$

$$S_{rT} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (LKeq_i - \overline{LKeq})^2} \quad \text{Eq. (35)}$$

Si la diferencia existente entre el ruido específico y ruido total es menor que cero, entonces se lo considera como cero.

b) Evaluación tipo B de la incertidumbre típica

Las fuentes de incertidumbre de tipo B se evalúan utilizando información externa o empírica, por medio de análisis estadísticos de las observaciones [41].

Estas fuentes de información podrían ser:

- Certificado de calibración.
- Manual de instrucciones de los equipos de medición, parámetros técnicos del instrumento.
- Especificación o documentación.
- Valores de incertidumbre de referencia, de libros, manuales, etc.

Con la ayuda de la evaluación tipo B se estimó la incertidumbre típica correspondida a la instrumentación $u(W)$, así también a las condiciones climáticas y condiciones del terreno $u(Y)$. Como indica la ISO 1996 si se utiliza instrumentación Clase I el valor de incertidumbre $u(W)$ a utilizar es de 1 dB.

Las condiciones ambientales deberán ser representativas del nivel de exposición al ruido ensayado. El pavimento, terreno o la pista deben estar secos y el suelo no debe estar cubierto de nieve o hielo, congelado o empapado en agua, a menos que sea necesario investigar estas condiciones [21].

Debido a las condiciones meteorológicas el nivel de presión sonora tiende a variar, si el terreno es blando dicha variación disminuirá al cumplir los parámetros de la ecuación 36 [21].

$$\frac{h_s + h_r}{r} \geq 0.1 \quad \text{Eq. (36)}$$

Donde:

h_s : Altura de la fuente.

h_r : Altura del receptor.

r : distancia entre la fuente y el receptor.

Si el terreno es duro se aceptan mayores distancias, siempre y cuando se cumplan las condiciones de la ecuación 36 [21].

Antes y durante del ensayo obligatoriamente se debe inspeccionar y describir las condiciones meteorológicas en las cuales se realizará el ensayo. Cuando las condiciones de la ecuación 36 no se cumplan, las condiciones meteorológicas afectan de manera significativa a los resultados finales de las mediciones. Si se desea tener buenos resultados es preferible realizar las mediciones en condiciones meteorológicas previamente escogidas, con condiciones de propagación sonora estable [21].

Cuando las condiciones de la ecuación 36 no se cumplan se escoge condiciones meteorológicas como la principal fuente de sonido donde el rayo de sonido se dirige hacia abajo desde la fuente hasta el receptor ($R < 10$ Km), y la medición se realiza dentro de un ángulo de $\pm 60^\circ$ y en la noche a un ángulo de $\pm 90^\circ$ [21]. Además, se debe considerar que la velocidad del viento este en un rango de 2 m/s a 5 m/s en el día o mayor a 0.5 m/s en la noche medida en un rango de altura de 3 m a 11m [21].

Si la distancia d se expresa en metros, con una longitud de mayor a 400m, entonces el radio de curvatura de la trayectoria sonora (R) debe ser menor a 10 Km, si se cumple esta condición la incertidumbre de medición σ_m se calcula con la ecuación 37.

$$\sigma_m = \left(1 + \frac{d}{400}\right) dB \quad \text{Eq. (37)}$$

Donde:

σ_m : Incertidumbre de medición

d : distancia ($d > 400$ m)

Para poder realizar un cálculo correcto de la incertidumbre debido a las condiciones meteorológicas se ha considerado del Anexo A (informativo) de la NTE INEN-ISO 1996-2 [21].

El Anexo A (Informativo) que lleva como nombre VENTANA METEOROLÓGICA E INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN DEBIDO AL CLIMA, especifica directrices de la radio de curvatura necesaria para que la propagación sonora sea favorable. Además, indica la incertidumbre típica asociada $\sigma_m u(Y)$ de los resultados obtenidos a

consecuencia de una variación climatológica en terrenos porosos, así como las praderas, en la figura 15 podemos observar las diferentes radios de curvatura tener una propagación sonora adecuada [21].

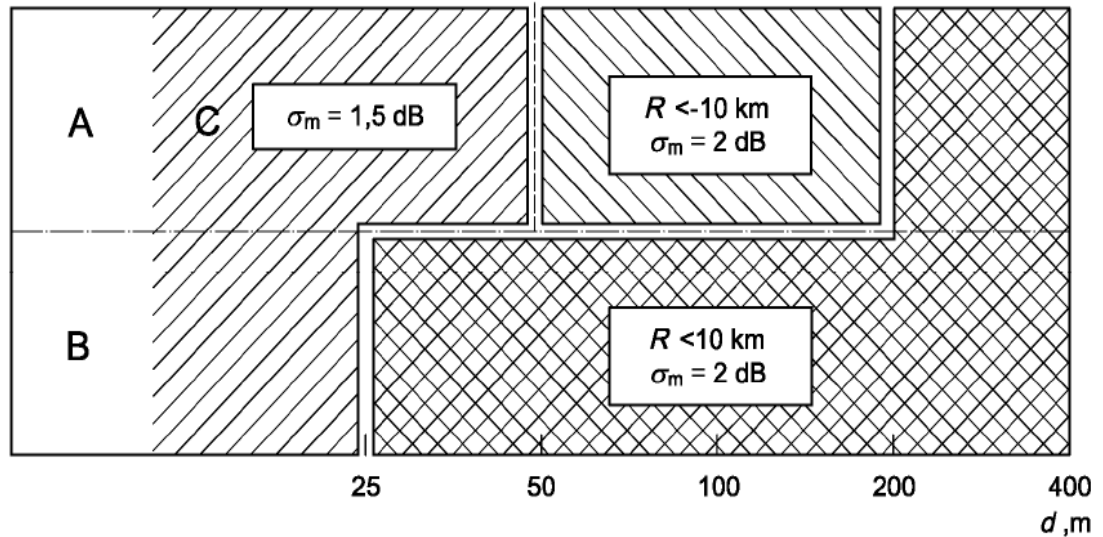


Figura 15. Radio de curvatura de la trayectoria sonora (R) y la contribución a la incertidumbre de medición asociada, debido a la influencia climática [21].

En la figura 15 se hace la distinción entre las situaciones denominadas “altas” y “bajas”, dependiendo de la altura de la fuente, h_s , y la altura del receptor, h_r . Las situaciones son “altas” cuando tanto la fuente como el micrófono se sitúan a 1,5 m o más por encima del suelo. Cuando la fuente está a menos de 1,5 m del nivel del suelo, el micrófono debe estar a una altura de 4 m o más para que la situación sea “alta”. Cuando la fuente está a menos de 1,5 m del suelo y la altura del micrófono es 1,5 m o menor, la situación es “baja”. En situaciones “bajas”, los requisitos de las condiciones climatológicas durante las mediciones son más estrictos que en las situaciones “altas” [21].

✓ Situación alta:

Cuando la fuente y el micrófono superan una altura de 1,5 m encima del suelo.

$$h_s \geq 1,5 \text{ m y } h_r \geq 1,5 \text{ m,}$$

Si la fuente está a menos de 1,5 m sobre el nivel del suelo, se deberá ubicar el sonómetro a una altura de 4 m o más.

$$hs < 1,5 \text{ m y } hr \geq 4 \text{ m}$$

✓ *Situación baja:*

Si la fuente está a una distancia menor a 1,5, del suelo y el micrófono está a una distancia de 1,5 m o menor

$$hs < 1,5 \text{ m y } hr \leq 1,5 \text{ m}$$

Cuando toda la superficie del terreno entre la fuente y la posición de medición es dura, la desviación típica inducida por el clima se puede omitir siempre y cuando no se forme ninguna sombra sonora, es decir, $\sigma_m \cong 0,5 \text{ dB}$ hasta 25 m en situaciones “bajas” y hasta 50 m en “altas” [21].

2.2.1.17 Estimación de incertidumbre combinada

Se define a la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ como una desviación típica valorada y caracterizada por la dispersión de los valores asignados de manera racional a la medida Y [43].

Se denomina ley de propagación de incertidumbre a la relación que existe entre la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ y la incertidumbre de los parámetros anejos x_1, x_2, \dots, x_n , que se presenta en la ecuación 38.

$$u_c(y(x_1, x_2, \dots)) = \left[\sum_{i=1}^n c_i^2 u(x_i)^2 \right]^{0.5} \quad \text{Eq. (38)}$$

Donde:

$u_c(y)$: Incertidumbre típica combinada de un valor y

c_i : Coeficiente de sensibilidad

$y(x_i)$: Función de varios parámetros x_1, x_2, \dots, x_n

$u(x_i)$: Incertidumbre típica de cada parámetro x_i

Al coeficiente de sensibilidad se evalúa como la diferencia parcial de y en relación de x_i , determinando como el valor de y cambia, si se alteran los parámetros de x_i [24].

El coeficiente de sensibilidad será igual a 1 si la incertidumbre de un parámetro x_i sea expresado de forma directa sobre y [24], a esta se le conoce como la desviación típica estimada asociada al resultado, y esta dará como resultado la raíz cuadrada de la varianza combinada, obtenidas de todas las covarianzas o varianzas evaluadas [43].

El nivel de presión sonora continua equivalente corregido se lo determina a partir de una medición indirecta, por ello, se evaluó la incertidumbre típica combinada con la ley de propagación de incertidumbre, como se muestra en la ecuación 39.

$$u_c(LK_{eq}) = \sqrt{[c(w)^2u(w)^2 + c(x)^2u(x)^2 + c(y)^2u(y)^2 + c(z)^2u(z)^2]} \quad \text{Eq. (39)}$$

La incertidumbre de las condiciones meteorológicas y del terreno $u(Y)$ y la incertidumbre por la instrumentación utilizada $u(W)$ se obtuvieron de la evaluación tipo B, entonces se asume que los coeficientes de sensibilidad para todos los puntos serán igual a 1, como se muestra en las ecuaciones 39 y 40.

$$u_c(LK_{eq}) = \sqrt{[u(W)^2 + u(X)^2 + u(Y)^2 + u(Z)^2]} \quad \text{Eq. (40)}$$

$$u_c(LK_{eq}) = \sqrt{[u(W)^2 + u(X)^2 + u(Y)^2 + c(z)^2u(z)^2]} \quad \text{Eq. (41)}$$

Para la estimación de la incertidumbre del ruido residual $u(Z)$ el coeficiente de sensibilidad se definió derivando el modelo matemático en función del ruido residual, como se muestra en la ecuación 42:

$$c(z) = \frac{10^{\frac{LA_{eq,rp}}{10}}}{10^{\frac{LA_{eq,tp}}{10}} - 10^{\frac{LA_{eq,rp}}{10}}} \quad \text{Eq. (42)}$$

2.2.1.18 Estimación de la incertidumbre expandida

La incertidumbre expandida U es el resultado de la multiplicación entre un valor de cobertura k y la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ [24], como se muestra en la ecuación 43:

$$U = k * u_c(y) \quad \text{Eq. (43)}$$

Para calcular la incertidumbre expandida U del nivel de presión continua equivalente corregido de cada una de las mediciones se multiplicó un factor de cobertura $k=2$ por la incertidumbre típica combinada $u_c(LK_{eq})$. Se eligió el factor de cobertura $k=2$

porque representa un intervalo con nivel de confianza del 95% aproximadamente, cumpliendo con el requisito de la “Política para la estimación de la incertidumbre de medición” [35], esto se lo representa en las ecuaciones 43 y 44:

$$U = 2 * u_c(LK_{eq}) \quad \text{Eq. (44)}$$

$$U = 2 * \sqrt{[1 + u(X)^2 + u(Y)^2 + c(z)^2 u(z)^2]} \quad \text{Eq. (45)}$$

2.2.1.19 Evaluación del método de ruido ambiental

Todos los resultados utilizados de la verificación se evaluaron por medio de una comparación de parámetros estadísticos con criterios de aceptabilidad establecidos. Los resultados se muestran en la declaración de validez del informe de validación de la metodología de ruido ambiental que se aplicara en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, para la determinación de los niveles de presión sonora en fuentes fijas de ruido, ver Anexo 10.

2.2.2 Metodología de ruido laboral

En la provincia Tungurahua mediante el Decreto Ejecutivo 2393 que hace referencia al reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Reformado por el Art. 34 del D.E. 4217, R.O. 997, 10-VIII-88) en el caso del ruido continuo se dice que los niveles sonoros están medidos en decibeles con filtro “A” en una posición lenta, los cuales se permitirán, estarán relacionados con el tiempo de exposición al ruido laboral para 8 horas el cual se expresa en el apartado 1.2.16.4 [23].

El objetivo que se tiene con el uso de la norma ISO 9612 es el de evaluar la exposición al ruido laboral al que se encuentran sujetos los trabajadores en un entorno de trabajo, esto se determina de acuerdo con el cálculo de nivel de exposición al ruido para 8 horas (LEX,8h), esta norma internacional trata de niveles ponderados “A” y para su medición se proponen tres estrategias diferentes de medición.

De igual manera la norma NTE INEN-ISO 9612 es una guía para la estimación de la incertidumbre de medida en conformidad con la guía ISO/IEC 98-3, la cual es una guía para la expresión de la incertidumbre de medida, esta incertidumbre obtenida

corresponde a una incertidumbre de medición expandida la que se indica para un intervalo de confianza unilateral del 95 % [14]. En la figura 16 se explica el procedimiento de medición de ruido laboral por la estrategia basada en la tarea.

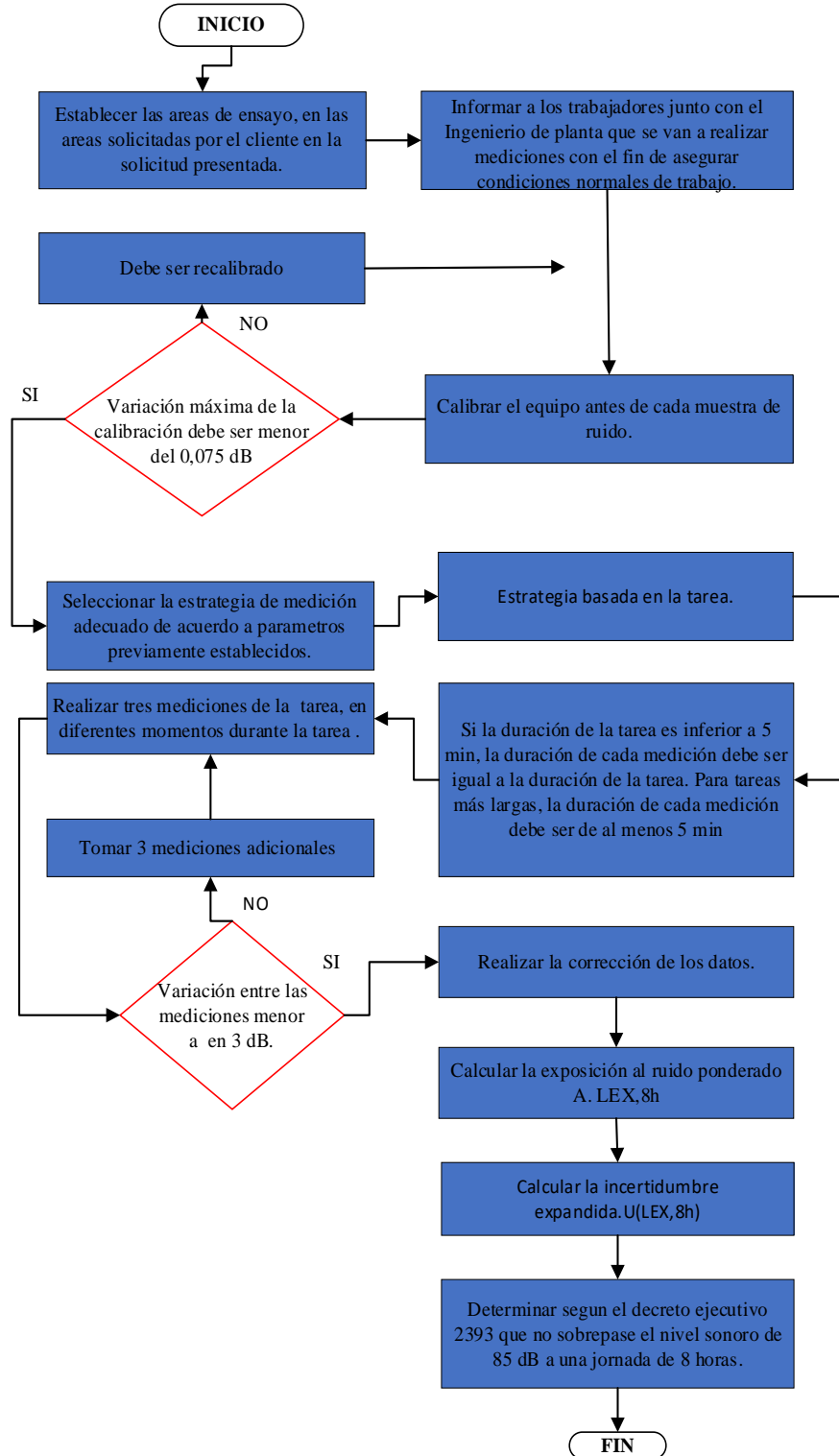


Figura 16. Diagrama de flujo de la metodología de medición de ruido laboral.

2.2.2.1 Selección del método ruido laboral

Se acogió el método que establece la norma NTE INEN-ISO 9612:2014 (Primera Edición), para la medición de nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A sobre un periodo $T(Lp,A.eqT)$ y el cálculo de nivel de exposición al ruido ponderado A el cual será normalizado a una jornada laboral de 8 horas de trabajo (LEX,8h), la medición y el cálculo de los parámetros varían de acuerdo a la estrategia que se aplique [14].

Para el cálculo de la incertidumbre se utilizó el Anexo C presente en la norma NTE INEN-ISO 9612:2014 (Primera Edición), ya que estos documentos se encuentran en conformidad con los documentos proporcionados por la SAE: CR GA01 y PL02 R0, los mismos que hacen referencia a los criterios necesarios para la acreditación de laboratorios los mismos que pueden ser tanto de calibración como ensayo, de igual manera las políticas establecidas para lograr estimar la incertidumbre [35].

El método desarrollado permite determinar la exposición del ruido en el trabajo, el mismo que puede usado en el Ecuador como método de referencia, ya que se encuentra en relación con el SAE (Servicio de Acreditación ecuatoriano) y lo que establece el Decreto 2393.

2.2.2.2 Características del método

a) Requisitos de los instrumentos de medición

Para cumplir con los requisitos este método permite el uso de sonómetros y dosímetros, al no contar con un dosímetro individual en el CADME se usará el sonómetro de clase I el mismo que debe cumplir con lo especificado en la norma IEC 61672-1:2002.

De igual forma el calibrador acústico debe cumplir con lo que especifica la norma IEC 60942:2003 [14].

b) Análisis de trabajo previa selección de estrategia

El presente análisis permite determinar la estrategia más adecuada de medición, planificar las mediciones, lo cual procederá a brindar información importante para:

- Describir las actividades de la empresa.
- Describir las funciones de los trabajadores.

- Definir grupos de exposición homogéneo al ruido.
- Determinar las jornadas nominales de cada trabajador o grupo de trabajadores.
- Determinar las tareas constituyentes del trabajo e identificar eventos de ruido significativo [14].

Este tipo de mediciones se lo puede hacer usando las estrategias basadas en la tarea, función o jornada completa de acuerdo con el análisis de trabajo pertinente, para lo que se desarrolló un registro en el cual se obtiene información requerida por la normativa y de esta manera obtener la mejor estrategia y plan de medición [14].

c) Definición de los grupos de exposición homogéneos

Según la norma NTE INEN-ISO 9612 un grupo de exposición al ruido homogéneo hace referencia a los trabajadores que realizan la misma actividad y por ende son expuestos a un ruido similar durante su jornada laboral, de usar este grupo se debe ubicar claramente y puede contar con uno o más trabajadores, los cuales se los puede definir por los nombres de su puesto, función o área de trabajo [14].

d) Determinación de una jornada nominal

Según la norma NTE INEN-ISO 9612 se hace referencia a los periodos de trabajo y a las pausas, esto se determina realizando una consulta a los trabajadores a los encargados de los puestos de trabajo los temas más relevantes para determinar una jornada nominal son

- Contenido y duración de las tareas.
- Principales fuentes de ruido y puesto de trabajo ruidosos.
- Eventos significativos de ruido.
- Número de duración de pausa y reuniones [14].

e) Selección de la estrategia de medición

Para determinar la estrategia de medición más adecuada se escoge con respecto al trabajo analizado, las estrategias a analizar son tres la medición basada en la tarea, la medición basada en la función y la medición de la jornada completa, la tabla 12 sirve como una guía para la elección de la estrategia de acuerdo a las condiciones del trabajo,

podemos encontrar en la norma NTE INEN-ISO 9612:2014 en la guía para la selección de la estrategia de medición literal B.7 [14].

Tabla 12. Selección de la estrategia de medición básica.

Tipo o pauta de trabajo	Estrategias de medición		
	Estrategia 1 Medición basada en la tarea	Estrategia 2 Medición basada en la función	Estrategia 3 Medición de la jornada completa
Puesto de trabajo fijo- Tarea simple o única	√*	-	-
Puesto de trabajo fijo- Tareas complejas o múltiples	√*	√	√
Trabajador móvil- Pauta previsible- Pequeño número de tareas	√*	√	√
Trabajador móvil- Trabajo previsible- Gran número de tareas o situaciones de trabajo complejas	√	√	√*
Trabajador móvil – pauta de trabajo imprevisible	-	√	√*
Trabajador fijo o móvil – Tareas múltiples con duración no especificada de las tareas	-	√*	√
Trabajador fijo o móvil – sin tareas asignadas	-	√*	√
<p>√La estrategia se puede utilizar</p> <p>*Estrategia recomendada</p>			

f) Ubicación del sonómetro

Según la norma NTE INEN-ISO 9612, la ubicación del micrófono del sonómetro será al nivel de las posiciones que ocupe la cabeza del trabajador durante el desempeño de las tareas, preferiblemente este se colocará en el plano central de la cabeza, en línea con los ojos, paralelo a la línea de visión del trabajador y sin estar el trabajador presente.

En el caso que el trabajador deba estar presente en su puesto de trabajo, el micrófono se colocará a una distancia entre 0,1m y 0,4m de la entrada del canal auditivo y en el lado del oído más expuesto.

De no estar definida la posición de la cabeza en el puesto de trabajo, se podrán utilizar las siguientes alturas de micrófono: trabajador de pie a $1,55\text{m} \pm 0,075\text{m}$ por encima del suelo sobre el que el trabajador está de pie, trabajador sentado a $0,80\text{m} \pm 0,05\text{m}$ por encima de la mitad del plano de la silla con la silla ajustada lo más cerca posible al punto medio de su ajuste horizontal o vertical.

g) Calibración de los equipos de medición

Los equipos se calibraron externamente por un laboratorio certificado por la SAE, cumpliendo los requisitos establecidos para llevar a cabo de manera eficaz el proceso de medición, obteniendo los siguientes parámetros de calibración.

- El sonómetro integrador clase I modelo CR: 171C, mide el nivel de presión sonora, se encuentra calibrado en un rango de 20 a 140 dB.
- El calibrador acústico modelo CR: 515, se calibró en los niveles de presión sonora de 93,7 dB con el cual se realizó la comprobación del sonómetro.

2.2.2.3 Selección de la estrategia de medición

Se decidió realizar la validación del método de medición de ruido laboral, por la estrategia basada en la tarea, ya que se cuenta con un sonómetro tipo I el mismo que está calibrado por un laboratorio acreditado por la SAE, para las estrategias basada en la función y jornada completa, por la complejidad de la medición y el tiempo que conlleva cada una de ellas es recomendable usar un exposímetro sonoro individual, el cual permite calcular la exposición al ruido diario ponderado A a una jornada nominal

de 8h. Se desarrolló una matriz de criterios ponderados mostrados en la tabla 13, la misma que ayudó en la selección de la estrategia de medición.

Tabla 13. Matriz de criterios ponderados.

Criterios	Estrategias de medición		
	Estrategia 1 Medición basada en la tarea	Estrategia 2 Medición basada en la función	Estrategia 3 Medición de la jornada completa
1. Puesto de trabajo fijo- Tarea simple o única	√*	-	-
2. Trabajador móvil- Pauta previsible- Pequeño número de tareas.	√*	-	-
3. Puesto de trabajo fijo- Tareas complejas o múltiples.	√*	-	-
4. Trabajador móvil- Trabajo previsible-Gran número de tareas o situaciones de trabajo complejas	-	-	√*
5. Trabajador móvil – pauta de trabajo imprevisible	-	-	√*
6. Trabajador fijo o móvil – Tareas múltiples con duración no especificada de las tareas	-	√*	-
7. Trabajador fijo o móvil – sin tareas asignadas	-	√*	-
8. Duración de medición más corta	√*	-	-
9. Medición con sonómetro tipo 1.	√*	-	-
10. Medición con exposímetro sonoro personal.	-	√	√*
Resultados	5	3	3
√La estrategia se puede utilizar			
*Estrategia recomendada			

Una vez analizada la tabla 13 se concluyó que la estrategia basada en la tarea cumple con un gran número de criterios necesarios para aplicar la estrategia de medición, mientras que la estrategia basada en la función y jornada completa no cumplen con todos los requisitos establecidos, por lo que se realizó la metodología y validación de la estrategia basada en la tarea.

2.2.2.4 Objetivos de validación

En la tabla 14 se presentan los objetivos de validación, los cuales se establecieron de acuerdo a la Society of Toxicological and Forensic Chemistry, la misma que establece los criterios de medidas de precisión en un rango de $\leq 5\%$, de la misma manera para la validación del método y cálculo de la incertidumbre, se recibió charlas por los técnicos del CADME y recomendaciones que debido a que la norma ecuatoriana no especifica criterios de aceptación referentes al método de la determinación del ruido en el trabajo se decidió tomar criterios de aceptación más restrictivos para demostrar la calidad y veracidad de resultados.

Tabla 14. Objetivos de validación ruido laboral.

Parámetros de desempeño	Criterios de aceptación
Intervalo de trabajo	20 dB a 140 dB
Precisión	Coeficiente de variación de repetibilidad (CV _r) $\leq 5\%$ Coeficiente de variación de precisión intermedia (CVI) $\leq 5\%$
Veracidad (Incertidumbre grupal)	Incertidumbre grupal $< 10\%$ de la medida mínima tomada por el sonómetro.
Incertidumbre	Incertidumbre dinámica calculada en cada medición.

2.2.2.5 Elaboración de hojas de cálculo y procedimientos

Al finalizar el desarrollo de un método el laboratorio debe documentar a detalle el procedimiento de medición, tal que el método sea usado de manera correcta. El procedimiento documentado es el que se toma en cuenta para la validación formal del método [31].

Acorde a lo especificado anteriormente se elaboró un documento correspondiente a la metodología para la determinación de ruido laboral, para ello se basó en la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025:2018, ver Anexo 5.

Para la metodología de ensayo de ruido laboral se generaron y registraron los siguientes documentos y hojas de cálculo:

- Registro de análisis de trabajo para ruido laboral.
- Hoja de cálculo para la determinación de ruido laboral de la estrategia basada en la tarea.
- Hoja de cálculo de la incertidumbre.
- Reporte de datos ruido laboral.
- Ficha de resultados ruido laboral.

Los registros, hojas de cálculo de la metodología se realizaron en formato digital.

2.2.2.6 Procedimiento de validación

Para garantizar la metodología de ensayo de ruido laboral utilizada por el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se realizaron actividades que determinan que el sonómetro y calibrador adquirido son los adecuados para realizar este tipo de mediciones.

2.2.2.7 Revisión del equipo de medición (general)

Para realizar el ensayo de ruido laboral, la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica utilizó el KIT de sonometría que es el sonómetro CR:171C, donde:

Se comprobó que el maletín de transporte contenga los siguientes equipos y accesorios:

- Sonómetro Optimus Green clase I CR: 171C
- Calibrador acústico clase I CR:515
- Protector de viento
- Cable de datos/ corriente USB
- Memoria USB

Se verificó que estén en buen estado y sus respectivos certificados de calibración, del sonómetro y calibrador.

2.2.2.8 Calibración de los equipos de medición

Los equipos se enviaron a calibrar externamente por un laboratorio (ELICROM) certificado por la SAE, cumpliendo los requisitos establecidos para llevar a cabo de manera eficaz el proceso de medición, obteniendo los siguientes parámetros de calibración.

- a) El sonómetro integrador clase I modelo CR: 171C, mide el nivel de presión sonora se encuentra calibrado en un rango de 20 a 140 Db.
- b) El calibrador acústico modelo CR: 515, se calibró en los niveles de presión sonora de 93,7 dB con el cual se realizó la comprobación del sonómetro, ver el Anexo 12.

2.2.2.9 Calibración externa

La calibración externa se realizó para los instrumentos de medición de los parámetros Lp,A,eqT, y para su respectivo instrumento de calibración que se detallan a continuación.

- Sonómetro integrador clase I modelo CR:171C
- Calibrador acústico modelo CR:515.

Los mismos que se detallan en el Anexo 12.

2.2.2.10 Comprobación del sonómetro

Como especifica la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01 con el calibrador se realizó la comprobación del sonómetro antes y después de cada medición.

1. Se colocó el micrófono del sonómetro en la cavidad del calibrador.
2. Se encendió el sonómetro
3. Se encendió el calibrador
4. Se comprobó que el nivel de presión sonora en 93.7 dB y estos niveles no exceda de un rango $\pm 0,075$ dB
5. Se apagó el sonómetro
6. Se apagó el calibrador
7. Se retiró el micrófono del sonómetro del calibrador.

Acorde al manual del propietario KIT sonómetro CR:171C se aceptó un criterio de aceptación en un rango de $\pm 0,075$ dB, debido a que no existe una normativa ecuatoriana que especifique un rango de desviación.

La comprobación con este KIT es rápida, ya que no toma más allá de 10 segundos para comprobar la calibración, así que no se tiene mucho problema en que el micrófono se pueda mover del calibrador

2.2.2.11 Pruebas experimentales de ruido laboral

Determinación del sitio de medición

Para determinar las mediciones se lo realizó en la empresa de Carrocerías Patricio Cepeda Cía. Ltda. Ubicado en la provincia de Tungurahua, Cantón Ambato que se encuentra ubicado en la Avenida José Peralta y Humberto Fierro km 11-2 vía, Guaranda, Ambato 180103, para la estrategia basada en la tarea se tomó como referencia el galpón de estructuras, porque se tiene una secuencia de tareas, además de conocer los tiempos empleados en cada una de las tareas, el cual proporcionó el Ingeniero de planta, y con previo encuesta e interacción con los operarios, en la figura 17 se puede observar el mapa del sitio donde se realizó la medición .

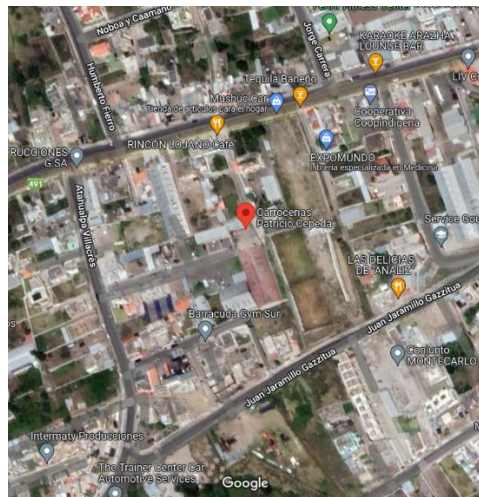


Figura 17. Mapa del sitio de medición, Carrocería Patricio Cepeda Cía. Ltda.

Para la estrategia basada en la tarea se usó el área de construcción de galpón de estructuras, debido a que se acopló a las características de medición de la estrategia, la cual podemos observar en la tabla 12.

Las pruebas experimentales se realizaron en un intervalo de 3 días, para así cumplir con las condiciones de precisión intermedia, en el documento CR GA01 emitido por el SAE, que indica que para la validación de un método de ensayo se considerará mínimo tres niveles, para así obtener un número de datos estadísticamente válidos.

Para la estrategia basada en la tarea se consideró distancias de uno, tres y cinco metros respectivamente, teniendo en cuenta que no se evaluó al trabajador.

Se evaluó el ruido que se produce a las distancias respectivas emitidas por la fuente fija de ruido.

Con el fin de cumplir con condiciones de repetibilidad. Una vez realizada la toma de datos, se corrigió los datos con la ecuación 46 para luego obtener el LEX,8h.

Corrección de datos (Errores de medida)

Una magnitud X , cuyo valor se desea conocer, tiene un valor exacto X_{exacto} representado por un número real puro más la unidad correspondiente. Al medir dicha magnitud con el instrumento adecuado se desea el valor X_{medido} debido a esto los resultados no son idénticos, existe un error de medida [37].

Error absoluto

Se suele definir como la diferencia entre el valor considerado como óptimo y el valor verdadero (que no se conoce) de la cantidad que se mide.

$$Error = X_{medido} - X_{exacto}$$

$$X_{exacto} = X_{medido} - Error$$

$$L_{p,A,eqT,m exacto} = L_{p,A,eqT,m medido} - Error \quad \text{Eq. (46)}$$

La definición indicada ha de hacerse más rigurosa. Por consiguiente, se define el error absoluto de una medida, como el valor máximo de las estimaciones de las incertidumbres tanto de los errores sistemáticos como de los errores aleatorios, indicando que es “razonablemente seguro” de que el valor verdadero de la medida x está en el intervalo de confianza [37].

En lo posible, se especifica el porcentaje de confianza que tiene dicha aseveración. El error absoluto de una cantidad, en sí mismo, no indica la calidad de la medida. El error absoluto se define siempre positivo, tiene la misma dimensión y unidad que la magnitud medida, y por tener dimensión no resulta muy útil para cuantificar la incertidumbre de las medidas [37].

2.2.2.12 Determinación del LEX,8h

Para las pruebas que se realizó en la estrategia basada en la tarea se utilizó el sonómetro de clase I marca Cirrus, modelo CR:171C, las fuentes de ruido tienen las siguientes características.

- Fuente de ruido tomadas, se realizó en el área de galpón de estructuras de la carrocería Patricio Cepeda Cía. Ltda. Tomando dos tareas del mismo operario, las cuales fueron las siguientes:
- Tarea 1: soldador 1.
- Tarea 2: ensamblador.

La medición de las dos tareas tendrá una duración de 5 minutos.

Las condiciones de trabajo las establecidas son:

- Número de trabajadores: 1
- Duración de la tarea uno: 5 horas
- Duración de la tarea dos: 3 horas
- Se realizó tres mediciones de (Lp,A,eqT,m) durante cinco minutos para ambas tareas, la misma representa una medición y se la toma para cada determinación LEX,8h de acuerdo a lo que se estableció.

Para cumplir con condiciones de repetibilidad se realizaron cuatro muestras de mediciones de LEX,8h por cada distancia que se estableció, el cual debe estar medido con los mismos instrumentos, mismo procedimiento, además de ser el mismo lugar y analista.

Para cumplir con precisiones intermedias descritas se establece que para la primera distancia de (1 m) se establece lo siguiente: un analista toma cuatro muestras de mediciones de LEX,8h en una hora determinada, de igual manera condiciones

meteorológicas determinadas; en otro día diferente, otro analista tomo cuatro muestras de mediciones de LEX,8h en un horario diferente, con diferente condición meteorológica en el mismo lugar de medición; en otro día diferente, otro analista tomo cuatro grupos de muestras de LEX,8h en otra hora diferente con otra condición meteorológica en el mismo lugar de medición, el mismo procedimiento se debe realizar para las distancias de tres metros y cinco metros [44].

Para poder obtener valores de LEX,8h en las distancias mencionadas (niveles de medición) que se establecieron con anterioridad, se realizó los cálculos que se aprecia en la hoja de cálculo para LEX,8h, que se encuentra en la tabla 45 para la estrategia basada en la tarea, acorde a lo manifestado en la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01 [14].

- **Media aritmética de la duración de la tarea**

$$\bar{T}_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m,j} \quad \text{Eq. (47)}$$

Donde:

J: número total de observaciones para la tarea.

j: número de observaciones.

$T_{m,j}$: duración de la observación j.

- **Duración efectiva de la jornada laboral**

$$T_e = \sum_{m=1}^M \bar{T}_m \quad \text{Eq. (48)}$$

Donde:

\bar{T}_m : Duración de la media aritmética.

m: número de la tarea.

M: número total de tareas.

- **Media aritmética de las mediciones de $L_{p,A,eqT}$ para la tarea m**

$$\bar{L}_{p,A,eqT,m} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{p,A,eqT,mi} \text{ dB} \quad \text{Eq. (49)}$$

Donde:

$L_{p,A,eqT,mi}$: es $L_{p,A,eqT}$ para la tarea m para la medición de i del nivel de ruido en la tarea.

i: número de medición de la tarea.

I: número total de mediciones de la tarea.

- **Promedio logarítmico de las muestras de $L_{p,A,eqT}$**

$$L_{p,A,eqT,mi} = 10 \log \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0.1 * L_{p,A,eqT,mi}} \right) \text{ dB} \quad \text{Eq. (50)}$$

Donde:

$L_{p,A,eqT,mi}$: es el nivel de presión sonora continuo equivalente A durante una tarea de duración T_m .

i: número de medición de la tarea m.

I: número total de mediciones de la tarea m.

- **Aportación de cada tarea al LEX,8h**

$$L_{EX,8h,m} = L_{p,A,eqT,m} + 10 \log \left(\frac{\bar{T}_m}{T_0} \right) \text{ dB} \quad \text{Eq. (51)}$$

Donde:

$L_{p,A,eqT,m}$: es el nivel de presión sonora continuo equivalente A durante una tarea de duración T_m .

\bar{T}_m : Media aritmética de la duración de la tarea.

T_0 : es la duración referencial $T_0 = 8 \text{ h}$.

- **Nivel diario de exposición al ruido ponderado A**

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left(\sum_{m=1}^M 10^{0.1 * L_{EX,8h,m}} \right) dB \quad \text{Eq. (52)}$$

Donde:

$L_{EX,8h,m}$: es el nivel de ruido sonoro ponderado A para la tarea m que contribuye al nivel de exposición al ruido diario.

m: número de tareas

M: número total de tareas las cuales contribuyen al nivel de exposición al ruido.

2.2.2.13 Evaluación estadística ruido laboral

En la figura 18 se explica los métodos estadísticos que se utilizaron para comprobar que los datos obtenidos durante los 3 días de medición sean estadísticamente válidos, tales como la precisión y veracidad.

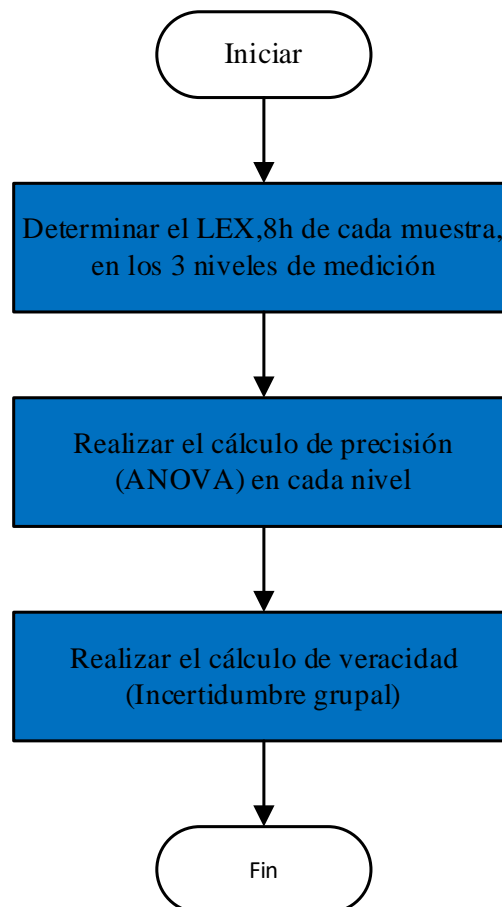


Figura 18. Diagrama de flujo de la evaluación estadística de ruido laboral.

a) Precisión

Para el cálculo de la precisión se utilizó la misma metodología descrita en el apartado 2.2.1.12 evaluación estadística de ruido ambiental literal a), obteniendo condiciones de presión intermedia y repetibilidad del nivel de presión sonora con la ayuda un análisis de varianza ANOVA de un factor.

b) Veracidad (Incertidumbre grupal)

De acuerdo con el literal f del numeral 7.2.2.1 de la norma NTE-ISO-IEC 17025-2018 Se realizó la evaluación de la incertidumbre de medición de los resultados basada en la comprensión de los principios teóricos de los métodos y de la experiencia práctica del desempeño del método de muestreo o ensayo.

Para el cálculo de la incertidumbre grupal se lo realizo agrupando una serie de datos por niveles y separando por tareas, de esta manera se obtiene una cantidad de datos suficientes para realizar el análisis de la incertidumbre de las mediciones.

Para la tarea 1 (soldador), de los 3 días de toma de datos a una distancia de 1 metro se agrupó todas las mediciones teniendo un total de 36, las mismas que se debe obtener un promedio, para posterior a ello de la misma manera obtener un promedio del nivel de presión sonora continuo equivalente $A_{Lp,A,eqT}$ (dB) y Nivel de exposición al ruido ponderado A de la tarea m que contribuye al nivel de exposición diaria al ruido $L_{EX,8h,m}$ (dB), posterior a ello agrupamos de la misma manera para la tarea 2 (ensamblador), realizamos el mismo procedimiento mencionado con anterioridad, con ello calculamos la incertidumbre tipo a, la tipo b, de cada tarea, incluido las incertidumbres del certificado de calibración del sonómetro y el calibrador, para finalmente obtener la incertidumbre combinada que es la unión de las dos tareas, y finalmente llegar a una incertidumbre expandida. Se siguió el mismo procedimiento para los siguientes niveles, que es a 3 metros y a 5 metros.

2.2.2.14 Evaluación de la incertidumbre de medida

Siguiendo el proceso descrito en el Anexo C (evaluación de las incertidumbres de medición) de la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01, la medición de

incertidumbre para estrategia basada en la tarea, función y jornada completa se detalla en los literales C.2, C.3, C.4 respectivamente, esto está conforme a la guía SO /IEC 98-3:2008 (GUM), la misma que es aceptada por el SAE (Servicio Ecuatoriano de Acreditación) [35].

Estrategia basada en la tarea

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left(\sum_{m=1}^M 10^{0.1 * L_{EX,8h,m}} \right) dB \quad \text{Eq. (53)}$$

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left(\sum_{m=1}^M 10^{0.1 * (L_{p,A,eqT,m} + 10 \lg \left(\frac{\bar{T}_m}{T_o} \right))} \right) dB \quad \text{Eq. (54)}$$

Donde:

$L_{p,A,eqT,m}$: Es el nivel de presión sonora continuo equivalente A durante la jornada laboral.

$L_{EX,8h,m}$: Es el nivel exposición sonora ponderada A de la tarea m, la que contribuye al nivel diario de exposición al ruido.

$L_{EX,8h}$: Nivel de presión sonora pondera A, normalizado a una jornada laboral de 8 horas.

\bar{T}_m : Duración promedio aritmético de duración para la tarea m.

T_o : La duración de referencia, T_o :8 h;

m: Número de la tarea.

M: Número total de tareas que contribuyen al nivel diario de exposición al ruido.

2.2.2.15 Determinación de las fuentes de incertidumbre

Para la estimación de la incertidumbre asociadas como características de desempeño de precisión y el sesgo, estas incertidumbres generalmente son dominantes en las estimaciones de incertidumbre [45].

Para medir la incertidumbre para el nivel de exposición al ruido ponderado A la cual está normalizado a una jornada dinámica de 8 h la cual se calcula en cada medición, ya que es compleja y no tiene factibilidad de mostrar fórmulas exactas para la función $L_{EX,8h}$.

Para empezar la estimación de la incertidumbre se realizó el diagrama de Ishikawa también conocida como espiga de pescado, las contribuciones asociadas consideradas y las fuentes de incertidumbre fueron citadas en el anexo C de la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01 como podemos observar en la figura 19 [14].

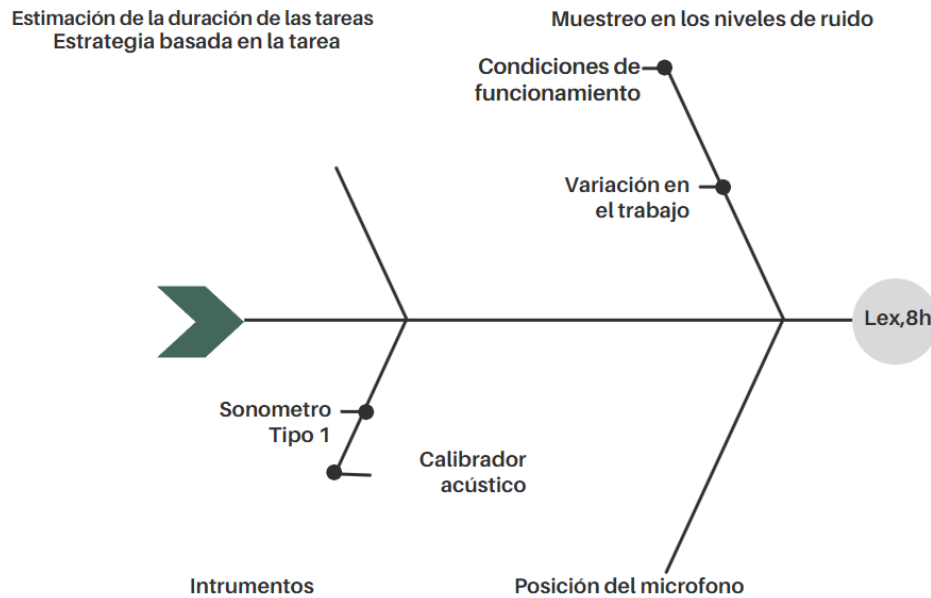


Figura 19. Diagrama de Ishikawa con las fuentes de incertidumbre en la determinación de LEX, 8h.

2.2.2.16 Cuantificación de los componentes de la incertidumbre para la estrategia basada en la tarea

Se procedió a agrupar los componentes de la incertidumbre como lo expresa el Anexo C de la norma por lo que se realizó la identificación de las fuentes de incertidumbre y respectivas contribuciones asociadas, para lo cual se usó las evaluaciones tipo A y tipo B.

a) Evaluación tipo A

Permite determinar la incertidumbre típica asociada a la medición de niveles de ruido para tarea m ($u_{1a,m}$), de igual forma podemos determinar la incertidumbre típica por la estimación de la duración de la tarea m ($u_{1b,m}$), para su respectivo calculo podemos observar en las ecuaciones (58) y (59) respectivamente.

$$(u_{1a,m}) = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m})^2 \right]} \quad \text{Eq. (55)}$$

$$(u_{1b,m}) = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \left[\sum_{i=1}^I (T_{m,j} - T_m)^2 \right]} \quad \text{Eq. (56)}$$

b) Evaluación tipo B

Para la evaluación Tipo B se estimó la incertidumbre típica ($u_{2,m}$), que se encuentra establecida en la tabla 15, de la misma manera se identificó la incertidumbre típica (u_3) la cual refiere a la posición del micrófono la misma que es de 1 dB [14].

Tabla 15. Incertidumbre típica u_2 o ($u_{2,m}$), de los instrumentos [14].

Instrumento	Desviación típica u_2 o ($u_{2,m}$) dB
Sonómetro de clase I	0,7

2.2.2.17 Estimación de la incertidumbre combinada

Para determinar la incertidumbre combinada se debe tomar en cuenta las incertidumbres tipo A y tipo B, con la finalidad de seguir la ley de propagación de la incertidumbre, la cual está expresada en la ecuación 57 [46].

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 * u^2(x_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i * u(x_i)]^2} \quad \text{Eq. (57)}$$

Donde:

$u_c(y)$: Incertidumbre típica combinada.

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$: derivada parcial respecto a una magnitud de entrada.

c_i : coeficiente asociado o de sensibilidad;

$u(x_1)$: incertidumbre típica (A o B).

Acorde a la norma NTE INEN-ISO 9612:2014 para la metodología de ruido laboral las contribuciones a la incertidumbre típica combinada u , la cual está asociada en el valor de exposición al ruido, depende netamente de la desviación típica u_i de cada magnitud de entrada y de los coeficientes de sensibilidad c_i .

Los coeficientes de sensibilidad expresan como se ve afectado el nivel de exposición al ruido por los cambios en los valores de las respectivas magnitudes de entrada, por lo que la incertidumbre típica combinada, u , se obtiene a partir de las contribuciones a la incertidumbre individuales $c_i u_i$, usando la ecuación 58.

$$u^2 = \sum c_i^2 u_i^2 \quad \text{Eq. (58)}$$

Estimación de la incertidumbre combinada para la estrategia basada en la tarea

Las magnitudes no están correlacionadas, por lo que la incertidumbre típica combinada para LEX,8h se calcula a partir de los valores numéricos de las contribuciones a la incertidumbre como se establece en la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014.

$$u^2(L_{ex,8h}) = \left(\sum_{m=1}^M \left[c_{1a,m}^2 * (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} * u_{1b,m})^2 \right] \right) \quad \text{Eq. (59)}$$

Donde:

$c_{1a,m}$: Incertidumbre típica por el muestreo de ruido para la tarea m .

$u_{1b,m}$: Incertidumbre típica por estimación de la duración para tarea m .

$u_{2,m}$: Incertidumbre típica por los instrumentos utilizados.

u_3 : Es la incertidumbre típica por la posición del micrófono.

$c_{1a,m}$ y $c_{1b,m}$: Coeficientes de sensibilidad para la tarea m .

m : Número de tareas.

M : Número total de tareas.

Nota: Debido a la relación que existe entre el nivel de ruido y la estimación para el nivel de ruido, los coeficientes de sensibilidad relativos de la posición del micrófono, $c_{3,m}$ de la instrumentación $c_{2,m}$ y para el muestreo de ruido $c_{1a,m}$ serán iguales entre ellos [14].

$$c_{3,m} = c_{2,m} = c_{1a,m}$$

Por lo que se sustituye.

El coeficiente $c_{1a,m}$ y el coeficiente de sensibilidad relativo a la estimación de la duración de la tarea viene dado por la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01 y se muestran en las ecuaciones 63 y 64:

$$c_{1a,m} = \frac{T_m}{T_0} 10^{0,1 * (L_{p,A,eqT,m} - L_{EX,8h})} \quad \text{Eq. (60)}$$

$$c_{1b,m} = 4.34 * \frac{c_{1a,m}}{T_m} \quad \text{Eq. (61)}$$

2.2.2.18 Estimación de la incertidumbre expandida

La incertidumbre expandida U se obtiene multiplicando la incertidumbre típica combina $u_c(y)$ con un factor de cobertura k el cual se basa en el nivel de confianza deseado, como indica en la ecuación 62 [47].

$$U = k * u_c(y) \quad \text{Eq. (62)}$$

La norma expresa un intervalo de confianza del 95% dando como resultado un factor de cobertura k de 1,65.

Por lo que para determinar la incertidumbre expandida del nivel de exposición al ruido ponderado A normalizado a una jornada laboral nominal de 8 horas para cada medición, se multiplicó la incertidumbre típica combinada $u(LEX, 8h)$, por el factor de cobertura $k=1.65$, la cual se realizó para la estrategia basada en la tarea [14].

$$U_{(LEX,8h)} = 1.65 * u \quad \text{Eq. (63)}$$

$$U_{(LEX,8h)} = 1.65 * \left(\sum_{m=1}^M [c_{1a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} * u_{1b,m})^2] \right)^{0.5} \quad \text{Eq. (64)}$$

$$U_{(LEX,8h)} = 1.65 * u \quad \text{Eq. (65)}$$

$$U_{(LEX,8h)} = 1.65 * (c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_u^2 + u_3^2))^{0.5} \quad \text{Eq. (66)}$$

2.2.2.19 Evaluación del desempeño del método

Todos los resultados utilizados de la verificación se evaluaron por medio de una comparación de parámetros estadísticos con criterios de aceptabilidad establecidos. Los resultados se muestran en la declaración de validez del informe de validación de la metodología de ruido laboral que se aplicara en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, para la determinación de los niveles de presión sonora en fuentes fijas de ruido, ver Anexo 11.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de resultados de ruido ambiental

En este capítulo se exponen los datos asociados a la evaluación de ruido ambiental y laboral, el procesamiento de la información que se obtuvo durante las pruebas experimentales para la determinación de ruido ambiental y se lo realizó en una hoja de cálculo y formato de registro de campo.

Recolección de muestras

Ya definida la metodología de medición contempladas en el Anexo 4 (PROC-RA-01) y en el apartado 2.2.1.1, se realizó las mediciones en los puntos mencionados en el apartado 2.2.1.10, siguiendo el protocolo de medición especificado.

Verificación de condiciones meteorológicas

En cada punto de medición con un anemómetro se verificó que las condiciones ambientales tales como: la velocidad del viento, precipitación, humedad, nubosidad, que se encuentren dentro de los criterios de aceptación del Acuerdo Ministerial No. 097-A, los valores de verificación se encuentran en la tabla 27, en la figura 20 se evidencia la medición.



Figura 20. Verificación de condiciones ambientales.

Ubicación del sonómetro

Se colocó el sonómetro a una altura de 1.5 metros desde en suelo, a 1.5 m de los linderos de la empresa, en las coordenadas especificadas en la tabla 8.



Figura 21. Ubicación del sonómetro a 1,5 m fuera del lindero de la empresa.



Figura 22. Ubicación del sonómetro a una altura de 1,5 m a partir del suelo.

Se verificó que el sonómetro tenga un ángulo de 45° a 90 °.



Figura 23. Verificación del ángulo del sonómetro.

Calibración del equipo

Una vez ubicado el sonómetro, siguiendo la metodología de comprobación se comprobó que el equipo se encuentre en óptimas condiciones, se comprobó que el nivel de presión sonora en 93,7 dB y estos niveles no exceda de un rango $\pm 0,075$ dB como se observa en la figura 24, en la tabla 25 y 26 se observa los resultados de la comprobación antes y después de la medición.



Figura 24. Calibración del sonómetro.

Toma de datos

Acorde a la metodología de medición (PROC-RA01) se realizó cinco mediciones de 15 segundos cada uno de los cuatro puntos especificados en ponderación frecuencial A lento e impulsivo, ponderación C lento de ruido total y ruido residual, en la tabla 16 se observa la medición 1 en el punto 3 del día 2 como ejemplo de todas las muestras tomadas durante los 3 días.



Figura 25. Recolección de datos en los diferentes puntos de medición.

Tabla 16. Datos obtenidos del sonómetro en la medición 1 en el punto 3 del día 2.

Medición	Ruido total			Ruido residual		
	LSp (A) dB	LIp (A) dB	LSp (C) dB	LSp (A) dB	LIp (A) dB	LSp (C) dB
1	55,7	58,8	65,7	49,3	54,3	60,5
2	53,2	55,3	63,7	48,6	51,9	57,3
3	54,3	56,1	64	48,1	52	58,2
4	55,3	55,8	65,9	47,9	51,4	59,1
5	56,2	57,7	65,8	48,6	51,9	56,2

3.1.1 Corrección de datos obtenidos por el sonómetro.

Por efectos de validación de la metodología de ruido ambiental, se corrigió los datos obtenidos por el sonómetro con los valores de error emitido en el certificado de calibración externa del sonómetro y del calibrador (ver Anexo 12), asegurando así tener datos confiables.

En la tabla 17 se puede observar las correcciones que se aplicaron a los datos obtenidos por el sonómetro.

Tabla 17. Correcciones emitidas por el certificado de calibración externa del sonómetro y calibrador acústico.

Correcciones por el certificado de calibración del calibrador			0,24	dB	
Correcciones por el certificado de calibración					
Respuesta de frecuencia a banda de octava					
Ponderación A			Ponderación C		
Patrón (dB)	Equipo (dB)	Error (dB)	Patrón (dB)	Equipo (dB)	Error (dB)
54,60	55,90	1,32	91,00	91,40	0,38
67,80	68,60	0,80	93,20	93,50	0,30
77,90	78,40	0,50	93,80	94,10	0,30
85,40	85,80	0,40	94,00	94,20	0,20
90,80	91,10	0,30	94,00	94,20	0,20
94,00	94,10	0,10	94,00	94,10	0,10

Las correcciones se realizaron en bandas de octava y el valor con el cual se realizó la corrección es el valor superior que más se acercaba al dato obtenido por el sonómetro.

$$LSp(A)_{exacto} = LSp(A)_{medido} - Error$$

$$LSp(A)_{exacto} = LSp(A)_{medido} - Error\ del\ sonómetro \\ - Error\ del\ calibrador\ acústico$$

$$LSp(A)_{exacto} = 55,7\ dB - 1,32\ dB - 0,24\ dB$$

$$LSp(A)_{exacto} = 54.14\ dB$$

En la tabla 18 se presenta la medición 1 en el punto 3 del día 2 con sus respectivos valores de corrección a lado izquierdo basados en la tabla 17, el valor de corrección por el calibrador acústico (0,24 dB) será constante para todo el grupo de mediciones

En la tabla 19 se presenta los datos ya corregidos, los cuales serán utilizados como modelo de cálculo de LKeq.

Tabla 18. Datos emitidos por el sonómetro con la corrección del sonómetro al lado izquierdo.

Medición n	Ruido total						Ruido residual					
	E.S (A) dB	LSp (A) dB	E.S (A) dB	LIp (A) dB	E.S (C) dB	LSp (C) dB	E.S (A) dB	LSp (A) dB	E.S (A) dB	LIp (A) dB	E.S (C) dB	LSp (C) dB
1	1,32	55,7	0,8	58,8	0,38	65,7	1,32	49,3	1,32	54,3	0,38	60,5
2	1,32	53,2	1,32	55,3	0,38	63,7	1,32	48,6	1,32	51,9	0,38	57,3
3	1,32	54,3	0,8	56,1	0,38	64	1,32	48,1	1,32	52	0,38	58,2
4	1,32	55,3	1,32	55,8	0,38	65,9	1,32	47,9	1,32	51,4	0,38	59,1
5	0,8	56,2	0,8	57,7	0,38	65,8	1,32	48,6	1,32	51,9	0,38	56,2

Tabla 19. Medición corregida 1 del día 2 en el punto 3.

Medición n	Ruido total			Ruido residual		
	LSp (A)	LIp (A)	LSp (C)	LSp (A)	LIp (A)	LSp (C)
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
1	54,14	57,76	65,08	47,74	52,74	59,88
2	51,64	53,74	63,08	47,04	50,34	56,68
3	52,74	55,06	63,38	46,54	50,44	57,58
4	53,74	54,24	65,28	46,34	49,84	58,48
5	55,16	56,66	65,18	47,04	50,34	55,58

3.1.2 Determinación de nivel de presión sonora continua equivalente corregido

Con los valores obtenidos en la tabla 19 se realizó el cálculo de los valores de Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente corregido (LKeq), que se presentan a continuación:

- Promedio de muestras del nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A del ruido Total ($LAeq, tp_{2,1}$)

$$Leq, p = 10 \log \left[\frac{1}{n_i} (10^{0,1Leq_1} + 10^{0,1Leq_2} + 10^{0,1Leq_i}) \right]$$

$$LAeq, tp_{2,1} = 10 \log \left[\frac{1}{5} (10^{0,1(54,14)} + 10^{0,1(51,64)} + 10^{0,1(52,74)} + 10^{0,1(53,74)} + 10^{0,1(55,16)}) \right]$$

$$Leq, tp_{2,1} = 55,65 \text{ dB}$$

- Promedio de muestras del nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A y ponderación temporal normalizada Impulsivo del ruido total ($LA_{leq}, tp_{2,1}$)

$$LA_{leq}, tp_{2,1} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \left(10^{0,1(57,56)} + 10^{0,1(53,74)} + 10^{0,1(55,06)} + 10^{0,1(54,24)} + 10^{0,1(56,06)} \right) \right]$$

$$LA_{leq}, tp_{2,1} = 55,76 \text{ dB}$$

- Promedio de muestras del nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación C del ruido Total ($LC_{eq}, tp_{2,1}$)

$$LC_{eq}, tp_{2,1} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \left(10^{0,1(65,08)} + 10^{0,1(63,08)} + 10^{0,1(63,38)} + 10^{0,1(65,28)} + 10^{0,1(65,18)} \right) \right]$$

$$LC_{eq}, tp_{2,1} = 64,50 \text{ dB}$$

- Promedio de muestras del nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A del ruido Residual ($LA_{eq}, rp_{2,1}$)

$$LA_{eq}, rp_{2,1} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \left(10^{0,1(47,74)} + 10^{0,1(47,04)} + 10^{0,1(46,54)} + 10^{0,1(46,54)} + 10^{0,1(47,04)} \right) \right]$$

$$Leq, rp_{2,1} = 46,97 \text{ dB}$$

- Promedio de muestras del nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A y ponderación temporal normalizada Impulsivo del ruido Residual ($LA_{leq}, rp_{2,1}$)

$$LA_{leq}, rp_{2,1} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \left(10^{0,1(52,74)} + 10^{0,1(50,34)} + 10^{0,1(50,44)} + 10^{0,1(49,84)} + 10^{0,1(50,34)} \right) \right]$$

$$LA_{leq}, rp_{2,1} = 50,84 \text{ dB}$$

- Promedio de muestras del nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación C del ruido Residual ($LCeq, rp_{2,1}$)

$$LCeq, rp_{2,1} = 10 \log \left[\frac{1}{5} (10^{0,1(59,88)} + 10^{0,1(56,68)} + 10^{0,1(57,58)} + 10^{0,1(58,48)} + 10^{0,1(55,58)}) \right]$$

$$LAeq, tp_{2,1} = 57,89 \text{ dB}$$

- Cálculo de correcciones por ruido residual para el caso de mediciones de $LAeq, (Kr_{2,1})$

Para el cálculo de $LAeq, (Kr_{2,1})$ es necesario calcular la diferencia entre el Ruido total promedio y Ruido residual promedio $\Delta Lr_{2,1}$.

$$\Delta L = \text{Ruido total promedio} - \text{Ruido residual promedio}$$

$$\Delta Lr_{2,1} = LAeq, tp_{2,1} - LAeq, rp_{2,1}$$

$$\Delta Lr_{2,1} = 53,65 \text{ dB} - 46,97 \text{ dB}$$

$$\Delta Lr_{2,1} = 6,68 \text{ dB}$$

$$K = -10 \log (1 - 10^{-0,1\Delta L})$$

$$Kr_{2,1} = -10 \log (1 - 10^{-0,1\Delta Lr_{2,1}})$$

$$Kr_{2,1} = -10 \log (1 - 10^{-0,1(6,68)})$$

$$Kr_{2,1} = 1,05 \text{ dB}$$

- Cálculo de correcciones por ruido residual para el caso de mediciones de $LAeq, (Ki_{2,1})$

Para el cálculo de $LAeq, (Ki_{2,1})$ es necesario calcular la diferencia $\Delta Li_{2,1}$

$$\Delta Li_{2,1} = LAeq, tp_{2,1} - LAeq, rp_{2,1}$$

$$\Delta Li_{2,1} = 55,76 \text{ dB} - 50,87 \text{ dB}$$

$$\Delta Li_{2,1} = 4,89 \text{ dB}$$

$$Kri_{2,1} = -10 \log (1 - 10^{-0,1\Delta Li_{2,1}})$$

$$Kri_{2,1} = -10 \log (1 - 10^{-0,1(4,89)})$$

$$Kri_{2,1} = 1,70 \text{ dB}$$

- Cálculo de correcciones por ruido residual para el caso de mediciones de $LCeq, (Kbf_{2,1})$

Para el cálculo de $LCeq, (Kbf_{2,1})$ es necesario calcular la diferencia $\Delta Lc_{2,1}$

$$\Delta Lc_{2,1} = LCeq, tp_{2,1} - LCeq, rp_{2,1}$$

$$\Delta Lc_{2,1} = 64,50 \text{ dB} - 57,89 \text{ dB}$$

$$\Delta Lc_{2,1} = 6,61 \text{ dB}$$

$$Krc_{2,1} = -10 \log (1 - 10^{-0,1\Delta Lc_{2,1}})$$

$$Krc_{2,1} = -10 \log (1 - 10^{-0,1(6,61)})$$

$$Kri_{2,1} = 1,07 \text{ dB}$$

- **Ruido específico (Le)**

$$\text{Ruido específico} = \text{Ruido total} - K$$

$$Le_{2,1} = LAeq, tp_{2,1} - Kr_{2,1}$$

$$Le_{2,1} = 53,65 - 1,05 \text{ dB}$$

$$Le_{2,1} = 52,60 \text{ dB}$$

- **Ruido específico (Lle)**

$$Lle_{2,1} = LAeq, tp_{2,1} - Kri_{2,1}$$

$$Lle_{2,1} = 55,76 - 1,704 \text{ dB}$$

$$Lle_{2,1} = 54,05 \text{ dB}$$

- **Ruido específico (L_{Ce})**

$$L_{Ce_{2,1}} = L_{Ce_{q,tp_{2,1}}} - K_{rc_{2,1}}$$

$$L_{Ce_{2,1}} = 64,50 - 1,07 \text{ dB}$$

$$L_{Ce_{2,1}} = 63,43 \text{ dB}$$

- Cálculo de correcciones por ruido con características impulsivas (K_{imp}) con contenido energético en frecuencias bajas (K_{bf})

$$L_{Ie_{2,1}} - L_{e_{2,1}} = 54,05 \text{ dB} - 52,60 \text{ dB} = 1,0708 \text{ dB}$$

$$L_{Ce_{2,1}} - L_{e_{2,1}} = 63,43 \text{ dB} - 52,60 \text{ dB} = 10,84 \text{ dB}$$

Si los valores calculados se hallan en un rango de 10 dB a 15 dB se debe realizar la adición de 3 dB (A) por componentes impulsivas y 3 dB (A) por componentes en bajas frecuencias, acorde a lo establecido en la tabla 9, si los valores calculados son menores a 10 dB entonces no se deberá realizar ningún tipo de corrección.

- **Nivel de presión sonora continua equivalente corregido**

$$L_{Keq_{2,1}} = L_{e_{2,1}} + K_{bf} + K_{imp}$$

$$L_{Keq_{2,1}} = 52,60 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$$

$$L_{Keq_{2,1}} = 55,60 \text{ dB}$$

3.1.3 Prueba de precisión

En la tabla 20 se puede observar que todos los valores calculados de Niveles de Presión Sonora continua Equivalente corregidos agrupados del punto 1 (Galpón de estructuras) acorde al día de medición como modelo de cálculo de precisión. El resultado de L_{Keq} de todas las mediciones se puede observar en la tabla 28 en la subsección 3.2.

Tabla 20. Prueba experimental de LKeq en el punto 1.

LKeq Punto 1 (Galpón de Estructuras)			
Mediciones	Día 1 (dB)	Día 2 (dB)	Día 3 (dB)
1	59,01	56,89	56,75
2	60,80	53,08	56,69
3	57,08	56,05	55,90
4	59,03	62,66	56,62
5	56,92	53,39	56,53
(\bar{x}_i)	58,57	56,41	56,50
(\bar{x})	57,16		

Para el cálculo de precisión se optó por realizar un análisis con varianza ANOVA, el cálculo realizado se muestra a continuación:

- **Media entre grupos (\bar{x}_i)**

$$\bar{x}_i = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde:

$n = \text{número de observaciones}$

$$\bar{x}_1 = \frac{(59,01 + 60,80 + 57,08 + 59,03 + 56,92)dB}{5}$$

$$\bar{x}_1 = 58,57 \text{ dB}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{(56,89 + 53,08 + 56,05 + 62,66 + 53,39)dB}{5}$$

$$\bar{x}_2 = 56,41 \text{ dB}$$

$$\bar{x}_3 = \frac{(56,75 + 56,69 + 55,90 + 56,62 + 55,50)dB}{5}$$

$$\bar{x}_3 = 56,50 \text{ dB}$$

- **Media global (\bar{x})**

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}_i}{p}$$

Donde:

p = número de días de observación

$$\bar{x} = \frac{(58,57 + 56,41 + 56,50)dB}{3}$$

$$\bar{x} = 57,16 \text{ dB}$$

- **Suma de cuadrados entre grupos (SS_e)**

$$SS_e = n \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

$$SS_e = 5[(58,57 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (56,41 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (56,50 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2]$$

$$SS_e = 14,90 \text{ dB}^2$$

- **Suma de cuadrados intra grupos (SS_i)**

$$SS_i = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

$$SS_i = \{[(59,01 \text{ dB} - 58,57 \text{ dB})^2 + (60,80 \text{ dB} - 58,57 \text{ dB})^2 + (57,08 \text{ dB} - 58,57 \text{ dB})^2 + (59,03 \text{ dB} - 58,57 \text{ dB})^2 + (56,92 \text{ dB} - 58,57 \text{ dB})^2] + [(56,89 \text{ dB} - 56,41 \text{ dB})^2 + (53,08 \text{ dB} - 56,41 \text{ dB})^2 + (56,05 \text{ dB} - 56,41 \text{ dB})^2 + (62,66 \text{ dB} - 56,41 \text{ dB})^2 + (53,39 \text{ dB} - 56,41 \text{ dB})^2] + [(56,75 \text{ dB} - 56,50 \text{ dB})^2 + (56,69 \text{ dB} - 56,50 \text{ dB})^2 + (55,90 \text{ dB} - 56,50 \text{ dB})^2 + (56,62 \text{ dB} - 56,50 \text{ dB})^2 + (56,53 \text{ dB} - 56,50 \text{ dB})^2]\}dB$$

$$SS_i = 70,51 \text{ dB}^2$$

- **Suma de cuadrados total (SS_t)**

$$SS_t = SS_e + SS_i$$

$$SS_t = 14,90 \text{ dB}^2 + 70,51 \text{ dB}^2$$

$$SS_t = 85,41 \text{ dB}^2$$

- **Grados de libertad entre grupos (v_e)**

$$v_e = p - 1$$

$$v_e = 3 - 1$$

$$v_e = 2$$

- **Grados de libertad intra grupos (v_i)**

$$v_i = N - p$$

$$v_i = 15 - 3$$

$$v_i = 12$$

$$v_e = 2$$

- **Grados de libertad totales (v_t)**

$$v_t = N - 1$$

$$v_t = 15 - 1$$

$$v_t = 14$$

- **Cuadrado medio entre grupos (MS_e)**

$$MS_e = \frac{SS_e}{v_e}$$

$$MS_e = \frac{14,90 \text{ dB}^2}{2}$$

$$MS_e = 17,45 \text{ dB}^2$$

- Cuadrado medio intra grupos (MS_i)

$$MS_i = \frac{SS_i}{v_i}$$

$$MS_i = \frac{70,51 \text{ dB}^2}{12}$$

$$MS_i = 5,88 \text{ dB}^2$$

- Estadístico F

$$F = \frac{MS_e}{MS_i}$$

$$F = \frac{7,45 \text{ dB}^2}{5,88 \text{ dB}^2}$$

$$F = 1,268$$

En la tabla 21 se indica en análisis de varianza ANOVA en el cual, el $F_{crítico} > F$; por lo cual la hipótesis nula es aceptada indicando que no existen diferencias significativas entre todo el grupo de datos. El cálculo de F se lo comprobó mediante una hoja de cálculo y el valor de F crítico se obtuvo de la tabla estadista de Miller [33].

Tabla 21. ANOVA de la prueba experimental de LKeq en el Punto 1

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Fcrítico
Entre grupos	14,90	2	7,45	1,268	3,885
Intra grupos	70,51	12	5,88		
Total	85,41	14			

- Desviación estándar de repetibilidad (S_r)

$$S_r = \sqrt{MS_i}$$

$$S_r = \sqrt{8,18 \text{ dB}^2}$$

$$S_r = 2,48 \text{ dB}$$

- Desviación estándar entre grupos (S_e)

$$S_e = \sqrt{\frac{MS_e - MS_i}{n}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{(3,92 - 6,17)}{5}}$$

Cuando la desviación estándar entre grupo sea menor a cero, la desviación estándar entre grupos se le toma como cero.

$$S_e = 0 \text{ dB}$$

- Desviación estándar de precisión intermedia

$$S_I = \sqrt{S_r^2 + S_e^2}$$

$$S_I = \sqrt{(2,48 \text{ dB})^2 + (0 \text{ dB})^2}$$

$$S_I = 2,48 \text{ dB}$$

- Coeficiente de variación de repetibilidad (CV_r)

$$CV_r = \frac{S_r}{\bar{x}} * 100$$

$$CV_r = \frac{2,48 \text{ dB}}{57,44 \text{ dB}} * 100$$

$$CV_r = 4,33 \%$$

- Coeficiente de variación de precisión intermedia (CV_I)

$$CV_I = \frac{S_I}{\bar{x}} * 100$$

$$CV_I = \frac{2,48 \text{ dB}}{57,44 \text{ dB}} * 100$$

$$CV_I = 4,33\%$$

Los resultados del análisis de precisión ANOVA de todos los puntos se presentan en la tabla 29 En la sección 3.2.

3.1.4 Prueba de veracidad (Incertidumbre grupal)

Para realizar la prueba de veracidad se agrupó los datos que se obtuvieron por cada punto durante los 3 días, logrando recopilar 15 datos totales con los cuales se calculó la incertidumbre en base a la norma NTE INEN-ISO 1996-2, a continuación, en la tabla 22 se describe los datos agrupados del punto 1 (Galpón de Estructuras) como modelo de cálculo para la determinación de la incertidumbre grupal como una medida de la prueba de veracidad de los resultados obtenidos

Tabla 22. Medición de los 3 días en el punto 1.

Punto	Dia	Mediciones	Ruido Total	Ruido Residual	Lkeq (dB)
			L _{Aeq,tp} (dB)	L _{Aeq,rp} (dB)	
1 (Galpón de Estructuras)	Día 1	L _{Keq} 1,1	59,38	48,50	59,01
		L _{Keq} 1,2	61,00	47,55	60,80
		L _{Keq} 1,3	57,54	47,54	57,08
		L _{Keq} 1,4	59,25	46,18	59,03
		L _{Keq} 1,5	57,15	44,31	56,92
	Día 2	L _{Keq} 2,1	57,36	47,48	56,89
		L _{Keq} 2,2	53,97	46,66	53,08
		L _{Keq} 2,3	56,47	46,11	56,05
		L _{Keq} 2,4	62,78	46,92	62,66
		L _{Keq} 2,5	54,20	46,54	53,39
	Día 3	L _{Keq} 3,1	57,07	45,56	56,75
		L _{Keq} 3,2	57,04	45,90	56,69
		L _{Keq} 3,3	56,35	46,23	55,90
		L _{Keq} 3,4	56,89	44,73	56,62
		L _{Keq} 3,5	56,91	46,09	56,53
Promedio			57,56		57,16

- **Incertidumbre típica asociada a la instrumentación u (W)**

El laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica cuenta con un sonómetro clase I, entonces el valor de la incertidumbre que se aplicó todas las mediciones es igual a ± 1 dB.

Además, se aplicó la incertidumbre emitida por el certificado de calibración externa del sonómetro y del calibrador.

Incertidumbre del sonómetro: 0,13 dB.

Incertidumbre del calibrador acústico: 0,13 dB.

- **Incertidumbre típica asociada a las condiciones de operación u(X)**

$$u(X)_{p1} = S_{rxp1}$$

$$u(X)_{p1} = \frac{1}{\sqrt{n_1}} \sqrt{\frac{1}{n_{p1} - 1} \sum_{i=1}^n (LKeq_i - \overline{LKeq})^2} = \frac{S_{rxp1}}{\sqrt{n_{p1}}}$$

$$\overline{LKeq} = \frac{\sum LKeq_i}{n}$$

$$\overline{LKeq} = \frac{(59,01 + 60,80 + 57,08 + 59,03 + 56,92 + 56,89 + 53,08 + 56,05 + 62,66 + 53,39 + 56,75 + 56,69 + 55,90 + 56,62 + 56,53)dB}{15}$$

$$\overline{LKeq} = 57,16 \text{ dB}$$

$$u(X)_{p1} = \frac{1}{\sqrt{15}} * \left\{ \left[\frac{1}{15-1} \right] * [(59,01 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (60,80 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (57,08 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (29,03 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (56,92 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (56,89 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (53,08 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (56,05 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (62,66 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (53,39 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (56,75 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (56,69 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (55,90 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (56,62 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 + (56,53 \text{ dB} - 57,16 \text{ dB})^2 +] \right\}^{0.5}$$

$$u(X)_{p1} = 0,6378 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica asociada a las condiciones meteorológicas u (Y)**

Durante la validación de la metodología las mediciones realizo en 4 puntos diferentes, en suelo blando y sin sombra acústica, acorde al Anexo informativo A de la norma NTE INEN-ISO 1996-2 tomamos el valor de incertidumbre u(Y) de $\pm 1,5$ dB para cada medición.

- **Incertidumbre típica asociada a la contribución de ruido residual u(Z)**

$$u(z_{p1}) = (S_{rXp1}^2 - S_{rTp1}^2)$$

$$S_{rTp1} = \frac{1}{\sqrt{n_{p1}}} \sqrt{\frac{1}{n_{p1}-1} \sum_{i=1}^n (LKeq_i - \overline{LKeq})^2} =$$

$$\overline{LAeq} = \frac{\sum LAeq_i}{n}$$

$$\overline{LAeq} = \frac{(59,38 + 61 + 57,64 + 59,25 + 57,15 + 57,36 + 53,97 + 56,47 + 62,78 + 54,20 + 57,07 + 57,04 + 56,35 + 56,89 + 56,91) \text{ dB}}{15}$$

$$\overline{LAeq} = 57,56 \text{ dB}$$

$$S_{rTp1} = \frac{1}{\sqrt{15}} * \left\{ \left[\frac{1}{15-1} \right] \right. \\
* [(59,38 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 + (61 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 \\
+ (57,64 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 + (59,25 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 \\
+ (57,15 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 + (57,36 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 \\
+ (53,97 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 + (56,47 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 \\
+ (62,78 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 + (54,20 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 \\
+ (57,07 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 + (57,04 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 \\
+ (56,35 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 + (56,89 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 \\
\left. + (59,91 \text{ dB} - 57,56 \text{ dB})^2 \right\}^{0,5}$$

$$S_{rTp1} = 0,5923 \text{ dB}$$

$$u(z_{p1}) = \sqrt{(0,6378^2 - 0,5923^2)}$$

$$u(z_{p1}) = 0,2365 \text{ dB}$$

- **Coefficientes de sensibilidad**

$$c(z) = \frac{10^{\frac{LAeq,rp}{10}}}{10^{\frac{LAeq,tp}{10}} - 10^{\frac{LAeq,rp}{10}}}$$

$$c(z_1) = \frac{10^{\frac{48,50 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{59,38 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{48,504 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_1) = 0,0890$$

$$c(z_2) = \frac{10^{\frac{47,55 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{61 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{47,55 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_2) = 0,0473$$

$$c(z_3) = \frac{10^{\frac{47,54 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{57,54 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{47,54 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_3) = 0,1110$$

$$c(z_4) = \frac{10^{\frac{46,18 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{59,25 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{46,18 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_4) = 0,0519$$

$$c(z_5) = \frac{10^{\frac{44,31 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{57,15 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{44,31 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_5) = 0,0548$$

$$c(z_6) = \frac{10^{\frac{47,48 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{57,36 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{47,48 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_6) = 0,1147$$

$$c(z_7) = \frac{10^{\frac{46,66 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{53,97 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{46,66 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_7) = 0,2282$$

$$c(z_8) = \frac{10^{\frac{46,11 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{56,47 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{46,11 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_8) = 0,1015$$

$$c(z_9) = \frac{10^{\frac{46,92 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{62,78 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{46,92 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_9) = 0,0266$$

$$c(z_{10}) = \frac{10^{\frac{46,54 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{54,20 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{46,54 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_{10}) = 0,2067$$

$$c(z_{11}) = \frac{10^{\frac{45,56 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{57,07 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{45,56 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_{11}) = 0,0760$$

$$c(z_{12}) = \frac{10^{\frac{45,90 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{57,04 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{45,90 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_{12}) = 0,0834$$

$$c(z_{13}) = \frac{10^{\frac{46,23 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{56,35 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{46,23 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_{13}) = 0,1080$$

$$c(z_{14}) = \frac{10^{\frac{44,73 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{56,89 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{44,73 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_{14}) = 0,0647$$

$$c(z_{15}) = \frac{10^{\frac{46,09 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{56,91 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{46,09 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_{15}) = 0,0903$$

Una vez realizado el cálculo de los coeficientes de sensibilidad del punto 1 (galpón de estructuras), para el cálculo valor de $u(Z)$ se debe de multiplicar el valor de $u(z)$ por el peor valor de coeficiente de sensibilidad, es decir con el coeficiente mayor.

$$u(Z_{2,3}) = u(z_{2,3}) * c(z_7)$$

$$u(Z_{2,3}) = 0,2365 \text{ dB} * 0,2282$$

$$u(Z_{2,3}) = 0,0540 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica combinada $u_c(LK eq)$**

$$u_{c2,3}(LK eq) = \sqrt{[u(W)^2 + u(X)^2 + u(Y)^2 + u(Z)^2]}$$

$$u_{c2,3}(LK eq)$$

$$= \sqrt{[(1 \text{ dB})^2 + (0,13 \text{ dB})^2 + (0,13 \text{ dB})^2 + (0,6378 \text{ dB})^2 + (1,5 \text{ dB})^2 + (0,0540 \text{ dB})^2]}$$

$$u_{c2,3}(LK eq) = 1,92 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre expandida $U(LK eq)$**

$$U_{2,3}(LK eq) = 2 * \sqrt{[u(W)^2 + u(X)^2 + u(Y)^2 + u(Z)^2]}$$

$$U_{2,3}(LK eq)$$

$$= 2$$

$$* \sqrt{[(1 \text{ dB})^2 + (0,13 \text{ dB})^2 + (0,13 \text{ dB})^2 + (0,6378 \text{ dB})^2 + (1,5 \text{ dB})^2 + (0,0540 \text{ dB})^2]}$$

$$U_{2,3}(LKeq) = 3,84 \text{ dB}$$

Los resultados totales de la evaluación de la incertidumbre grupal se lo pueden verificar en la Tabla 31 en la subsección 3.1.9

3.1.5 Campo de linealidad del sonómetro

Sonómetro Cirrus, modelo CR:171C, en la tabla 23 se puede observar el campo de linealidad emitido por el fabricante, presentando un rango de trabajo de 24 dB a 139 dB, el cual fue comprobado con la linealidad emitida en el certificado de calibración externa (ver Anexo 14) en un intervalo de 20 dB a 140 dB [34] .

Tabla 23. Campo de linealidad del sonómetro Cirrus CR:171C [34].

Intervalo de funcionamiento lineal De acuerdo con IEC 61672.	
Ponderado A	24 a 139 dB
Ponderado C	30 a 139 dB
Ponderado Z	45 a 139 dB

3.1.6 Determinación de la incertidumbre de medida

A continuación, en la tabla 24 se describe la medición 3, en el punto 1 del día 2 como modelo de cálculo para la determinación de la incertidumbre de medida como una prueba de veracidad de los resultados obtenidos. Los resultados totales de la evaluación de la incertidumbre se lo pueden verificar en la Tabla 32.

Tabla 24. Medición 3 en el día 2 en el punto 1 y valores de LKeq

Medición	LSp (A) dB Total (dB)	LSp (A) dB Residual (dB)	Lkeq (dB)
1	55,66	44,64	55,30
2	57,16	45,74	59,83
3	56,26	45,24	55,90
4	56,66	46,64	56,20
5	56,46	47,64	55,85
\bar{x}_i	56,44	-	56,62

- **Incertidumbre típica asociada a la instrumentación u (W)**

El laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica cuenta con un sonómetro clase I, entonces el valor de la incertidumbre que se aplicó todas las mediciones es igual a ± 1 dB.

Además, se aplicó la incertidumbre emitida por el certificado de calibración externa del sonómetro y del calibrador.

Incertidumbre del sonómetro: 0,13 dB.

Incertidumbre del calibrador: 0,13 dB.

- **Incertidumbre típica asociada a las condiciones de operación u(X)**

$$u(X)_{2,3} = S_{rx2,3}$$

$$u(X)_{2,3} = \frac{1}{\sqrt{n_{2,3}}} \sqrt{\frac{1}{n_{2,3} - 1} \sum_{i=1}^n (LKeq_i - \overline{LKeq})^2} = \frac{S_{rx2,3}}{\sqrt{n_{2,3}}}$$

$$\overline{LKeq} = \frac{\sum LKeq_i}{n}$$

$$\overline{LKeq} = \frac{(55,30 + 59,83 + 55,90 + 56,20 + 55,85) \text{ dB}}{5}$$

$$\overline{LKeq} = 56,62 \text{ dB}$$

$$u(X)_{2,3} = \frac{1}{\sqrt{5}} * \left\{ \left[\frac{1}{5-1} \right] * [(55,30 \text{ dB} - 56,62 \text{ dB})^2 + (59,83 \text{ dB} - 56,62 \text{ dB})^2 + (55,90 \text{ dB} - 56,62 \text{ dB})^2 + (56,20 \text{ dB} - 56,62 \text{ dB})^2 + (55,85 \text{ dB} - 56,62 \text{ dB})^2] \right\}^{0.5}$$

$$u(X)_{2,3} = 0,8171 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica asociada a las condiciones meteorológicas u (Y)**

Durante la validación de la metodología las mediciones realizo en 4 puntos diferentes, en suelo blando y sin sombra acústica, acorde al Anexo informativo A

de la norma NTE INEN-ISO 1996-2 tomamos el valor de incertidumbre $u(Y)$ de $\pm 1,5$ dB para cada medición.

- **Incertidumbre típica asociada a la contribución de ruido residual $u(Z)$**

$$u(z_{2,3}) = (S_{rX2,3}^2 - S_{rT2,3}^2)$$

$$S_{rT2,3} = \frac{1}{\sqrt{n_{2,3}}} \sqrt{\frac{1}{n_{2,3} - 1} \sum_{i=1}^n (LKeq_i - \overline{LKeq})^2 =}$$

$$\overline{LAeq} = \frac{\sum LAeq_i}{n}$$

$$\overline{LAeq} = \frac{55,66 \text{ dB} + 57,16 \text{ dB} + 56,26 \text{ dB} + 56,66 \text{ dB} + 56,46 \text{ dB}}{5}$$

$$\overline{LAeq} = 56,44 \text{ dB}$$

$$S_{rT2,3} = \frac{1}{\sqrt{5}} * \left\{ \left[\frac{1}{5-1} \right] * [(55,66 \text{ dB} - 56,44 \text{ dB})^2 + (57,16 \text{ dB} - 56,44 \text{ dB})^2 + (56,26 \text{ dB} - 56,44 \text{ dB})^2 + (56,66 \text{ dB} - 56,44 \text{ dB})^2 + (56,46 \text{ dB} - 56,44 \text{ dB})^2] \right\}^{0.5}$$

$$S_{rT2,3} = 0,2458 \text{ dB}$$

$$u(z_{2,3}) = \sqrt{(0,8171^2 - 0,2458^2)}$$

$$u(z_{2,3}) = 0,7793 \text{ dB}$$

- **Coefficientes de sensibilidad**

$$c(z) = \frac{10^{\frac{LAeq,rp}{10}}}{10^{\frac{LAeq,tp}{10}} - 10^{\frac{LAeq,rp}{10}}}$$

$$c(z_1) = \frac{10^{\frac{44,64 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{55,66 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{44,64 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_1) = 0,0859$$

$$c(z_2) = \frac{10^{\frac{45,74 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{57,16 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{45,74 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_2) = 0,0777$$

$$c(z_3) = \frac{10^{\frac{45,24 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{56,26 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{45,24 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_3) = 0,0859$$

$$c(z_4) = \frac{10^{\frac{46,64 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{56,66 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{46,64 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_4) = 0,1105$$

$$c(z_5) = \frac{10^{\frac{47,64 \text{ dB}}{10}}}{10^{\frac{56,46 \text{ dB}}{10}} - 10^{\frac{47,64 \text{ dB}}{10}}}$$

$$c(z_5) = 0,1510$$

Una vez realizado el cálculo de los coeficientes de sensibilidad de la medición 3, en el punto 1 del día 2, para el cálculo valor de $u(Z)$ se debe de multiplicar el valor de $u(z)$ por el peor valor de coeficiente de sensibilidad, es decir con el coeficiente mayor.

$$u(Z_{2,3}) = u(z_{2,3}) * c(z_5)$$

$$u(Z_{2,3}) = 0,7793 \text{ dB} * 0,1510$$

$$u(Z_{2,3}) = 0,1177 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica combinada $u_c(LK eq)$**

$$u_{c3,1}(LK eq) = \sqrt{[u(W)^2 + u(X)^2 + u(Y)^2 + u(Z)^2]}$$

$$u_{c3,1}(LK eq)$$

$$= \sqrt{[(1 \text{ dB})^2 + (0,13 \text{ dB})^2 + (0,13 \text{ dB})^2 + (0,8171 \text{ dB})^2 + (1,5 \text{ dB})^2 + (0,1177 \text{ dB})^2]}$$

$$u_{c3,1}(LK eq) = 1,99 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre expandida $U(LK eq)$**

$$U_{3,1}(LK eq) = 2 * \sqrt{[u(W)^2 + u(X)^2 + u(Y)^2 + u(Z)^2]}$$

$$U_{3,1}(LKeq) = 2 \sqrt{[(1 \text{ dB})^2 + (0,13 \text{ dB})^2 + (0,13 \text{ dB})^2(0,8171 \text{ dB})^2 + (1,5 \text{ dB})^2 + (0,1177 \text{ dB})^2]}$$

$$U_{3,1}(LKeq) = 3,98 \text{ dB}$$

3.1.7 Resultados de ruido ambiental

a) Determinación del Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente Corregido

Para llevar a cabo las mediciones de nivel de presión sonora, acorde a lo que especifica la norma NTE INEN-ISO 1996-2 se realizó una comprobación al micrófono con el calibrador acústico clase I antes y después de cada serie de mediciones, el cual se puede observar en las tablas 28 y 29. Siguiendo los lineamientos del Acuerdo Ministerial 097-A se realizó una comprobación de las condiciones meteorológicas durante los días donde se llevó a cabo las mediciones, esto se lo puede observar en la tabla 27. Los resultados de todas las mediciones y cálculo del LKeq se puede observar en la tabla 28.

Tabla 25. Comprobación del sonómetro con el calibrador acústico antes de las mediciones.

Nivel de Presión Sonora Lento Ponderación A (LspA)				
Antes de la medición				
Fecha:		29/3/2022	30/3/2022	31/3/2022
Punto 1	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
Punto 2	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
Punto 3	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
Punto 4	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI

^a Criterio de aceptación: tolerancia $\pm 0,075$ dB.

Tabla 26. Comprobación del sonómetro con el calibrador acústico antes de las mediciones.

Nivel de Presión Sonora Lento Ponderación A (LspA)				
Después de la medición				
Fecha:		29/3/2022	30/3/2022	31/3/2022
Punto 1	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
Punto 2	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
Punto 3	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
Punto 4	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI

^a Criterio de aceptación: tolerancia $\pm 0,075$ dB.

Tabla 27. Condiciones meteorológicas durante los días de medición de ruido ambiental.

Velocidad del viento				
Fecha:	29/3/2022	30/3/2022	31/3/2022	Cumple^a
Punto 1	3,2 m/s	0,3 m/s	1,6 m/s	SI
	3,4 m/s	0,4 m/s	0,7 m/s	SI
	3 m/s	1,1 m/s	2,5 m/s	SI
	1,6 m/s	0,3 m/s	2,2 m/s	SI
	1,8 m/s	0,6 m/s	2,5 m/s	SI
Punto 2	0,7 m/s	1,6 m/s	0,1 m/s	SI
	1,2 m/s	0,3 m/s	0,2 m/s	SI
	1,6 m/s	0,3 m/s	1,3 m/s	SI
	0,1 m/s	0,1 m/s	0,4 m/s	SI
	0,1 m/s	0,4 m/s	1 m/s	SI
Punto 3	1,6 m/s	0,5 m/s	0,5 m/s	SI
	2,7 m/s	1,2 m/s	0,8 m/s	SI
	2,4 m/s	1,6 m/s	0,3 m/s	SI
	2,5 m/s	1,3 m/s	0,8 m/s	SI
	1,6 m/s	0,5 m/s	0,2 m/s	SI
Punto 4	1,9 m/s	1 m/s	0,2 m/s	SI
	2 m/s	0,5 m/s	0 m/s	SI
	4 m/s	1,2 m/s	0,6 m/s	SI
	1,36 m/s	0,2 m/s	0,4 m/s	SI
	2,3 m/s	1,2 m/s	0,6 m/s	SI

Precipitación				
Punto 1	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Punto 2	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Punto 3	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Punto 4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Nubosidad				
Punto 1	0 octas	0 octas	0 octas	0 octas
Punto 2	0 octas	0 octas	0 octas	0 octas
Punto 3	0 octas	0 octas	0 octas	0 octas
Punto 4	0 octas	0 octas	0 octas	0 octas

^a Criterio de aceptación: velocidad de viento ≤ 5 m/s, ausencia de precipitación, nubosidad medida en octas.

Tabla 28. Evaluación del Nivel de presión sonora y cálculo de LKeq de las mediciones durante los 3 días.

Punto	Día	Mediciones	Promedio Ruido total			Promedio Ruido residual			Correcciones por ruido residual									LKeq	
			LAeq,tp	LAIeq,tp	LCeq,tp	LAeq,rp	LAIeq,rp	LCeq,rp	Kr	Kri	Krc	Le	Lle	LCe	Lle-Le	LCe-Le	Kimp		Kbf
1 (Galpón de Estructuras)	Día 1	LKeq 1,1	59,38	62,29	64,23	48,50	51,73	58,11	0,3704	0,4003	1,2161	59,01	61,89	63,02	2,88	4,01	0	0	59,01
		LKeq 1,2	61,00	64,35	65,43	47,55	50,82	55,23	0,2008	0,1968	0,4361	60,80	64,16	64,99	3,36	4,19	0	0	60,80
		LKeq 1,3	57,54	60,77	63,90	47,54	51,10	55,54	0,4572	0,4955	0,6848	57,08	60,28	63,21	3,20	6,13	0	0	57,08
		LKeq 1,4	59,25	65,65	65,60	46,18	48,97	57,10	0,2197	0,0943	0,6605	59,03	65,55	64,94	6,52	5,91	0	0	59,03
		LKeq 1,5	57,15	61,54	64,31	44,31	46,98	53,34	0,2317	0,1547	0,3623	56,92	61,38	63,95	4,46	7,03	0	0	56,92
	Día 2	LKeq 2,1	57,36	56,63	64,69	47,48	52,33	61,46	0,4715	2,0163	2,8040	56,89	54,61	61,88	2,28	4,99	0	0	56,89
		LKeq 2,2	53,97	55,86	63,33	46,66	49,66	57,93	0,8926	1,1921	1,4759	53,08	54,67	61,85	1,59	8,78	0	0	53,08
		LKeq 2,3	56,47	57,40	64,17	46,11	50,17	56,23	0,4198	0,9092	0,7605	56,05	56,50	63,41	0,45	7,36	0	0	56,05
		LKeq 2,4	62,78	67,39	66,39	46,92	52,53	57,16	0,1141	0,1441	0,5521	62,66	67,24	65,84	4,58	3,17	0	0	62,66
		LKeq 2,5	54,20	56,99	64,11	46,54	49,87	56,94	0,8160	0,9370	0,9237	53,39	56,06	63,19	2,67	9,80	0	0	53,39
	Día 3	LKeq 3,1	57,07	60,72	65,10	45,56	47,53	60,04	0,3180	0,2139	1,6232	56,75	60,50	63,48	3,75	6,73	0	0	56,75
		LKeq 3,2	57,04	60,36	65,51	45,90	48,60	56,87	0,3478	0,3003	0,6388	56,69	60,06	64,87	3,37	8,18	0	0	56,69
		LKeq 3,3	56,35	59,68	65,76	46,23	49,99	56,61	0,4453	0,4925	0,5632	55,90	59,19	65,19	3,29	9,29	0	0	55,90
		LKeq 3,4	56,89	60,30	64,72	44,73	48,52	54,93	0,2723	0,2985	0,4812	56,62	60,00	64,24	3,38	7,62	0	0	56,62
		LKeq 3,5	56,91	60,84	65,39	46,09	48,94	55,48	0,3755	0,2899	0,4675	56,53	60,55	64,93	4,02	8,39	0	0	56,53

Tabla 28. Continuación.

2 (Galpón de Estructuras)	Día 1	LKeq 1,1	55,03	58,03	61,57	45,11	48,01	55,77	0,4662	0,4559	1,3266	54,57	57,57	60,25	3,01	5,68	0	0	54,57
		LKeq 1,2	58,46	62,26	66,94	44,75	47,59	54,49	0,1893	0,1508	0,2544	58,27	62,11	66,68	3,84	8,41	0	0	58,27
		LKeq 1,3	57,70	61,18	63,62	45,46	48,07	56,62	0,2677	0,2177	0,9687	57,43	60,96	62,65	3,53	5,22	0	0	57,43
		LKeq 1,4	58,33	62,06	69,23	45,25	47,94	56,42	0,2193	0,1719	0,2335	58,11	61,88	68,99	3,78	10,89	0	3	61,11
		LKeq 1,5	59,26	65,65	65,26	44,44	47,74	55,18	0,1456	0,0708	0,4486	59,12	65,58	64,81	6,46	5,69	0	0	59,12
	Día 2	LKeq 2,1	60,83	69,62	66,58	46,39	58,08	64,39	0,1590	0,3162	4,0176	60,67	69,30	62,56	8,63	1,89	0	0	60,67
		LKeq 2,2	55,03	55,80	65,14	47,13	50,30	59,60	0,7690	1,4382	1,4217	54,26	54,36	63,72	0,10	9,46	0	0	54,26
		LKeq 2,3	62,00	68,97	68,14	46,70	52,06	55,83	0,1302	0,0894	0,2630	61,87	68,88	67,87	7,01	6,01	0	0	61,87
		LKeq 2,4	53,94	56,36	64,42	46,29	52,06	56,54	0,8173	2,0224	0,7733	53,13	54,33	63,64	1,21	10,51	0	3	56,13
		LKeq 2,5	56,52	58,49	65,07	46,75	51,69	56,07	0,4846	1,0180	0,5831	56,03	57,48	64,49	1,44	8,46	0	0	56,03
	Día 3	LKeq 3,1	57,35	59,37	65,96	45,38	47,92	54,66	0,2847	0,3230	0,3347	57,07	59,04	65,62	1,98	8,56	0	0	57,07
		LKeq 3,2	57,63	58,86	66,53	42,48	45,55	53,53	0,1345	0,2077	0,2231	57,50	58,65	66,31	1,15	8,81	0	0	57,50
		LKeq 3,3	57,27	59,13	62,01	43,38	46,32	55,09	0,1810	0,2338	0,9871	57,09	58,89	61,02	1,80	3,93	0	0	57,09
		LKeq 3,4	56,72	62,77	65,03	43,71	46,06	53,10	0,2229	0,0938	0,2878	56,49	62,67	64,74	6,18	8,25	0	0	56,49
		LKeq 3,5	54,26	58,54	63,89	41,59	44,53	51,12	0,2413	0,1761	0,2359	54,02	58,36	63,66	4,34	9,64	0	0	54,02

Tabla 28. Continuación.

3 (Galpón de Pinturas y terminados)	Día 1	LKeq 1,1	57,42	64,09	64,41	44,82	46,97	55,11	0,2455	0,0852	0,5427	57,17	64,00	63,87	6,83	6,70	0	0	57,17
		LKeq 1,2	56,84	60,91	66,66	44,49	47,07	54,83	0,2607	0,1835	0,2948	56,58	60,72	66,37	4,15	9,79	0	0	56,58
		LKeq 1,3	56,57	59,81	63,91	44,39	46,85	54,34	0,2710	0,2250	0,5092	56,30	59,59	63,40	3,29	7,10	0	0	56,30
		LKeq 1,4	55,64	58,60	62,19	44,63	46,49	54,27	0,3585	0,2756	0,7644	55,28	58,32	61,42	3,04	6,14	0	0	55,28
		LKeq 1,5	57,90	61,97	65,76	44,30	46,59	54,83	0,1941	0,1277	0,3658	57,70	61,84	65,39	4,14	7,69	0	0	57,70
	Día 2	LKeq 2,1	53,65	55,76	64,50	46,97	50,87	57,89	1,0502	1,7044	1,0693	52,60	54,05	63,43	1,46	10,84	0	3	55,60
		LKeq 2,2	54,67	57,44	66,36	47,77	52,89	57,63	0,9909	1,8755	0,6248	53,68	55,57	65,73	1,89	12,05	0	3	56,68
		LKeq 2,3	53,57	61,15	63,88	47,24	52,02	57,98	1,1519	0,5668	1,2900	52,42	60,58	62,59	8,16	10,18	0	3	55,42
		LKeq 2,4	55,10	57,49	63,13	46,76	52,63	57,27	0,6885	1,7173	1,3061	54,41	55,77	61,82	1,36	7,41	0	0	54,41
		LKeq 2,5	54,36	56,22	62,15	46,75	51,28	57,46	0,8265	1,6811	1,8038	53,54	54,54	60,35	1,00	6,81	0	0	53,54
	Día 3	LKeq 3,1	58,69	62,48	65,29	44,35	46,27	55,37	0,1630	0,1054	0,4671	58,53	62,37	64,82	3,84	6,29	0	0	58,53
		LKeq 3,2	57,26	62,05	64,67	42,33	45,83	55,26	0,1417	0,1048	0,5282	57,12	61,95	64,15	4,83	7,02	0	0	57,12
		LKeq 3,3	54,51	58,08	63,92	44,13	47,05	55,02	0,4172	0,3571	0,5992	54,09	57,72	63,32	3,63	9,23	0	0	54,09
		LKeq 3,4	56,65	58,70	61,78	44,04	47,51	54,76	0,2453	0,3433	0,9608	56,40	58,36	60,82	1,96	4,42	0	0	56,40
		LKeq 3,5	51,17	53,79	59,87	43,74	47,49	54,20	0,8657	1,1576	1,3752	50,31	52,64	58,49	2,33	8,18	0	0	50,31

Tabla 28. Continuación.

4 (Galpón de Estructuras y bodega)	Día 1	LKeq 1,1	51,50	56,80	65,58	43,58	46,22	53,84	0,7642	0,3972	0,3011	50,74	56,41	65,28	5,67	14,54	0	3	53,74
		LKeq 1,2	53,04	57,67	63,65	43,55	45,98	53,85	0,5187	0,3047	0,4806	52,52	57,36	63,17	4,84	10,65	0	3	55,52
		LKeq 1,3	53,82	59,05	64,58	44,66	46,61	54,34	0,5622	0,2548	0,4319	53,26	58,80	64,15	5,54	10,89	0	3	56,26
		LKeq 1,4	51,07	57,07	63,44	43,97	46,10	53,36	0,9411	0,3613	0,4490	50,13	56,71	62,99	6,58	12,86	0	3	53,13
		LKeq 1,5	52,93	61,02	63,17	44,29	46,43	55,06	0,6393	0,1534	0,7284	52,29	60,87	62,45	8,58	10,16	0	3	55,29
	Día 2	LKeq 2,1	50,48	56,89	61,48	45,03	50,46	55,87	1,4600	1,1235	1,3948	49,02	55,76	60,08	6,74	11,07	0	3	52,02
		LKeq 2,2	53,23	56,78	59,27	45,06	47,90	55,08	0,7183	0,6019	2,0845	52,51	56,17	57,19	3,67	4,68	0	0	52,51
		LKeq 2,3	51,53	55,62	61,90	45,87	49,06	56,01	1,3752	1,0841	1,2923	50,15	54,53	60,61	4,38	10,46	0	3	53,15
		LKeq 2,4	53,88	57,58	64,04	44,94	47,89	53,56	0,5919	0,4938	0,4070	53,29	57,08	63,64	3,79	10,34	0	3	56,29
		LKeq 2,5	52,93	56,11	60,70	44,63	47,41	53,88	0,6954	0,6298	1,0117	52,23	55,48	59,69	3,25	7,45	0	0	52,23
	Día 3	LKeq 3,1	50,89	55,49	64,85	45,72	47,53	60,04	1,5767	0,7577	1,7424	49,31	54,73	63,11	5,42	13,80	0	3	52,31
		LKeq 3,2	51,57	55,75	63,78	45,29	48,50	58,18	1,1643	0,9080	1,3982	50,41	54,84	62,38	4,43	11,97	0	3	53,41
		LKeq 3,3	54,09	55,77	64,86	44,59	47,33	56,36	0,5165	0,6701	0,6611	53,58	55,10	64,20	1,53	10,62	0	3	56,58
		LKeq 3,4	55,02	57,37	65,65	43,61	46,06	56,58	0,3261	0,3333	0,5739	54,69	57,04	65,08	2,35	10,39	0	3	57,69
		LKeq 3,5	50,54	53,46	57,86	43,68	46,04	55,97	1,0013	0,8669	4,5185	49,54	52,60	53,35	3,06	3,80	0	0	49,54

b) Prueba de precisión

En la tabla 29 se puede observar los resultados del análisis de varianza ANOVA verificando que el F sea menor al $F_{\text{crítico}}$ y no exista dispersión entre los datos obtenidos.

Tabla 29. Evaluación de precisión ANOVA.

Punto	F	$F_{\text{crítico}}$	Criterio de aceptación	¿Cumple?
1 (Galpón de Estructuras)	1,2679	3,885	$F < F_{\text{crítico}}$	SI
2 (Galpón de Estructuras)	0,6349	3,885	$F < F_{\text{crítico}}$	SI
3 (Galpón de Pinturas y terminados)	0,7818	3,885	$F < F_{\text{crítico}}$	SI
4 (Galpón de Estructuras y bodega)	0,5777	3,885	$F < F_{\text{crítico}}$	SI

En la Tabla 30 se puede observar los resultados que se obtuvieron del coeficiente de variación de repetibilidad y el coeficiente de variación intermedia.

Tabla 30. Evaluación de precisión.

Evaluación de precisión				
Repetibilidad				
Punto	Sr (dB)	CVr (%)	Criterio de aceptación	¿Cumple?
1 (Galpón de Estructuras)	2,4240	4,2408	$CVr \leq 5 \%$	SI
2 (Galpón de Estructuras)	2,4850	4,3262	$CVr \leq 5 \%$	SI
3 (Galpón de Pinturas y terminados)	2,0504	3,6829	$CVr \leq 5 \%$	SI
4 (Galpón de Estructuras y bodega)	2,2811	4,2259	$CVr \leq 5 \%$	SI
Precisión intermedia				
Punto	SI (dB)	CVI (%)	Criterio de aceptación	¿Cumple?
1 (Galpón de Estructuras)	2,4881	4,3530	$CVI \leq 5 \%$	SI
2 (Galpón de Estructuras)	2,4850	4,3262	$CVI \leq 5 \%$	SI
3 (Galpón de Pinturas y terminados)	2,0504	3,6829	$CVI \leq 5 \%$	SI
4 (Galpón de Estructuras y bodega)	2,2811	4,2259	$CVI \leq 5 \%$	SI

c) Prueba de veracidad (Calculo de incertidumbre grupal)

Medida mínima tomada durante los 3 días de medición: 41, 3 dB, 10%= 4,13 dB.

Tabla 31. Evaluación de veracidad (Incertidumbre grupal)

Evaluación de la Incertidumbre expandida U(LK _{eq})			
Punto	Dato calculado (dB)	Criterio de aceptación	¿Cumple?
1 (Galpón de Estructuras)	3,84	U(LK _{eq}) ≤ 10% medida máxima tomada	SI
2 (Galpón de Estructuras)	3,83	U(LK _{eq}) ≤ 10% medida máxima tomada L _{Sp} (A)	SI
3 (Galpón de Pinturas y terminados)	3,77	U(LK _{eq}) ≤ 10% medida máxima tomada L _{Sp} (A)	SI
4 (Galpón de Estructuras y bodega)	3,82	U(LK _{eq}) ≤ 10% medida máxima tomada L _{Sp} (A)	SI

3.1.8 Cálculo de la incertidumbre de medida

En la tabla 32 se puede observar los valores de la incertidumbre obtenidos durante los 3 días de medición.

Tabla 32. Incertidumbre de la medida

Punto	Día	L _{keq}	u(W) (dB)			u(X)	u(Y)	u(Z)	u _c (L _{keq})	U(L _{keq})
		(dB)	Calibración del sonómetro (dB)	Calibración del calibrador (dB)	Sonómetro clase 1	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
1	Día 1	59,01	0,13	0,13	1	2,6322	1,5	2,3477	3,97	7,93
		60,80	0,13	0,13	1	1,2998	1,5	0,0801	2,23	4,46
		57,08	0,13	0,13	1	1,1073	1,5	0,1390	2,13	4,26
		59,03	0,13	0,13	1	2,0885	1,5	0,9453	2,92	5,84
		56,92	0,13	0,13	1	0,9728	1,5	0,0354	2,06	4,11
	Día 2	56,89	0,13	0,13	1	0,7414	1,5	0,0693	1,96	3,92
		53,08	0,13	0,13	1	2,5628	1,5	2,6756	4,12	8,25
		56,05	0,13	0,13	1	0,8171	1,5	0,1177	1,99	3,98
		62,66	0,13	0,13	1	2,3097	1,5	0,2390	2,95	5,89
		53,39	0,13	0,13	1	1,6904	1,5	1,2515	2,78	5,55
	Día 3	56,75	0,13	0,13	1	0,4541	1,5	0,0134	1,87	3,74
		56,69	0,13	0,13	1	1,3369	1,5	0,2460	2,27	4,53
		55,90	0,13	0,13	1	0,7915	1,5	0,1921	1,99	3,97
		56,62	0,13	0,13	1	1,3928	1,5	0,0665	2,29	4,57
		56,53	0,13	0,13	1	0,7890	1,5	0,1085	1,98	3,96
2	Día 1	54,57	0,13	0,13	1	0,8443	1,5	0,0251	2,00	4,00
		58,27	0,13	0,13	1	1,3367	1,5	0,1012	2,25	4,51
		57,43	0,13	0,13	1	1,1951	1,5	0,0614	2,17	4,34
		61,11	0,13	0,13	1	3,6284	1,5	2,7557	4,90	9,81

	Día 2	59,12	0,13	0,13	1	1,5218	1,5	0,0889	2,37	4,74	
		60,67	0,13	0,13	1	1,8918	1,5	0,4219	2,65	5,31	
		54,26	0,13	0,13	1	2,4067	1,5	2,7997	4,11	8,23	
		61,87	0,13	0,13	1	1,9506	1,5	0,5949	2,73	5,46	
		56,13	0,13	0,13	1	0,7205	1,5	0,2710	1,97	3,94	
	56,03	0,13	0,13	1	0,2818	1,5	0,0083	1,83	3,67		
	Día 3	57,07	0,13	0,13	1	0,3283	1,5	0,0119	1,84	3,68	
		57,50	0,13	0,13	1	0,3427	1,5	0,0081	1,84	3,69	
		57,09	0,13	0,13	1	1,1684	1,5	0,0275	2,16	4,31	
		56,49	0,13	0,13	1	1,1894	1,5	0,0566	2,17	4,34	
		54,02	0,13	0,13	1	1,4066	1,5	0,1632	2,30	4,60	
	3	Día 1	57,17	0,13	0,13	1	2,0025	1,5	0,2425	2,71	5,42
			56,58	0,13	0,13	1	0,9077	1,5	0,0765	2,03	4,06
			56,30	0,13	0,13	1	1,2399	1,5	0,0170	2,20	4,39
			55,28	0,13	0,13	1	1,5091	1,5	0,1582	2,36	4,73
57,70			0,13	0,13	1	0,2894	1,5	0,0046	1,84	3,67	
Día 2		55,60	0,13	0,13	1	0,7820	1,5	0,2646	1,99	3,98	
		56,68	0,13	0,13	1	1,1843	1,5	0,7633	2,30	4,59	
		55,42	0,13	0,13	1	1,2354	1,5	0,6523	2,29	4,58	
		54,41	0,13	0,13	1	1,5040	1,5	0,8032	2,49	4,98	
		53,54	0,13	0,13	1	0,7962	1,5	0,1357	1,98	3,97	
Día 3		58,53	0,13	0,13	1	0,7437	1,5	0,0101	1,96	3,92	
		57,12	0,13	0,13	1	1,0061	1,5	0,0111	2,07	4,15	
		54,09	0,13	0,13	1	2,0396	1,5	0,6054	2,79	5,59	
		56,40	0,13	0,13	1	1,4025	1,5	0,0965	2,29	4,59	
		50,31	0,13	0,13	1	0,5393	1,5	0,0871	1,89	3,79	
4	Día 1	53,74	0,13	0,13	1	1,0568	1,5	0,3570	2,13	4,26	
		55,52	0,13	0,13	1	0,9897	1,5	0,1551	2,07	4,14	
		56,26	0,13	0,13	1	1,4513	1,5	0,3213	2,34	4,69	
		53,13	0,13	0,13	1	1,5840	1,5	0,7419	2,52	5,04	
		55,29	0,13	0,13	1	1,9433	1,5	0,7123	2,75	5,50	
	Día 2	52,02	0,13	0,13	1	1,1433	1,5	0,5476	2,21	4,42	
		52,51	0,13	0,13	1	2,6345	1,5	3,4635	4,71	9,43	
		53,15	0,13	0,13	1	1,2147	1,5	0,6642	2,28	4,56	
		56,29	0,13	0,13	1	1,7197	1,5	0,4119	2,53	5,06	
		52,23	0,13	0,13	1	1,7198	1,5	1,1451	2,75	5,50	
	Día 3	52,31	0,13	0,13	1	0,6381	1,5	0,0957	1,92	3,85	
		53,41	0,13	0,13	1	1,8069	1,5	0,6325	2,64	5,27	
		56,58	0,13	0,13	1	0,8988	1,5	0,1744	2,03	4,06	
		57,69	0,13	0,13	1	0,5150	1,5	0,0257	1,88	3,77	
		49,54	0,13	0,13	1	0,7341	1,5	0,2244	1,97	3,94	

3.1.9 Análisis y discusión de resultados de ruido ambiental

El Kit del sonómetro Cirrus CR: 171C adquirido por los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica cumplen con los requisitos necesarios para realizar el ensayo de ruido ambiental de acuerdo con el Anexo 5 del Acuerdo Ministerial 097-A y NTE INEN-ISO 1996-2, el cual define que el sonómetro clase I CR: 515 y calibrador acústico clase I adquiridos deben cumplir con las especificaciones emitidas en la

Norma de la Comisión Electrónica Internacional IEC 61672-1:2002 e IEC 60942:2003 respectivamente, dichas especificaciones se pueden evidenciar en los certificados de calibración realizada en un laboratorio de ensayos y calibración autorizado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE), el cual es una exigencia que se debe de cumplir con la “Política de trazabilidad de las mediciones”.

Para realizar el procedimiento y ensayo de ruido ambiental se acogió a la metodología de L_{eq} 15 segundos, ya que al momento de realizar el ensayo de campo el ruido emitido en los diferentes puntos de la empresa (PATRICIO CEPEDA CIA LTDA) emitieron un tipo de ruido continuo, pero también puede ser aplicada a la metodología de L_{eq} 5 segundos. Al realizar el análisis de precisión ANOVA se observó que no existió una diferencia significativa entre los valores de $L_{K_{eq}}$ durante los días de medición de ruido ambiental debido a que el $F_{critico} > F$, aunque cada grupo de muestras se hayan ensayado en diferentes días, puntos y hora.

Acorde a lo especificado en el Acuerdo Ministerial No. 097-A el ensayo de ambiental durante los 3 días se realizaron en condiciones meteorológicas controladas, es decir: sin presencia de lluvia, velocidad del viento menor a 5 m/s, sin presencia de nubosidad (cielo despejado) y sin precipitación.

Antes y después de cada grupo de muestras se realizó la comprobación del calibrador acústico como especifica la norma NTE INEN-ISO 1996-2 asegurando la validez de los resultados. El criterio de aceptación de $\pm 0,075$ dB se tomó del manual del sonómetro, debido a que no existe ninguna norma ecuatoriana que especifique un valor de desviación máxima.

Una vez realizado el ensayo de campo de ruido ambiental, se corrigió los datos obtenidos por el sonómetro con los valores de error emitido en el certificado de calibración externa del sonómetro y del calibrador asegurando así tener datos de $L_{K_{eq}}$ confiables.

La evaluación de precisión se ejecutó durante 3 días para tener condiciones de precisión intermedia (reproductibilidad), conforme a los Criterios Generales para la Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración, cada grupo de muestras consta con 5 mediciones en cada uno de los puntos aplicando la misma: metodología, sonómetro, técnico, lugar; consiguiendo condiciones de repetibilidad para el cálculo

del $L_{K_{eq}}$ estadísticamente válidos , cumpliendo con el criterio de aceptabilidad establecidos de 5% para el coeficiente de repetibilidad y precisión intermedia. Los resultados que se obtuvieron durante la validación para el CVr y CVI son menores al 5%, cumpliendo con el criterio de aceptación establecido, cabe recalcar que las pruebas experimentales se tomaron de fuentes fijas reales.

La estimación de la incertidumbre típica combinada considera cada una de las fuentes de incertidumbre, a pesar de que no se considera una característica de desempeño, constituye un elemento indispensable de la trazabilidad de las mediciones que permite realizar la verificación de conformidad con especificaciones demostrables mediante resultados de mediciones [35].

La estimación de la incertidumbre típica grupal debido a las condiciones de funcionamiento se determinó a partir de 5 muestras de ruido total ($L_{A_{eq,tp}}$) y ruido residual ($L_{A_{eq,rp}}$) durante los 3 días en cada punto , cada muestra contemplaba 5 mediciones de L_{Sp} dB(A), L_{Ip} dB(A), L_{Sp} dB(C), donde se consideró el promedio de cada una de sus muestras, además de su $L_{K_{eq}}$ con el propósito de encontrar la desviación típica $u(X)$ existente entre los 3 días de medición de las 5 muestras de ruido específico corregida $L_{K_{eq}}$ y verificando que esta sea menor al 10% de la medida mínima tomada por el sonómetro por lo que se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

La estimación de la incertidumbre típica de cada muestra debido a las condiciones de funcionamiento se determinó a partir de 5 mediciones de L_{Sp} dB(A), L_{Ip} dB(A), L_{Sp} dB(C), donde se consideró el promedio de cada una de sus muestras con el propósito de encontrar la desviación típica $u(X)$ de cada muestra de ruido específico corregido $L_{K_{eq}}$

Para el desarrollo de la metodología de ruido ambiental se escogió un intervalo de trabajo de 20 dB a 140 dB el cual es el recomendado por el fabricante del sonómetro Optimus Cirrus CR:171C y se puede apreciar en los certificados de calibración externa realizada.

Durante los tres días de ensayo de ruido ambiental se verificó que el ruido ($L_{K_{eq}}$) emitido por la empresa de Carrocerías Patricio Cepeda Cía. Ltda se encuentra dentro de un rango de 49,54 dB a 62,66 dB, siendo esta menor a lo especificado en la tabla 2

del Anexo 5 del Acuerdo Ministerial 097-A, donde expresa los niveles máximos de emisión de ruido para Fuentes Fijas de Ruido (FFR) acorde al uso de suelo, para el uso de suelo Industrial el nivel máximo (ID1/ID2) en horario diurno es de 65 dB.

3.2 Análisis de resultados de ruido laboral

3.2.1 Pruebas experimentales para la estrategia basada en la tarea

Para desarrollar el análisis de los resultados experimentales del ruido laboral se realizó en hojas de cálculos.

- **Recolección de muestras**

Ya definida la metodología de medición (PROC-RL-01) se realizó las mediciones en los puntos mencionados en el apartado 2.2.2.11, siguiendo el protocolo de medición especificado.

- **Notificación a los trabajadores**

Se comunicó juntamente con el Ingeniero de planta a los trabajadores el programa del ensayo de ruido laboral, para asegurar que las mediciones se den en condiciones normales de trabajo y que se esté haciendo de manera apropiada. El trabajador deberá participar en el monitoreo de ruido.

- **Calibración del equipo**

Una vez ubicado el sonómetro, siguiendo la metodología de comprobación se comprobó que el equipo se encuentre en óptimas condiciones, se comprobó que el nivel de presión sonora en 93,7 dB y estos niveles no exceda de un rango $\pm 0,075$ dB como se observa en la figura 26.



Figura 26. Calibración del sonómetro.

Determinar la estrategia de medición

Se seleccionó la estrategia de medición adecuada de acuerdo con los parámetros previamente establecidos por la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01.

De acuerdo con:

- Objetivo de las mediciones.
- Complejidad de la situación de trabajo.
- Número de trabajadores implicados.
- Duración de la jornada
- Tiempo disponible para la medición.
- Cantidad de información requerida.

Nota: De acuerdo con la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01, existe tres estrategias de medición basada en la tarea, en la función y jornada completa, de acuerdo con sus requerimientos se define una estrategia a usar, en este caso se usará la estrategia basada en la tarea, determinado en la tabla de criterios ponderados.

- **Medición por la estrategia basada en la tarea**

Para los trabajadores o los grupos de exposición al ruido homogéneos sometidos a evaluación, la jornada nominal se dividió en tareas. Cada tarea se definió de tal manera que $L_{p,A,eqT}$ sea, con probabilidad, repetible.

Se debe determinar las duraciones de las tareas, T_m de acuerdo con la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01. Esto se puede realizó mediante:

- a) Entrevistas con los trabajadores y el supervisor.
- b) La observación y la medición de las duraciones durante las mediciones de ruido.
- c) La recopilación de información con respecto al funcionamiento de las fuentes de ruido típicas (por ejemplo, los procesos de trabajo, las máquinas, las actividades en el lugar de trabajo y en su entorno).

- **Ubicación del sonómetro**

Se ubicó el sonómetro a un metro de distancia de la fuente fija de ruido, en el plano central a la fuente emisora de ruido a 1,55 metros de altura.



Figura 27. Posición del sonómetro.

- **Condiciones adecuadas de medida**

Nota: Es decir que no haya fuentes externas anormales al ruido que contribuyan a una medida errónea.

- **Recolección de datos ruido laboral**

Acorde a la metodología de medición (PROC-RL01) se realizó tres mediciones de 5 minutos por cada tarea definida, en este caso tarea 1 (soldador), tarea 2 (ensamblador), para los 4 grupos de muestras.

Según la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01, la duración de cada medición debe ser lo suficientemente larga como para representar el nivel de presión sonora continuo equivalente medio para la tarea real. Si la duración de la tarea es inferior a 5 min, la duración de cada medición debe ser igual a la duración de la tarea. Para tareas más largas, la duración de cada medición debe ser de al menos 5 min. Sin embargo, la duración de cada medición se puede reducir si el nivel es constante o repetitivo, o si el ruido producido por la tarea se considera como un contribuyente menor a la exposición total al ruido.

Para cada tarea, realizo al menos tres mediciones. Para cubrir la variación real del nivel de ruido, se recomienda realizar las mediciones en diferentes momentos durante la tarea o en diferentes trabajadores de un mismo grupo.

Posterior a ello se debe hacer el cálculo de $L_{EX,8h}$.

- **Tabulación de datos**

Se tabuló una hoja de cálculo, con las medidas que emite el sonómetro de nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para la tarea m, $L_{p,A,eqT,m}$ (dB) como se puede observar en la tabla 33.

Tabla 33. Medidas del día 1 a una distancia de 1 metro.

Duración tareas	# de mediciones (n)	$L_{p,A,eqT,m}$(dB)
5 horas	1	83,00
	2	82,20
	3	80,00
3 horas	1	83,40
	2	81,40
	3	80,40

- **Corrección de datos obtenidos por el Sonómetro.**

Por efectos de validación de la metodología de ruido laboral, se corrigió los datos obtenidos por el sonómetro con los valores de error emitido en el certificado de calibración externa del sonómetro y del calibrador asegurando así tener datos confiables, ver Anexo 12.

En la tabla 34 se puede observar las correcciones que se aplicaron a los datos obtenidos por el sonómetro.

Tabla 34. Correcciones emitidas por el certificado de calibración externa del sonómetro y calibrador acústico.

Correcciones por el certificado de calibración del calibrador		0,24	dB
Correcciones por el certificado de calibración			
Respuesta de frecuencia a banda de octava			
Ponderación A			
Patrón (dB)	Equipo (dB)	Error (dB)	
54,6	55,9	1,32	
67,8	68,6	0,8	
77,9	78,4	0,5	
85,4	85,8	0,4	
90,8	91,1	0,3	
94	94,1	0,1	

$$L_{p,A,eqT,m_{exacto}} L_{p,A,eqT,m_{exacto}} = L_{p,A,eqT,m_{medido}} - Error$$

$$L_{p,A,eqT,m_{exacto}} = L_{p,A,eqT,m_{medido}} - Error\ del\ sonómetro - Error\ del\ calibrador\ acústico$$

$$L_{p,A,eqT,m_{exacto}} = 83,00\ dB - 0,24\ dB - 0,4\ dB$$

$$L_{p,A,eqT,m_{exacto}} = 82,36\ dB$$

Las correcciones se realizaron en bandas de octava y el valor con el cual se realizó la corrección es el valor superior que más se acercaba al dato obtenido por el sonómetro.

En la tabla 35 se detalla un modelo matemático del cálculo de valores corregidos de las 2 tareas sus respectivos valores de corrección basados en la tabla 34, el valor de corrección por el calibrador acústico (0,24 dB) será constante para todo el grupo de mediciones.

Tabla 35. Datos emitidos por el sonómetro con su respectiva corrección al lado izquierdo.

Duración tareas	# de mediciones (n)	Lp,A,eqT,m(dB)	Error del calibrador	Error del equipo	Lp,A,eq T,m corregido (dB)
5 horas	1	83,00	0,24	0,4	82,36
	2	82,20	0,24	0,4	81,56
	3	80,00	0,24	0,4	79,36
3 horas	1	83,40	0,24	0,4	82,76
	2	81,40	0,24	0,4	80,76
	3	80,40	0,24	0,4	79,76

- **Determinación del Nivel de exposición al ruido ponderado A normalizado a una jornada laboral nominal de 8h**

Podemos observar en la tabla 36 donde se muestra la medición del día 1 para distancia de 1 metro, el cual se usó como modelo de cálculo para la obtención de los valores de LEX,8h.

Tabla 36. Medición 1 del día 1 a una distancia de 1 metro.

Duración tarea 1	Duración tarea 2	# de mediciones (n)	Lp,A,eq T,1 (dB)	Lp,A,eq T,2 (dB)
5 horas	3 horas	1	82,36	82,76
		2	81,56	80,76
		3	79,36	79,76

- **Media aritmética para la duración de la tarea 1**

$$\bar{T}_1 = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{1,j}$$

$$\bar{T}_1 = \frac{1}{1}(5)$$

$$\bar{T}_1 = 5 \text{ horas}$$

- **Media aritmética para la duración de la tarea 2**

$$\bar{T}_2 = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{1,j}$$

$$\bar{T}_2 = \frac{1}{1} (3)$$

$$\bar{T}_2 = 3 \text{ horas.}$$

- **Duración efectiva de la jornada laboral**

$$T_e = \sum_{m=1}^M \bar{T}_m$$

$$T_e = (5 + 3)$$

$$T_e = 8 \text{ horas}$$

- **Diferencia entre el valor máximo y mínimo de $L_{p,A,eqT}$ de las mediciones tomadas para la tarea 1**

$$\Delta L_{p,A,eqT,1} = (L_{p,A,eqT,1,max} - L_{p,A,eqT,1,min})$$

$$\Delta L_{p,A,eqT,1} = (82,36 - 79,36)$$

$$\Delta L_{p,A,eqT,1} = 3,00 \text{ dB}$$

Criterio de aceptación $\Delta L_{p,A,eqT,1} \leq 3,00 \text{ dB}$

$$3,00 \text{ dB} \leq 3,00 \text{ dB} \rightarrow \checkmark$$

Nota: Si la diferencia difiera de 3,00 dB se deberá realizar al menos tres mediciones adicionales a la tarea, o también se puede realizar una subdivisión de tareas en otras tareas, con esto volver a tener nuevas duraciones y su medición de $L_{p,A,eqT,m}$, en último caso puede repetir la medición de $L_{p,A,eqT,m}$ con duración más extensa.

- **Diferencia entre el valor máximo y mínimo de $L_{p,A,eqT}$ de las mediciones tomadas para la tarea 2**

$$\Delta L_{p,A,eqT,2} = (L_{p,A,eqT,2,max} - L_{p,A,eqT,2,min})$$

$$\Delta L_{p,A,eqT,2} = (82,76 - 79,76)$$

$$\Delta L_{p,A,eqT,2} = 3,00 \text{ dB}$$

$$\text{Criterio de aceptación } \Delta L_{p,A,eqT,2} \leq 3,00 \text{ dB}$$

$$3,00 \text{ dB} \leq 3,00 \text{ dB} \rightarrow \checkmark$$

Nota: Si la diferencia difiera de 3 dB se deberá realizar al menos tres mediciones adicionales a la tarea, o también se puede realizar una subdivisión de tareas en otras tareas, con esto volver a tener nuevas duraciones y su medición de $L_{p,A,eqT,m}$, en último caso puede repetir la medición de $L_{p,A,eqT,m}$ con duración más extensa.

- **Promedio logarítmico de las muestras para la tarea 1**

$$L_{p,A,eqT,1} = 10 \log \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0.1 * L_{p,A,eqT,1i}} \right) \text{ dB}$$

$$L_{p,A,eqT,1} = 10 \log \left(\frac{1}{3} (10^{0.1 * 82,36} + 10^{0.1 * 81,56} + 10^{0.1 * 79,36}) \right) \text{ dB}$$

$$L_{p,A,eqT,1} = 81,27 \text{ dB}$$

- **Promedio logarítmico de las muestras para la tarea 2**

$$L_{p,A,eqT,2} = 10 \log \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0.1 * L_{p,A,eqT,2i}} \right) \text{ dB}$$

$$L_{p,A,eqT,2} = 10 \log \left(\frac{1}{3} (10^{0.1 * 82,76} + 10^{0.1 * 80,76} + 10^{0.1 * 79,76}) \right) \text{ dB}$$

$$L_{p,A,eqT,2} = 81,28 \text{ dB}$$

- **Cálculo del nivel de exposición al ruido de la tarea 1**

$$L_{EX,8h,1} = L_{p,A,eqT,1} + 10 \log\left(\frac{\bar{T}_1}{T_0}\right) dB$$

$$L_{EX,8h,1} = 81,27 + 10 \log\left(\frac{5}{8}\right) dB$$

$$L_{EX,8h,1} = 79,23 dB$$

- **Cálculo del nivel de exposición al ruido de la tarea 2**

$$L_{EX,8h,2} = L_{p,A,eqT,1} + 10 \log\left(\frac{\bar{T}_1}{T_0}\right) dB$$

$$L_{EX,8h,2} = 81,28 + 10 \log\left(\frac{3}{8}\right) dB$$

$$L_{EX,8h,2} = 77,02 dB$$

3.2.1.1 Prueba de precisión

En la tabla 37 se puede observar que todos los valores calculados de LEX,8h acorde al día de medición como modelo de cálculo de precisión. El resultado de LEX,8h de todas las mediciones se puede observar en la tabla 45. En el Anexo 8 Presentamos la memoria de cálculo prueba de precisión (ANOVA) a una distancia de 1,3 y 5 metros respectivamente.

Tabla 37. Prueba experimental de LEX,8h a 1 metro.

LEX,8h a 1 metro			
Mediciones	Día 1 (dB)	Día 2 (dB)	Día 3 (dB)
1	81,27	80,34	80,76
2	80,49	80,74	80,79
3	80,00	80,93	80,11
4	80,91	80,65	78,74
\bar{x}_i	80,67	80,67	80,10
\bar{x}	80,48		

- **Medias de grupos**

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde:

$n = \text{número de observaciones}$

$$\bar{x}_1 = \frac{81,27 + 80,49 + 80,00 + 80,91}{4}$$

$$\bar{x}_1 = 80,67 \text{ dB}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{80,34 + 80,74 + 80,93 + 80,65}{4}$$

$$\bar{x}_2 = 80,67 \text{ dB}$$

$$\bar{x}_3 = \frac{80,76 + 80,79 + 80,11 + 78,74}{4}$$

$$\bar{x}_3 = 80,10 \text{ dB}$$

- **Media global**

Donde:

$p = \text{número días de observacion}$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{p}$$

$$\bar{x} = \frac{80,67 + 80,67 + 80,10}{3}$$

$$\bar{x} = 80,48 \text{ dB}$$

- **Sumatoria de cuadrados entre grupos**

$$SS_e = n \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

$$SS_e = 4[(80,67 - 80,48)^2 + (80,67 - 80,48)^2 + (80,10 - 80,48)^2]$$

$$SS_e = 0,8555 \text{ dB}^2$$

- **Sumatoria de cuadrados entre grupos**

$$SS_i = \sum_i \sum_j (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

$$SS_i = \{[(81,27 - 80,67)^2 + (80,49 - 80,67)^2 + (80,00 - 80,67)^2 + (80,91 - 80,67)^2] + [(80,34 - 80,67)^2 + (80,74 - 80,67)^2 + (80,93 - 80,67)^2 + (80,65 - 80,67)^2] + [(80,76 - 80,10)^2 + (80,79 - 80,10)^2 + (80,11 - 80,10)^2 + (78,74 - 80,10)^2]\}$$

$$SS_i = 3,83 \text{ dB}^2$$

- **Suma de cuadrados totales**

$$SS_t = SS_e + SS_i$$

$$SS_t = 0,8555 \text{ dB}^2 + 3,83 \text{ dB}^2$$

$$SS_t = 4,69 \text{ dB}^2$$

- **Grados de libertad entre grupos**

$$v_e = p - 1$$

$$v_e = 3 - 1$$

$$v_e = 2$$

- **Grados de libertad intra grupos**

$$v_i = N - p$$

$$v_i = 12 - 3$$

$$v_i = 9$$

- **Cuadrado medio entre grupos**

$$MS_e = \frac{SS_e}{v_e}$$

$$MS_e = \frac{0,855}{2}$$

$$MS_e = 0,4278 \text{ dB}^2$$

- **Cuadrado medio intra grupos**

$$MS_i = \frac{SS_i}{v_i}$$

$$MS_i = \frac{3,83}{9}$$

$$MS_i = 0,4260 \text{ dB}^2$$

- **Estadístico F**

$$F = \frac{MS_e}{MS_i}$$

$$F = \frac{0,4278 \text{ dB}^2}{0,4260 \text{ dB}^2}$$

$$F = 1,00$$

Nota: Para tener el valor de Fcrítico se lo tomo de la tabla estadística de Miller y se comprobó mediante una hoja de cálculo, el resultado del ANOVA podemos observar en la tabla 38, dado que Fcrítico es mayor que F, se confirma la hipótesis nula, la cual menciona que no existe una variedad significativa entre datos.

Tabla 38. Prueba experimental ANOVA de LEX,8h a 1 metro.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Fcrítico
Entre grupos	0,8555	2	0,4247	1,00	4,26
Intragrupos	3,83	9	0,4260		
Total	4,69	11			

- **Desviación estándar de repetitividad**

$$S_r = (MS_i)^{0,5}$$

$$S_r = (0,4260 \text{ dB}^2)^{0,5}$$

$$S_r = 0,6527 \text{ dB}$$

- Desviación estándar entre grupos

$$S_e = \sqrt{\frac{MS_e - MS_i}{n}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{0,4278 - 0,4260}{4}}$$

$$S_e = 0,211$$

Nota: Conforme con la ISO 5725:2-1994, un valor negativo de $\frac{MS_e - MS_i}{n}$ debe asumirse igual a 0,

- Desviación estándar para precisión intermedia

$$S_I = (S_r^2 + S_e^2)^{0,5}$$

$$S_I = ((0,6527)^2 + (0,0211)^2)^{0,5}$$

$$S_I = 0,6530$$

- Coeficiente de variación para repetitividad

$$CV_r = \frac{S_r}{\bar{x}} * 100$$

$$CV_r = \frac{0,6527}{80,48} * 100$$

$$CV_r = 0,8110 \%$$

- Coeficiente de variación para precisión intermedia

$$CV_I = \frac{S_I}{\bar{x}} * 100$$

$$CV_I = \frac{0,6530}{80,48} * 100$$

$$CV_I = 0,8114 \%$$

Los resultados del análisis de precisión ANOVA de todos los puntos se presentan en la tabla 46.

3.2.1.2 Prueba de veracidad (cálculo de la incertidumbre grupal)

Se puede apreciar en la tabla 39 los datos agrupados de los 3 días de toma de datos del nivel de medición a 1 metro necesarios para obtener la incertidumbre del método, la cual servirá como modelo matemático, para los siguientes niveles.

Tabla 39. Grupo de datos de los 3 días de medición a 1 metro de distancia de la tarea 1.

Día	Número de datos	Datos tarea 1 Lp,A,eqT,m (dB)	Lp,A,eqT (dB)	LEX,8h, m (dB)	
1	1	82,36	81,27	79,23	
	2	81,56			
	3	79,36			
	1	4	82,96	81,58	79,54
		5	81,16		
		6	80,16		
		7	81,76	80,72	78,68
		8	80,56		
		9	79,56		
	1	10	82,86	81,83	79,79
		11	81,76		
		12	80,56		
13		81,86	81,27	79,23	
2	14	81,46			
	15	80,36			
2	16	82,56	81,77	79,73	
	17	81,96			
	18	80,56			
	19	82,36	81,76	79,72	
	20	81,86			
	21	80,96			
	2	22	81,86	81,74	79,70
		23	80,86		
24		78,96			
3	25	82,86	81,78	79,74	
	26	81,76			
	27	80,36			
	3	28	82,56	81,72	79,68
		29	81,56		
		30	80,86		
		31	81,86		
	3	32	81,36	81,08	79,04
		33	79,76		
		34	79,46		
		35	80,36	79,47	77,43
36		78,36			
	Media Aritmética	81,15	81,33	79,29	

- **Media aritmética de las mediciones de $L_{p,A,eqT,m}$ para la tarea 1**

$$\bar{L}_{p,A,eqT,m} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{p,A,eqT,mi} \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \bar{L}_{p,A,eqT,1} = \frac{1}{36} & (82,36 + 81,56 + 79,36 + 82,96 + 81,16 + 80,16 + 81,76 \\ & + 80,56 + 79,56 + 82,86 + 81,76 + 80,56 + 81,86 + 81,46 \\ & + 80,36 + 82,56 + 81,96 + 80,56 + 82,36 + 81,86 + 80,96 \\ & + 81,86 + 80,86 + 78,96 + 82,86 + 81,76 + 80,36 + 82,56 \\ & + 81,56 + 80,86 + 81,86 + 81,36 + 79,76 + 79,46 + 80,36 \\ & + 78,36) \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT,1} = 81,15 \text{ dB}$$

- **Media aritmética de las mediciones de $L_{p,A,eqT}$ (dB) para la tarea 1**

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{p,A,eqT} \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \bar{L}_{p,A,eqT,1} = \frac{1}{36} & (81,27 + 81,58 + 80,72 + 81,83 + 81,27 + 81,77 + 81,76 \\ & + 81,74 + 81,78 + 81,72 + 81,08 + 79,47) \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT,1} = 81,33 \text{ dB}$$

- **Media aritmética de las mediciones de $LEX,8h,m$ (dB) para la tarea m**

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I LEX,8h,m \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \bar{L}_{p,A,eqT,1} = \frac{1}{36} & (79,23 + 79,56 + 78,68 + 79,79 + 79,23 + 79,73 + 79,72 \\ & + 79,70 + 79,74 + 79,68 + 79,04 + 77,43) \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT,1} = 79,29 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica del muestreo de ruido para la tarea 1**

$$(u_{1a,m}) = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m})^2 \right]}$$

$$\begin{aligned}
(u_{1a,1}) = & \left(\frac{1}{36 * (36 - 1)} [(82,36 - 81,15)^2 + (81,56 - 81,15)^2 \right. \\
& + (79,36 - 81,15)^2 + (82,96 - 81,15)^2 \\
& + (81,16 - 81,15)^2 + (80,16 - 81,15)^2 \\
& + (81,76 - 81,15)^2 + (80,56 - 81,15)^2 \\
& + (79,56 - 81,15)^2 + (82,86 - 81,15)^2 \\
& + (81,76 - 81,15)^2 + (80,56 - 81,15)^2 \\
& + (81,86 - 81,15)^2 + (81,46 - 81,15)^2 \\
& + (80,36 - 81,15)^2 + (82,56 - 81,15)^2 \\
& + (81,96 - 81,15)^2 + (80,56 - 81,15)^2 \\
& + (82,36 - 81,15)^2 + (81,86 - 81,15)^2 \\
& + (80,96 - 81,15)^2 + (81,86 - 81,15)^2 \\
& + (80,86 - 81,15)^2 + (78,96 - 81,15)^2 \\
& + (82,86 - 81,15)^2 + (81,76 - 81,15)^2 \\
& + (80,36 - 81,15)^2 + (82,56 - 81,15)^2 \\
& + (81,56 - 81,15)^2 + (80,86 - 81,15)^2 \\
& + (81,86 - 81,15)^2 + (81,36 - 81,15)^2 \\
& + (79,76 - 81,15)^2 + (79,46 - 81,15)^2 \\
& \left. + (80,36 - 81,15)^2 + (78,36 - 81,15)^2] \right)^{0,5} \\
(u_{1a,1}) = & 0,1942 \text{ dB}
\end{aligned}$$

- **Incertidumbre típica debido a la duración de la tarea 1**

$$\begin{aligned}
(u_{1b,m}) &= \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \left[\sum_{i=1}^I (T_{m,j} - T_m)^2 \right]} \\
(u_{1b,1}) &= \sqrt{\frac{1}{1(1-1)} [(5-5)^2]} \\
(u_{1b,1}) &= 0
\end{aligned}$$

Nota: para el valor de $u_{1b,1}$ no es indefinido, de acuerdo con la norma si $J=1$ solo se tiene una observación a la tarea m el valor de $u_{1b,1}$ tendrá el valor de 0, es un criterio que se aplica en la hoja de cálculo según la norma [14].

- **Incertidumbre típica debido a los instrumentos de la tarea 1 y 2**

Para tomar el valor de $u_{2,1}$ se toma de la tabla 15. Para el caso del sonómetro usado, se toma el valor de 0,7 dB.

$$u_{2,m} = 0,7 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica debida a la posición del micrófono**

Para la incertidumbre estándar de medición u_3 es de 1 dB de acuerdo con lo que establece el literal C.6 del Anexo C de la norma NTE INEN –ISO-9612:2014.

$$u_3 = 1 \text{ dB}$$

- **Coefficiente de sensibilidad asociado a la incertidumbre debido al muestreo del nivel de ruido para la tarea 1**

$$c_{1a,m} = \frac{T_1}{T_0} 10^{0,1 * (L_{p,A,eqT,1} - L_{EX,8h})}$$

$$c_{1a,1} = \frac{5}{8} 10^{0,1 * (81,33 - 79,29)}$$

$$c_{1a,1} = 1,00$$

- **Coefficiente asociado a la incertidumbre por la estimación de duración para la tarea 1**

$$c_{1b,m} = 4.34 * \frac{c_{1a,1}}{T_1}$$

$$c_{1b,1} = 4.34 * \frac{1,00}{5}$$

$$c_{1b,1} = 0,87$$

Incertidumbre del calibrador acústico: 0,13 dB

Incertidumbre del sonómetro: 0,13 dB

Una vez calculado la incertidumbre grupal para la tarea 1 se calculó la incertidumbre para los datos de la tarea 2, como se muestra en la tabla 40:

Tabla 40. Grupo de datos de los 3 días de medición a 1 metro de distancia de la tarea 2.

Día	Número de datos	Datos tarea 2 Lp,A,eqT,m (dB)	Lp,A,eqT (dB)	LEX,8h,m (dB)
1	1	82,76	81,28	77,02
	2	80,76		
	3	79,76		
	4	79,46	77,65	73,39
	5	76,36		
	6	76,36		
	7	79,56	78,44	74,18
	8	78,26		
	9	77,16		
	10	79,36	78,74	74,48
	11	78,86		
	12	77,86		
2	13	78,86	78,13	73,87
	14	77,86		
	15	77,56		
	16	79,16	78,17	73,91
	17	77,86		
	18	77,26		
	19	79,26	79,03	74,77
	20	79,16		
	21	78,66		
	22	78,96	77,87	73,62
	23	77,26		
	24	77,16		
3	25	79,06	78,24	73,98
	26	77,96		
	27	77,56		
	28	79,36	78,58	74,32
	29	79,16		
	30	76,76		
	31	78,26	77,75	73,50
	32	77,86		
	33	77,06		
	34	77,46	77,17	72,91
	35	77,26		
	36	76,76		
	Media aritmética	78,34	78,42	74,16

- **Media aritmética de las mediciones de Lp,A,eqT,m para la tarea 2**

$$\bar{L}_{p,A,eqT,m} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{p,A,eqT,mi} \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \bar{L}_{p,A,eqT,2} = \frac{1}{36} & (82,76 + 80,76 + 79,76 + 79,46 + 76,36 + 76,36 + 79,56 \\ & + 78,26 + 77,17 + 79,36 + 78,86 + 77,86 + 78,86 + 77,86 \\ & + 77,56 + 79,16 + 77,86 + 77,26 + 79,26 + 79,16 + 78,66 \\ & + 78,96 + 77,26 + 77,16 + 79,06 + 77,96 + 77,56 + 79,36 \\ & + 79,16 + 76,76 + 78,26 + 77,86 + 77,06 + 77,46 + 77,26 \\ & + 76,76) \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT,2} = 78,34 \text{ dB}$$

- **Media aritmética de las mediciones de Lp,A,eqT (dB) para la tarea 2**

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{p,A,eqT} \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \bar{L}_{p,A,eqT,2} = \frac{1}{36} & (81,28 + 77,65 + 78,44 + 78,74 + 78,13 + 78,17 + 79,03 \\ & + 77,87 + 78,24 + 78,58 + 77,75 + 77,17) \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT,2} = 78,42 \text{ dB}$$

- **Media aritmética de las mediciones de LEX,8h,m (dB) para la tarea 2**

$$\bar{L}_{p,A,eqT,2} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I LEX,8h,m \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \bar{L}_{p,A,eqT,2} = \frac{1}{36} & (77,02 + 73,39 + 74,18 + 74,48 + 73,87 + 73,91 + 74,77 \\ & + 73,62 + 73,98 + 74,32 + 73,50 + 72,91) \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT,2} = 74,16 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica del muestreo de ruido para la tarea 2**

$$(u_{1a,m}) = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m})^2 \right]}$$

$$(u_{1a,2}) = \left(\frac{1}{36 * (36 - 1)} [(82,76 - 78,34)^2 + (80,76 - 78,34)^2 + (79,76 - 78,34)^2 + (79,46 - 78,34)^2 + (76,36 - 78,34)^2 + (76,36 - 78,34)^2 + (79,56 - 78,34)^2 + (78,26 - 78,34)^2 + (77,16 - 78,34)^2 + (79,36 - 78,34)^2 + (78,86 - 78,34)^2 + (77,86 - 78,34)^2 + (78,86 - 78,34)^2 + (77,86 - 78,34)^2 + (77,56 - 78,34)^2 + (79,16 - 78,34)^2 + (77,86 - 78,34)^2 + (77,26 - 78,34)^2 + (79,26 - 78,34)^2 + (79,16 - 78,34)^2 + (78,66 - 78,34)^2 + (78,96 - 78,34)^2 + (77,26 - 78,34)^2 + (77,16 - 78,34)^2 + (79,06 - 78,34)^2 + (77,96 - 78,34)^2 + (77,56 - 78,34)^2 + (79,36 - 78,34)^2 + (79,16 - 78,34)^2 + (76,76 - 78,34)^2 + (78,26 - 78,34)^2 + (77,86 - 78,34)^2 + (77,06 - 78,34)^2 + (77,46 - 78,34)^2 + (77,26 - 78,34)^2 + (76,76 - 78,34)^2] \right)^{0,5}$$

$$(u_{1a,2}) = 0,2191 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica debido a la duración de la tarea 2**

$$(u_{1b,m}) = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \left[\sum_{i=1}^J (T_{m,j} - T_m)^2 \right]}$$

$$(u_{1b,2}) = \sqrt{\frac{1}{1(1-1)} [(3-3)^2]}$$

$$(u_{1b,2}) = 0$$

Nota: para el valor de $u_{1b,1}$ no es indefinido, de acuerdo con la norma si $J=1$ solo se tiene una observación a la tarea m el valor de $u_{1b,1}$ tendrá el valor de 0, es un criterio que se aplica en la hoja de cálculo según la norma [14].

- **Incertidumbre típica debido a los instrumentos de la tarea 1 y 2**

Para tomar el valor de $u_{2,1}$ se toma de la tabla 15. Para el caso del sonómetro usado, se toma el valor de 0,7 dB.

$$u_{2,m} = 0,7 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica debida a la posición del micrófono**

Para la incertidumbre estándar de medición u_3 es de 1 dB de acuerdo con lo que establece el literal C.6 del Anexo C de la norma NTE INEN –ISO-9612:2014.

$$u_3 = 1 \text{ dB}$$

- **Coefficiente de sensibilidad asociado a la incertidumbre debido al muestreo del nivel de ruido para la tarea 2**

$$c_{1a,m} = \frac{T_1}{T_0} 10^{0,1 * (L_{p,A,eqT,1} - L_{EX,8h})}$$

$$c_{1a,2} = \frac{5}{8} 10^{0,1 * (78,42 - 74,16)}$$

$$c_{1a,2} = 1,00$$

- **Coefficiente asociado a la incertidumbre por la estimación de duración para la tarea 2**

$$c_{1b,m} = 4.34 * \frac{c_{1a,1}}{T_1}$$

$$c_{1b,2} = 4.34 * \frac{1,00}{3}$$

$$c_{1b,2} = 1,45$$

Incertidumbre del calibrador acústico: 0,13 dB

Incertidumbre del sonómetro: 0,13 dB

- **Incertidumbre típica o estándar combinada de las 2 tareas**

$$u^2(L_{ex,8h}) = \left(\sum_{m=1}^M \left[c_{1a,m}^2 * (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} * u_{1b,m})^2 \right] \right)$$

$$u^2(L_{ex,8h}) = ([0,6245^2 * (0,9054^2 + 0,7^2 + 1^2 + 0,13^2 + 0,13^2) + (0,5421 * 0)^2] + [0,3755^2 * (0,8914^2 + 0,7^2 + 1^2) + (0,5432 * 0)^2])$$

$$u(L_{ex,8h}) = 1,11 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre expandida de las 2 tareas**

$$U_{(LEX,8h)} = k * u$$

$$U_{(LEX,8h)} = 1.65 * u$$

$$U_{(LEX,8h)} = 1.65 * 1,11 \text{ dB}$$

$$U_{(LEX,8h)} = 1,82 \text{ dB}$$

3.2.2 Campo de linealidad del sonómetro

Sonómetro Cirrus, modelo CR:171C

En la tabla 41 se puede observar el campo de linealidad emitido por el fabricante, presentando un rango de trabajo de 24 dB a 139 dB, el cual fue comprobado con la linealidad emitida en el certificado de calibración externa en un intervalo de 20 dB a 140 dB [34] .

Tabla 41. Campo de linealidad del sonómetro Cirrus CR:171C [34].

Intervalo de funcionamiento lineal De acuerdo con IEC 61672	
Ponderado A	24 a 139 dB
Ponderado C	30 a 139 dB
Ponderado Z	45 a 139 dB

3.2.3 Determinación de la incertidumbre

El modelo de cálculo de la incertidumbre para la estrategia basada en la tarea podemos observar en los literales 2.2.29, finalmente los resultados correspondientes a la incertidumbre se encuentran en la tabla 49.

- **Determinación de la incertidumbre, estrategia basada en la tarea**

Se muestra en la tabla 42 la medición para el día uno a un metro de distancia, a usarse como modelo de cálculo para encontrar la incertidumbre de medida.

Tabla 42. Medición del día 1 a 1 metro de distancia.

Duración tarea 1	Duración tarea 2	Número de mediciones (n)	Lp,A,eq T,1 (dB)	Lp,A,eq T,2 (dB)
3 horas	5 horas	1	82,36	82,76
		2	81,56	80,76
		3	79,36	79,76

- **Media aritmética para la tarea 1**

$$\bar{L}_{p,A,eqT,1} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{p,A,eqT,1i}$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT,1} = \frac{1}{3} (82,36 + 81,56 + 79,36) dB$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT,1} = 81,09 dB$$

- **Media aritmética para la tarea 2**

$$\bar{L}_{p,A,eqT,2} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{p,A,eqT,2i}$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT,2} = \frac{1}{3} (82,76 + 80,76 + 79,76) dB$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT,2} = 81,09 dB$$

- **Incertidumbre típica del muestreo de ruido para la tarea 1**

$$(u_{1a,m}) = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m})^2 \right]}$$

$$(u_{1a,1})$$

$$= \sqrt{\frac{1}{3(3-1)} [(82,36 - 81,27)^2 + (81,56 - 81,27)^2 + (79,36 - 81,27)^2]}$$

$$(u_{1a,1}) = 0,9054 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica del muestreo de ruido para la tarea 2**

$$(u_{1a,m}) = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m})^2 \right]}$$

$$(u_{1a,2})$$

$$= \sqrt{\frac{1}{3(3-1)} [(82,76 - 81,28)^2 + (80,76 - 81,28)^2 + (79,76 - 81,28)^2]}$$

$$(u_{1a,2}) = 0,8914 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica debido a la duración de la tarea 1**

$$(u_{1b,1}) = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \left[\sum_{i=1}^J (T_{m,j} - T_m)^2 \right]}$$

$$(u_{1b,1}) = \sqrt{\frac{1}{1(1-1)} [(5-5)^2]}$$

$$(u_{1b,1}) = 0$$

Nota: para el valor de $u_{1b,1}$ no es indefinido, de acuerdo con la norma si $J=1$ solo se tiene una observación a la tarea m el valor de $u_{1b,1}$ tendrá el valor de 0, es un criterio que se aplica en la hoja de cálculo según la norma [14].

- **Incertidumbre típica debido a la duración de la tarea 2**

$$(u_{1b,2}) = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \left[\sum_{i=1}^I (T_{m,j} - T_m)^2 \right]}$$

$$(u_{1b,2}) = \sqrt{\frac{1}{1(1-1)} [(3-3)^2]}$$

$$(u_{1b,2}) = 0$$

Nota: para el valor de $u_{1b,1}$ no es indefinido, de acuerdo con la norma si $J=1$ solo se tiene una observación a la tarea m el valor de $u_{1b,1}$ tendrá el valor de 0, es un criterio que se aplica en la hoja de cálculo según la norma [14].

- **Incertidumbre típica debido a los instrumentos de la tarea 1 y 2**

Para tomar el valor de $u_{2,1}$ se toma de la tabla 15. Para el caso del sonómetro usado, se toma el valor de 0,7 dB.

$$u_{2,1} = 0,7 \text{ dB}$$

$$u_{2,2} = 0,7 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre típica debida a la posición del micrófono**

Para la incertidumbre estándar de medición u_3 es de 1 dB de acuerdo con lo que establece el literal C.6 del Anexo C de la norma NTE INEN –ISO-9612:2014.

$$u_3 = 1 \text{ dB}$$

- **Coefficiente de sensibilidad asociado a la incertidumbre debido al muestreo del nivel de ruido para la tarea 1**

$$c_{1a,1} = \frac{T_1}{T_0} 10^{0,1 * (L_{p,A,eqT,1} - L_{EX,sh})}$$

$$c_{1a,1} = \frac{5}{8} 10^{0,1 * (81,27 - 81,27)}$$

$$c_{1a,1} = 0,6245$$

- **Coefficiente de sensibilidad asociado a la incertidumbre debido al muestreo del nivel de ruido para la tarea 1**

$$c_{1a,2} = \frac{T_2}{T_0} 10^{0,1 * (L_{p,A,eqT,1} - L_{EX,sh})}$$

$$c_{1a,2} = \frac{3}{8} 10^{0,1 * (81,28 - 81,27)}$$

$$c_{1a,2} = 0,3755$$

- **Coefficiente asociado a la incertidumbre por la estimación de duración para la tarea 1**

$$c_{1b,1} = 4,34 * \frac{c_{1a,1}}{T_1}$$

$$c_{1b,1} = 4,34 * \frac{0,6245}{5}$$

$$c_{1b,1} = 0,5421$$

- **Coefficiente asociado a la incertidumbre por la estimación de duración para la tarea 2**

$$c_{1b,2} = 4,34 * \frac{c_{1a,1}}{T_1}$$

$$c_{1b,2} = 4,34 * \frac{0,3755}{3}$$

$$c_{1b,2} = 0,5432$$

- **Incertidumbre típica o estándar combinada**

$$u^2(L_{ex,8h}) = \left(\sum_{m=1}^M \left[c_{1a,m}^2 * (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} * u_{1b,m})^2 \right] \right)$$

$$\begin{aligned} u^2(L_{ex,8h}) &= ([1,00^2 * (0,1942^2 + 0,7^2 + 1^2 + 0,13^2 + 0,13^2) \\ &\quad + (0,87 * 0)^2] \\ &\quad + [1,00^2 * (0,2191^2 + 0,7^2 + 1^2 + 0,13^2 + 0,13^2) \\ &\quad + (1,45 * 0)^2]) \end{aligned}$$

$$u(L_{ex,8h}) = 1,77 \text{ dB}$$

- **Incertidumbre expandida**

$$U_{(LEX,8h)} = k * u$$

$$U_{(LEX,8h)} = 1.65 * u$$

$$U_{(LEX,8h)} = 1.65 * 1,77$$

$$U_{(LEX,8h)} = 2,92 \text{ dB}$$

3.2.4 Reporte de datos ruido laboral

- a) Determinación del nivel de exposición al ruido ponderado A normalizado a una jornada laboral nominal de 8 horas.**

Para llevar a cabo las mediciones de nivel de presión sonora, acorde a lo que especifica la norma NTE INEN-ISO 9612 se realizó una comprobación al micrófono con el calibrador acústico clase I antes y después de cada serie de mediciones de cada tarea, el cual se puede observar en las tablas 43 y 44. Los resultados de todas las mediciones y cálculo del LEX,8h se puede observar en la tabla 45.

Tabla 43. Comprobación del sonómetro antes de las mediciones de la tarea 1.

Nivel de Presión Sonora continuo equivalente ponderado A				
Tarea 1				
Antes de la medición				
Fecha:		29/3/2022	30/3/2022	31/3/2022
1 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
3 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
5 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
Tarea 1				
Después de la medición				
Fecha:		29/3/2022	30/3/2022	31/3/2022
1 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
3 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
5 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI

^a Criterio de aceptación: tolerancia $\pm 0,075$ dB.

Tabla 44. Comprobación del sonómetro antes de las mediciones de la tarea 2.

Nivel de Presión Sonora continuo equivalente ponderado A				
Tarea 2				
Antes de la medición				
Fecha:		29/3/2022	30/3/2022	31/3/2022
1 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
3 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
5 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
Tarea 2				
Después de la medición				
Fecha:		29/3/2022	30/3/2022	31/3/2022
1 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
3 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI
5 m	Valor patrón	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
	Valor obtenido	93,7 dB	93,7 dB	93,7 dB
Cumple ^a		SI	SI	SI

^a Criterio de aceptación: tolerancia $\pm 0,075$ dB.

Tabla 45. Evaluación del Nivel de presión sonora y cálculo de LEX,8h de los 3 días.

Tabla de resultados para LEX,8H de la estrategia basada en la tarea												
Distancia	Día	Muestras	# tarea	Lp,A,eqT,m (dB)	Error del calibrador (dB)	Error del equipo (dB)	Lp,A,eqT,m (dB) corregido	Lp,A,eq T (dB)	LEX,8h,m (dB)	LEX,8h (dB)	$\Delta L_{p,A,eqT,m}$	Condición
1m	1	(LEX,8h)1,1	1	83,00	0,24	0,4	82,36	81,27	79,23	81,27	3,00	Cumple
				82,20	0,24	0,4	81,56					
				80,00	0,24	0,4	79,36					
			2	83,40	0,24	0,4	82,76	81,28	77,02			
				81,40	0,24	0,4	80,76					
				80,40	0,24	0,4	79,76					
		(LEX,8h)1,2	1	83,60	0,24	0,4	82,96	81,58	79,54	80,49	2,80	Cumple
				81,80	0,24	0,4	81,16					
				80,80	0,24	0,4	80,16					
			2	80,10	0,24	0,4	79,46	77,65	73,39			
				77,10	0,24	0,5	76,36					
				77,10	0,24	0,5	76,36					
		(LEX,8h)1,3	1	82,40	0,24	0,4	81,76	80,72	78,68	80,00	2,20	Cumple
				81,20	0,24	0,4	80,56					
				80,20	0,24	0,4	79,56					
			2	80,20	0,24	0,4	79,56	78,44	74,18			
				78,90	0,24	0,4	78,26					
				77,90	0,24	0,5	77,16					
		(LEX,8h)1,4	1	83,50	0,24	0,4	82,86	81,83	79,79	80,91	2,30	Cumple
				82,40	0,24	0,4	81,76					

2			2	81,20	0,24	0,4	80,56	78,74	74,48	80,34	1,50	Cumple
				80,00	0,24	0,4	79,36					
				79,50	0,24	0,4	78,86					
				78,50	0,24	0,4	77,86					
	(LEX,8h)2,1	1	82,50	0,24	0,4	81,86	81,27	79,23	80,34	1,50	Cumple	
			82,10	0,24	0,4	81,46						
			81,00	0,24	0,4	80,36						
		2	79,50	0,24	0,4	78,86	78,13	73,87		1,20	Cumple	
			78,50	0,24	0,4	77,86						
			78,30	0,24	0,5	77,56						
	(LEX,8h)2,2	1	83,20	0,24	0,4	82,56	81,77	79,73	80,74	2,00	Cumple	
			82,60	0,24	0,4	81,96						
			81,20	0,24	0,4	80,56						
		2	79,80	0,24	0,4	79,16	78,17	73,91		1,80	Cumple	
			78,50	0,24	0,4	77,86						
			78,00	0,24	0,5	77,26						
	(LEX,8h)2,3	1	83,00	0,24	0,4	82,36	81,76	79,72	80,93	1,40	Cumple	
			82,50	0,24	0,4	81,86						
			81,60	0,24	0,4	80,96						
		2	79,90	0,24	0,4	79,26	79,03	74,77		0,60	Cumple	
79,80			0,24	0,4	79,16							
79,30			0,24	0,4	78,66							
(LEX,8h)2,4	1	83,00	0,24	0,4	82,36	81,74	79,70	80,65	1,50	Cumple		
		82,50	0,24	0,4	81,86							
		81,50	0,24	0,4	80,86							
	2	79,60	0,24	0,4	78,96	77,87	73,62		1,70	Cumple		

3				78,00	0,24	0,5	77,26					
				77,90	0,24	0,5	77,16					
	(LEX,8h)3,1	1	83,50	0,24	0,4	82,86	81,78	79,74	80,76	2,50	Cumple	
			82,40	0,24	0,4	81,76						
			81,00	0,24	0,4	80,36						
		2	79,70	0,24	0,4	79,06	78,24	73,98		1,40	Cumple	
			78,60	0,24	0,4	77,96						
			78,30	0,24	0,5	77,56						
	(LEX,8h)3,2	1	83,20	0,24	0,4	82,56	81,72	79,68	80,79	1,70	Cumple	
			82,20	0,24	0,4	81,56						
			81,50	0,24	0,4	80,86						
		2	80,00	0,24	0,4	79,36	78,58	74,32		2,50	Cumple	
			79,80	0,24	0,4	79,16						
			77,50	0,24	0,5	76,76						
	(LEX,8h)3,3	1	82,50	0,24	0,4	81,86	81,08	79,04	80,11	2,10	Cumple	
			82,00	0,24	0,4	81,36						
			80,40	0,24	0,4	79,76						
		2	78,90	0,24	0,4	78,26	77,75	73,50		1,10	Cumple	
			78,50	0,24	0,4	77,86						
			77,80	0,24	0,5	77,06						
(LEX,8h)3,4	1	80,10	0,24	0,4	79,46	79,47	77,43	78,74	1,10	Cumple		
		81,00	0,24	0,4	80,36							
		79,00	0,24	0,4	78,36							
	2	78,20	0,24	0,5	77,46	77,17	72,91		0,70	Cumple		
		78,00	0,24	0,5	77,26							
		77,50	0,24	0,5	76,76							

3m	1	(LEX,8h)1,1	1	75,90	0,24	0,5	75,16	74,35	72,31	73,27	1,70	Cumple
				75,00	0,24	0,5	74,26					
				74,20	0,24	0,5	73,46					
			2	72,30	0,24	0,5	71,56	70,53	66,27		2,30	Cumple
				71,20	0,24	0,5	70,46					
				70,00	0,24	0,5	69,26					
		(LEX,8h)1,2	1	75,20	0,24	0,5	74,46	73,69	71,65	72,55	2,20	Cumple
				74,80	0,24	0,5	74,06					
				73,00	0,24	0,5	72,26					
			2	71,10	0,24	0,5	70,36	69,50	65,24		2,30	Cumple
				70,50	0,24	0,5	69,76					
				68,80	0,24	0,5	68,06					
		(LEX,8h)1,3	1	77,20	0,24	0,5	76,46	75,31	73,26	73,94	2,40	Cumple
				75,80	0,24	0,5	75,06					
				74,80	0,24	0,5	74,06					
			2	71,20	0,24	0,5	70,46	69,76	65,51		1,40	Cumple
				70,40	0,24	0,5	69,66					
				69,80	0,24	0,5	69,06					
		(LEX,8h)1,4	1	76,00	0,24	0,5	75,26	73,93	71,89	73,12	3,00	Cumple
				74,50	0,24	0,5	73,76					
				73,00	0,24	0,5	72,26					
			2	73,00	0,24	0,5	72,26	71,30	67,04		2,90	Cumple
				72,50	0,24	0,5	71,76					
				70,10	0,24	0,5	69,36					
		2	(LEX,8h)2,1	1	75,90	0,24	0,5	75,16	73,87	71,83	72,76	2,70
	74,30				0,24	0,5	73,56					

			2	73,20	0,24	0,5	72,46	69,87	65,61	74,57	0,70	Cumple	
				71,00	0,24	0,5	70,26						
				70,50	0,24	0,5	69,76						
				70,30	0,24	0,5	69,56						
		(LEX,8h)2,2	1	77,80	0,24	0,5	77,06	75,88	73,84	74,57	2,50	Cumple	
				76,40	0,24	0,5	75,66						
				75,30	0,24	0,5	74,56						
			2	72,40	0,24	0,5	71,66	70,69	66,43		2,30	Cumple	
				71,50	0,24	0,5	70,76						
				70,10	0,24	0,5	69,36						
		(LEX,8h)2,3	1	76,80	0,24	0,5	76,06	75,51	73,47	74,49	0,90	Cumple	
				76,00	0,24	0,5	75,26						
				75,90	0,24	0,5	75,16						
			2	73,40	0,24	0,5	72,66	71,93	67,67		1,40	Cumple	
				72,50	0,24	0,5	71,76						
				72,00	0,24	0,5	71,26						
		(LEX,8h)2,4	1	78,60	0,24	0,4	77,96	76,18	74,14	74,80	2,90	Cumple	
				75,60	0,24	0,5	74,86						
				75,70	0,24	0,5	74,96						
			2	72,00	0,24	0,5	71,26	70,59	66,33		1,80	Cumple	
				71,60	0,24	0,5	70,86						
				70,20	0,24	0,5	69,46						
		3	(LEX,8h)3,1	1	75,90	0,24	0,5	75,16	74,55	72,51	73,39	1,10	Cumple
					75,10	0,24	0,5	74,36					
74,80	0,24				0,5	74,06							
2	72,00			0,24	0,5	71,26	70,26	66,00	1,80	Cumple			

				70,60	0,24	0,5	69,86						
				70,20	0,24	0,5	69,46						
		(LEX,8h)3,2	1	75,80	0,24	0,5	75,06	74,30	72,26	73,26	1,40	Cumple	
				74,80	0,24	0,5	74,06						
				74,40	0,24	0,5	73,66						
			2	72,20	0,24	0,5	71,46	70,65	66,39		1,70	Cumple	
				71,30	0,24	0,5	70,56						
				70,50	0,24	0,5	69,76						
		(LEX,8h)3,3	1	76,50	0,24	0,5	75,76	74,76	72,72	73,57	1,70	Cumple	
				75,00	0,24	0,5	74,26						
				74,80	0,24	0,5	74,06						
			2	72,00	0,24	0,5	71,26	70,32	66,06		1,50	Cumple	
				70,50	0,24	0,5	69,76						
				70,50	0,24	0,5	69,76						
		(LEX,8h)3,4	1	75,30	0,24	0,5	74,56	73,94	71,90	73,06	1,50	Cumple	
				74,80	0,24	0,5	74,06						
				73,80	0,24	0,5	73,06						
			2	72,40	0,24	0,5	71,66	71,04	66,78		1,90	Cumple	
				72,20	0,24	0,5	71,46						
				70,50	0,24	0,5	69,76						
5m	1	(LEX,8h)1,1	1	74,00	0,24	0,5	73,26	72,14	70,10	70,91	2,80	Cumple	
				73,00	0,24	0,5	72,26						
				71,20	0,24	0,5	70,46						
			2	69,40	0,24	0,5	68,66	67,46	63,21		2,40	Cumple	
				68,40	0,24	0,8	67,36						
				67,00	0,24	0,8	65,96						

		(LEX,8h)1,2	1	73,00	0,24	0,5	72,26	71,48	69,44	70,56	2,10	Cumple
				72,50	0,24	0,5	71,76					
				70,90	0,24	0,5	70,16					
			2	70,30	0,24	0,5	69,56	68,40	64,14		1,90	Cumple
				68,70	0,24	0,5	67,96					
				68,40	0,24	0,8	67,36					
		(LEX,8h)1,3	1	73,50	0,24	0,5	72,76	71,35	69,31	70,43	2,70	Cumple
				71,50	0,24	0,5	70,76					
				70,80	0,24	0,5	70,06					
			2	69,80	0,24	0,5	69,06	68,28	64,02		1,40	Cumple
				69,00	0,24	0,5	68,26					
				68,40	0,24	0,8	67,36					
	(LEX,8h)1,4	1	73,10	0,24	0,5	72,36	71,49	69,45	70,22	2,20	Cumple	
			72,40	0,24	0,5	71,66						
			70,90	0,24	0,5	70,16						
		2	68,40	0,24	0,8	67,36	66,63	62,37		1,40	Cumple	
			67,50	0,24	0,8	66,46						
			67,00	0,24	0,8	65,96						
	2	(LEX,8h)2,1	1	72,30	0,24	0,5	71,56	70,64	68,60	69,74	2,10	Cumple
				71,40	0,24	0,5	70,66					
				70,20	0,24	0,5	69,46					
			2	69,70	0,24	0,5	68,96	67,65	63,39		2,50	Cumple
				68,40	0,24	0,8	67,36					
				67,20	0,24	0,8	66,16					
(LEX,8h)2,2		1	73,50	0,24	0,5	72,76	71,77	69,73	70,67	2,00	Cumple	
			72,30	0,24	0,5	71,56						

3	(LEX,8h)2,3	2	71,50	0,24	0,5	70,76	67,80	63,54	69,40	2,70	Cumple						
			69,70	0,24	0,5	68,96											
			68,70	0,24	0,5	67,96											
			67,00	0,24	0,8	65,96											
		1	71,50	0,24	0,5	70,76	70,21	68,17		1,00	Cumple						
			70,80	0,24	0,5	70,06											
			70,50	0,24	0,5	69,76											
			69,40	0,24	0,5	68,66											
		2	68,40	0,24	0,8	67,36	67,56	63,30		2,00	Cumple						
			67,40	0,24	0,8	66,36											
			(LEX,8h)2,4	1	72,00	0,24						0,5	71,26	70,38	68,34	1,60	Cumple
					70,80	0,24						0,5	70,06				
	70,40	0,24			0,5	69,66											
	2	69,40	0,24	0,5	68,66	67,76	63,50	2,00	Cumple								
		68,70	0,24	0,5	67,96												
		67,40	0,24	0,8	66,36												
	(LEX,8h)3,1	1	72,10	0,24	0,5	71,36	70,57	68,53	69,35	2,00	Cumple						
			71,50	0,24	0,5	70,76											
			70,10	0,24	0,5	69,36											
		2	68,40	0,24	0,8	67,36	65,97	61,71		2,60	Cumple						
			66,40	0,24	0,8	65,36											
			65,80	0,24	0,8	64,76											
	(LEX,8h)3,2	1	72,30	0,24	0,5	71,56	70,28	68,24	69,41	2,40	Cumple						
			70,50	0,24	0,5	69,76											
69,90			0,24	0,5	69,16												
2		69,30	0,24	0,5	68,56	67,41	63,15	2,10		Cumple							

				68,20	0,24	0,8	67,16					
				67,20	0,24	0,8	66,16					
		(LEX,8h)3,3	1	72,40	0,24	0,5	71,66	71,41	69,37	70,35	0,80	Cumple
				72,40	0,24	0,5	71,66					
				71,60	0,24	0,5	70,86					
			2	69,40	0,24	0,5	68,66	67,65	63,39		1,90	Cumple
				68,60	0,24	0,8	67,56					
				67,50	0,24	0,8	66,46					
		(LEX,8h)3,4	1	73,00	0,24	0,5	72,26	71,32	69,27	70,16	2,50	Cumple
				72,30	0,24	0,5	71,56					
				70,50	0,24	0,5	69,76					
			2	69,20	0,24	0,5	68,46	67,08	62,82		2,80	Cumple
				67,90	0,24	0,8	66,86					
				66,40	0,24	0,8	65,36					

b) Prueba de precisión

En la tabla 46 se puede observar los resultados del análisis de varianza ANOVA verificando que el F sea menor al $F_{\text{crítico}}$ y no exista dispersión entre los datos obtenidos.

Tabla 46. Evaluación precisión ANOVA.

Nivel	F	F crítico	Criterio de aceptación	¿Cumple?
1(1m)	1,0042	4,2560	$F < F_{\text{crítico}}$	SI
2 (3m)	2,5156	4,2560	$F < F_{\text{crítico}}$	SI
3 (5m)	2,9772	4,2560	$F < F_{\text{crítico}}$	SI

En la Tabla 47 se puede observar los resultados que se obtuvieron del coeficiente de variación de repetibilidad y el coeficiente de variación intermedia.

Tabla 47. Evaluación de precisión

Evaluación de precisión				
Repetibilidad				
Nivel	Sr (dB)	CVr (%)	Criterio de aceptación	¿Cumple?
1(1m)	0,6527	0,8110	$CVr \leq 5 \%$	SI
2 (3m)	0,6470	0,8796	$CVr \leq 5 \%$	SI
3 (5m)	0,4693	0,6698	$CVr \leq 5 \%$	SI
Precisión intermedia				
Punto	SI (dB)	CVI (%)	Criterio de aceptación	¿Cumple?
1(1m)	0,6527	0,8114	$CVI \leq 5 \%$	SI
2 (3m)	0,6470	1,0328	$CVI \leq 5 \%$	SI
3 (5m)	0,4693	0,8188	$CVI \leq 5 \%$	SI

c) Prueba de veracidad (Cálculo de incertidumbre grupal)

En la tabla 48 se puede observar la evaluación de la incertidumbre expandida $U(\text{LEX},8\text{h})$ de los 3 niveles de medición.

Medida mínima tomada durante los 3 días de medición: 64,7 dB, 10%= 6,47 dB.

Tabla 48. Evaluación de veracidad (incertidumbre grupal)

Evaluación de la Incertidumbre expandida $U(\text{LEX},8\text{h})$			
Niveles	Dato calculado (dB)	Criterio de aceptación	¿Cumple?
1(1m)	2,92	$U(\text{LEX},8\text{h}) (\text{dB}) \leq 10\%$ medida mínima tomada $L_{p,A,eqT,m} (\text{dB})$	SI
2 (3m)	2,91	$U(\text{LEX},8\text{h}) (\text{dB}) \leq 10\%$ medida mínima tomada $L_{p,A,eqT,m} (\text{dB})$	SI
3 (5m)	2,91	$U(\text{LEX},8\text{h}) (\text{dB}) \leq 10\%$ medida mínima tomada $L_{p,A,eqT,m} (\text{dB})$	SI

3.2.5 Cálculo de la incertidumbre de medida

En la tabla 49 se puede observar los resultados de la incertidumbre en cada nivel durante los 3 días de medición.

Tabla 49. Determinación de la incertidumbre de medida.

Distancia	Día	LEX,8h (dB)	Tarea	Mediciones				Lp,A,eq T (dB)	u1a,m (dB)	u1b,m (dB)	u2,m (dB)	u3 (dB)	c1a,m	c1b,m	u (LEX,8h) (dB)	U (LEX,8h) (dB)
				Lp,A,eq	T,m	(dB)	(dB)									
1 m	1	81,27	1	82,36	81,56	79,36	81,09	81,27	0,9054	0	0,7	1	0,6245	0,5421	1,11	1,82
			2	82,76	80,76	79,76	81,09	81,28	0,8914	0	0,7	1	0,3755	0,5432		
		80,49	1	82,96	81,16	80,16	81,43	81,58	0,8268	0	0,7	1	0,8047	0,6984	1,23	2,02
			2	79,46	76,47	76,47	77,47	77,65	1,0055	0	0,7	1	0,1953	0,2826		
		80,00	1	81,87	76,36	76,36	78,20	80,72	2,5607	0	0,7	1	0,7381	0,6407	2,16	3,57
			2	81,76	80,56	79,56	80,63	78,44	1,6735	0	0,7	1	0,2619	0,3788		
	80,91	1	82,97	81,87	80,67	81,84	81,83	0,6642	0	0,7	1	0,7725	0,6705	1,12	1,85	
		2	79,56	78,26	77,16	78,33	78,74	0,7519	0	0,7	1	0,2275	0,3292			
	2	80,34	1	81,86	81,46	80,36	81,23	81,27	0,4496	0	0,7	1	0,7746	0,6723	1,05	1,73
			2	78,86	77,86	77,56	78,09	78,13	0,3938	0	0,7	1	0,2254	0,3261		
		80,74	1	82,56	81,96	80,56	81,69	81,77	0,5951	0	0,7	1	0,7926	0,6880	1,11	1,83
			2	79,16	77,86	77,26	78,09	78,17	0,5632	0	0,7	1	0,2074	0,3000		
		80,93	1	82,36	81,86	80,96	81,73	81,76	0,4105	0	0,7	1	0,7576	0,6576	1,02	1,68
			2	79,26	79,16	78,66	79,03	79,03	0,1857	0	0,7	1	0,2424	0,3507		
	80,65	1	82,36	81,86	80,86	81,69	81,74	0,4420	0	0,7	1	0,8022	0,6963	1,08	1,77	
		2	78,96	77,26	77,16	77,79	77,87	0,5869	0	0,7	1	0,1978	0,2861			
	3	80,76	1	82,86	81,76	80,36	81,66	81,78	0,7282	0	0,7	1	0,7901	0,6858	1,16	1,91
			2	79,06	77,96	77,56	78,19	78,24	0,4497	0	0,7	1	0,2099	0,3037		

		80,79	1	82,56	81,56	80,86	81,66	81,72	0,4949	0	0,7	1	0,7745	0,6723	1,07	1,77
			2	79,36	79,16	76,76	78,43	78,58	0,8420	0	0,7	1	0,2255	0,3262		
		80,11	1	81,86	81,36	79,76	80,99	81,08	0,6364	0	0,7	1	0,7819	0,6787	1,11	1,83
			2	78,26	77,86	77,06	77,73	77,75	0,3533	0	0,7	1	0,2181	0,3155		
		78,74	1	79,46	80,36	78,36	79,39	79,47	0,5808	0	0,7	1	0,7389	0,6414	1,05	1,73
			2	77,46	77,26	76,76	77,16	77,17	0,2083	0	0,7	1	0,2611	0,3777		
3 m	1	73,27	1	75,16	74,26	73,46	74,29	74,35	0,4926	0	0,7	1	0,8007	0,6950	1,09	1,80
			2	71,56	70,46	69,26	70,43	70,53	0,6680	0	0,7	1	0,1993	0,2883		
		72,55	1	74,46	74,06	72,26	73,59	73,69	0,6803	0	0,7	1	0,8141	0,7066	1,17	1,93
			2	70,36	69,76	68,06	69,39	69,50	0,6927	0	0,7	1	0,1859	0,2689		
		73,94	1	76,46	75,06	74,06	75,19	75,31	0,7006	0	0,7	1	0,8565	0,7435	1,22	2,01
			2	70,46	69,66	69,06	69,73	69,76	0,4064	0	0,7	1	0,1435	0,2076		
	73,12	1	75,26	73,76	72,26	73,76	73,93	0,8744	0	0,7	1	0,7534	0,6540	1,19	1,97	
		2	72,26	71,76	69,36	71,13	71,30	0,9032	0	0,7	1	0,2466	0,3567			
	2	72,76	1	75,16	73,56	72,46	73,73	73,87	0,7904	0	0,7	1	0,8072	0,7006	1,20	1,98
			2	70,26	69,76	69,56	69,86	69,87	0,2083	0	0,7	1	0,1928	0,2790		
		74,57	1	77,06	75,66	74,56	75,76	75,88	0,7285	0	0,7	1	0,8462	0,7345	1,22	2,02
			2	71,66	70,76	69,36	70,59	70,69	0,6729	0	0,7	1	0,1538	0,2225		
		74,49	1	76,06	75,26	75,16	75,49	75,51	0,2851	0	0,7	1	0,7917	0,6872	1,03	1,70
			2	72,66	71,76	71,26	71,89	71,93	0,4105	0	0,7	1	0,2083	0,3014		
	74,80	1	77,96	74,86	74,96	75,93	76,18	1,0327	0	0,7	1	0,8578	0,7446	1,38	2,28	
		2	71,26	70,86	69,46	70,53	70,59	0,5477	0	0,7	1	0,1422	0,2057			
	3	73,39	1	75,16	74,36	74,06	74,53	74,55	0,3288	0	0,7	1	0,8173	0,7094	1,06	1,75
			2	71,26	69,86	69,46	70,19	70,26	0,5480	0	0,7	1	0,1827	0,2643		
73,26		1	75,06	74,06	73,66	74,26	74,30	0,4173	0	0,7	1	0,7944	0,6895	1,06	1,75	
		2	71,46	70,56	69,76	70,59	70,65	0,4926	0	0,7	1	0,2056	0,2974			
73,57	1	75,76	74,26	74,06	74,69	74,76	0,5386	0	0,7	1	0,8225	0,7140	1,12	1,85		

		2	71,26	69,76	69,76	70,26	70,32	0,5018	0	0,7	1	0,1775	0,2567			
	73,06	1	74,56	74,06	73,06	73,89	73,94	0,4420	0	0,7	1	0,7646	0,6637	1,04	1,72	
		2	71,66	71,46	69,76	70,96	71,04	0,6054	0	0,7	1	0,2354	0,3406			
5m	1	70,91	1	73,26	72,26	70,46	71,99	72,14	0,8259	0	0,7	1	0,8303	0,7207	1,25	2,06
			2	68,66	67,36	65,96	67,33	67,46	0,7857	0	0,7	1	0,1697	0,2455		
		70,56	1	72,26	71,76	70,16	71,39	71,48	0,6364	0	0,7	1	0,7723	0,6704	1,18	1,94
			2	69,56	67,96	72,76	70,09	68,40	1,8527	0	0,7	1	0,2277	0,3294		
		70,43	1	72,76	70,76	70,06	71,19	71,35	0,8165	0	0,7	1	0,7716	0,6697	1,17	1,93
			2	69,06	68,26	67,36	68,23	68,28	0,4926	0	0,7	1	0,2284	0,3305		
	70,22	1	72,36	71,66	70,16	71,39	71,49	0,6523	0	0,7	1	0,8360	0,7256	1,18	1,94	
		2	67,36	66,46	65,96	66,59	66,63	0,4105	0	0,7	1	0,1640	0,2373			
	2	69,74	1	71,56	70,66	69,46	70,56	70,64	0,6112	0	0,7	1	0,7687	0,6673	1,10	1,82
			2	68,96	67,36	66,16	67,49	67,65	0,8182	0	0,7	1	0,2313	0,3346		
		70,67	1	72,76	71,56	70,76	71,69	71,77	0,5838	0	0,7	1	0,8063	0,6998	1,13	1,86
			2	68,96	67,96	65,96	67,63	67,80	0,8902	0	0,7	1	0,1937	0,2803		
		69,40	1	70,76	70,06	69,76	70,19	70,21	0,2966	0	0,7	1	0,7542	0,6547	1,01	1,66
			2	68,66	67,36	66,36	67,46	67,56	0,6698	0	0,7	1	0,2458	0,3556		
		69,57	1	71,26	70,06	69,66	70,33	70,38	0,4823	0	0,7	1	0,7528	0,6535	1,05	1,73
			2	68,66	67,96	66,36	67,66	67,76	0,6845	0	0,7	1	0,2472	0,3576		
	2	69,35	1	71,36	70,76	69,36	70,49	70,57	0,5951	0	0,7	1	0,8277	0,7184	1,15	1,90
			2	67,36	65,36	64,76	65,83	65,97	0,7929	0	0,7	1	0,1723	0,2493		
		69,41	1	71,56	69,76	69,16	70,16	70,28	0,7264	0	0,7	1	0,7638	0,6630	1,13	1,87
			2	68,56	67,16	66,16	67,29	67,41	0,7006	0	0,7	1	0,2362	0,3417		
		70,35	1	71,66	71,66	70,86	71,39	71,41	0,2669	0	0,7	1	0,7983	0,6930	1,04	1,71
			2	68,66	67,56	66,46	67,56	67,65	0,6384	0	0,7	1	0,2017	0,2917		
		70,16	1	72,26	71,56	69,76	71,19	71,32	0,7496	0	0,7	1	0,8156	0,7079	1,20	1,98
			2	68,46	66,86	65,36	66,89	67,08	0,9044	0	0,7	1	0,1844	0,2668		

3.2.6 Análisis y discusión de resultados de ruido laboral

El Kit del sonómetro Cirrus CR: 171C adquirido por los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica cumplen con los requisitos necesarios para realizar el ensayo de ruido laboral de acuerdo con la norma NTE INEN-ISO 9612:2014, el cual define que el sonómetro clase I y calibrador acústico clase I CR:515 adquiridos deben cumplir con las especificaciones emitidas en la Norma de la Comisión Electrónica Internacional IEC 61672-1:2002 e IEC 60942:2003 respectivamente, dichas especificaciones se pueden evidenciar en los certificados de calibración realizada en un laboratorio de ensayos y calibración Autorizado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE), el cual es una exigencia que se debe de cumplir con la “Política de trazabilidad de las mediciones”.

Para el desarrollo de la metodología de ruido laboral se escogió un intervalo de trabajo de 20 dB a 140 dB el cual es el recomendado por el fabricante del sonómetro Optimus Cirrus CR:171C y se puede apreciar en los certificados de calibración externa realizado.

Para determinar el nivel de exposición al ruido en el trabajo, se determinó siguiendo los lineamientos de la norma NTE INEN-ISO 9612:2014, en los tres días de medición se tomó muestras de ruido laboral, con las cuales determinamos el nivel de exposición al ruido ponderado A normalizado a una jornada laboral nominal de 8h, con lo que se logró determinar que no existe diferencia significativa entre los grupos, esto se lo comprobó gracias al valor calculado de $F_{crítico}$ que tiene que ser menor al F , de esta manera se comprueba la hipótesis nula planteada.

Con el calibrador acústico se realizó la comprobación de campo, como especifica la norma NTE INEN-ISO 9612 Primera edición 2014-01, se debe realizar una comprobación antes y después de cada medición, obteniendo un valor de nivel de presión sonora de 93,7 dB el mismo que tiene un criterio de aceptación que es de $\pm 0,075$ dB tomado del manual del sonómetro, debido a que no existe una normativa ecuatoriana que especifique un rango de desviación.

Para la evaluación de precisión: para la estrategia basada en la tarea se realizó la evaluación en tres días con esto se obtiene condiciones de precisión intermedia, y cuatro repeticiones de muestras por los niveles establecidos usando el mismo método,

para cumplir con condiciones de repetibilidad se debe medir con el mismo equipo(sonómetro), mismo lugar de medición y mismo operador. Con esto determinamos LEX,8h la cual permite cumplir con los criterios de aceptación establecidos para precisión intermedia y repetibilidad es de ≤ 5 , se verifico que los Coeficientes de variación de repetibilidad (CVr) y el Coeficiente de variación de precisión intermedia (CVI) son menores al 5% por lo que se cumple con los criterios de aceptación.

La estimación de la incertidumbre típica grupal debido a las condiciones de funcionamiento se determinó a partir una serie de datos por niveles y separando por tareas, de esta manera se obtiene una cantidad de datos suficientes para realizar el análisis de la incertidumbre de las mediciones, de los tres días de toma de datos a una distancia de un metro se agrupó todas las mediciones teniendo un total de treinta y seis, las mismas que se debe obtener un promedio, para posterior a ello de la misma manera obtener un promedio del nivel de presión sonora continuo equivalente A $L_{p,A,eqT}$ (dB) y Nivel de exposición al ruido ponderado A de la tarea m que contribuye al nivel de exposición diaria al ruido LEX,8h,m (dB), posterior a ello agrupamos de la misma manera para la tarea 2, realizamos el mismo procedimiento mencionado con anterioridad, con ello calculamos la incertidumbre tipo a, la tipo b, de cada tarea, incluido las incertidumbres del certificado de calibración del sonómetro y el calibrador, para finalmente obtener la incertidumbre combinada que es la unión de las dos tareas, y finalmente llegar a una incertidumbre expandida,verificando que esta sea menor al 10% de la medida mínima tomada por el sonómetro, por lo que se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

Para la estimación de la incertidumbre típica combinada para la estrategia de medición basado en la tarea, se instauró de acuerdo con la norma NTE INEN-ISO 9612:2014 en la cual en el anexo C establece el procedimiento para el cálculo de la incertidumbre, la estimación de la duración de la tarea, la incertidumbre debido a la posición del micrófono, a la instrumentación, de igual forma con sus coeficientes de sensibilidad la cual es calculada por cada medición.

Durante los tres días de ensayo de ruido laboral se verificó que el ruido (LEX,8h) emitido por la empresa de Carrocerías PATRICIO CEPEDA CÍA. LTDA se encuentra

dentro de un rango de 69,35 dB a 81,27 dB, siendo esta menor a lo especificado en la tabla 12 del artículo 55. Ruido y Vibraciones del Decreto Ejecutivo 2393 donde expresa los niveles máximos de tiempo de exposición por jornada/horas, determinando que para una jornada nominal de 8 horas como máximo se debe estar expuesto a 85 dB (A-lento).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se recopiló información en las diferentes entidades públicas, tales como: Ministerio del Ambiente, Honorable Gobierno Provincial, Ministerio del trabajo de la provincia de Tungurahua, concluyendo que en la provincia la normativa legal vigente para ruido ambiental se basa en el Anexo 5 (NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE RUIDO Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES MÓVILES Y NIVELES) del Acuerdo Ministerial No. 097-A :2015 y para ruido laboral se basa en el art 55 (RUIDO Y VIBRACIONES) del Decreto Ejecutivo 2393.
- Se verificó en la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025:2018, los requerimientos necesarios para la acreditación de laboratorios, la cual permitió generar un procedimiento técnico para la medición de ruido ambiental y laboral.
- Al aplicar la metodología de medición de ruido ambiental del método de 15 segundos (PROC-RA-01) generada se obtuvieron datos de nivel de presión sonora en un rango de 49,54 dB a 62,6 dB los que se encuentran dentro del intervalo de trabajo de 20 dB a 140 dB del sonómetro clase I, además de ser datos razonables ya que durante los tres días de medición el ruido emitido por la fuente fija no fue constante, por lo que se comprueba que la ubicación y dirección del sonómetro especificada en la metodología PROC-RA-01 generada es apta para su posterior aplicación, obteniendo datos semejantes a la realidad.
- Los niveles de presión sonora obtenidos durante los tres días de medición al aplicar la metodología basada en la tarea para la medición de ruido laboral (PROC-RL-01) generada se encuentran en un rango de 65,80 dB a 83,60 dB, los mismos que se encuentran dentro del intervalo de trabajo de 20 dB a 140 dB del sonómetro clase I, además de ser datos razonables ya que las mediciones se efectuaron cuando los trabajadores estuvieron en actividades normales de trabajo, por lo que se concluye que la metodología PROC-LA-01 generada es adecuada para su posterior aplicación, obteniendo datos confiables.
- Se validó la metodología de ruido ambiental, realizando una verificación del método de 15 segundos (Leq 15s) del Anexo 5 del Acuerdo Ministerial No. 097-

A del TULSMA descritos en el PRC-RA-01, el mismo se evaluó y aceptó en un intervalo de 20 dB a 140 dB, verificando que se encuentre dentro de los parámetros de validación establecidos, tales como: el coeficiente de variación de repetibilidad y precisión intermedia $\leq 5\%$, veracidad en incertidumbre $\leq 10\%$ de la medida mínima tomada por el sonómetro e incertidumbre dinámica que depende de cada medición.

- Se validó la metodología de ruido laboral, realizando una verificación del de la metodología basada en la tarea de la norma NTE INEN-ISO 9612:2014, el mismo se evaluó y aceptó en un intervalo de 20 dB a 140 dB, verificando que se encuentre dentro de los parámetros de validación establecidos, tales como: el coeficiente de variación de repetibilidad y precisión intermedia $\leq 5\%$, veracidad en incertidumbre $\leq 10\%$ de la medida mínima tomada por el sonómetro e incertidumbre dinámica que depende de cada medición.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a que los técnicos del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Centro de Apoyo al Desarrollo Metalmecánico (CADME) manejar de manera confidencial y adecuada los documentos generados dentro de la metodología y validación de ensayo de ruido ambiental y Laboral, así como la manipulación adecuada del sonómetro y calibrador acústico con la finalidad de emitir resultados válidos.
- Se recomienda que los técnicos que vayan a realizar la medición de ruido ambiental y Laboral estén capacitados y conozcan el manejo del equipo, con el objetivo de tener mediciones veraces.
- Se recomienda dar un mantenimiento al equipo e instrumentos, para evitar deterioro de este y que contribuya a falsas mediciones, lo cual conlleva a comprometer los datos tanto para ruido ambiental como para ruido laboral.
- Se recomienda al laboratorio requerir al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano) una auditoria con la finalidad de acreditar la competencia en la determinación de ruido ambiental y laboral.

REFERENCIAS

- [1] J. Yanes, “Validación del método para determinación de niveles de ruido ambiental en el laboratorio AMBIENLAB Cía. Ltda.,” Quito, 2019.
- [2] O. A. F. Vinicio, Validación del método para la determinación de la exposición al ruido en el trabajo para el laboratorio AMBIENLAB Cía. Ltda., Quito, 2019.
- [3] J. P. L. Guarquila, EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RUIDO AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE SUCÚA, MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA, PARA PROPONER UN PROYECTO DE ORDENANZA AL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO, Sucúa, 2016.
- [4] C. P. G. Carolina, EVALUACIÓN DE RUIDO EN LA EMPRESA CIAUTO CÍA. LTDA. PARA PREVENIR ENFERMEDADES PROFESIONALES, Ambato, 2014.
- [5] A. y. T. E. Ministerio del Ambiente, “Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica,” 6 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/hoy-ecuador-le-dice-no-al-ruido/>. [Último acceso: 23 Diciembre 2021].
- [6] A. Jaramillo, ACUSTICA: LA CIENCIA DEL SONIDO, Medellin: ITM, 2007.
- [7] “junta de anda lucia,” [En línea]. Available: http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/09022015/e6/es-an_2015020912_9135749/11_requisitos_para_que_exista_sonido.html. [Último acceso: 14 Diciembre 2021].
- [8] W. Moebs, S. J. Ling y J. Sanny, “OpenStax,” 28 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://openstax.org/books/física-universitaria-volumen-1/pages/17-2-velocidad-del-sonido>. [Último acceso: 23 Diciembre 2021].
- [9] F. ejecutiva, “ACUERDO No. 097-A (TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE),” Quito, 2016.
- [10] M. E. Casado García, “REDES DE PONDERACIÓN ACÚSTICA,” 2011. [En línea]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54709662/RedesPonderacion_MarioE.Casado-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1643658703&Signature=VbC9UnQYf3nGz1FzWHxB9IVm

LSDX65N87pmUkDwJkn2W~eYtaG32R-
NvvyFLTjztw37QNwh6vcCLdVMfIvAABp9BZzlqUP3RcWywQWlg1j6MR
NSOUcq0udPWq9aW8. [Último acceso: 31 Enero 2022].

- [11] O. d. S. y. M. A. d. Andalucía, “Ruido y Salud”.
- [12] B. &. Kjaer, Ruido ambiental, 2007.
- [13] R. E. Díaz, “Fuentes sonoras y propagacion del sonido,” 2007.
- [14] I. E. d. Normalizacion, “ACUSTICA. DETERMINACIÓN DE LA ESPOSICIÓN AL RUIDO EN EL TRABAJO. METODO DE INGENIERIA (ISO 9612:2009, IDT),” Quito, 2014.
- [15] M. Ortega, “Metodología para evaluación del ruido ambiental urbano en la ciudad de Medellín,” 2005.
- [16] R. B. Domingo, Acústica Medioambiental vol I, Alicante: Club Universitario, 2010.
- [17] N. B. M, “Elaboración de mapa de ruido de la ciudad de Valdivia mediante software de modelación utilizando métodos de simplificación,” Chile.
- [18] G. d. R. Naturales, “Gestión de Recursos Naturales,” 15 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.grn.cl/linea-de-base-ambiental.html>. [Último acceso: 23 Diciembre 2021].
- [19] “Secretaria Tecnica Nacional Ambiental,” [En línea]. Available: <https://www.setena.go.cr/viabilidades.html>. [Último acceso: 23 Diciembre 2021].
- [20] I. E. d. Normalización, “ACÚSTICA. DESCRIPCIÓN, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL. PARTE 1: MAGNITUDES BÁSICAS Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN (ISO 1996-1:2003, IDT),” Quito, 2014.
- [21] I. E. d. Normalización, “ACÚSTICA. DESCRIPCIÓN, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL. PARTE 2: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL (ISO 1996-2:2007, IDT),” Quito, 2014.
- [22] A. Gil y P. Luna, NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos, España, 2019.

- [23] I. E. D. S. SOCIAL, “DECRETO EJECUTIVO 2393 REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DEL TRABAJO”.
- [24] E. E. P. M. y. colaboradores, Guía Eurachem: La adecuación al uso de los métodos analíticos – Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados, España, 2016.
- [25] O. A. d. Acreditación, GUÍA PARA VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE ENSAYO, Buenos Aires, 2019.
- [26] A. M. Ruiz Armenteos, J. . L. García Balboa y J. L. Mesa Mingorance, “ERROR, INCERTIDUMBRE, PRECISIÓN Y EXACTITUD, TÉRMINOS ASOCIADOS A LA CALIDAD ESPACIAL DEL DATO GEOGRÁFICO,” España.
- [27] Y. Portuondo Paisan y J. Portuondo Moret, “LA REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN ELASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS PROCESOSDE MEDICIÓN,” Cuba, 2010.
- [28] J. C. f. G. i. Metrology, “Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados,” 2012. [En línea]. Available: <https://www.cem.es/sites/default/files/gum20digital1202010.pdf>. [Último acceso: 17 Enero 2022].
- [29] Infasdev, “Infas Group,” [En línea]. Available: <https://www.infas.com.ar/sesgo/#:~:text=Es%20la%20diferencia%20entre%20el,menudo%20referido%20como%20%E2%80%9Cexactitud%E2%80%9D..> [Último acceso: 17 Enero 2022].
- [30] X. Fuentes Arderiu y M. Sánchez Manrique, “Guía para estimar la incertidumbre de medida en ciencias de laboratorio clínico,” 2002. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/576/57627404.pdf>. [Último acceso: 17 Enero 2022].
- [31] J. Dagnino S, “ANÁLISIS DE VARIANZA,” 2014. [En línea]. Available: <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>. [Último acceso: 25 Enero 2022].
- [32] M. Bakieva, J. González Such y J. Jornet, “SPSS: ANOVA de un factor,” [En línea]. Available: https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0702b.pdf. [Último acceso: 25 Enero 2022].

- [33] J. N. Miller y J. C. Miller, ESTADÍSTICA Y QUIMIOMETRÍA PARA QUÍMICA ANALÍTICA, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN. S.A., 2022.
- [34] C. R. plc, Manual del usuario Sonómetros Optimus, Hunmanby, 2013.
- [35] I. E. d. Normalización, “REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN (ISO/IEC 17025:2017, IDT),” Quito, 2018.
- [36] S. o. T. a. F. Chemistry, “Requirements for the validation of analytical methods,” 01 Junio 2009. [En línea]. Available: <https://www.gtfch.org/cms/images/stories/files/Appendix%20B%20GTFCh%2020090601.pdf>. [Último acceso: 18 Enero 2022].
- [37] R. Caballero-Flores, “ANÁLISIS DE ERRORES EN LAS MEDIDAS,” 2019. [En línea]. Available: https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/52857/AN%C3%81LISIS%20DE%20ERRORES%20EN%20LA%20MEDIDA_RCF.pdf?sequence=1. [Último acceso: 12 Julio 2022].
- [38] D. Manvell y E. Aflalo, Uncertainties in Environmental Noise Assessments – ISO 1996, Effects of Instrument Class and Residual Sound, 2005.
- [39] E. Silla y A. Fernández, INCERTIDUMBRE DE MEDIDA EN RUIDO AMBIENTAL SEGÚN LA ISO 1996-2:2007. APLICACIÓN A UN ESTUDIO ACÚSTICO, España, 2009.
- [40] A. Maroto, R. Boque, J. Rui y F. X. Rius, “ESTRATEGIAS PARA EL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE,” [En línea]. Available: <http://www.quimica.urv.cat/quimio/general/estinc.pdf>. [Último acceso: 27 Enero 2022].
- [41] W. A. Schmid y R. J. Lazos Martínez, GUÍA PARA ESTIMAR LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN, México, 2000.
- [42] A. J. Moreno, “METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE,” 15 Junio 2005. [En línea]. Available: <https://cenam.mx/dme/pdf/ext-metodolog%C3%ADa%20para%20el%20c%C3%A1lculo%20de%20incertidumbre.pdf>. [Último acceso: 1 Febrero 2022].
- [43] J. C. f. G. i. Metrology, “Evaluación de datos de medición-Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM).,” 2009. [En línea]. Available:

- <https://www.cem.es/sites/default/files/gum20digital1202010.pdf>. [Último acceso: 5 Abril 2020].
- [44] S. C. Rodríguez, “Validación de un método analítico,” [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4550292>.
- [45] Eurachem, “The Fitness for Purpose of Analytical Methods,” 2014. [En línea]. Available: https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_2nd_ed_EN.pdf.
- [46] E. /. CITAC, “Cunatificacion de la Incertidumbre en Medidas Analíticas,” [En línea]. Available: https://www.citac.cc/QUAM2012_P1_ES.pdf.
- [47] V. & P. Barwick, “Terminology in Analytical,” [En línea]. Available: https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/TAM_2011_Final_web.pdf.
- [48] J. Asinsten, El sonido.
- [49] guiaosc.org, “Guia OSC,” 18 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://guiaosc.org/que-es-una-ordenanza-municipal/>. [Último acceso: 23 Diciembre 2021].
- [50] D. S. Torres, Interviewee, *Las ordenanzas de los GAD*. [Entrevista]. 26 Junio 2019.
- [51] R. D. ECUADOR, CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, Quito, 2008.
- [52] S. Jewett, Física para ciencias e ingeniería, México: CENANGAGE Learning, 2008.
- [53] P. L. Fernández, “CONCEPTOS FÍSICOS DE LAS ONDAS SONORAS,” 2017, pp. 2-4.
- [54] F. Prosaia, “GUÍA PARA EL CÁLCULO DEL PERÍODO DE RETIRO EN,” [En línea]. Available: <https://www.prosaia.org/wp-content/uploads/2021/04/Prosaia-3-GF-Gui%CC%81a-para-el-ca%CC%81culo-del-peri%CC%81odo-de-retiro-2014-03-14.pdf>.
- [55] S. F. Sawyer, “Analysis of Variance: The Fundamental Concepts,” [En línea]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/jmt.2009.17.2.27E>.

- [56] J. M. Bellón, “ANOVA: comparación de medias de tres o más grupos,” [En línea]. Available: <https://epidemiologiamolecular.com/anova-comparacion-medias-grupos/>.
- [57] Glen., “Statistics/F Value,” 2021. [En línea]. Available: <https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/f-statistic-value-test/>.
- [58] T. Dahiru, “P – VALUE, A TRUE TEST OF STATISTICAL SIGNIFICANCE? A CAUTIONARY NOTE,” 2020. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4111019/>.
- [59] J. M. J. Miller, “Estadística y quimiometría para química analítica.,” Pearson Education S.A.
- [60] C. R. plc, Manual del usuario Sonómetro optimus, 2013.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 1.1 –Incertidumbre de medición para LAeq

Incertidumbre típica				Incertidumbre típica combinada	Incertidumbre de medición expandida
Debido a la Instrumentación^a	Debido a las condiciones de funcionamiento^b	Debido a las condiciones meteorológicas y del terreno^c	Debido al sonido residual^d		
1,0 dB	X dB	Y dB	Z dB	$\frac{\sigma_t}{\sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}}$ dB	$\pm 2,0 \sigma_t$ dB

^a Para la instrumentación de clase 1 de la Norma IEC 61672-1:2002. Si se utiliza otra instrumentación (clase 2 de la Norma IEC 61672-1:2002 o sonómetros tipo 1 de las Normas IEC 60651:2001/IEC 60804:2000) o micrófonos direccionales, el valor será mayor.

^b Para ser determinado al menos a partir de tres mediciones en condiciones de repetibilidad, y preferiblemente cinco (el mismo procedimiento de medición, los mismos instrumentos, el mismo operador, el mismo lugar) y en una posición donde las variaciones en las condiciones meteorológicas ejercen una influencia débil en los resultados. Para mediciones a largo plazo, se requieren más mediciones para determinar la desviación típica de repetibilidad. Para el ruido del tráfico rodado, se indican algunas directrices para el valor de X en el apartado 6.2.

^c El valor varía dependiendo de la distancia de medición y de las condiciones meteorológicas que prevalecen. En el anexo A se describe un método que utiliza una ventana meteorológica simplificada (en este caso $Y = \sigma_m$). Para mediciones a largo plazo, es necesario tratar las diferentes categorías meteorológicas por separado y después combinarlas. Para mediciones a corto plazo, las variaciones en las condiciones del terreno son mínimas. Sin embargo, para mediciones a largo plazo, estas variaciones pueden sumarse de forma considerable a la incertidumbre de medición.

^d El valor varía dependiendo de la diferencia entre los valores totales medidos y el sonido residual.

ANEXO 2

Valores críticos de F

Tabla 2.1 Valores críticos de F para un contraste de una cola (P=0.05)

v_i	v_e													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0	
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	
3	10,13	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,745	8,703	8,660	
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,912	5,858	5,803	
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,678	4,619	4,558	
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,000	3,938	3,874	
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,575	3,511	3,445	
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,284	3,218	3,150	
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,073	3,006	2,936	
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,913	2,845	2,774	
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,788	2,719	2,646	
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,687	2,617	2,544	
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,604	2,533	2,459	
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,534	2,463	2,388	
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,475	2,403	2,328	
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,425	2,352	2,276	
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,381	2,308	2,230	
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,342	2,269	2,191	
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,308	2,234	2,155	
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,278	2,203	2,124	

Donde:

$v_1 =$ numero de grados de libertad del numerador

$v_2 =$ numero de grados de libertad del denominador

ANEXO 3

Registro de análisis de trabajo en el puesto de trabajo Patricio Cepeda Cía. Ltda.

Tabla 3.1. Jornada nominal de un trabajador.

Tarea	Duración en horas
Soldado	5
Ensamblado	3
Total	8
Nota: El tiempo empleado en cada tarea se calcula usando la media del rango de valores indicado por el trabajador y su supervisor	

ANEXO 4

Metodología ensayo Ruido Ambiental

	PROCEDIMIENTO DE SONOMETRÍA AMBIENTAL	
	SERVICIO Y VERIFICACIÓN TÉCNICA	
PROC-RA-01		Página 1 de 51
Elaborado por: Ing. Diego Ramos  Firma	Revisado por: Ing. Oscar Tene, Mg.  Firma	Aprobado por: Ing. Christian Castro, Mg.  Firma
Ing. Gonzalo Naranjo  Firma	Ing. Víctor Espín, Mg.  Firma	
Tesistas: Bladimir Pilapanta  Firma		
Luis Ortiz  Firma		

ÍNDICE

	ÍNDICE DE TABLAS	3
	ÍNDICE DE FIGURAS	3
1	OBJETIVO	4
2	ALCANCE Y MODALIDAD	4
3	REFERENCIA	4
4	DEFINICIONES	5
5	RESPONSABILIDADES	8
6	CONDICIONES AMBIENTALES	8
7	EQUIPAMIENTO	9
7.1	Manipulación del sonómetro Optimus Green clase 1 CR:171C	9
7.1.1	Teclado y Controles	9
7.1.2	Conectores	10
7.1.3	Salvapantallas	11
7.1.4	Pantalla / Visor	11
7.1.5	Grabación de audio	13
7.1.6	Temporizadores	14
7.1.7	Funciones “inicio”, “stop” y “reset”	15
7.1.8	Atrás Borrar /Pausa (Back-erase)	15
7.1.9	Memoria	16
7.1.10	Restablecer ajustes de fábrica	16
7.1.11	Protector anti- viento	17
7.2	Manipulación del calibrador acústico	17
8	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE LABORATORIO	18
8.1	Transporte del sonómetro y calibrador acústico	18
8.2	Procedimiento de medición de ruido Ambiental en el campo, obtención del LK _{eq} e incertidumbre	18
8.3	Diagrama de flujo medición de ruido Ambiental	28
8.4	ÍTEMS DE INTERÉS A CONSIDERAR EL PROCEDIMIENTO:	29
8.5	Calculo de la incertidumbre dinámica	31
8.6	Diagrama de flujo del cálculo de la incertidumbre dinámica	33
8.7	Mantenimiento del sonómetro y Calibrador	34

8.7.1	Micrófono	34
8.7.2	Insertar las pilas	34
8.7.3	Calibración.....	35
9	ASEGURAMIENTO DE LA VALIDEZ DE LOS RESULTADOS	37
9.1	Comprobaciones intermedias.....	37
10	CÁLCULOS	37
10.1	Ecuaciones	37
10.1.1	Determinación del nivel de presión sonora continua equivalente corregido LK _{eq}	37
10.1.2	Determinación de la Incertidumbre de medición.....	42
10.2	Reporte de resultados.....	49
11	DOCUMENTOS Y HOJAS DE CÁLCULO ASOCIADAS	49
12	CONTROL DE REGISTROS	50
13	Referencias.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Niveles máximos de emisión de ruido para FFR [2].	29
Tabla 2.	Correcciones por componentes impulsivas y bajas frecuencias [2].	42






ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sonómetro Optimus green clase I CR:171C [1].....	9
Figura 2.	Descripción del teclado y controles [1].....	10
Figura 3.	descripción de los conectores [1].	10
Figura 4.	Distintos tipos de alimentación del Optimus [1].	11
Figura 5.	Descripción de barra de información [1].....	12
Figura 6.	Calibrador acústico Cirrus CR: 515	17
Figura 7.	Micrófono en una superficie reflectante.....	30
Figura 8.	Micrófono próximo a superficie reflectante.....	30
Figura 9.	Flujo 04: Ruido específico con contenido de ruido impulsivo y con contenido energético alto en bajas frecuencias.	31
Figura 10.	Pasos para el montaje del micrófono [1].	34
Figura 11.	Pasos para insertar las pilas [1].	35
Figura 12.	Procedimiento calibración del sonómetro. [1]	36

Figura 13. Radio de curvatura de la trayectoria sonora (R) y la contribución a la incertidumbre de medición asociada, debido a la influencia climática [4]..... 46

ANEXO 5

Metodología ensayo Ruido Laboral

	PROCEDIMIENTO DE SONOMETRÍA LABORAL	
	SERVICIO Y VERIFICACIÓN TÉCNICA	
PROC-RL-01		Página 1 de 45
Elaborado por: Ing. Christian Barriga  Firma	Revisado por: Ing. Oscar Tene, Mg.  Firma	Aprobado por: Ing. Christian Castro, Mg.  Firma
Ing. Christian Perez  Firma	Ing. Victor Espín, Mg.  Firma	
Tesistas: Luis Ortiz  Firma		
Bladimir Pilapanta.  Firma		

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

1.	OBJETIVO.....	4
1	ALCANCE Y MODALIDAD.....	4
2	REFERENCIA.....	4
3	DEFINICIONES.....	5
4	RESPONSABILIDADES.....	6
5	EQUIPAMIENTO.....	7
5.1	Manipulación del sonómetro Optimus Green clase 1 CR:171C.....	7
5.1.1	Teclado y Controles.....	8
5.1.2	Conectores.....	9
5.1.3	Salvapantallas.....	10
5.1.4	Pantalla / Visor.....	10
5.1.5	Grabación de audio.....	12
5.1.6	Temporizadores.....	13
5.1.7	Funciones “inicio”, “stop” y “reset”.....	13
5.1.8	Atrás Borrar /Pausa (Back-erase).....	14
5.1.9	Memoria.....	14
5.1.10	Restablecer ajustes de fabrica.....	15
5.1.11	Protector anti- viento.....	15
5.2	Manipulación del calibrador acústico.....	15
6	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE LABORATORIO.....	16
6.1	Transporte del sonómetro y calibrador acústico.....	16
6.2	Procedimiento de medición de ruido Ambiental en el campo.....	17
6.3	Calculo de la incertidumbre dinámica.....	32
6.4	Diagrama de flujo de la incertidumbre dinámica de medida.....	34
6.5	Mantenimiento del sonómetro y Calibrador.....	35
6.5.1	Micrófono.....	35
6.5.2	Insertar las pilas.....	35
6.5.3	Calibración.....	36
7	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE MEDICIÓN DE RUIDO LABORAL.....	38

7.1	Estrategia basada en la tarea.....	38
8	ASEGURAMIENTO DE LA VALIDEZ DE LOS RESULTADOS.....	38
8.1	Comprobaciones intermedias.....	38
9	CÁLCULOS.....	39
9.1	Ecuaciones para la estrategia basada en la tarea.....	39
9.2	Calculo de la incertidumbre estrategia basada en la tarea.....	41
10	DOCUMENTOS Y HOJAS DE CÁLCULO.....	44
11	CONTROL DE REGISTROS.....	44
12	MODIFICACIONES.....	44
13	Bibliografía.....	45

Índice de tablas.

Tabla 1.	Documentos técnicos legales.....	4
Tabla 2.	Terminología cálculo de la LEX,8h.....	5
Tabla 3.	Terminología cálculo de la incertidumbre.....	6
Tabla 4.	Responsabilidades.....	7
Tabla 5.	Tiempo de exposición al ruido.....	17

Índice tabla de ilustraciones.

Figura 1.	Sonómetro Optimus green clase I CR:171C [1].....	8
Figura 2.	Descripción del teclado y controles [1].....	8
Figura 3.	descripción de los conectores [1].....	9
Figura 4.	Distintos tipos de alimentación del optimus [1].....	9
Figura 5.	Descripción de barra de información [1].....	10
Figura 6.	Calibrador acústico Cirrus CR: 515.....	16
Figura 7.	Pasos para el montaje del micrófono [1].....	35
Figura 8.	Pasos para insertar las pilas [1].....	36
Figura 9.	Procedimiento calibración del sonómetro. [1].....	37

ANEXO 6

Informe procedimiento de validación de Ruido Ambiental

	PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ENSAYO RUIDO AMBIENTAL	
	SERVICIO Y VERIFICACIÓN TÉCNICA	
PROC VM-RA-01		Página 1 de 25
Elaborado por: Ing. Diego Ramos  Firma	Revisado por: Ing. Oscar Tene, Mg.  Firma	Aprobado por: Ing. Christian Castro, Mg.  Firma
Ing. Gonzalo Naranjo  Firma	Ing. Víctor Espín, Mg.  Firma	
Tesistas: Bladimir Pilapanta  Firma		
Luis Ortiz  Firma		

ÍNDICE

1	OBJETIVO	3
2	ALCANCE Y MODALIDAD	3
3	REFERENCIA.....	3
4	DEFINICIONES.....	3
5	RESPONSABILIDADES.....	5
6	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE LABORATORIO.....	6
6.1	Precisión de los resultados ANOVA	6
6.2	Diagrama de flujo precisión de los resultados ANOVA	10
6.3	Veracidad.....	11
6.4	Diagrama de flujo veracidad.....	14
7	CÁLCULOS	14
7.1	Ecuaciones.....	14
7.1.1	Prueba de precisión (ANOVA).....	14
7.1.2	Prueba de veracidad (Incertidumbre)	17
8	DOCUMENTOS Y HOJAS DE CÁLCULO ASOCIADAS	23
9	DECLARACIÓN DE VALIDEZ.....	24
10	Referencias	25

ÍNDICE DE TABLAS



Tabla 1.	Modelo de estudio experimental [2].....	15
Tabla 2.	Tabla ANOVA.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Radio de curvatura de la trayectoria sonora (R) y la contribución a la incertidumbre de medición asociada, debido a la influencia climática [4].....	20
------------------	--	----

ANEXO 7

Informe procedimiento de validación de ruido laboral

	PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ENSAYO RUIDO LABORAL	
SERVICIO Y VERIFICACIÓN TÉCNICA	SERVICIO Y VERIFICACIÓN TÉCNICA	
PROC-VM-RL-01	Página 1 de 20	
Elaborado por: Ing. Christian Barriga  <hr/> Firma Ing. Christian Perez  <hr/> Firma Tesistas: Luis Ortiz  <hr/> Firma Bladimir Pilapanta.  <hr/> Firma	Revisado por: Ing. Oscar Tene, Mg.  <hr/> Firma Ing. Víctor Espín, Mg.  <hr/> Firma	Aprobado por: Ing. Christian Castro, Mg.  <hr/> Firma

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

1	OBJETIVO.....	4
2	ALCANCE Y MODALIDAD	4
3	REFERENCIA.....	4
4	RESPONSABILIDADES	4
5	Glosario de términos.....	5
6	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE LABORATORIO	6
6.1	Precisión de los resultados ANOVA.....	6
6.2	Diagrama de flujo Precisión de los resultados ANOVA.....	8
6.3	Veracidad	10
6.4	Diagrama de flujo de Veracidad	13
7	CÁLCULOS.....	14
7.1	Prueba de precisión (ANOVA).....	14
7.2	Prueba de veracidad (Incertidumbre).....	17
8	DOCUMENTOS Y HOJAS DE CÁLCULO ASOCIADAS	20
9	DECLARACIÓN DE VALIDEZ	20
10	Bibliografía	21

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1.	Documentos técnicos legales	4
Tabla 2.	Responsabilidades.....	5
Tabla 3.	Terminología cálculo de la LEX, 8h	5
Tabla 4.	Terminología cálculo de la incertidumbre	5

ANEXO 8

Hojas de cálculo para precisión ANOVA Ruido Ambiental

Tabla 8,1. Hoja de cálculo para el Punto 1 (Galpón de Estructuras).

LKeq Punto 1 (Galpón de Estructuras)			
Mediciones	Día 1 (dB)	Día 2 (dB)	Día 3 (dB)
1	59,01	56,89	56,75
2	60,80	53,08	56,69
3	57,08	56,05	55,90
4	59,03	62,66	56,62
5	56,92	53,39	56,53
\bar{x}_i	58,57	56,41	56,50
\bar{x}	57,16		

Número de grupos totales (p)	3
Número de datos totales (N)	15
numero de mediciones (n)	5

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Fcrítico
Entre grupos	14,90	2	7,45	1,268	3,885
Intragrupos	70,51	12	5,88		
Total	85,41	14			

Estadístico F	1,2679
Fcrítico	3,885
Fcrítico > F	No existe variación significativa entre los datos

	Cuando Se=0	
Desviación estándar de repetibilidad (Sr)	2,4240	2,4240
Desviación estándar entre grupos (Se)	0,5611	0,0000
Desviación estándar de precisión intermedia (SI)	2,4881	2,4240
Coficiente de variación de repetibilidad (CVr)	4,2408	4,2408
Coficiente de variación de precisión intermedia (CVI)	4,3530	4,2408

Medidad de precisión del medidor de ruido ambiental				
Parametro	Medida	Valor (%)	Objeto de validación %	¿Cumple ?
Precisión	CVr	4,2408	≤5	SI
	CVI	4,3530	≤5	SI

Tabla 8,2. Hoja de cálculo para el Punto 2 (Galpón de Estructuras).

LKeq Punto 2 (Galpón de Estructuras)			
Mediciones	Día 1 (dB)	Día 2 (dB)	Día 3 (dB)
1	54,57	60,67	57,07
2	58,27	54,26	57,50
3	57,43	61,87	57,09
4	61,11	56,13	56,49
5	59,12	56,03	54,02
\bar{x}_i	58,10	57,79	56,43
\bar{x}	57,44		

Número de grupos totales (p)	3
Número de datos totales (N)	15
numero de mediciones (n)	5

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Fcrítico
Entre grupos	7,84	2	3,92	0,635	3,885
Intragrupos	74,10	12	6,18		
Total	81,94	14			

Estadístico F	0,6349
Fcrítico	3,885
Fcrítico > F	No existe variación significativa entre los datos

	Cuando Se=0	
Desviación estándar de repetibilidad (Sr)	2,4850	2,4850
Desviación estándar entre grupos (Se)	0,0000	0,0000
Desviación estándar de precisión intermedia (SI)	2,4850	2,4850
Coefficiente de variación de repetibilidad (CVr)	4,3262	4,3262
Coefficiente de variación de precisión intermedia (CVI)	4,3262	4,3262

Medidad de precisión del medidor de ruido ambiental				
Parametro	Medida	Valor (%)	Objeto de validación %	Cumple ?
Presición	CVr	4,33	≤5	SI
	CVI	4,33	≤5	SI

Tabla 8,3. Hoja de cálculo para el Punto 3 (Galpón de Pinturas y terminados).

LKeq Punto 3 (Galpón de Pinturas y terminados)			
Mediciones	Día 1 (dB)	Día 2 (dB)	Día 3 (dB)
1	57,17	55,60	58,53
2	56,58	56,68	57,12
3	56,30	55,42	54,09
4	55,28	54,41	56,40
5	57,70	53,54	50,31
\bar{x}_i	56,61	55,13	55,29
\bar{x}	55,67		

Número de grupos totales (p)	3
Número de datos totales (N)	15
numero de mediciones (n)	5

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Fcrítico
Entre grupos	6,57	2	3,29	0,782	3,885
Intragrupos	50,45	12	4,20		
Total	57,02	14			

Estadístico F	0,7818
Fcrítico	3,885
Fcrítico > F	No existe variación significativa entre los datos

	Cuando Se=0	
Desviación estándar de repetibilidad (Sr)	2,0504	2,0504
Desviación estándar entre grupos (Se)	0,0000	0,0000
Desviación estándar de precisión intermedia (SI)	2,0504	2,0504
Coefficiente de variación de repetibilidad (CVr)	3,6829	3,6829
Coefficiente de variación de precisión intermedia (CVI)	3,6829	3,6829

Medida de precisión del medidor de ruido ambiental				
Parametro	Medida	Valor (%)	Objeto de validación	¿Cumple?
Precisión	CVr	3,68	≤5 %	SI
	CVI	3,68	≤5 %	SI

Tabla 8,4. Hoja de cálculo para el Punto 4 (Galpón de Estructuras y bodega)

LKeq Punto 4 (Galpón de Estructuras y bodega)			
Mediciones	Día 1 (dB)	Día 2 (dB)	Día 3 (dB)
1	53,74	52,02	52,31
2	55,52	52,51	53,41
3	56,26	53,15	56,58
4	53,13	56,29	57,69
5	55,29	52,23	49,54
\bar{x}_i	54,79	53,24	53,90
\bar{x}	53,98		

Número de grupos totales (p)	3
Número de datos totales (N)	15
numero de mediciones (n)	5

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Fcritico
Entre grupos	6,01	2	3,01	0,578	3,885
Intragrupos	62,44	12	5,20		
Total	68,45	14			

Estadístico F	
Fcritico	3,885
Fcritico > F	No existe variación significativa entre los datos

	Cuando Se=0	
Desviación estándar de repetibilidad (Sr)	2,2811	2,2811
Desviación estándar entre grupos (Se)	0,0000	0,0000
Desviación estándar de precisión intermedia (SI)	2,2811	2,2811
Coefficiente de variación de repetibilidad (CVr)	4,2259	4,2259
Coefficiente de variación de precisión intermedia (CVI)	4,2259	4,2259

Medida de precisión del medidor de ruido ambiental				
Parametro	Medida	Valor (%)	Objeto de validación %	¿Cumple ?
Presición	CVr	4,23	≤5	SI
	CVI	4,23	≤5	SI

ANEXO 9

Hojas de cálculo para precisión ANOVA Ruido Laboral

Tabla 9,1. Hoja de cálculo para precisión a 3 metros para la estrategia basada en la tarea.

Tratamiento a 1 metro			
Mediciones	Día 1 (dB)	Día 2 (dB)	Día 3 (dB)
1	81,27	80,34	80,76
2	80,49	80,74	80,79
3	80,00	80,93	80,11
4	80,91	80,65	78,74
\bar{x}_i	80,67	80,67	80,10
\bar{x}	80,48		

Número de grupos totales p	3
Número de datos totales N	12
Número de mediciones n	4

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Fcrítico
Entre grupos (SSe)	0,8555	2	0,4278	1,00	4,26
Intragrupos (Ssi)	3,83	9	0,4260		
Total	4,69	11			

Estadístico F	1,00	Cumple
Fcrítico	4,26	
Fcrítico > F	No existe variación significativa entre los datos obtenidos en la prueba experimental	

	Cuando Se=0	
Desviación estándar de repetibilidad (Sr)	0,6527	0,6527
Desviación estándar entre grupos (Se)	0,0211	0,0000
Desviación estándar de precisión intermedia (SI)	0,6530	0,6527
Coficiente de variación de repetibilidad (Cvr)	0,8110	0,8110
Coficiente de variación de precisión intermedia (CVI)	0,8114	0,8110

Medida de precisión del medidor de ruido laboral				
Parametro	Medida	Valor (%)	Objeto de validacion	Cumple ?
Precisión	CVr	0,8110	≤5	SI
	CVI	0,8114	≤5	SI

Tabla 9,2. Hoja de cálculo para precisión a 3 metros para la estrategia basada en la tarea.

Tratamiento a 3 metros			
Mediciones	Día 1 (dB)	Día 2 (dB)	Día 3 (dB)
1	73,27	72,76	73,39
2	72,55	74,57	73,26
3	73,94	74,49	73,57
4	73,12	74,80	73,06
\bar{x}_i	73,22	74,15	73,32
\bar{x}	73,56		

Número de grupos totales p	3
Número de datos totales N	12
Número de mediciones n	4

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Fcrítico
Entre grupos (S _{Se})	2,1063	2	1,0532	2,52	4,26
Intragrupos (S _{si})	3,77	9	0,4187		
Total	5,87	11			

Estadístico F	2,52	Cumple
Fcrítico	4,26	
Fcrítico > F	No existe variación significativa entre los datos obtenidos en la prueba experimental	

	Cuando Se=0	
Desviación estándar de repetibilidad (S _r)	0,6470	0,6470
Desviación estándar entre grupos (S _e)	0,3983	0,0000
Desviación estándar de precisión intermedia (S _i)	0,7598	0,6470
Coficiente de variación de repetibilidad (C _{Vr})	0,8796	0,8796
Coficiente de variación de precisión intermedia (C _{VI})	1,0328	0,8796

Medidad de precisión del medidor de ruido laboral				
Parametro	Medida	Valor (%)	Objeto de validacion	Cumple ?
Presición	C _{Vr}	0,8796	≤5	SI
	C _{VI}	1,0328	≤5	SI

Tabla 9.3. Hoja de cálculo para precisión a 5 metros para la estrategia basada en la tarea.

Tratamiento a 5 metros			
Mediciones	Día 1 (dB)	Día 2 (dB)	Día 3 (dB)
1	70,91	69,74	69,35
2	70,56	70,67	69,41
3	70,43	69,40	70,35
4	70,22	69,57	70,16
\bar{x}_j	70,53	69,85	69,82
\bar{x}	70,07		

Número de grupos totales p	3
Número de datos totales N	12
Número de mediciones n	4

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Fcrítico
Entre grupos (SSe)	1,3116	2	0,6558	2,98	4,26
Intragrupos (Ssi)	1,98	9	0,2203		
Total	3,29	11			

Estadístico F	2,98	Cumple
Fcrítico	4,26	
Fcrítico > F	No existe variación significativa entre los datos obtenidos en la prueba experimental	

	Cuando Se=0	
Desviación estándar de repetibilidad (Sr)	0,4693	0,4693
Desviación estándar entre grupos (Se)	0,3300	0,0000
Desviación estándar de precisión intermedia (SI)	0,5737	0,4693
Coefficiente de variación de repetibilidad (CVr)	0,6698	0,6698
Coefficiente de variación de precisión intermedia (CVI)	0,8188	0,6698

Medida de precisión del medidor de ruido laboral				
Parametro	Medida	Valor (%)	Objeto de validacion	Cumple ?
Presición	CVr	0,6698	≤5	SI
	CVI	0,8188	≤5	SI

ANEXO 10

Declaración de validez Ruido Ambiental

	INFORME DE VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ENSAYO RUIDO AMBIENTAL	PROC VM-RA-01
		Versión: 01
	SERVICIO Y VERIFICACIÓN TÉCNICA	Página 24 de 25

9 DECLARACIÓN DE VALIDEZ

Se evaluó y acepto el desempeño global de la metodología de ensayo de ruido Ambiental en un intervalo de trabajo de 20 dB a 140 dB, ya que se demostró que los criterios de aceptación si cumplen con los parámetros de validación establecidos: medida de precisión $\leq 5\%$, veracidad en incertidumbre $\leq 10\%$ de la medida mínima tomada por el sonómetro e incertidumbre dinámica que depende de cada medición. Acorde a esto, el cumplimiento de todos los objetivos de validación planteados permite declarar que el método de ruido ambiental es aplicable en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica para la determinación del nivel de presión sonora en fuentes fijas de ruido.

Revisado y autorizado por: Ing. Oscar Tene, Mg

Cargo: Coordinador CADME

Fecha: 24/08/2022

Firma: 

ANEXO 11

Declaración de validez Ruido Laboral

	INFORME DE VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ENSAYO RUIDO LABORAL	PROC-VM-RL-01
	SERVICIO Y VERIFICACIÓN TÉCNICA	Versión: 01 Página 19 de 20

8 DOCUMENTOS Y HOJAS DE CÁLCULO ASOCIADAS

Estos documentos se encuentran en una hoja de cálculo Excel.

[Hoja de Cálculo ruido laboral](#)

9 DECLARACIÓN DE VALIDEZ

Se evaluó y acepto el desempeño global de la metodología de ensayo de Ruido Laboral en un intervalo de trabajo de 20 dB a 140 dB, ya que se demostró que los criterios de aceptación si cumplen con los parámetros de validación establecidos: medida de precisión $\leq 5\%$, veracidad en incertidumbre $\leq 10\%$ de la medida mínima tomada por el sonómetro e incertidumbre dinámica que depende de cada medición. Acorde a esto, el cumplimiento de todos los objetivos de validación planteados permite declarar que el método de Ruido Laboral es aplicable en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica para la determinación del nivel de exposición al ruido ponderado A, normalizado a una jornada nominal de 8 horas.

Revisado y autorizado por: Ing. Oscar Tene, Mg.
Cargo: Coordinador CADME.
Fecha: 24/05/2022



Firma: 

ANEXO 12

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

12.1. Certificado de calibración del calibrador.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No: CC-1549-001-22

						
IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE						
EMPRESA:	CENTRO DE APOYO AL DESARROLLO METALMECÁNICO CADME					
DIRECCIÓN:	AV LOS CHASQUIS Y RIO PAYAMINO (CAMPUS HUACHI)					
TELÉFONO:	0990795284					
PERSONA(S) DE CONTACTO:	DIEGO GEOVANNY RAMOS					
IDENTIFICACIÓN DEL ÍTEM DE CALIBRACIÓN						
ÍTEM:	CALIBRADOR ACÚSTICO	UBICACIÓN ⁽¹⁾ :	NO ESPECIFICA			
MARCA:	CIRRUS	CLASE:	1			
MODELO:	CR.515	UNIDAD DE MEDIDA:	dB			
SERIE:	93706	NIVEL(ES) DE PRESIÓN SONORA:	94 dB			
CÓDIGO ⁽²⁾ :	NO ESPECIFICA	FRECUENCIA DE EMISIÓN:	1 kHz			
EQUIPAMIENTO UTILIZADO						
CÓDIGO	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	VENCE CAL.	N° CERTIFICADO
ELP_PC.010	MULTÍMETRO PATRÓN	TRANSMILLE	8080	N1567A17	2022-12-04	AC-26131
ELEM.003	SONÓMETRO INTEGRADO	CESVA	SC310	T229797	2022-11-24	CC-6051-014-21
ELP_PT.059	BARÓMETRO	CONTROL COMPANY	6530	181821642	2022-11-03	CC-4196-025-21
ELP_PT.036	TERMOHIGRÓMETRO	CENTER	342	180303334	2022-08-03	CCP-0731-003-21
DECLARACIÓN DE TRAZABILIDAD METROLÓGICA						
Los resultados de calibración contenidos en este informe son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones a través del NPL (National Physical Laboratory – Reino Unido) o de otros Institutos Nacionales de Metrología (INMs).						
CALIBRACIÓN						
MÉTODO:	COMPARACIÓN INDIRECTA Y DIRECTA CON MULTÍMETRO DIGITAL					
DOCUMENTO DE REFERENCIA:	CEM AC-005:2000 (EDICIÓN 0)	TEMPERATURA AMBIENTAL:	20,6 °C	± 0,4 °C		
PROCEDIMIENTO:	PEC.ELP.54	HUMEDAD RELATIVA:	56,6 %HR	± 1,2 %HR		
LUGAR DE CALIBRACIÓN:	LABORATORIO 1 - ELICROM	PRESIÓN ATMOSFÉRICA:	1005 hPa	± 1 hPa		
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN						
Medición de presión sonora en 94 dB a 20 µPa						
Valor medido	Valor nominal	Error	Incertidumbre	Tolerancia		
dB	dB	dB	dB	dB		
93,7626	94	0,24	0,13	± 0,40		
Medición de Frecuencia en 94 dB						
Valor medido	Valor nominal	Error	Incertidumbre	Tolerancia		
kHz	kHz	kHz	kHz	%		
0,9996	1	0,00042	0,00055	1,0		
Nota: Promedio de 5 mediciones por cada punto.						
OBSERVACIONES						
La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, la cual se evaluó con base en el documento JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2,00, que para una distribución t (de Student) corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente el 95,45%. Este certificado no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio Elicrom-Calibración. Los resultados contenidos en este certificado son válidos únicamente para el ítem aquí descrito, en el momento y bajo las condiciones en que se realizó la calibración.						
NOTA 1: El error de medición se muestra con la misma cantidad de decimales que la incertidumbre reportada (véase 7.2.6 de la GUM).						
NOTA 2: Tolerancias tomadas de la Norma Internacional IEC 60942:2003 para Calibradores Acústicos Clase 1.						
⁽¹⁾ Información proporcionada por el cliente. Elicrom no es responsable de dicha información.						
CALIBRACIÓN REALIZADA POR:	José Aparcana					
FECHA DE RECEPCIÓN DEL ÍTEM:	2022-03-23			FECHA DE EMISIÓN: 2022-03-23		
FECHA DE CALIBRACIÓN:	2022-03-23					



Autenticación de certificado

Autorizado y firmado electrónicamente por:





 Gerente Técnico



Firma electrónica

12.2. Certificado de calibración del sonómetro

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No: CC-1549-002-22

		 				
IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE						
EMPRESA:	CENTRO DE APOYO AL DESARROLLO METALMECÁNICO CADME					
DIRECCIÓN:	AV LOS CHASQUIS Y RIO PAYAMINO (CAMPUS HUACHI)					
TELÉFONO:	0990795284					
PERSONA(S) DE CONTACTO:	DIEGO GEOVANNY RAMOS					
IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO						
EQUIPO:	SONÓMETRO	CLASE:	1	MODELO DE PRE-AMPLIFICADOR:	MV-200	
MARCA:	CIRRIUS	UNIDAD DE MEDIDA:	dB	SERIE DE PRE-AMPLIFICADOR:	10689F	
MODELO:	CR-171C	RESOLUCIÓN:	0,1			
SERIE:	G301921	RANGO:	(20 a 140) dB			
CÓDIGO CLIENTE:	NO ESPECIFICA	MODELO MICRÓFONO:	MK224			
UBICACIÓN:	NO ESPECIFICA	SERIE MICRÓFONO:	213404D			
PATRONES UTILIZADOS						
CÓDIGO	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	PRÓX. CAL	N° CERTIFICADO
EL.PC.055	CALIBRADOR MULTIFUNCION ACUSTICO	BRÜEL AND KJÆR	4226	3166190	2023-11-15	CAS-543874-T2L2P6-901
EL.PT.1412	CALIBRADOR MULTIFUNCION	TRANSMILLE	3041A	L1577L19	2022-04-17	AC-25665
EL.PT.597	BARÓMETRO	CONTROL COMPANY	1081	160458369	2022-05-17	CC-1962-007-21
EL.PT.365	TERMOHIGRÓMETRO	CENTER	342	190601459	2022-04-01	CC-1497-001-21
CALIBRACIÓN						
MÉTODO:	COMPARACIÓN DIRECTA CON CALIBRADOR MULTIFUNCION Y CALIBRADOR ACÚSTICO PATRÓN					
PROCEDIMIENTO:	PEC.EL.51					
LUGAR DE CALIBRACIÓN:	LABORATORIO DE ELECTRICA Y ÓPTICA (ELICROM)					
CONDICIONES AMBIENTALES EN PRUEBAS ACÚSTICAS			CONDICIONES AMBIENTALES EN PRUEBAS ELECTRICAS			
TEMPERATURA AMBIENTAL MEDIA (°C):	22,9		TEMPERATURA AMBIENTAL MEDIA (°C):	23,9		
HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%HR)	61,4		HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%HR)	58,3		
PRESIÓN ATMOSFÉRICA MEDIA (hPa)	1011		PRESIÓN ATMOSFÉRICA MEDIA (hPa)	1010		
PRUEBAS ACÚSTICAS						
FRECUENCIA DE REFERENCIA						
PONDERACIÓN A						
Frecuencia	Patrón	Equipo	Error	Tolerancia	Incertidumbre	
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	
1000	94,0	94,1	0,10	± 0,7	0,13	
	104,0	104,1	0,10	± 0,7	0,13	
	114,0	114,1	0,10	± 0,7	0,13	
PONDERACIÓN C						
Frecuencia	Patrón	Equipo	Error	Tolerancia	Incertidumbre	
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	
1000	94,0	94,1	0,10	± 0,7	0,13	
	104,0	104,1	0,10	± 0,7	0,13	
	114,0	114,1	0,10	± 0,7	0,13	

Nota: Promedio de 5 mediciones por cada punto



RESPUESTA DE FRECUENCIA A BANDA DE OCTAVA

PONDERACIÓN A

Frecuencia Hz	Patrón dB	Equipo dB	Error dB	Tolerancia dB	Incertidumbre dB
31,5	84,6	85,9	1,32	± 1,5	0,22
63	87,8	88,6	0,80	± 1,0	0,20
125	77,9	78,4	0,50	± 1,0	0,20
250	85,4	85,8	0,40	± 1,0	0,15
500	90,8	91,1	0,30	± 1,0	0,15
1000	94,0	94,1	0,10	± 0,7	0,13
2000	95,2	94,9	-0,30	± 1,0	0,20
4000	95,0	94,0	-1,00	± 1,0	0,20
8000	92,9	90,5	-2,40	+ 1,5 ; -2,5	0,28
12500	89,7	84,9	-4,84	+ 2,0 ; -5,0	0,52
18000	87,4	81,4	-6,00	+ 2,5 ; -16,0	0,51

PONDERACIÓN C

Frecuencia Hz	Patrón dB	Equipo dB	Error dB	Tolerancia dB	Incertidumbre dB
31,5	91,0	91,4	0,38	± 1,5	0,22
63	93,2	93,5	0,30	± 1,0	0,20
125	93,8	94,1	0,30	± 1,0	0,20
250	94,0	94,2	0,20	± 1,0	0,15
500	94,0	94,2	0,20	± 1,0	0,15
1000	94,0	94,1	0,10	± 0,7	0,13
2000	93,8	93,7	-0,10	± 1,0	0,20
4000	93,2	92,2	-1,00	± 1,0	0,20
8000	91,0	88,6	-2,40	+ 1,5 ; -2,5	0,28
12500	87,8	83,2	-4,60	+ 2,0 ; -5,0	0,51
18000	85,5	79,8	-5,74	+ 2,5 ; -16,0	0,52

Nota: Promedio de 5 mediciones por cada punto

RESPUESTA DE PONDERACIÓN TEMPORAL

Ponderación Temporal	Patrón dB	Equipo dB	Error dB	Tolerancia dB	Incertidumbre dB
FAST	94,2	93,2	-0,98	± 1,0	0,21
SLOW	91,1	90,3	-0,76	± 1,0	0,21

Nota: Promedio de 10 mediciones por cada punto



PRUEBAS ELÉCTRICAS

RESULTADOS DE PONDERACIÓN FRECUENCIAL

PONDERACIÓN A

Frecuencia Hz	Patrón dB	Equipo dB	Error dB	Tolerancia dB	Incertidumbre dB
31,5	54,6	55,7	1,100	± 1,5	0,078
40	59,4	59,8	0,400	± 1,0	0,078
50	63,8	64,4	0,600	± 1,0	0,078
63	67,8	68,2	0,400	± 1,0	0,078
80	71,5	71,7	0,200	± 1,0	0,078
100	74,9	75,1	0,200	± 1,0	0,078
125	77,9	78,0	0,100	± 1,0	0,078
160	80,6	80,7	0,100	± 1,0	0,078
200	83,1	83,1	0,000	± 1,0	0,078
250	85,4	85,5	0,100	± 1,0	0,078
315	87,4	87,4	0,000	± 1,0	0,078
400	89,2	89,3	0,100	± 1,0	0,078
500	90,8	90,9	0,100	± 1,0	0,078
630	92,1	92,1	0,000	± 1,0	0,078
800	93,2	93,3	0,100	± 1,0	0,078
1000	94,0	94,0	0,000	± 0,7	0,078
1250	94,6	94,5	-0,100	± 1,0	0,078
1600	95,0	94,7	-0,300	± 1,0	0,078
2000	95,2	94,7	-0,500	± 1,0	0,078
2500	95,3	95,0	-0,300	± 1,0	0,078
3150	95,2	94,7	-0,500	± 1,0	0,078
4000	95,0	94,4	-0,600	± 1,0	0,078
5000	94,5	93,4	-1,100	± 1,5	0,078
6300	93,9	92,6	-1,300	+ 1,5 ; -2,0	0,078
8000	92,9	90,8	-2,100	+ 1,5 ; -2,5	0,078
10000	91,5	89,1	-2,400	+ 2,0 ; -3,0	0,078
12500	89,7	85,5	-4,200	+ 2,0 ; -5,0	0,078
16000	87,4	81,8	-5,600	+ 2,5 ; -16,0	0,078

PONDERACIÓN C

Frecuencia Hz	Patrón dB	Equipo dB	Error dB	Tolerancia dB	Incertidumbre dB
31,5	91,0	91,3	0,300	± 1,5	0,078
40	92,0	92,2	0,200	± 1,0	0,078
50	92,7	92,8	0,100	± 1,0	0,078
63	93,2	93,4	0,200	± 1,0	0,078
80	93,5	93,6	0,100	± 1,0	0,078
100	93,7	93,8	0,100	± 1,0	0,078
200	94,0	93,9	-0,100	± 1,0	0,078
400	94,0	94,1	0,100	± 1,0	0,078
500	94,0	94,1	0,100	± 1,0	0,078
630	94,0	94,1	0,100	± 1,0	0,078
800	94,0	94,0	0,000	± 1,0	0,078
1000	94,0	93,9	-0,100	± 0,7	0,078
1250	94,0	93,9	-0,100	± 1,0	0,078
1600	93,9	93,7	-0,200	± 1,0	0,078
2000	93,8	93,6	-0,200	± 1,0	0,078
2500	93,7	93,6	-0,100	± 1,0	0,078
3150	93,5	93,1	-0,400	± 1,0	0,078
4000	93,2	92,9	-0,300	± 1,0	0,078
5000	92,7	92,2	-0,500	± 1,5	0,078
6300	92,0	91,1	-0,900	+ 1,5 ; -2,0	0,078
8000	91,0	89,6	-1,400	+ 1,5 ; -2,5	0,078
10000	89,6	87,6	-2,000	+ 2,0 ; -3,0	0,078
12500	87,8	83,5	-4,300	+ 2,0 ; -5,0	0,078
16000	85,5	79,7	-5,800	+ 2,5 ; -16,0	0,078

Nota: Promedio de 3 mediciones por cada punto






RESULTADOS DE LINEALIDAD

FRECUENCIA DE PRUEBA DE 1000Hz

Nivel de Señal Aplicada dB	Nivel Esperado		Nivel Leído dB	Desviación		Tolerancia Linealidad de Nivel ±	Incertidumbre dB
	Relativa Er dB	Diferencial Ed dB		Relativa Er dB	Diferencial Ed dB		
94	-	-	94,0	-	-	± 0,8	0,078
20	20,0	-	20,7	0,7	-	± 0,8	0,078
21	21,0	21,7	21,7	0,7	0,0	± 0,8	0,078
22	22,0	22,7	22,7	0,7	0,0	± 0,8	0,078
23	23,0	23,7	23,7	0,7	0,0	± 0,8	0,078
24	24,0	24,7	24,7	0,7	0,0	± 0,8	0,078
25	25,0	25,7	25,6	0,6	-0,1	± 0,8	0,078
35	35,0	35,6	35,6	0,6	0,0	± 0,8	0,078
45	45,0	45,6	45,4	0,4	-0,2	± 0,8	0,078
55	55,0	55,4	55,4	0,4	0,0	± 0,8	0,078
65	65,0	65,4	65,4	0,4	0,0	± 0,8	0,078
75	75,0	75,4	75,3	0,3	-0,1	± 0,8	0,078
85	85,0	85,3	85,3	0,3	0,0	± 0,8	0,078
95	95,0	95,3	95,3	0,3	0,0	± 0,8	0,078
105	105,0	105,3	105,3	0,3	0,0	± 0,8	0,078
115	115,0	115,3	115,2	0,2	-0,1	± 0,8	0,078
125	125,0	125,2	125,2	0,2	0,0	± 0,8	0,078
135	135,0	135,2	135,2	0,2	0,0	± 0,8	0,078
136	136,0	136,2	136,2	0,2	0,0	± 0,8	0,078
137	137,0	137,2	137,1	0,1	-0,1	± 0,8	0,078
138	138,0	138,1	138,2	0,2	0,1	± 0,8	0,078
139	139,0	139,2	139,1	0,1	-0,1	± 0,8	0,078
140	140,0	140,1	140,1	0,1	0,0	± 0,8	0,078

FRECUENCIA DE PRUEBA DE 4000Hz

Nivel de Señal Aplicada dB	Nivel Esperado		Nivel Leído dB	Desviación		Tolerancia Linealidad de Nivel ±	Incertidumbre dB
	Relativa Er dB	Diferencial Ed dB		Relativa Er dB	Diferencial Ed dB		
94	-	-	95,3	-	-	± 0,8	0,078
20	21,3	-	21,6	0,3	-	± 0,8	0,078
21	22,3	22,6	22,6	0,3	0,0	± 0,8	0,078
22	23,3	23,6	23,6	0,3	0,0	± 0,8	0,078
23	24,3	24,6	24,6	0,3	0,0	± 0,8	0,078
24	25,3	25,6	25,5	0,2	-0,1	± 0,8	0,078
25	26,3	26,5	26,5	0,2	0,0	± 0,8	0,078
35	36,3	36,5	36,5	0,2	0,0	± 0,8	0,078
45	46,3	46,5	46,4	0,1	-0,1	± 0,8	0,078
55	56,3	56,4	56,4	0,1	0,0	± 0,8	0,078
65	66,3	66,4	66,4	0,1	0,0	± 0,8	0,078
75	76,3	76,4	76,3	0,0	-0,1	± 0,8	0,078
85	86,3	86,3	86,3	0,0	0,0	± 0,8	0,078
95	96,3	96,3	96,3	0,0	0,0	± 0,8	0,078
105	106,3	106,3	106,3	0,0	0,0	± 0,8	0,078
115	116,3	116,3	116,2	-0,1	-0,1	± 0,8	0,078
125	126,3	126,2	126,2	-0,1	0,0	± 0,8	0,078
135	136,3	136,2	136,2	-0,1	0,0	± 0,8	0,078
136	137,3	137,2	137,2	-0,1	0,0	± 0,8	0,078
137	138,3	138,2	138,1	-0,2	-0,1	± 0,8	0,078
138	139,3	139,1	139,1	-0,2	0,0	± 0,8	0,078
139	140,3	140,1	140,1	-0,2	0,0	± 0,8	0,078
140	141,3	141,1	141,0	-0,3	-0,1	± 0,8	0,078

			 				
FRECUENCIA DE PRUEBA DE 8000Hz							
Nivel de Señal Aplicada dB	Nivel Esperado		Nivel Leído dB	Desviación		Tolerancia Linealidad de Nivel ±	Incertidumbre dB
	Relativa Er dB	Diferencial Ed dB		Relativa Er dB	Diferencial Ed dB		
94	-	-	93,8	-	-	± 0,8	0,078
20	19,8	-	20,3	0,5	-	± 0,8	0,078
21	20,8	21,3	21,3	0,5	0,0	± 0,8	0,078
22	21,8	22,3	22,3	0,5	0,0	± 0,8	0,078
23	22,8	23,3	23,3	0,5	0,0	± 0,8	0,078
24	23,8	24,3	24,3	0,5	0,0	± 0,8	0,078
25	24,8	25,3	25,3	0,5	0,0	± 0,8	0,078
35	34,8	35,3	35,3	0,5	0,0	± 0,8	0,078
45	44,8	45,3	45,2	0,4	-0,1	± 0,8	0,078
55	54,8	55,2	55,2	0,4	0,0	± 0,8	0,078
65	64,8	65,2	65,2	0,4	0,0	± 0,8	0,078
75	74,8	75,2	75,1	0,3	-0,1	± 0,8	0,078
85	84,8	85,1	85,1	0,3	0,0	± 0,8	0,078
95	94,8	95,1	95,0	0,2	-0,1	± 0,8	0,078
105	104,8	105,0	105,0	0,2	0,0	± 0,8	0,078
115	114,8	115,0	114,9	0,1	-0,1	± 0,8	0,078
125	124,8	124,9	124,9	0,1	0,0	± 0,8	0,078
135	134,8	134,9	134,9	0,1	0,0	± 0,8	0,078
136	135,8	135,9	135,8	0,0	-0,1	± 0,8	0,078
137	136,8	136,8	136,8	0,0	0,0	± 0,8	0,078
138	137,8	137,8	137,7	-0,1	-0,1	± 0,8	0,078
139	138,8	138,7	138,8	0,0	0,1	± 0,8	0,0782
140	139,8	139,8	139,8	0,0	0,0	± 0,8	0,0782
RESULTADOS DE INDICACIÓN DE SOBRECARGA							
Frecuencia Hz	Nivel entrada dB	Lectura Esperada dB	Equipo dB	Error dB	Tolerancia dB	Incertidumbre dB	
1000	135,0	134,9	134,9	0,000	± 0,7	0,078	
800	135,8	134,9	135,1	0,200	± 1,0	0,078	
630	136,9	134,9	135,3	0,400	± 1,0	0,078	
500	138,2	134,9	135,3	0,400	± 1,0	0,078	
400	139,8	134,9	135,5	0,600	± 1,0	0,078	
315	141,6	134,9	135,5	0,600	± 1,0	0,078	
Nota: Promedio de 3 mediciones por cada punto							
OBSERVACIONES							
La estimación de la incertidumbre expandida se realizó con base en el documento JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura $k=2,00$, que para una distribución t (de Student) con $\nu_{\text{eff}} = \infty$ (grados efectivos de libertad) corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95,45%. Este certificado no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio Elcrom Calibración. El presente certificado se refiere solamente al equipo arriba descrito al momento de la calibración.							
CALIBRACIÓN REALIZADA POR:		Alex Bajaña					
FECHA DE RECEPCIÓN DE ÍTEM:		2022-03-23			FECHA DE EMISIÓN:		2022-03-23
FECHA DE CALIBRACIÓN:		2022-03-23					



Autenticación de certificado

Autorizado y firmado electronicamente por:

Gerente Técnico



Firma electrónica

ANEXO 13

Registro fotográfico.

Ruido Ambiental



Foto 1. Equipos de medición



Foto 2. Especificaciones del Sonómetro.



Foto 3. Especificaciones del calibrador acústico



Foto 4. Especificaciones del anemómetro.



Foto 5. Ajuste a 45 ° del sonómetro



Foto 6. Punto 1 de medición.



Foto 7. Punto 2 de medición.



Foto 8. Punto 3 de medición



Foto 9. Punto 4 de medición.



Foto 10. Condiciones meteorológicas.



Foto 11. Distancia de medida en el lindero (1.5 m).



Foto 12. Altura del sonómetro.



Foto 13. Calibración del sonómetro a 93,7 dB.

Ruido Laboral.



Foto 14. Calibración del sonómetro 93,78 dB

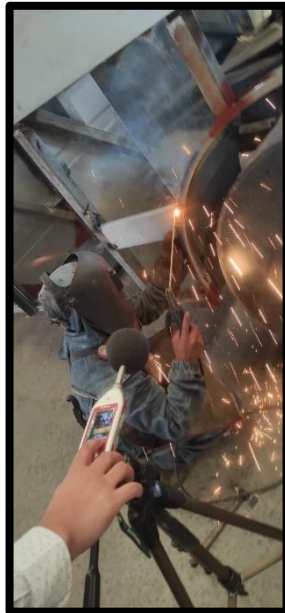


Foto 15. Medición a 1 metro soldador 1.



Foto 16. Medición a 3 metros soldador 1.



Foto 17. Medición a 5 metros soldador 1.

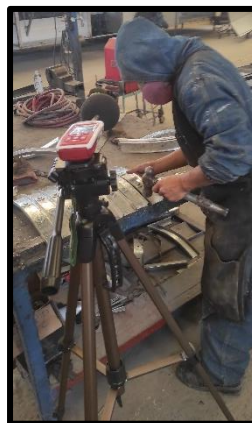


Foto 18. Medición a 1 metro ensamblador.



Foto 19. Medición a 3 metros ensamblador.



Foto 20. Medición a 5 metros ensamblador.