

TÉRMINOS DE REFERENCIA EN ESTUDIO DE IMPACTO
AMBIENTAL PARA EL AEROPUERTO INTERNACIONAL
ELDORADO DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.



AERONÁUTICA CIVIL
Unidad Administrativa Especial

Unidad Administrativa Especial
Aeronáutica Civil

Metodología del procedimiento
de medición y evaluación de
niveles de ruido.

Contrato No. 18001608 H3 – 2018



TABLA DE CONTENIDO

1	METODOLOGÍA MONITOREO RUIDO AMBIENTAL.....	6
1.1	NORMATIVA APLICADA	9
1.2	IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO	9
1.3	IDENTIFICACIÓN DE LOS POTENCIALES RECPTORES DE INTERÉS.....	11
1.3.10	Posición de micrófono para mediciones de ruido ambiental (ISO 1996-2:2020) 14	
1.3.1	Selección del lugar de medición (ISO 1996-2:2020)	15
1.3.1	Posición del micrófono para mediciones de ruido aeronáutico (ISO 20906:2009) 15	
1.3.1	Estudio de macro localización puntos de monitoreo de ruido aeronáutico (ACOEM)	17
1.4	Mantenimiento y calibración de equipos.....	19
1.4.1	Características de sonómetros.....	21
1.4.2	Características de micrófono de medición	21
1.4.3	Procedimiento de calibración de sonómetros	23
1.4.4	Disposiciones de ubicación estratégica de sonómetros.....	25
1.4.5	Parámetros de medida.....	26
1.4.6	Intervalo de tiempo de medida	27
1.4.7	Ajustes de niveles de ruido ambiental.....	28
1.4.8	Corrección por instalaciones de ventilación y climatización (K_s)	29
1.4.9	Corrección por horarios (K_R).....	29
1.4.10	Corrección de nivel por componentes tonales de ruido (K_T).....	29
1.4.11	Corrección de nivel por componentes impulsivos (K_I).....	30
1.5	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL MONITOREO.....	31
1.5.1	Tiempos de medición y acreditación de datos de ruido	31
1.6	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	32
1.6.1	Niveles de presión sonora continuo equivalente $L_{eq, T}$	34
1.6.2	Cálculo de percentiles acústicos.....	34
1.7	REPORTE	35
1.7.1	Post procesamiento de niveles de ruido ambiental.....	35
1.7.1.1	Niveles de ruido día – noche (L_{dn})	36
1.7.2	Post procesamiento de niveles de ruido aeronáutico	37
1.7.2.1	Extracción y validación de eventos aeronáuticos	38

1.7.2.2	Correlación de puntos con recorrido de trayectorias.....	40
1.7.2.3	Verificación de duración de eventos aéreos	40
1.7.3	Evaluación de series temporales	44
1.7.4	Estadísticos realizados y respectivo análisis e interpretación.....	46

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Propuesta de informe técnico de medición de ruido – Artículo 21 (Anexo 4).	7
Ilustración 2. Descripción general del informe técnico de medición de ruido del Sistema de Vigilancia y Control Ambiental	8
Ilustración 3. Metodología y caracterización del área de influencia	8
Ilustración 4. Identificación de fuentes de emisiones de ruido ambiental	10
Ilustración 5. Identificación de fuentes de emisión puntuales y móviles	11
Ilustración 6. Identificación de potenciales de interés.....	12
Ilustración 7. Macro Localización en el área de influencia Fuente: Elaboración propia de este estudio	13
Ilustración 8. Micro Localización en el área de influencia Fuente: Elaboración propia de este estudio	14
Ilustración 9. Ejemplo de líneas de visión libres de obstrucciones al punto de monitoreo de ruido para la fracción más importante de la trayectoria de vuelo	16
Ilustración 10. Proyección rutas áreas en el Aeropuerto Internacional El Dorado.....	18
Ilustración 11. Proyección rutas y puntos en el Area de Influencia del Aeropuerto Internacional El Dorado	18
Ilustración 12. Procedimiento general de calibración de sonómetros y calibradores acústicos	20
Ilustración 13. Características de una estación de monitoreo	23
Ilustración 14. Calibración de estaciones EMRI.....	24
Ilustración 15. Measurement configuration. Fuente: Acoem.....	27
Ilustración 16. Proceso de toma de muestra general hasta el procesamiento de la información	32
Ilustración 17. Esquema general de procedimiento para ruido ambiental	33
Ilustración 18. Procesamiento de la información de ruido ambiental.....	36
Ilustración 19. Procesamiento de la información de ruido aeronáutico	38
Ilustración 20. Validación de eventos aeronáuticos Fuente: ISO 20906.....	39
Ilustración 21. Curvas de sonoridad Fuente: The Meaning and Measurement of Perceived Noise Level	42
Ilustración 22. Factor de corrección EPNL	43
Ilustración 23. Comportamiento de niveles EPNL respecto al tiempo Fuente: Anexo 16 – OACI	44

Ilustración 24. Evaluación de series temporales	45
Ilustración 25. Representación gráfica de resultados de los descriptores acústicos de ruido ambiental Fuente_ Aerocivil	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas del microfono	22
Tabla 2. Perfiles de medición de equipos.....	27
Tabla 3. Cobertura de radio de detención de eventos aeronáuticos	31

El presente documento tiene por objetivo el desarrollo y definición de las características metodológicas implementadas para el estudio de niveles de ruido en la caracterización del área de influencia en el componente abiótico - subcomponente atmosférico; referentes a la línea base para la identificación de los niveles de presión sonora y sus correspondientes indicadores acústicos, empleabilidad de normativas nacionales – internacionales, su aplicabilidad, evaluación de resultados y las demás pertinencias que hubo lugar en el desarrollo del estudio de niveles de ruido.

Así y de conformidad con lo estipulado en los términos de referencia y en la metodología para la elaboración general de estudios de impactos ambientales, se disponen de dichas particularidades en la ejecución del estudio de ruido. No obstante, se emplean metodologías internacionales que ayudan a fortalecer el proceso ejecutado con respecto a uno de los impactos de mayor relevancia en la operación de este tipo de proyectos y por lo cual se considerada necesaria su explicación en términos de: conceptos, herramientas, ecuaciones, técnicas, trabajo de campo y evaluación de resultados.

1 METODOLOGÍA MONITOREO RUIDO AMBIENTAL

Para la toma de mediciones de niveles de ruido, se implementó el Sistema de Vigilancia y Control Ambiental (SVCA) por medio del cual, se gestiona un completo análisis, seguimiento, registro y control de los niveles de exposición sonora, permitiendo una evaluación constante del impacto sonoro sobre las zonas directamente afectadas por la operación aérea del Aeropuerto Internacional El Dorado de la ciudad de Bogotá D.C.

Es de señalar que, si bien se cuenta con una red de monitoreo continua para la evaluación constante de niveles de exposición sonora por parte del aeropuerto, su metodología de medición se encuentra conforme a la normativa nacional de evaluación de niveles de ruido ambientales, no obstante, dicha norma no establece especificaciones concretas frente a sistemas de monitoreo continuo como lo ha sido el SVCA desde su implementación en el año 2015. De tal forma, que algunos aspectos metodológicos estipulados en la Resolución 0627 de 2006 del MADS, se deben adaptar a lineamientos internacionales sobre monitoreo continuo con un tiempo altamente representativo de fecha de inicio en el periodo de medición por su concepto como tal.

Asimismo, para la elaboración de este, se siguen los lineamientos establecidos en la Resolución 0627 del 2006 del MADS¹, como guía para la elaboración y presentación de la información del adecuado monitoreo de ruido ambiental, donde se toma como referente los conceptos y temática del informe del anexo 4 de la resolución en mención. Luego entonces, se consta de cinco etapas como se observa en la siguiente Ilustración 1 que da conformidad a los resultados presentados en el estudio y cumplen con los criterios mínimos de informe resultados estipulados por la normativa nacional.

¹ Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.

METODOLOGÍA MEDICIÓN DE RUIDO

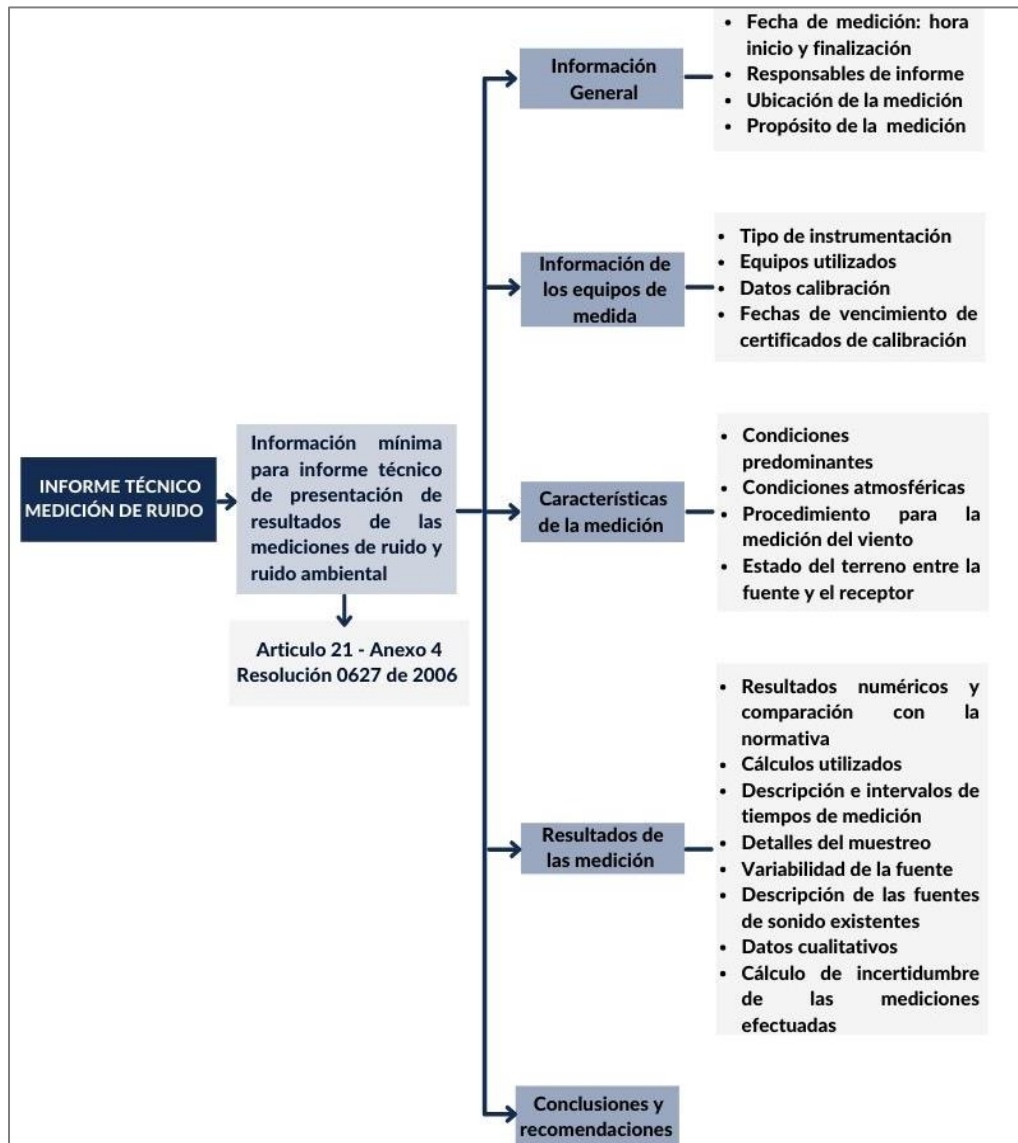


Ilustración 1. Propuesta de informe técnico de medición de ruido – Artículo 21 (Anexo 4)
Fuente: Resolución 0627 del 2006

Para el estudio de impacto ambiental, se adoptan las disposiciones estipuladas ya mencionadas por la normativa nacional, y características propias del estudio, como se observa en la Ilustración 2 - presentación de resultados de las mediciones de ruido ambiental del informe técnico del sistema.

METODOLOGÍA MEDICIÓN DE RUIDO

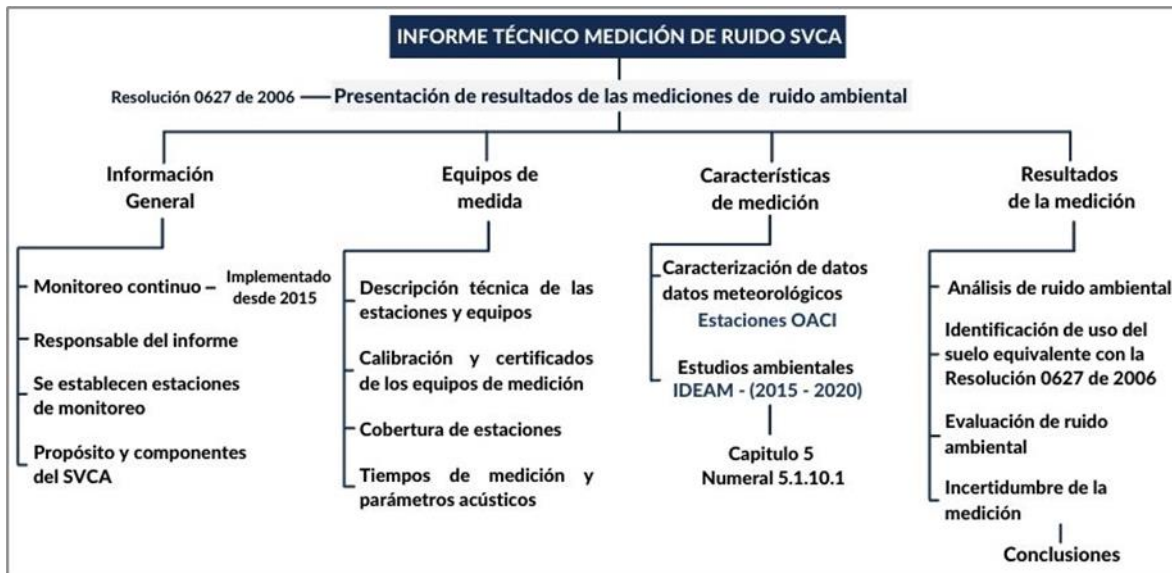


Ilustración 2. Descripción general del informe técnico de medición de ruido del Sistema de Vigilancia y Control Ambiental

Fuente: Elaboración propia de este estudio

En la Ilustración 3, se presenta un esquema general correspondiente a las actividades desarrolladas para el Estudio de Impacto Ambiental – EIA este como objetivo de la modificación de licencia ambiental y es insumo para la caracterización del área de influencia. Es así como esta sección, representa de manera desglosada, la descripción técnica del monitoreo que se implementan en cumplimiento con la normativa especificada para el estudio.

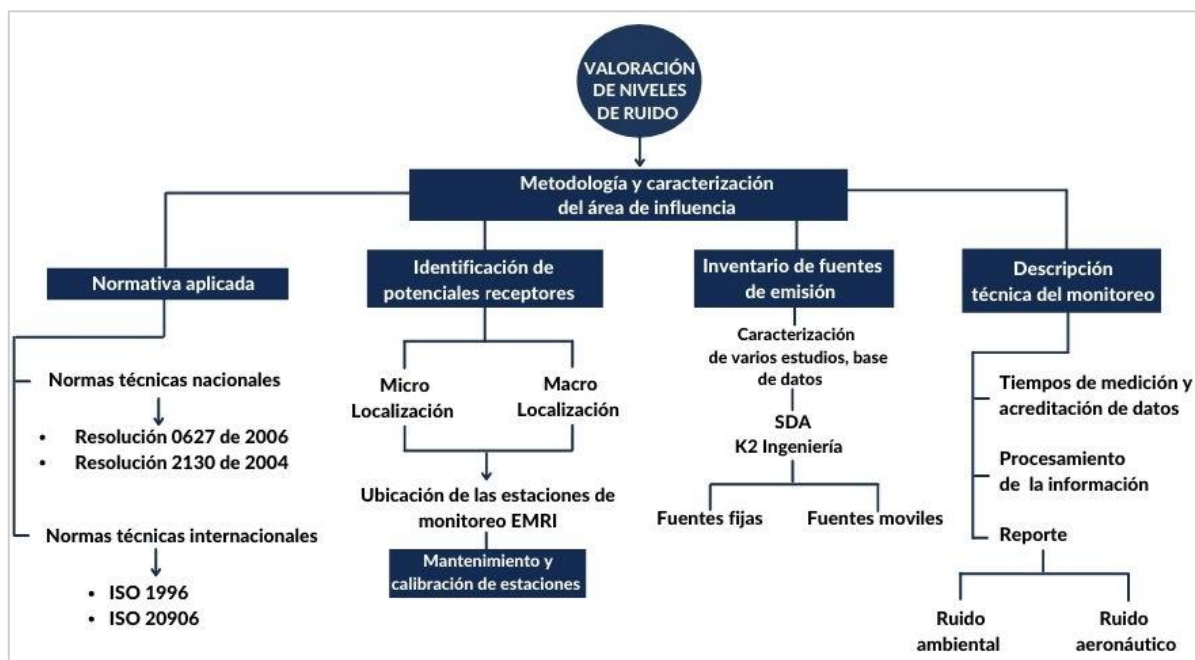


Ilustración 3. Metodología y caracterización del área de influencia

Fuente: Elaboración propia de este estudio

1.1 NORMATIVA APLICADA

Según lo contemplado en la Resolución 0627 de 2006² (MADS), se establecen las consideraciones a tener en cuenta para el cumplimiento de los estándares máximos permisibles de ruido ambiental, donde, se establece lineamientos según su clasificación entre sectores y subsectores de acuerdo con los usos de suelos establecidos en los planes de ordenamiento territorial que indique las entidades territoriales competentes para cada área donde se realice el monitoreo de ruido.

Así mismo, se establece la medición de ruido de acuerdo con la aproximación, lateral y sobrevuelo de aeronaves según los puntos estipulados en el Anexo 16³, Volumen I de la OACI acogida mediante la Resolución 2130 de 2004 de la UAEAC en base a la respectiva metodología de medición, complementando la información del SVCA y la geografía del Aeropuerto Internacional el Dorado (AID) bajo la estandarización de la OACI⁴.

En relación a las normativas de estandarización internacional, la ISO:1996⁵, se implementó para establecer y realizar el cálculo de ruido aeronáutico, la ISO:20906⁶, ejecutada para determinar las directrices de ubicación y pertinencia de los niveles de ruido de aeronaves en cercanías al aeropuerto.

1.2 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO

La identificación de fuentes de emisiones de ruido, es el resultado de la ejecución ordenada de acciones dirigidas a cumplir con criterios de calidad, coherencia, integridad, comparabilidad, representatividad la estimación de emisiones de niveles de ruido, generada por una o varias fuentes de interés.

El proceso de elaboración del inventario de emisiones de ruido ambiental para este estudio, de acuerdo con el SVCA, consta del siguiente procedimiento, como se observa en la Ilustración 4 de manera general.

² Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.

³ Protección del medio ambiente, Ruido de las aeronaves.

⁴ Organización de Aviación Civil Internacional

⁵ Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de presión sonora

⁶ Unattended monitoring of aircraft sound in the vicinity of airports

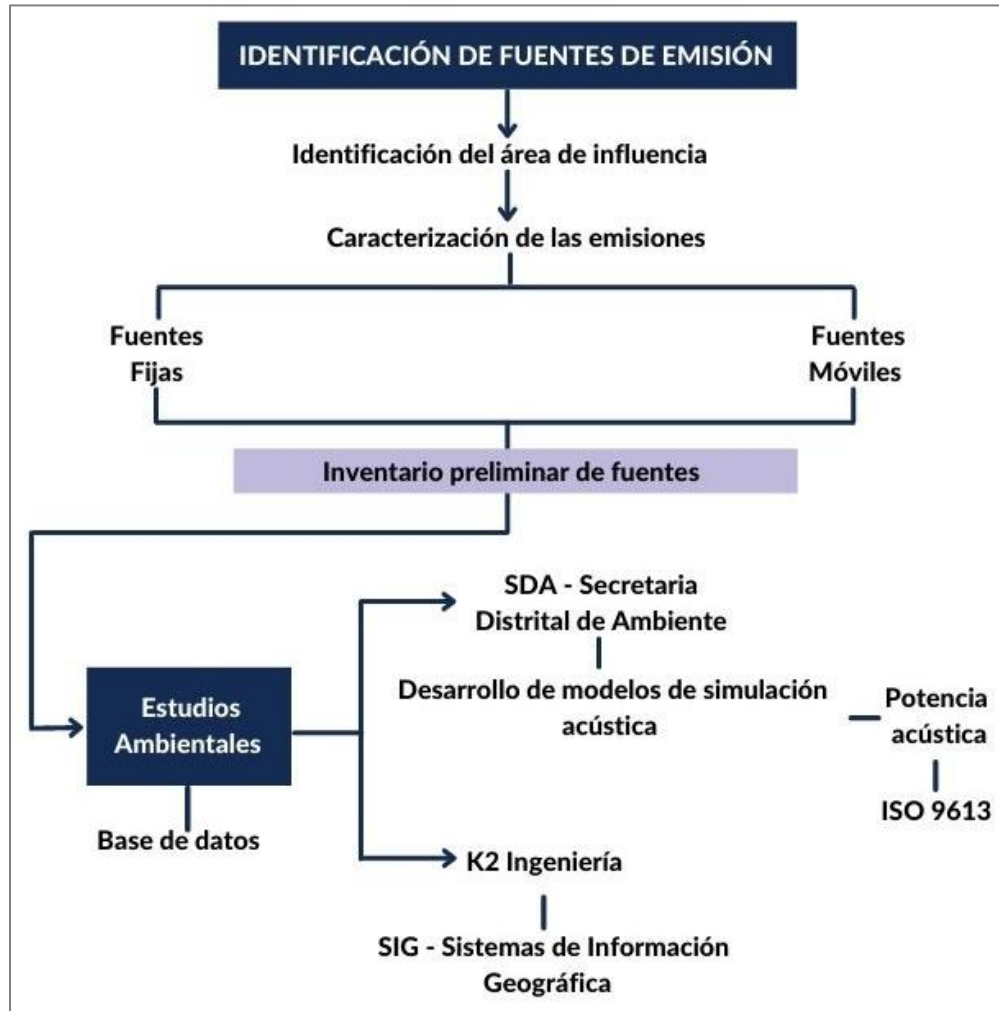


Ilustración 4. Identificación de fuentes de emisiones de ruido ambiental
Fuente: Elaboración propia de este estudio

Para el estudio del SVCA, se realiza la identificación de los aportes energéticos de ruido, dentro del área de influencia, y las múltiples fuentes de emisión. Se realiza la presentación de la identificación de fuentes en el área de influencia directa del Aeropuerto Internacional El Dorado, esta información fue consultada de diferentes estudios y bases de datos con las que cuenta la Secretaría Distrital de Ambiente de la ciudad de Bogotá D.C.⁷ (SDA) y estudio K2 Ingeniería. Esta información puede consultada en el Anexo1.Inventario de fuentes.

En la Ilustración 5 presenta la obtención de información de acuerdo con las fuentes de emisiones puntuales y fuentes móviles.

⁷ SDA – EVALUACIÓN GLOBAL Y MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO AMBIENTAL(MER) EN BOGOTÁ D.C. 2017

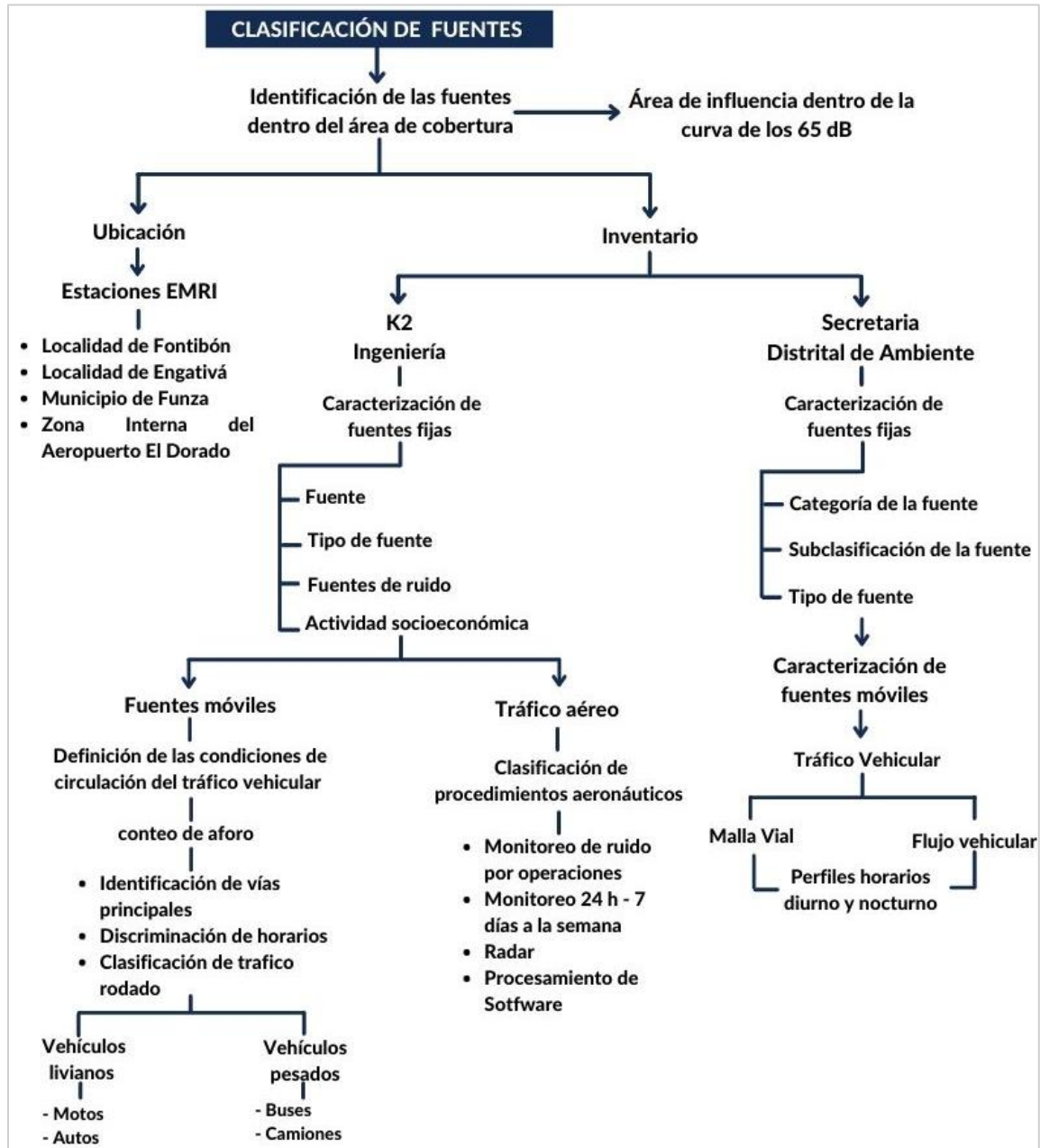


Ilustración 5. Identificación de fuentes de emisión puntuales y móviles

Fuente: Elaboración propia de este estudio

1.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS POTENCIALES RECEPTORES DE INTERÉS

La identificación de los potenciales receptores de interés, se determinan teniendo en cuenta la caracterización de las fuentes de emisión en el área de influencia. En este apartado, se describen las especificaciones de las áreas donde se definen la adecuada ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de aire.

Los objetivos del SVCA para la determinación de cada uno de los puntos de monitoreo son de gran importancia, ya que este sistema cuenta con la capacidad de captura y procesamiento de datos tanto de ruido ambiental como aeronáutico, para esto se implementaron metodologías de medición acorde a los objetivos establecidos para la red del SVCA. Por un lado, la metodología dispuesta en la norma ISO 1996-2:2020 y el Anexo C de la misma, expresa los parámetros necesarios para la medición de ruido ambiental y los diferentes tipos de ubicación para los micrófonos de cada punto de observación.

Por otro lado, las normas ISO 20906:2009⁸ y el Anexo 16 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional – Protección al medio ambiente -, describen los procedimientos de ubicación de algunos puntos de medición específicos para el monitoreo de ruido aeronáutico lateral, de sobrevuelo y aproximación. No obstante, por medio de la empresa ACOEM y los especialistas de 01 dB, se desarrolló un documento que determina la macro localización de los puntos de monitoreo de ruido aeronáutico dentro del Área de Influencia Directa del Aeropuerto Internacional El Dorado. En el siguiente diagrama se describe el flujo de información requerida para el posicionamiento de los puntos de monitoreo en función de la captura de datos certeros de ruido ambiental y aeronáutico. Observar en la Ilustración 6.

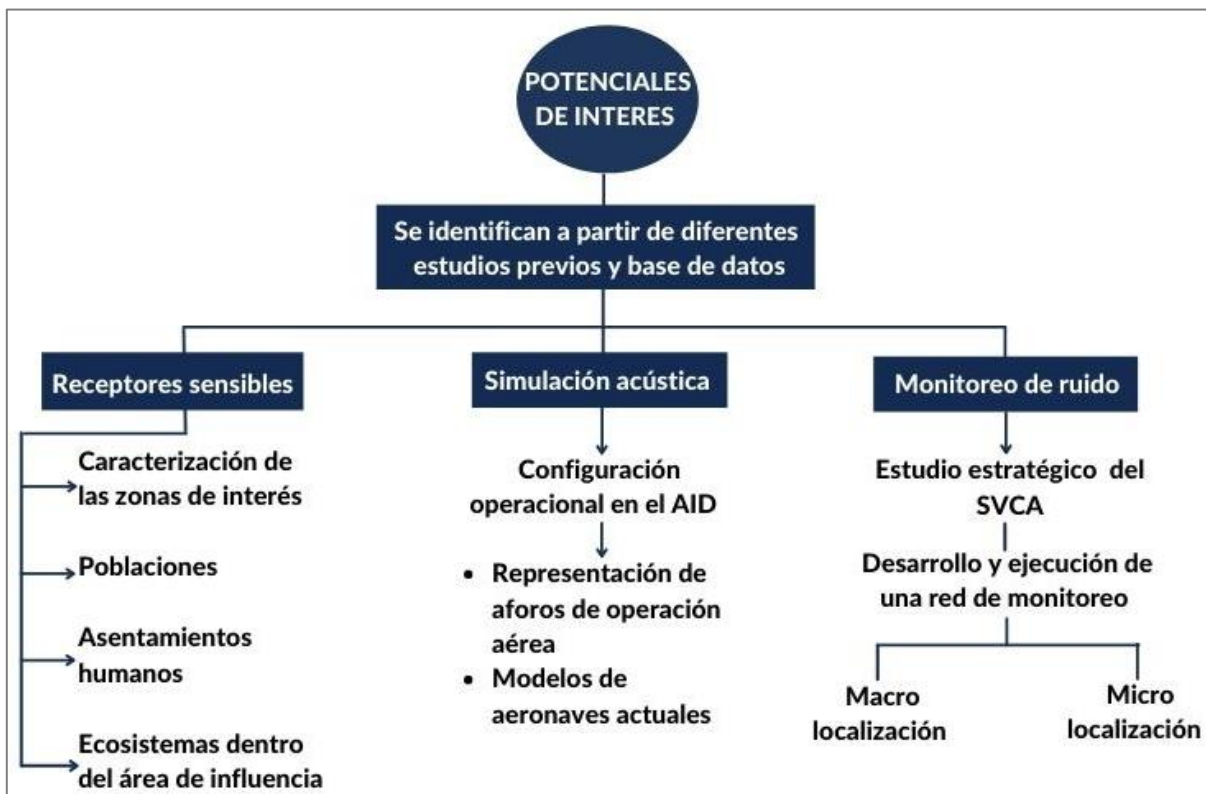


Ilustración 6. Identificación de potenciales de intereses

Fuente: Elaboración propia de este estudio

⁸ ISO 1996-2. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de presión sonora. 9.2.1.2. Selección de la ubicación del micrófono.

Por lo descrito anteriormente, se definieron para el sistema (26) estaciones de monitoreo EMRI⁹ de ruido ambiental, de tal forma que se tenga presentes las fuentes puntuales, de las zonas de interés en los tiempos establecidos. Cubriendo zonas dentro del área de influencia con la respectiva identificación de la ubicación geográfica, población aproximada, y caracterización de la zona de interés, como se definieron en la siguiente Ilustración 7 e Ilustración 8.

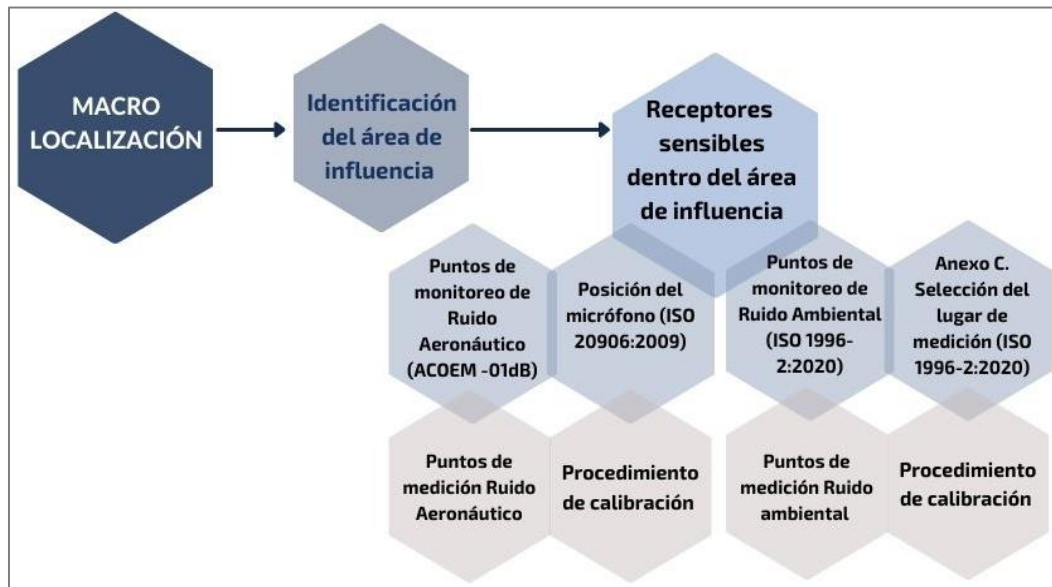


Ilustración 7. Macro Localización en el área de influencia
Fuente: Elaboración propia de este estudio

⁹ Estaciones de Mediciones de Ruido Inteligentes

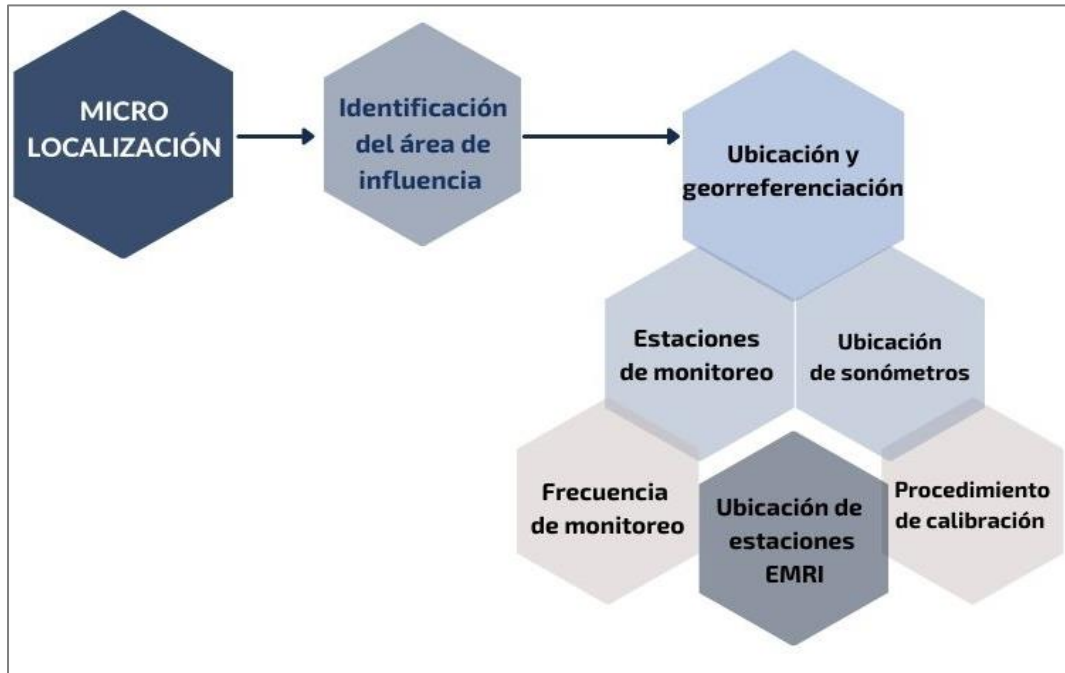


Ilustración 8. Micro Localización en el área de influencia
Fuente: Elaboración propia de este estudio

En el Anexo2. Registro fotográfico, se realiza la integración de imágenes de cada una de las estaciones definidas para el SVCA, así mismo se encuentra el Anexo3.Ficha técnica de instalación, de cada uno de los equipos, con respectivas características, esto establecido, de acuerdo al respectivo estudio de macro localización y micro localización.

1.3.10 Posición de micrófono para mediciones de ruido ambiental (ISO 1996-2:2020)

La norma ISO 1996-2:2020¹⁰ en el capítulo 9.2. Ubicación del micrófono, indica las respectivas posiciones de los micrófonos con el fin de reducir al mínimo efecto el ruido residual de las fuentes sonoras no relevantes. La dirección de referencia para cada micrófono es de 0°, esto debido a que cada punto de medición está configurado y posicionado para que a partir de la medición de ruido ambiental también se pueda identificar, confirmar y calcular los niveles de ruido provenientes de las operaciones aéreas ejecutadas en el Aeropuerto Internacional El Dorado.

Teniendo en cuenta lo descrito en el capítulo 9.2.1.2 de la norma ISO 1996-2:2020, la selección de los tipos de ubicación para cada estación responde a la evaluación de la situación en varios puntos específicos, utilizando micrófonos con la dirección de referencia de 0°. Esto posibilita la evaluación de niveles de ruido aeronáutico a partir de las mediciones de ruido ambiental, cabe mencionar que este segmento de la norma específica que cualquiera de los tipos de ubicaciones mencionados en la misma se puede utilizar, siempre

¹⁰ ISO 1996-2. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de presión sonora. 9.2.1.2. Selección de la ubicación del micrófono.

y cuando se informe de la ubicación y una declaración de si se ha hecho o no alguna corrección a la condición de referencia.

En el proceso de micro localización para cada punto de monitoreo se implementaron múltiples parámetros de decisión para el correcto posicionamiento de cada micrófono, una de estas es la altura del transductor respecto a la superficie inferior horizontal donde se instale el punto de medición.

1.3.1 Selección del lugar de medición (ISO 1996-2:2020)

En el Anexo C de la norma ISO 1996-2:2020, se aclara los procesos de selección para los puntos de monitoreo de ruido, basados en los objetivos de la medición, información precisa de las comunidades circundantes, entre otros. La selección de los puntos de monitoreo para las mediciones de ruido ambiental se desarrolló en consecuencia a las directrices establecidas en la Resolución 0627 de 2006 más exactamente en el capítulo III. Este determina el número de puntos según el objetivo del proyecto, ubicación de los sitios de medida, horarios de medición, determinación de áreas efectivas para la medición, estudio y evaluación de la zona del proyecto, tiempos de medición, entre otros.

La importancia de la ubicación de cada estación es fundamental para la captura de datos precisos y útiles para el análisis, por tal motivo, para confirmar si la ubicación propuesta influye en la incertidumbre de los resultados de ese lugar, se examina la diferencia entre el ruido residual y los niveles de presión sonora que se deseen medir, si esta diferencia de nivel es superior a 15 dB, la influencia del ruido residual es imperceptible. La selección de ubicación de los puntos de medición de ruido es un proceso de dos etapas que implica: primero, el emplazamiento general de las estaciones y segundo, la selección de lugares específicos de monitorización dentro del área general.

Por tal motivo, para la ubicación de cada uno de los puntos de monitoreo del SVCA se tomó como criterio técnico la decisión de ubicar las estaciones en áreas internas del Área de Influencia Directa (AID) del Aeropuerto Internacional El Dorado – SKBO, así como también en áreas cercanas y de gran interés para el monitoreo de ruido ambiental y aeronáutico. Es por esto, que la macro localización y micro localización están enfocadas en la ubicación de puntos en específicos que permitan la medición y monitorización de ruido ambiental, al mismo tiempo la correcta detección de eventos de ruido aeronáutico.

1.3.1 Posición del micrófono para mediciones de ruido aeronáutico (ISO 20906:2009)

Siguiendo lo establecido en la norma ISO 20906:2009¹¹ en el capítulo 4.2. Montaje del micrófono y los respectivos requisitos para la selección del sitio en específico se analizaron las rutas de las aeronaves que operan en el Aeropuerto Internacional El Dorado. Por tal motivo, el ruido generado debe ser significativamente más alto que el ruido de fondo, de esta forma garantizar la correcta identificación de los eventos de ruido aeronáutico en cada punto de monitoreo. Se recomienda que el nivel de ruido aeronáutico equivalente sea al

¹¹ ISO 20906:2009. Acústica: monitoreo de ruido de las aeronaves en cercanías de los aeródromos. 4.2. Montaje de micrófono. 4.2.2. Requisitos para la selección del sitio

menos 3 dB más alto (15 dB, idealmente) que el nivel de ruido de fondo equivalente en los mismos periodos de tiempo.

Por esto, es necesario realizar un monitoreo de ruido de corta duración con el aeródromo operando en condiciones normales, esto para obtener datos de ruido de eventos aeronáuticos y datos de ruido ambiental equivalentes que hagan posible calcular los indicadores equivalentes y comprobar que el ruido aeronáutico sea realmente significativo. Estos criterios científicos se soportan en el estudio físico del comportamiento acústico emitido por las aeronaves en sobrevuelo.

Cuando una aeronave está a una distancia s (distancia entre micrófono y aeronave más corta, perpendicular a la trayectoria de la aeronave) se genera un nivel de ruido en específico. Sin embargo, cuando la misma aeronave está a $3*s$ de distancia, el nivel de ruido disminuye al menos 10 dB debido a la atenuación geométrica de las ondas sonoras. Por tanto, es posible identificar el punto donde la trayectoria de vuelo más contribuye a la exposición al ruido (generalmente $LA_{eq, 1s, máx} - 10$ dB) la siguiente Ilustración 9 muestra el ángulo ω delimitado por s y las dos líneas $3*s$ con ángulos de 70° para cada lado, lo que da un total de 140° sin ninguna obstrucción por obstáculos.

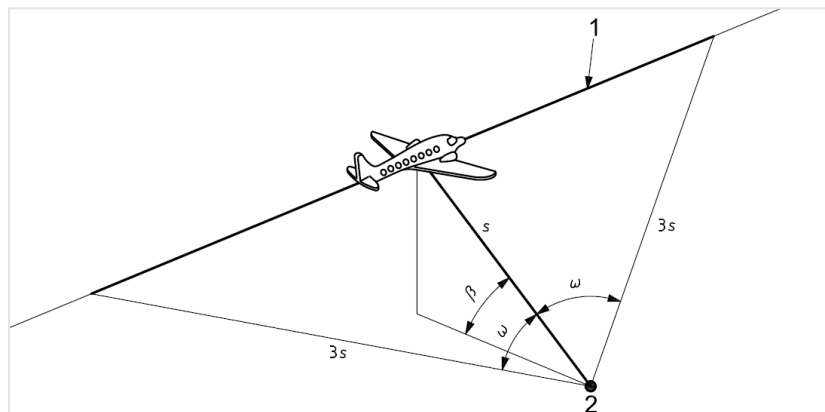


Ilustración 9. Ejemplo de líneas de visión libres de obstrucciones al punto de monitoreo de ruido para la fracción más importante de la trayectoria de vuelo

Fuente: ISO 20906:2009

Otros aspectos importantes para la micro localización de cada punto de monitoreo es la seguridad tanto por personas y equipos de cada instalación. La operación y mantenimiento de la red de monitoreo debe realizarse con personal capacitado y autorizado por las entidades pertinentes. La comunicación del sistema de monitoreo se realiza por medio de un modem 3G, lo que permite acceder a los niveles de ruido en tiempo real, descarga y envío de datos sin modificación o afectación, modificación de perfiles de medida, entre otros. Esto a su vez requiere que cada punto no se encuentra cerca de ondas electromagnéticas y quipos eléctricos que puedan afectar potencialmente la comunicación correcta del equipo, no obstante, este depende de la señal de internet de los operadores de comunicación.¹²

¹² Determining the macrolocalization of monitoring points. El Dorado International Airport – SKBO Aircraft Noise monitoring. Annex A.

Por último, el acceso a cada punto es primordial debido a que se realiza un seguimiento continuo a cada estación, las 24 horas del día en los 365 días del año. Por lo que es relevante garantizar el funcionamiento continuo de la red de monitoreo, mantenimientos preventivos, calibraciones, entre otros.

1.3.1 Estudio de macro localización puntos de monitoreo de ruido aeronáutico (ACOEM)

El informe realizado por el grupo ACOEM tiene como objetivo general presentar la metodología para determinar la macro localización de los puntos para el monitoreo del Aeropuerto Internacional El Dorado – SKBO. Estos deben capturar y representar el impacto de ruido producto de la operación del aeropuerto lo que permita la evaluación correcta de los niveles de ruido.

En este documento¹³ se describe la forma más eficiente para determinar con precisión los niveles de ruido presentes en las áreas cercanas al aeródromo, lo que también permite la evaluación de los beneficios derivados de las medidas de mitigación. Para esto, es necesario monitorear continuamente las emisiones de ruido ambiental y aeronáutico con varias terminales de monitoreo de ruido, de esta forma obtener una buena representatividad del ruido impactado. Dentro de la red se encuentran algunos puntos móviles, los cuales tienen como función el monitoreo a corto plazo, normalmente de una semana en puntos de interés.

Por consiguiente, el proyecto de monitorización es la continuación y extensión de estudio y mediciones de ruido previos a la instalación de la red del SVCA, esto se debe a que ya se han monitoreado varios puntos en periodos anteriores al emplazamiento de la red. Dentro de los principales criterios de selección de puntos para la macro localización se definieron principios científicos tales como:

- Puntos definidos dentro del área de influencia directa correspondiente a la curva de 65 dBA L_{DN} .
- Operaciones cercanas al aeródromo como: rutas aéreas de despegue y aterrizaje, operación de carreteo y pruebas de motores realizadas dentro de las instalaciones del aeródromo.
- Puntos representativos de molestia por ruido producto de quejas de población.
- Distribución uniforme en los barrios y áreas potencialmente afectadas por las emisiones de ruido aeronáutico.
- Áreas de especial atención como áreas residenciales o sensibles como: hospitales, escuelas, sitios geriátricos.
- Búsqueda de ubicación con la menor influencia de otras fuentes de ruido (industrias, carreteras, etc.)
- Información recolectada con puntos de monitoreo anteriores y datos históricos.

Por consiguiente, la determinación de los puntos de seguimiento se realiza con base en las rutas aéreas cercanas al aeródromo de estudio, estas rutas son teóricas teniendo en cuenta

¹³ Determining the macrolocalization of monitoring points. El Dorado International Airport – SKBO Aircraft Noise monitoring. 2. Project context.

las cartas de navegación aéreas del Aeropuerto Internacional El Dorado¹⁴. Sin embargo, en la práctica las aeronaves a menudo pueden seguir rutas ligeramente diferentes, esto depende de las condiciones meteorológicas, condiciones de seguridad, entre otras. (Ver Ilustración 10)

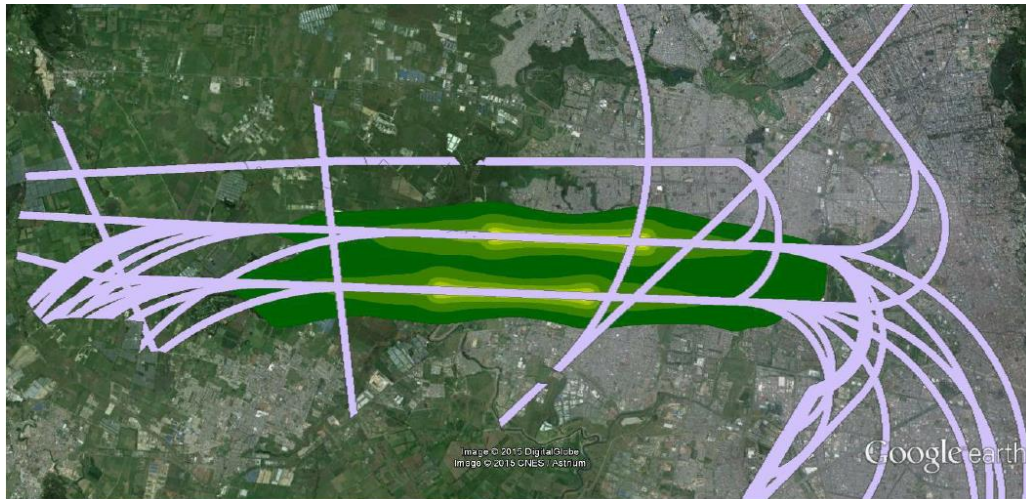


Ilustración 10. Proyección rutas aéreas en el Aeropuerto Internacional El Dorado

Fuente: Determining the macrolocalization of monitoring points

Los puntos de seguimiento permanentes fueron definidos debido a que los resultados muestran pertinencia y alta representatividad del impacto sonoro generado por la operación aérea. Por lo tanto, estos puntos deben mantenerse para garantizar la continuidad de los datos de ruido, lo que permitirá comprobar la evolución temporal a largo plazo (varios meses y años), y evaluar con precisión los beneficios de las estrategias de mitigación del ruido implementadas con el tiempo. (Ver Ilustración 11)

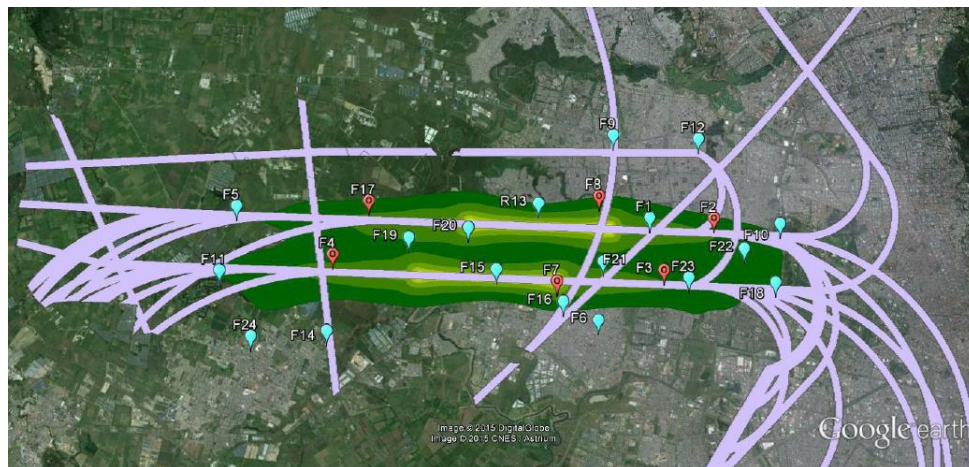


Ilustración 11. Proyección rutas y puntos en el Área de Influencia del Aeropuerto Internacional El Dorado

Fuente: Determining the macrolocalization of monitoring points

¹⁴ Cartas Aeronáuticas SID-RNAV - Aeropuerto Internacional El Dorado - SKBO

Para las mediciones de ruido aeronáutico se adoptan las normativas y métodos recomendados por Organización de Aviación Civil Internacional en el Anexo 16 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional en el documento de Protección del medio ambiente¹⁵. En este se especifican las características de posicionamiento e instalación de puntos estratégicos de monitoreo denominados puntos de monitoreo OACI.

Para finalizar, en el estudio, los puntos definidos se basan en parámetros teóricos. En la práctica, varios aspectos pueden llevar a revisar estas ubicaciones con el fin de mejorar la exactitud de los datos obtenidos por las estaciones de monitoreo, esto teniendo en cuenta los objetivos coyunturales del aeródromo.

1.4 MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

El laboratorio de calibraciones de sonómetros y calibraciones acústicos, cuenta con acreditación ONAC¹⁶ actualmente, vigente desde 2020, con código de acreditación 19-LAC-007, bajo la evaluación del organismo de conformidad con respecto a los requisitos especificados en la norma internacional ISO 17025/2017 para prueba de ensayos de calibración de sonómetros y calibradores acústicos.

Así mismo, para la implementación del Estudio de Impacto Ambiental, cuenta con los certificados de acreditación y respaldo del 2015 al 2019 por ACOEM¹⁷, con el fin de dar aval de certificación de calibración de los equipos ubicados en cada una de las estaciones en el área de influencia.

En el Anexo 4. Certificados de acreditación, se encuentran los formatos, de calibración que acreditan los equipos de monitoreo de ruido ambiental desde el 2015 hasta el 2020.

Los equipos utilizados para el estudio están bajo la acreditación ya mencionada que, por el laboratorio se realizan las respectivas calibraciones de sonómetros integrados y calibradores acústicos clase 1, según los procedimientos descritos en las normas internacionales ICE 61672-1¹⁸ e IEC 60942. En la siguiente ilustración 12 se puede evidenciar de manera general los procedimientos de calibración cumpliendo con los requisitos nacionales e internacionales.

¹⁵ Protección del medio ambiente. Normas y métodos recomendados internacionales. Anexo 16 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional – OACI.

¹⁶ Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - <https://onac.org.co/certificados/19-LAC-007.pdf>

¹⁷ American College of Occupational and Environmental Medicine

¹⁸ IEC 61672-1. Electroacústica. Sonómetros. Parte I: Especificaciones.

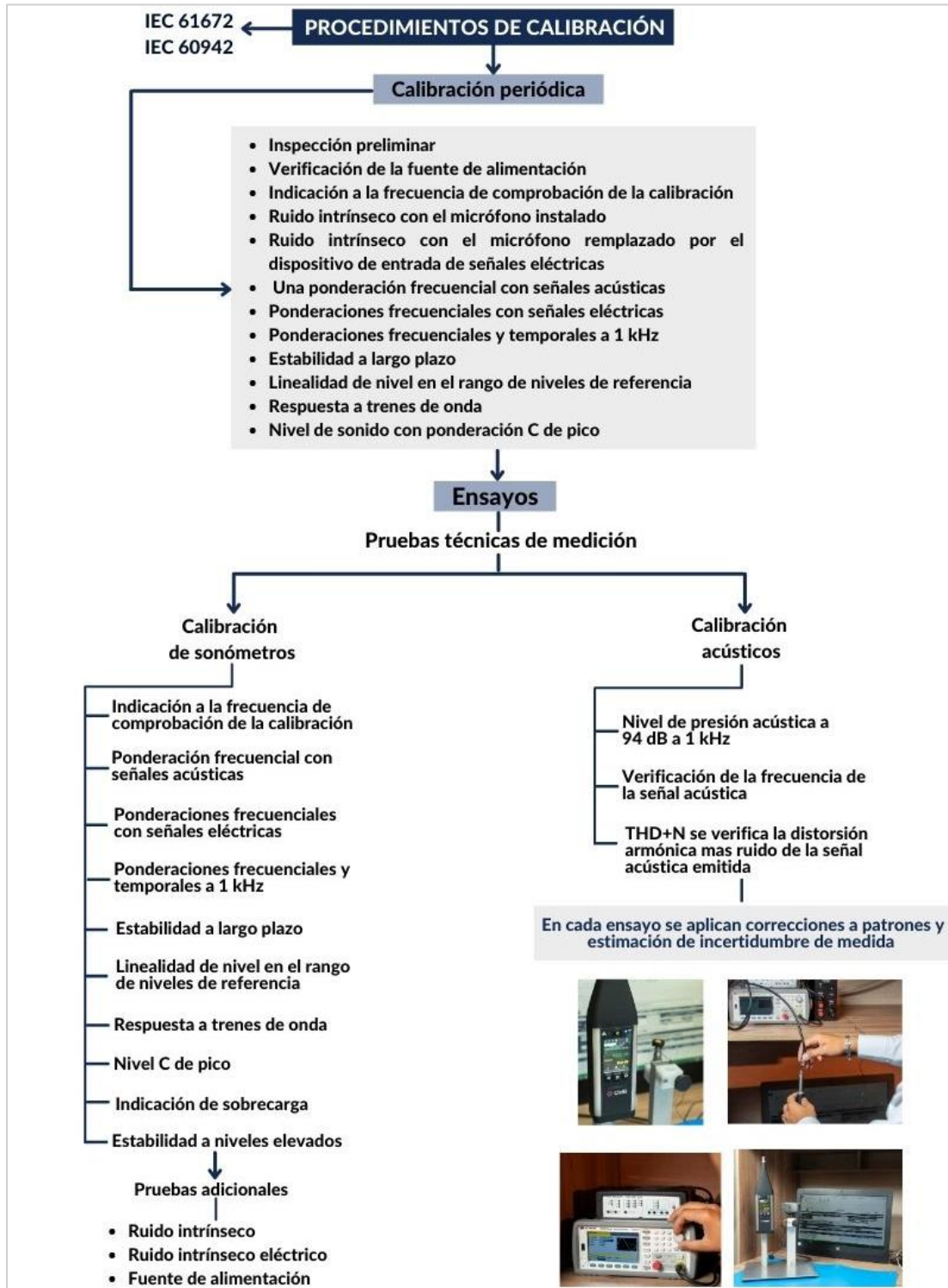


Ilustración 12. Procedimiento general de calibración de sonómetros y calibradores acústicos

Fuente: K2 Ingeniería

La norma ISO 1996-1:2020¹⁹ en sus capítulos 2 y 3, indica las directrices técnicas que especifican las condiciones mínimas de la instrumentación de medición para la correcta medición de ruido ambiental y aeronáutico. Por consiguiente, se realiza el respectivo cumplimiento al ítem b) de la Resolución 0627 de 2006²⁰, debido a que la red de monitoreo (SVCA) ha contado, entre el 2017 y el 2020, con un promedio de 26 estaciones de monitoreo. Cada uno cumple con los requisitos técnicos establecidos por la Comisión Electrotécnica Internacional en la normativa IEC 61672-1 y procedimientos internos de calibraciones de sonómetros en PRM402-02, cumpliendo con los estándares de clase 1 para aplicaciones en campo libre o incidencia aleatoria. A continuación, se especifican las características de los instrumentos de medición acústica usados para cada una de las estaciones de monitoreo.

1.4.1 Características de sonómetros

Sonómetro CUBE²¹

- IEC 61672 Clase 1
- Unidad exterior DMK01
- Tipo de micrófono prepolarizado y resistente a la intemperie (GRAS 40 CD)
- Amplio rango dinámico de 118 dB.
- Sistema de autocomprobación (CIC)
- Detección automática de calibraciones
- Wifi, modem 3D, GPS...
- Control remoto por interfaz web
- Almacenamiento paralelo de todos los indicadores acústicos
- Comandos HTTP para integradores
- Modo de datos push
- Batería 24 horas
- Conectores para antenas (GPS, Wi-Fi, 3G)
- Software de procesamiento (dBTrait)
- Compatibilidad con servicios de monitorización web de 01 dB
- Accesorios adicionales (Estuche para todo clima DSC01, unidad exterior DMK01...)



1.4.2 Características de micrófono de medición


¹⁹ ISO 1996-1. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1 Magnitudes básicas y métodos de evaluación. 2. Normas para consulta. 3. Términos y definiciones

²⁰ Resolución del MAVDT 0627 de 2006. Norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Anexo 3. Procedimiento de medición. Capítulo II. Procedimiento de medición para ruido ambiental.

²¹ Cube Smart Sound. Technical Datasheet

Los transductores y demás componentes del micrófono 40CD, realizan el proceso de conversión electroacústica entre el fenómeno sonoro y la anergia eléctrica generada por el mismo. Por ser mediciones técnicas que requieren una alta precisión en los datos capturados, es necesario contar con un tipo de micrófono que cuente con características específicas para este ejercicio. Las características técnicas del micrófono responden en conjunto con el cono, el cual ha sido diseñado para uso exclusivo de equipos CUBE, y sus parámetros son los siguientes (Observar Tabla 1):

Tabla 1. Características técnicas del micrófono

Respuesta en frecuencia (después de la corrección aplicada in el instrumento)	3.15 Hz – 20 KHz \pm 2 dB	
Sensibilidad nominal	50 mV/Pa	
Voltaje de polarización	0 V	
Límite máximo de distorsión	148 dB	
Capacitancia	17 pF	
Rango de temperatura	-40°C – 120°C	
Coeficiente de temperatura (250 Hz)	-0.007 dB/°C	
Coeficiente de presión estática	-0.01 dB/kPa	
Higónometría	0 – 100% (sin condensación)	
Influencia de humedad	< 0.1 dB (0 - 100% RH)	
Ecuación de presión	Trasera	

Fuente: Aerocivil

Cada una de las 26 estaciones cuenta con un sonómetro clase 1 (marca 01 dB, modelo CUBE) los cuales cuentan características presentadas anteriormente. Adicional cada una cuenta con un micrófono de medición, antena para transmisión y recepción de datos, caja de protección, mástiles, pararrayos, cableado y sistema de autosuficiencia energética (batería, panel solar y regulador de voltaje.). Tal como se muestra en la siguiente Ilustración 13.



Ilustración 13. Características de una estación de monitoreo
Fuente: Aerocivil

1.4.3 Procedimiento de calibración de sonómetros

En cuanto a los procedimientos de calibración establecidos en el capítulo 5.2 de la norma ISO 1996-2²² y teniendo en cuenta que cada una de las estaciones realiza mediciones de manera continua las 24 horas del día en los 7 días de la semana. Las calibraciones en campo son desarrolladas con una periodicidad mensual desde el inicio de la red monitoreo. Estas a su vez se ejecutan por medio del personal encargado, el cual cuenta con pistófonos de referencia: CAL 21 de la marca 01 dB, los datos se encuentran en el Anexo5. Formatos de calibración. Este pistófono al ser de clase 1 es apto para calibrar sonómetros de clase 1 y 2 que tengan micrófonos de 1" o 0.5". Este dispone de un sensor que detecta la presión atmosférica y ajusta la amplitud de la señal de salida, lo cual permite una calibración directamente relacionada con la presión atmosférica en cada punto de medición, lo cual cumple con los requisitos establecidos en la norma IEC 60942²³.



²² ISO 1996-2. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de presión sonora. 5. Instrumentación para mediciones acústicas. 5.2. Calibración.

²³ IEC 60942: 2019. Electroacústica – Calibradores acústicos.

Por tal motivo, y haciendo cumplimiento al capítulo 5.3 de la norma ISO 1996-2:2020 se realiza la verificación a los instrumentos de medición acústica, filtros y calibradores mediante el certificado valido de conformidad con los parámetros de medición especificados en los métodos de ensayo de la norma IEC 61672-3²⁴, IEC 61260²⁵ e IEC 60942, los certificados de cada equipo pueden encontrarse en el Anexo2. Certificados de acreditación. La periodicidad e intervalos de tiempo para las certificaciones y ensayos de laboratorio se realiza de manera anual, acatando las recomendaciones establecidas en la norma técnica.

K2 Ingeniería S.A.S, desde el año 2020 cuenta con un laboratorio de acústica acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia, en el cual se implementan las diferentes pruebas periódicas en los equipos de medición. Esto con el fin de verificar el funcionamiento correcto de todos las partes del instrumento de medición por medio de los procedimientos establecidos en la norma IEC 61672-3:2013, los cuales se puede observar en el siguiente Ilustración 14.

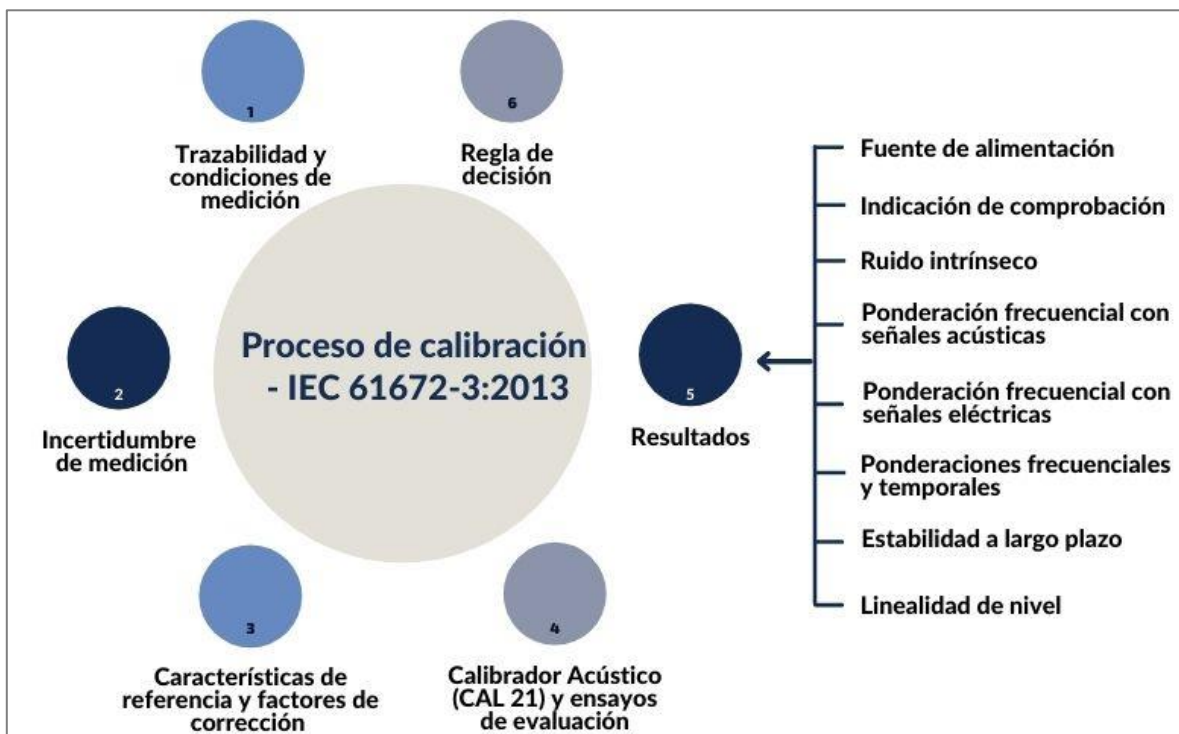


Ilustración 14. Calibración de estaciones EMRI
Fuente: Aerocivil

Para la calibración anual en el laboratorio de acústica se requieren múltiples pruebas de ensayo que permitan la revisión completa del funcionamiento de los instrumentos de medición. Como primer paso, la trazabilidad posibilita el seguimiento metrológico del sistema internacional de unidades mediante la calibración de los patrones empleados en las mediciones, esto a su vez tiene en cuenta: calibrador acústico, generador de señales y

²⁴ IEC 61672-3: 2014. Electroacústica. Sonómetros. Parte 3: Ensayos periódicos.

²⁵ IEC 61260-1:2014. Electroacústica. Filtros de banda de octava y de bandas de una fracción de octava. Parte 1: Especificaciones.

un atenuador programable. No obstante, también se hace un seguimiento a las condiciones ambientales como: condiciones de referencia, condiciones iniciales de medición y condiciones finales de medición.

En cuanto a la incertidumbre de medición, cada certificado contiene la incertidumbre expandida, la cual se obtiene a partir de las incertidumbres típicas combinadas multiplicada por un factor de cobertura k calculado según los grados de libertad para cada ensayo, el cual para una distribución normal corresponde a un nivel de confianza del 95% de manera aproximada. Las incertidumbres típicas combinadas son determinadas siguiendo los procedimientos de la Guía ISO/IEC 99 y el “Procedimiento de estimación de incertidumbre y CMC del laboratorio de calibración PRM401-02.

Las características de referencia para los ensayos de calibración se basan en la configuración de conexión de los instrumentos y elementos del sistema. Por un lado, el sonómetro permaneció conectado a su respectiva fuente de corriente eléctrica proporcionada por el cliente. Así mismo, se emplearon los siguientes elementos: preamplificador externo PRE22, cable de extensión RAL 135 con conectores LEMO de 7 pines. La dirección de referencia del micrófono al momento de los ensayos fue de 0ª con cono acústico y filtro paso alto con frecuencia de corte en 10 Hz. En cuanto a los factores de corrección para los niveles indicados en el sonómetro en respuesta al actuador electrostático y a señales eléctricas y para obtener los niveles de sonido equivalentes en respuesta a ondas acústicas se tomaron las referencias proporcionadas por el fabricante en el Manual de Instrucciones del sonómetro, los cuales a su vez están alineados con la norma internacional IEC 62585.

Por otro lado, para el calibrador acústico de modelo CAL 21 de 01dB fue necesario emplear el adaptador BAC21 para acoplar el calibrador acústico a los respectivos micrófonos. Cabe aclarar que cada calibrador cuenta con su respectivo certificado de calibración el cual es verificado con anterioridad a la calibración del sonómetro. Por último, respecto a la regla de decisión se establece que: para todas las pruebas con límites de aceptación se aplicará una regla de decisión de aceptación simple con banda de protección $w=0$. Estos límites son definidos en el Anexo C de la IEC 61672-1 para la incertidumbre en cada prueba y su respectiva evaluación.

Los resultados finales de cada ensayo son entregados en cada uno de los certificados de calibración de cada sonómetro. En estos se detallan los valores de incertidumbre típica de cada componente de ensayo, su respectivo factor de cobertura y las condiciones de medición en laboratorio. Al finalizar cada documento se encontrarán las respectivas observaciones detectadas por el laboratorio de acústica en cuanto a los resultados relevantes de las pruebas, validez de los datos, entre otras.

1.4.4 Disposiciones de ubicación estratégica de sonómetros

En el cumplimiento al ítem c) de la Resolución 0627 de 2006, el cual establece que: “En las zonas urbanas y de expansión urbana, el ruido ambiental se mide instalando el micrófono a una altura de cuatro (4) metros medidos a partir del suelo terrestre a una distancia

equidistante de las fachadas, barreras o muros existentes...” Las mediciones realizadas para el SVCA cuentan con especificaciones de altura mínimas de 4 metros desde la base del mástil hasta la altura del micrófono, no obstante, algunas de las estaciones se encuentran ubicadas en las últimas plantas de las edificaciones previamente elegidas por medio de los procesos de macro y micro localización. En la instalación de cada una de las estaciones se implementa un inventario de obstáculos el cual incluye información sobre las distancias que se encuentran entre el micrófono y las posibles barreras u obstáculos cercanos. En el Anexo6. Inventario de obstáculos y alturas, se encuentra la información correspondiente a las distancias entre cada estación y sus respectivos obstáculos a una distancia entre 5 metros y 30 metros. Además, se incluye las alturas respecto al nivel del mar y respecto al suelo para cada instrumento de medición.

1.4.5 Parámetros de medida

El reporte de los niveles de presión sonora continuos equivalente y los diferentes parámetros acústicos como: ruido residual, percentil 90, niveles de ajustes, entre otros, se reporta tal como lo establece el Artículo 4. Parámetros de medida de la Resolución 0627 de 2006. Para el caso de las mediciones de ruido residual, se adopta el descriptor estadístico del percentil 90 (L_{90}) para cada una de las jornadas de análisis diarias. Esto se debe a que en las mediciones de ruido ambiental existen múltiples fuentes sonoras provenientes de las actividades sociales, económicas y culturales, tales como; tráfico rodado, tráfico aéreo, actividades industriales y comerciales, entre otras.

Los sonómetros CUBE utilizados para el desarrollo de las mediciones permiten realizar mediciones simultaneas con varios perfiles de medición establecidos previamente. Por tal motivo, la configuración de cada uno de estos perfiles se realiza bajo las especificaciones de uso dadas por el fabricante. En la siguiente Ilustración 15 se observa una imagen de la ventana del menú en la sección de configuración de parámetros acústicos a medir.²⁶

²⁶ CUBE Smart Noise Monitoring Terminal. User manual. 8.3.2. Measurement configuration (default*)

METODOLOGÍA MEDICIÓN DE RUIDO

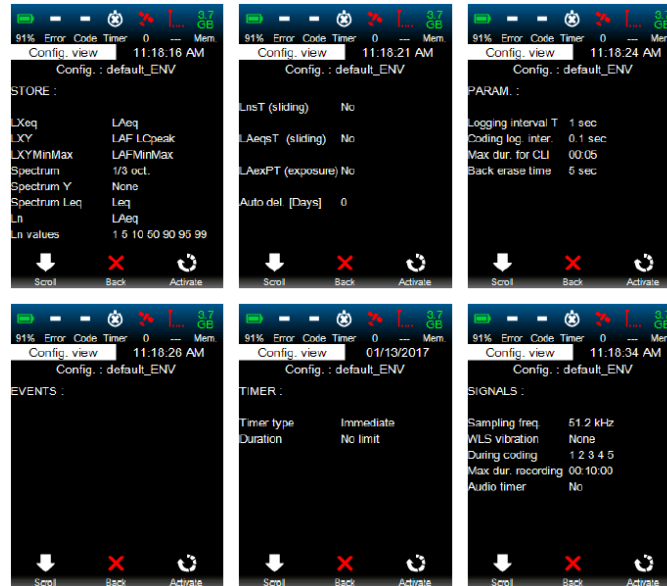


Ilustración 15. Measurement configuration.
Fuente: Acoem

El acceso y configuración de las características de medición se realizaron en consecuencia al manual de usuario dado por el fabricante. Teniendo claro que el manual de uso del equipo se establecen los perfiles de medición requeridos por la Resolución 0627 de 2006, en consecuencia, a esto se implementan 5 perfiles de medición con las siguientes características (Ver Tabla 2):

Tabla 2. Perfiles de medición de equipos

EMRI	Tipo	Ponderación	Tipo cuantitativo	Unidad
EMRI_1	Leq	A	Presión	dBA
EMRI_1	Slow	A	Presión	dBA
EMRI_1	Impulso	A	Presión	dBA
EMRI_1	Multiespectro 1/3 Oct Leq	Lin	Presión	dB
EMRI_1	Multiespectro 1/3 Oct Slow Inst	Lin	Presión	dB

Fuente: dBTrait

La configuración presentada en la tabla anterior para la estación EMRI 1, es idéntica a la establecida en las otras veinticinco (25) estaciones de monitoreo. Respecto al percentil 90, este es calculado con base en el total de muestras grabadas, cada una de las estas se captura con una periodicidad de 500 ms.

1.4.6 Intervalo de tiempo de medida

El Artículo 5. Intervalo unitario de tiempo de medida, establece que “El intervalo unitario de tiempo se establece en una hora la cual puede ser medida de forma continua o en intervalos

de tiempo distribuidos uniformemente hasta obtener mínimo quince (15) minutos de captura de información”. Por lo tanto, se da cumplimiento a este artículo mediante la medición continua (24/7) de los niveles de ruido ambiental en cada una de las estaciones que integran el SVCA. Esto no solo permite la alineación a las instrucciones técnicas de la normativa, también, proporciona un mayor porcentaje de fidelidad y precisión en las muestras capturadas, procesadas y analizadas. A raíz de esto, los análisis desarrollados se basan en los horarios establecidos en la Resolución 0627 de 2006, dando cumplimiento al Artículo 2. Horarios y los cuales son:

DIURNO	NOCTURNO
De las 7:01 a las 21:00 horas	De las 21:01 a las 7:00 horas

Dando cumplimiento al ítem d) de la Resolución 0627 de 2006, en su Anexo 3, Capítulo II. Las mediciones de ruido ambiental y ruido residual se desarrollan permanentemente con la protección de pantallas anti viento y la instalación de trípodes únicos que permiten alcanzar las alturas requeridas en la Resolución 0627 de 2006. Además, el Artículo 20. Condiciones Meteorológicas de la resolución en mención adopta lineamientos cuando la velocidad del viento es superior a los tres metros por segundo (3m/s). Por tal motivo, dentro del monitoreo de las condiciones meteorológicas se tiene en cuenta este parámetro para dar validez a los datos de ruido capturados por las estaciones del SVCA.

1.4.7 Ajustes de niveles de ruido ambiental

En el ítem e) del Anexo 3, Capítulo II, al igual que en el Artículo 6. Ajustes. Se establecen los respectivos valores de ajustes por impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas, horarios, tipos y fuentes de receptores. Por consiguiente, cada una de las mediciones realizadas a largo plazo y para ambas jornadas de evaluación contiene los valores de ajustes correspondientes, esto permite corregir el nivel de presión sonora continuo equivalente por el factor K de mayor valor y en unidades de medida correspondientes a dBA.

Estas correcciones se basan en las diferentes componentes de ruido tonal e impulsivo para las mediciones de ruido total, no obstante, también se implementan los factores de corrección establecidos en la normativa ISO 1996-1:2020 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de presión sonora, para el cálculo de los niveles de evaluación compuestos para jornada completa. No obstante, la preparación técnica para cada una de las mediciones de ruido ambiental y ruido aeronáutico se realiza con base en lo establecido en el Anexo 3. Procedimiento de medición. Capítulo II. Procedimiento de medición para ruido ambiental. Por tal motivo, se da cumplimiento al Artículo 3. Unidades de medida, de la Resolución 0627 de 2006 y al párrafo a), en el cual se determina la expresión y ponderación en frecuencia para medir los niveles de presión sonora continuos equivalentes, la cual es alineada con la curva de ponderación normalizada tipo A (dBA) y los filtros de ponderación temporal (fast, slow o impulse).

En consecuencia, con el párrafo 6.3.2. Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido de la norma ISO 1996-1:2020 y a su vez el Artículo 6 Ajustes de la Resolución

0627 de 2006, se establecen los procesos de corrección ya sea por: componentes tonales, impulsivos, por hora del día o por fuentes puntuales. Para estos cálculos se toma como base las directrices de guía presentadas en los anexos A, E y F de la ISO 1996-1:2020 sobre los factores de corrección para las diferentes categorías. Por consiguiente, a notación matemática para la corrección del nivel LAeq para un tiempo determinado es:²⁷

$$LRA_{eq,j} = LA_{eq,j} + k_j$$

1.4.8 Corrección por instalaciones de ventilación y climatización (K_s)

Debido a la ubicación estratégica de cada estación de monitoreo que integra el SVCA, la corrección de nivel proveniente de instalaciones de ventilación o cambios climatológicos drásticos no se realiza. Esto debido a que los instrumentos de medición no se encuentran en áreas cercanas a ventilaciones las cuales afecten la componente de ruido. Por otro lado, el factor climatológico se integra a las componentes de incertidumbre calculadas para cada uno de los niveles diarios de presión sonora continuos equivalentes por jornada, al mismo tiempo que se relaciona en cada informe técnico los factores climatológicos como precipitaciones, cambio de velocidad, temperatura, entre otros.²⁸

1.4.9 Corrección por horarios (K_R)

Para los cálculos del nivel de presión sonora continuo equivalente corregido con ponderación A para el periodo día y noche (LRA_{eq, dn}) teniendo en cuenta que las fuentes funcionan durante la noche y el grado de molestia y percepción puede ser mayor en este horario, se realiza una adición de 10 dBA para el periodo nocturno y por lo tanto la ecuación sería tal como lo establece la norma ISO 1996-1:2020²⁹

$$LDN = 10 \times \text{Log}_{10} \left(\frac{1}{24} \times \left(14 \times 10^{\left(\frac{L_D}{10}\right)} + 10 \times 10^{\left(\frac{L_N+10}{10}\right)} \right) \right)$$

1.4.10 Corrección de nivel por componentes tonales de ruido (K_T)

Para el cálculo de la afectación de componentes tonales de ruido en cada punto de medición se siguen los parámetros establecidos en el Anexo K de la norma ISO 1996-2:2020 y por consiguiente en el Anexo 2 de la Resolución 0627 de 2006, estos se basan en un análisis frecuencial con resolución de 1/3 de octava. El primer paso consiste en calcular la diferencia entre el nivel de presión sonora de la banda que contiene el tono puro con la media de las dos bandas situadas inmediatamente por encima y por debajo del tono de análisis. Los

²⁷ ISO 1996-1. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1 Magnitudes básicas y métodos de evaluación. 6.3.2. Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido

²⁸ Resolución del MAVDT 0627 de 2006. Norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Anexo 2. Determinación de los valores de ajuste K

²⁹ ISO 1996-1. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1 Magnitudes básicas y métodos de evaluación. 3.6.5. Nivel de ruido día-noche; L_{dn}.

rangos para determinar la presencia o ausencia de componentes tonales se definen en rangos de frecuencia, estipulados de la siguiente manera.

Entre 20 a 125 Hz:

- Si $L < 8$ dBA, no hay componentes tonales.
- Si $8 \text{ dBA} \leq L \leq 12 \text{ dBA}$, hay componente tonal neto.
- Si $L > 12$ dBA, hay componente tonal fuerte.

Entre 160 a 400 Hz:

- Si $L < 5$ dBA, no hay componentes tonales.
- Si $5 \text{ dBA} \leq L \leq 8 \text{ dBA}$, hay componente tonal neto.
- Si $L > 8$ dBA, hay componente tonal fuerte.

A partir de 500 Hz en adelante:

- Si $L < 3$ dBA, no hay componentes tonales.
- Si $3 \text{ dBA} \leq L \leq 5 \text{ dBA}$, hay componente tonal neto.
- Si $L > 5$ dBA, hay componente tonal fuerte.

1.4.11 Corrección de nivel por componentes impulsivos (K_i)

Teniendo en cuenta que no existe una norma internacional para detectar sonidos impulsivos a partir de mediciones de ruido, se debe identificar la fuente y se compara con la lista de fuentes de ruido impulsivo en la norma ISO 1996-1:2020. No obstante, la Resolución 0627 de 2006 de ámbito nacional establece que, para una determinada fase de ruido de duración T en la cual puedan presentarse eventos impulsivos, se emplea lo siguiente:

- Medición del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, durante un tiempo T. ($LA_{eq,T}$)
- Medición del nivel de presión sonora ponderado A determinado con ponderación temporal impulsiva, promediado en el tiempo T. ($LA_{Ieq,T}$)
- Se calculó la diferencia aritmética

$$L_I = LA_{eq,T} - LA_{Ieq,T}$$

- Si $L_I < 3$ dBA, no hay componentes impulsivos.
- Si $3 \text{ dBA} \leq L_I \leq 6 \text{ dBA}$, hay componente impulsivo neto.
- Si $L_I > 6$ dBA, hay componente impulsivo fuerte.

Las correcciones de nivel por componentes tonales e impulsivos están divididas por tipo de percepción, ya sea: nula, neta o fuerte. Por lo tanto, si la componente es de tipo nulo no se adiciona ningún nivel de corrección, es decir un valor de 0 dBA. Si la componente es de tipo neto, el nivel de corrección indicado es de 3 dBA. Por último, si la componente es de tipo fuerte, el nivel de rectificación es de 6 dBA.

Cabe precisar que los factores de corrección que influyen en las mediciones de ruido únicamente se aplican durante el tiempo en que la característica está presente. Además, la Resolución 0627 de 2006³⁰ en consecuencia con la ISO 1996-1:2020, si varios factores afectan las características del ruido medido se debe aplicar el factor de corrección más perceptible y con mayor magnitud de rectificación. Para finalizar, los niveles corregidos de presión sonora continuos equivalentes ponderados A son los que se comparan con los estándares máximos permisibles de ruido ambiental.

1.5 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL MONITOREO

El instrumento definido para el estudio de SVCA fue establecido y empleado de acuerdo a su tecnología, como instrumento automático de las Estaciones de Monitoreo Inteligente (EMRI) ubicadas en las 26 estaciones en el área de influencia. Con el principal objetivo de medir la cantidad presente de determinados niveles de ruido de las diferentes fuentes de emisión.

1.5.1 Tiempos de medición y acreditación de datos de ruido

Las estaciones que componen la red de monitoreo SVCA cuentan con una cobertura de radio de detección de eventos aeronáuticos de 750 metros, esto debido a la configuración de operación el cual tiene por característica el equipo. Así, las estaciones cuentan con una cobertura como se establece en la Tabla 3.

Tabla 3. Cobertura de radio de detección de eventos aeronáuticos

Cobertura EMRI	Cobertura Total de estaciones	Área de influencia directa
Radio de 750m	44.17 km ²	22.38 Km ² (2019)

Fuente: Aerocivil

Con la cobertura de las estaciones que registraron los niveles de ruido con aporte significativamente en la ubicación de la estación de monitoreo y, además, teniendo en cuenta el principio de intensidad sonora que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente, se puede inferir que el área de identificación de eventos aeronáuticos por la red de monitoreo supera el área de influencia directa definido para el año 2019 en aproximadamente 20.5 Km².

Como se mencionó anteriormente, las estaciones de monitoreo de ruido inteligentes que componen la red del SVCA, realizan monitoreo continuo 24 horas al día, 7 días a la semana. El tiempo de integración de los sonómetros está dado en intervalos de 500 ms. Los parámetros acústicos de medida establecidos para la presente evaluación se siguen de los términos de referencia definidos por la Autoridad Ambiental y lo establecido en la Resolución 0627 de 2006 y normas ISO 1996-1:2020, ISO 1996-2:3030 e ISO 20906:2009.

³⁰ Resolución del MAVDT 0627 de 2006. Norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Artículo 6.

Respecto a los tiempos de medición de la red de monitoreo del SVCA y según lo estipulado en la norma ISO 1996-2:2020, se desarrollan mediciones a largo plazo, lo cual indica que la medición es suficientemente larga para abarca todas las situaciones de emisión y todas las condiciones meteorológicas para obtener un nivel promedio equivalente representativo. Como todo sistema de metrología por la toma de datos de presión sonora, se debe contar con un sistema acreditado en sus procedimientos, evaluación y procesamiento de datos, así como las especificaciones técnicas de los equipos para la validación y confirmación de la toma de datos. Por tal motivo, el sistema cuenta con la siguiente acreditación:

- Sonómetro de clasificación Tipo 1 según parámetros de aceptación en su proceso de calibración para las metodologías IEC: 61672, Soporte técnico directo por ACOEM Group.
- Acreditación por medio de Resolución N° 0448 del IDEAM para mediciones según normativa 0627 del 2006 y normativa ISO 1996.
- Procesamiento de datos por compañía internacional Acoustics Technologies A-Tech (Bélgica) en correlación de eventos aeronáuticos ISO 20906.

1.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para el estudio se cuenta con la red establecida de las 26 estaciones de acuerdo a la identificación de los receptores potenciales delimitados en el área de influencia, que hace parte integral del Sistema de Vigilancia y Control Ambiental – SVCA y del Estudio de Impacto Ambiental.

El procesamiento de la información de las estaciones automáticas ubicadas dentro del área de influencia, se realiza a través de un software central que comunica con las estaciones y gestiona la información para que sea transferida y luego analizada con las herramientas propias de dicha aplicación. Observar Ilustración 16.

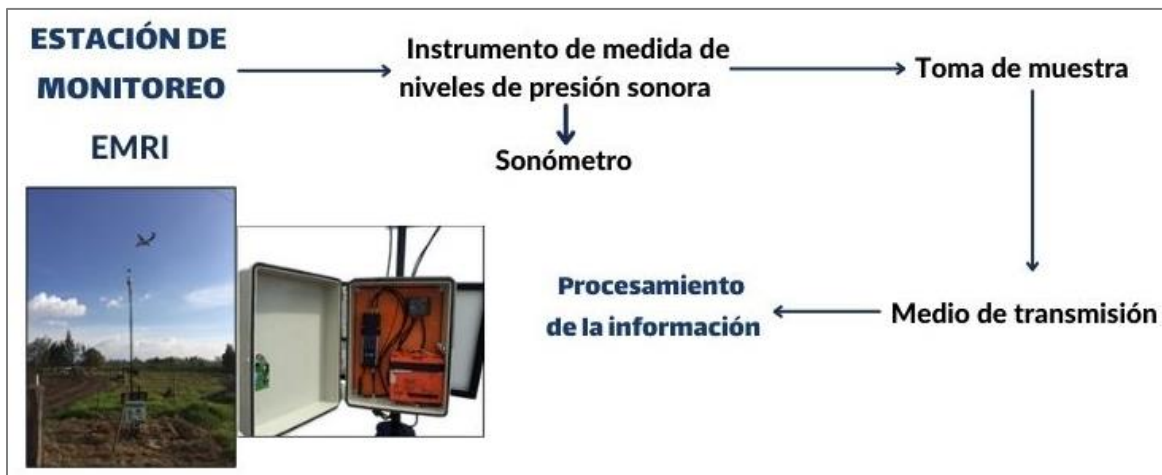


Ilustración 16. Proceso de toma de muestra general hasta el procesamiento de la información

Fuente: Aerocivil

Teniendo en cuenta los parámetros técnicos y científicos para el posicionamiento, captura y tratamiento de los datos de ruido ambiental, en el siguiente esquema se presentan la sinapsis y orden de los procesos digitales realizados por medio de los softwares de tratamiento de datos de la red del SVCA. (Observar Ilustración 17).

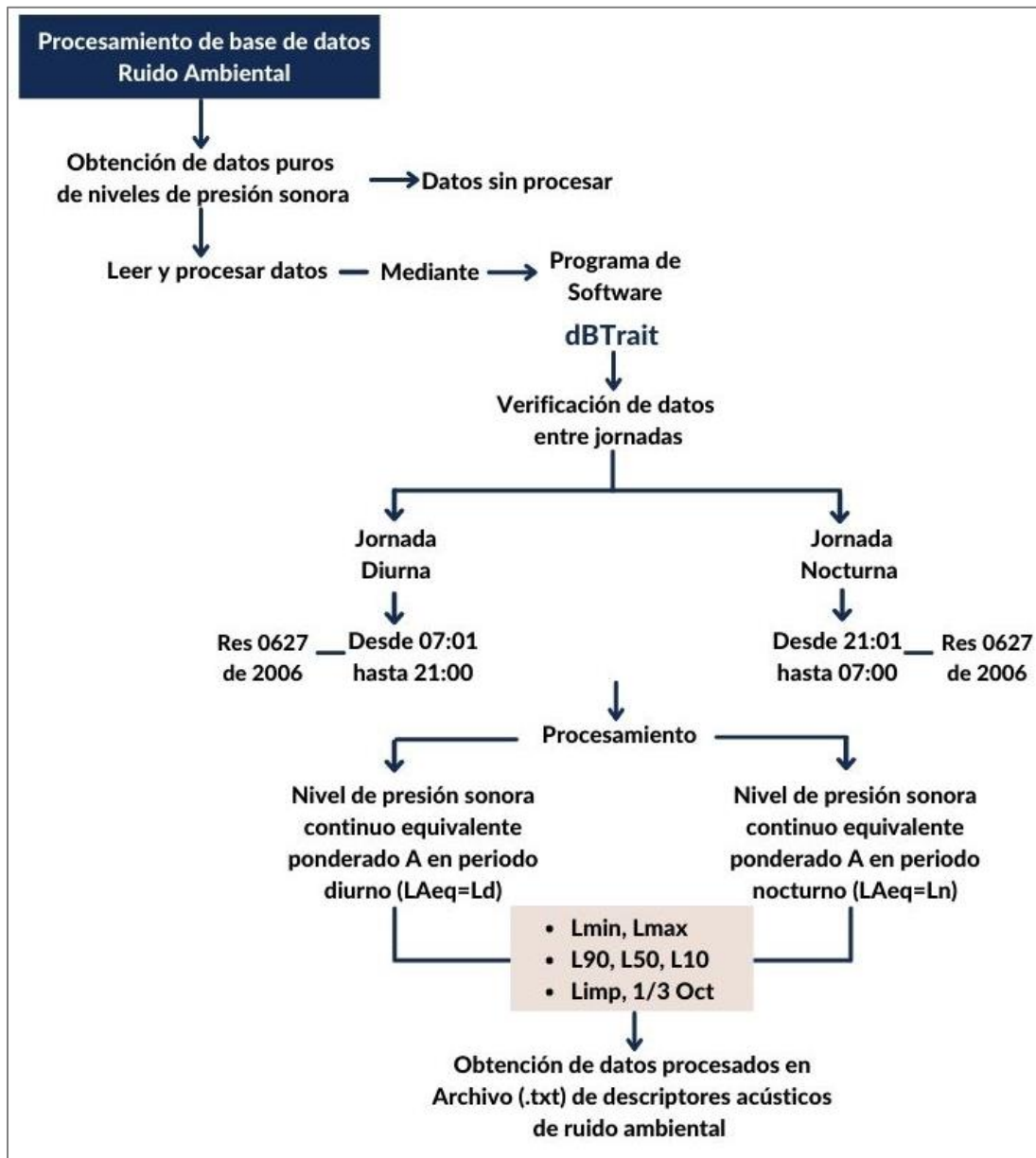


Ilustración 17. Esquema general de procedimiento para ruido ambiental

Fuente: Aerocivil

Debido a que cada estación de monitoreo (EMRI) envía por internet datos diarios, en archivos BID file, los cuales llegan a un servidor emplazado en la sede principal de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. Los datos puros son descargados y

procesados mediante el software dB Trait³¹, el cual realiza los cálculos correspondientes a niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados A sin corregir, según los horarios establecidos en la Resolución 0627 de 2006. No obstante, el software realiza el cálculo asociado a descriptores acústicos como: L_{\min} , L_{\max} , L_{90} , L_{50} , L_{10} , L_{imp} y $L_{1/3 \text{ oct}}$, siendo los niveles equivalentes por tercio octava niveles sin ponderar.

Posterior al procesamiento desarrollado con el software dB Trait se descargan de manera organizada el aglomerado de datos de ruido ambiental para el respectivo post procesamiento de los niveles de ruido diarios por periodos definidos.

Al finalizar el procesamiento automatizado en el software dB Trait, se obtiene como resultado una sucesión de archivos .txt programados, los cuales contienen los niveles de ruido específicos, reorganizados y procesados para cada una de las estaciones de la red del SVCA, tal como se puede evidenciar en la ilustración anterior. Posterior a esto, los archivos resultantes son leídos y agregados a un programa basado en Visual Basic que permite la automatización de procesos repetitivos, esto debido al cálculo de niveles de ruido sucesivos diarios.

Las ecuaciones utilizadas para estos cálculos son:

1.6.1 Niveles de presión sonora continuo equivalente $L_{Aeq, T}$ ³²

$$L_{Aeq, T} = 10 * \log_{10} \frac{1}{T} * \int_{t_1}^{t_2} P_A^2(t) dt \text{ dB}$$

Donde

$P_A(t)$ es la presión sonora instantánea ponderada A durante el tiempo de medición.

P_0 es igual a $20\mu\text{Pa}$.

1.6.2 Cálculo de percentiles acústicos

Para realizar este tipo de cálculo y análisis estadístico se deberán organizar los datos de manera descendente, posterior se deberá aplicar la siguiente ecuación.

$$P_k = L_i + \frac{1}{f_i} * \left(\frac{k * N}{100} - f_a \right)$$

Donde

K es el porcentaje de casos del percentil.

L_i es el límite inferior de la puntuación donde se encuentra el percentil.

³¹ El software dB Trait es un sistema de programación de alto rendimiento que permite el procesamiento de datos acústicos, vibratorios y meteorológicos que hayan sido medidos y recopilados mediante lo equipos autorizados por la compañía 01 dB del Grupo Acoem.

<https://www.01db.com/our-solutions/our-products/software/data-processing-software/>

³² ISO 1996-1. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1 Magnitudes básicas y métodos de evaluación. 3.1.6. Nivel de presión sonora continuo equivalente; $L_{Aeq, T}$.

F_i es la frecuencia de la puntuación donde se encuentra el percentil.

N el tamaño del grupo.

F_a es la frecuencia acumulada hasta el límite inferior de la puntuación donde se encuentra el percentil.

1.7 REPORTE

La obtención de la información, tiene como objeto la evaluación del nivel de cumplimiento de los niveles de ruido ambiental y ruido aeronáutico, con respecto a los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 0627 de 2006 y lineamiento en la ISO 1996-2:2020 en diferentes tiempos de exposición. Los datos horarios obtenidos por los equipos automáticos permitieron realizar la comparación con los tiempos de exposición horarios y diarios.

De acuerdo al procesamiento de información, para el reporte se tuvieron en cuenta las características específicas de la entrega de información, en relación a la presentación y elementos del SVCA, como se observa en los siguientes numerales.

1.7.1 Post procesamiento de niveles de ruido ambiental

Una vez que los datos son procesados por el software dB Trait³³ y se obtienen los archivos de blocks de notas (.txt) organizados, una hoja macro de Excel basada en programación con Visual Basic desarrolla un proceso de reorganización de descriptores acústicos, lo cual permite cálculo de correcciones por horario, tono e impulsividad, cálculo de nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para jornada completa, entre otros. Observar Ilustración 18.

³³ <https://www.01db.com/our-solutions/our-products/software/data-processing-software/>

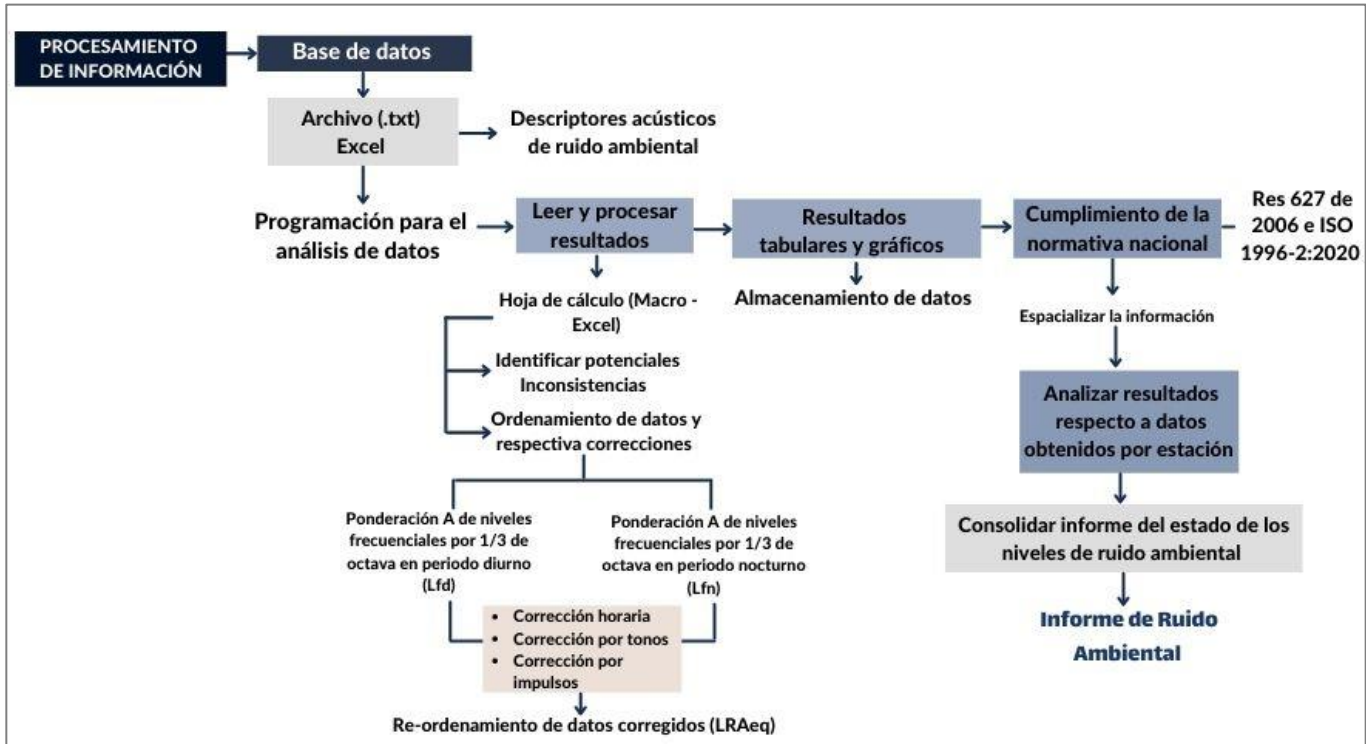


Ilustración 18. Procesamiento de la información de ruido ambiental

Fuente: Aerocivil

Las correcciones de los niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados A para cada una de las jornadas se realiza en base a lo establecido en la Resolución 0627 de 2006 y la norma ISO 1996-1:2020. La especificación del cálculo se presenta en este mismo documento en el capítulo de ajustes de niveles de ruido ambiental presentado con anterioridad. Respecto al cálculo del nivel de ruido día-noche, este se calcula mediante la siguiente ecuación:

1.7.1.1 Niveles de ruido día – noche (L_{dn})³⁴

$$L_{dn} = 10 * \log_{10} \left[\frac{1}{24} (t_{día} * 10^{0.1 * L_{día15}} + t_{noche,9} * 10^{0.1 * (L_{noche,9} + 10 \text{ dB})}) \right] \text{ dB}$$

Donde $t_{día}$ y t_{noche} se expresan en horas, siendo $t_{día} + t_{noche} = 24$ horas.

Además, la hoja macro de Excel permite estructurar los datos diarios de tal forma que se pueda realizar una lectura, evaluación y gráficos correspondientes que hagan de estos datos una forma de lectura más eficiente y completa.

Los resultados finales de este proceso permiten conocer de forma cuantitativa los niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados A y corregidos para cada jornada con una frecuencia diaria. Debido a que se obtiene información de cada una de las

³⁴ ISO 1996-1. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1 Magnitudes básicas y métodos de evaluación. 3.6.5. Nivel de ruido día-noche; L_{dn} .

estaciones de monitoreo, este aglomerado se convierte en un universo de datos que permite calcular otros descriptores de ruido a largo plazo como: nivel de presión sonora equivalente ponderado A y corregido para cada jornada con frecuencia mensual, nivel de presión sonora mínimo y máximo promediado en el tiempo y ponderado A, niveles de ruido residual o niveles de percentil 90 diarios y varios descriptores estadísticos. Estas variables permiten analizar la trazabilidad de los niveles de ruido ambiental en cada uno de los puntos de monitoreo de la red.

En relación a la evaluación entre los niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados A corregidos y los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental ponderados A³⁵, este cálculo permite analizar en periodos a largo y corto plazo los porcentajes de cumplimiento de niveles de ruido por jornada en correlación con los usos del suelo establecidos por la normativa colombiana.

1.7.2 Post procesamiento de niveles de ruido aeronáutico

Los datos obtenidos por las mediciones de ruido ambiental, de cada una de las estaciones pertenecientes a la red de monitoreo del SVCA, el grupo ACOEM desarrollo varios softwares que integrados permiten extraer, validar, correlacionar, verificar y calcular los descriptores acústico de cada uno de los eventos aeronáuticos que se desarrollan en el Aeropuerto Internacional El Dorado – SKBO. En la siguiente Ilustración 19, se puede observar los diagramas de proceso implementados en la red de monitoreo de ruido (SVCA).

³⁵ Resolución del MAVDT 0627 de 2006. Norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Tabla 2. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles dB(A)

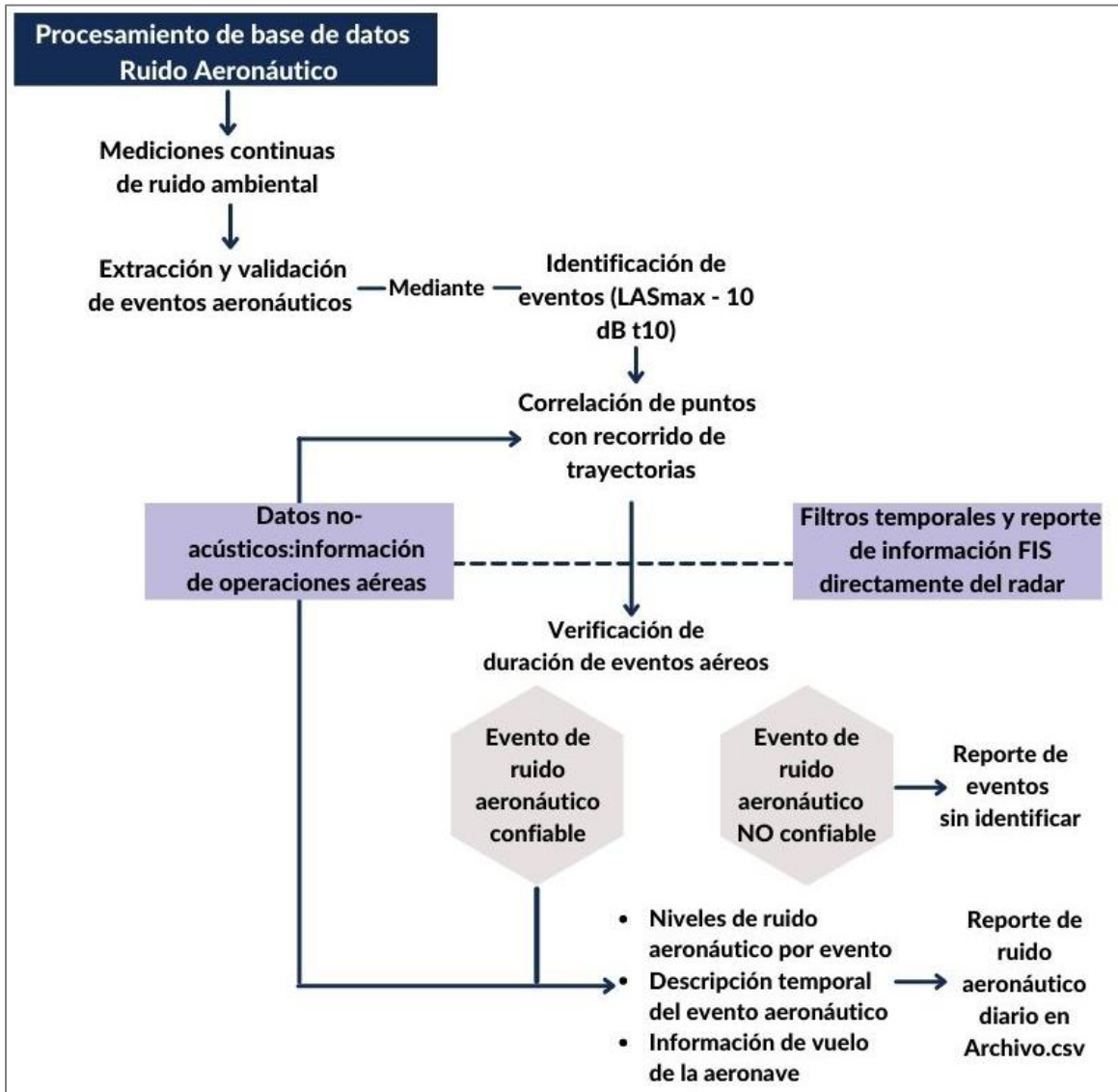


Ilustración 19. Procesamiento de la información de ruido aeronáutico

Fuente: Aerocivil

1.7.2.1 Extracción y validación de eventos aeronáuticos

Por medio del sistema de monitorización y una serie de filtros temporales y dinámicos se detectan todos los eventos de ruido que cumplan con unas condiciones en específico. De tal forma que el sistema pueda detectar a partir de criterios acústicos la clasificación de los eventos aéreos probables o no probables.

Para la detección de eventos sonoros aeronáuticos, el comportamiento de ruido debe cumplir con los siguientes criterios:³⁶

- El evento de ruido aeronáutico no es estable ni continuo, pero tampoco impulsivo. Por tal motivo, el evento depende de la duración y se define mediante límites específicos.
- El nivel de ruido excede in nivel de umbral en al menos una cantidad específica.
- Cuando un evento finaliza, el nivel de ruido medido no volverá a incrementarse por encima de un nivel específico determinado en un tiempo definido. Estos criterios se representan gráficamente en la siguiente Ilustración 20.

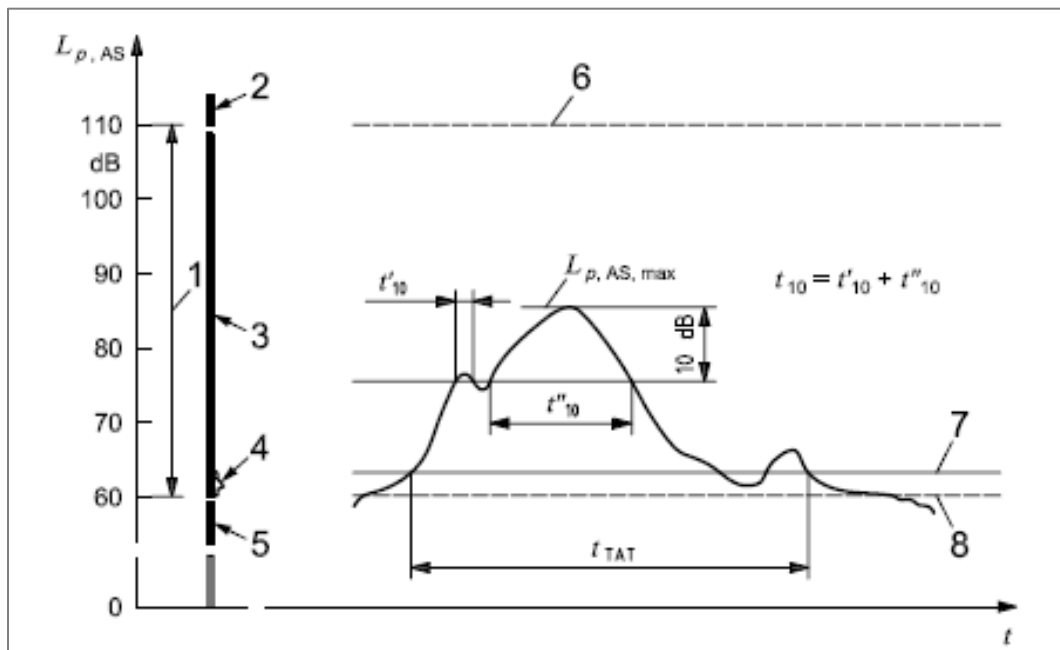


Ilustración 20. Validación de eventos aeronáuticos
Fuente: ISO 20906

Donde

$L_{pA,S}$ es el nivel de presión sonora ponderado A.

$L_{pA,S, máx}$ es el nivel de presión sonora máximo ponderado A.

T es el tiempo.

T_{10} es el tiempo de inactividad.

T_{TAT} es el tiempo sobre el umbral

1 rango de principal de indicador / rango dinámico

2 rango de sobrecarga

3 rango considerado

4 rango ignorado

5 rango no transmitido

³⁶ ISO 20906:2009. Acústica: monitoreo de ruido de las aeronaves en cercanías de los aeródromos. 4.2. Montaje de micrófono. 5.3.2. Detección de eventos sonoros aeronáuticos.

6 *límite superior del rango del indicador principal*

7 *nivel de umbral*

8 *límite inferior del rango de funcionamiento lineal*

La norma ISO 20906:2009, especifica que el conjunto de datos mínimo requerido para la clasificación de eventos sonoros consiste en: el nivel máximo de presión sonora ($L_{p,AS,mác}$ y/o $L_{p,A,eq,1s,mác}$), el nivel de exposición sonora ($L_{E,A}$), la duración del evento (T_i) y una marca de tiempo que determine la hora local de ocurrencia del evento aeronáutico. No obstante, el monitoreo de ruido permite determinar el intervalo de tiempo entre el umbral inicial y la consecución del nivel máximo de presión sonora y el cruce del umbral final, este último determina el tiempo de finalización del evento de ruido aeronáutico.

1.7.2.2 Correlación de puntos con recorrido de trayectorias

Para la identificación de eventos aeronáuticos se dispone de datos no acústicos sobre la operación aérea del Aeropuerto Internacional El Dorado – SKBO. Esta información proviene directamente de los datos del radar del aeródromo, de tal forma, que la exactitud de los mismos es de alta precisión. Otra información importante para la correlación de eventos aeronáuticos es:

A. Información sobre el registro de vuelo, uso de la pista, tipos de aeronave y trayectorias de vuelo

B. Información sobre la posición de la aeronave

- Comprobar que realmente el evento de ruido sea producido por una aeronave, al correlacionar un evento de ruido aeronáutico con la probabilidad que la energía sonora de una aeronave haya sido transducida por el micrófono del equipo de medición en ese instante de tiempo.

Los eventos de ruido aeronáutico identificados contienen no solo descriptores del evento acústico, sino también datos específicos de la aeronave como: modelo de aeronave, compañía de vuelo, callsing, trayectoria de vuelo, pista de ejecución, entre otros.

1.7.2.3 Verificación de duración de eventos aéreos

El proceso de verificación está directamente relacionado con los umbrales temporales estipulados en la norma ISO 20906:2009 y se especifican en la sección anterior, no obstante, la información obtenida por medio del radar del aeródromo permite confirmar si la operación aérea detectada por la red de ruido es confiable o no. Razón por la cual, el Sistema de Vigilancia y Control Ambiental (SVCA) presenta una efectividad de detección de eventos aeronáuticos cercana al 95% respecto al total de operaciones aéreas ejecutadas en el aeródromo.

Producto de esto el software implementado por el Grupo ACOEM esclarece y entrega un balance de eventos aeronáuticos confiables y eventos aeronáuticos no confiables. Esta información se relaciona y se almacena en la base de datos del software. Respecto a los eventos de ruido aeronáutico confiables, el software entrega un reporte de ruido aeronáutico diario con el cálculo de los siguientes descriptores acústicos: $L_{eq, máx, is}$, L_{eq} , $L_{eq, máx, elem}$, SEL,

PNL_{máx} y EPNL. Las respectivas ecuaciones para el cálculo de cada descriptor se presentan a continuación.

Nivel de presión sonora continuo equivalente, $L_{eq, T}$ ³⁷

$$L_{Aeq, T} = 10 * \log_{10} \frac{\frac{1}{T} * \int_{t_1}^{t_2} P_A^2(t) dt}{P_0^2} dB$$

Exposición sonora, (E_T)³⁸

$$E_T = \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt$$

- La exposición sonora es expresada en pascales al cuadrado por segundo.

Nivel de exposición sonora, (SEL)

$$L_{E, T} = 10 * \log_{10} \frac{E_T}{E_0} dB$$

Donde el valor de referencia, E_0 , es $(20\mu Pa)^2 = 4 \times 10^{-10} Pa^2 s$

Nivel de presión sonora continuo equivalente aeronáutico, $L_{eq, T}$

$$L_{Aeq, T} = 10 * \log_{10} \left[\frac{1}{3600 * T} * \sum_1^{SEL_n} \left(10^{\frac{SEL_1}{10}} + \dots + 10^{\frac{SEL_n}{10}} \right) \right] dB$$

Donde

T es el número de horas que conforman la jornada diurna o nocturna, según el análisis requerido.

SEL_n , son el total de eventos sonoros únicos aeronáuticos por cada estación (EMRI) y detectados en el tiempo T .

De esta forma se puede calcular el nivel de presión sonora continuo equivalente generado por las actividades aéreas procedentes del Aeropuerto Internacional El Dorado, y evaluado en el tiempo establecido según la Resolución 0627 de 2006 para la jornada diurna y nocturna.

Nivel de ruido percibido, L_{pn}

Este descriptor acústico permite medir el ruido percibido generado por las aeronaves a reacción y con focos observadores en tierra. Esta escala ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares Internacional (ISO). Este cálculo tiene en cuenta

³⁷ ISO 1996-1. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1 Magnitudes básicas y métodos de evaluación. 3.1.6. Nivel de presión sonora continuo equivalente; $L_{Aeq, T}$.

³⁸ ISO 20906:2009. Acústica: monitoreo de ruido de las aeronaves en cercanías de los aeródromos. 3. Términos y definiciones. 3.11. Exposición sonora.

parámetros aeronáuticos como: tipo de motor de las aeronaves, diagrama de emisión sonora, entre otras.³⁹ Para realizar la conversión de muestras de nivel de presión sonora a nivel de ruido percibido se realiza el siguiente calculo.

$$PNL = 40 + \log_{10}(noy) \text{ dB}$$

Donde, *noy* es la unidad de relación de contornos de igual sonoridad o de ruido percibido, según como lo recomienda la norma ISO R507:1966. No obstante, el autor de este descriptor implemento un gráfico que puede relacionar los niveles de presión sonora con los niveles de ruido percibido.⁴⁰

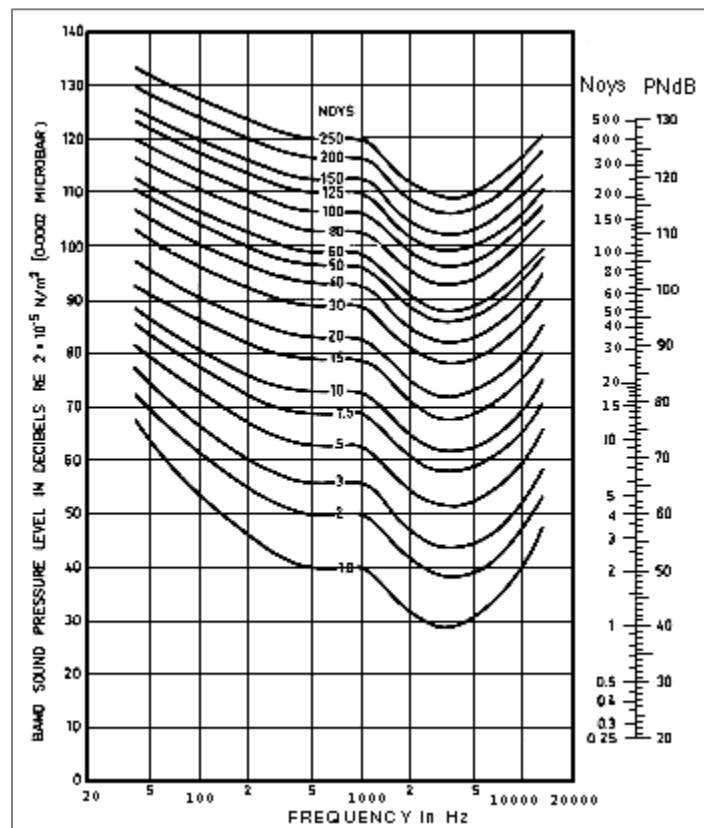


Ilustración 21. Curvas de sonoridad

Fuente: **The Meaning and Measurement of Perceived Noise Level**

Nivel efectivo de ruido percibido, *L_{EPN}*

Este descriptor acústico es el nivel instantáneo de ruido percibido, EPNL, corregido por componentes frecuenciales irregulares y consideraciones de duración de eventos aeronáuticos, la corrección denominada; factor de corrección por tono solo se realiza para

³⁹ KD Kryter, "El significado y la medición del nivel de ruido percibido", Control de ruido 6: 5, septiembre-octubre de 1960, págs. 12-17; KD Kryter, "Escalar la reacción humana al sonido de las aeronaves", Revista de la Sociedad Americana de Acústica, vol. 31, 1959, pág. 1415; Recomendación ISO No. R507.

⁴⁰ K.D. Kryter, "The Meaning and Measurement of Perceived Noise Level," Noise Control 6:5, Sept.-oct., 1960, pp. 12-17; K.D. Kryter, "Scaling Human Reaction to Sound from Aircraft," Journal of the Acoustical Society of America, vol. 31, 1959, p.1415; I.S.O. Recommendation No. R507.

el tono máximo en cada incremento de tiempo. Este indicador es adoptado y utilizado por la Organización de Aviación Civil Internacional para valoración de emisión de ruido en proximidades a aeropuertos y/o certificaciones de ruido según lo consagrado en el Anexo 16 “Protección al medio ambiente”, Volumen I “Ruido de las aeronaves”.⁴¹ Por medio del siguiente paso a paso se puede calcular este descriptor:

- Para cada muestra de nivel de ruido con periodicidad de cada 500 ms se convierte a nivel percibido de ruido mediante la relación establecida por Kryter.
- Se realiza un factor de corrección calculado mediante en la siguiente Ilustración 22.

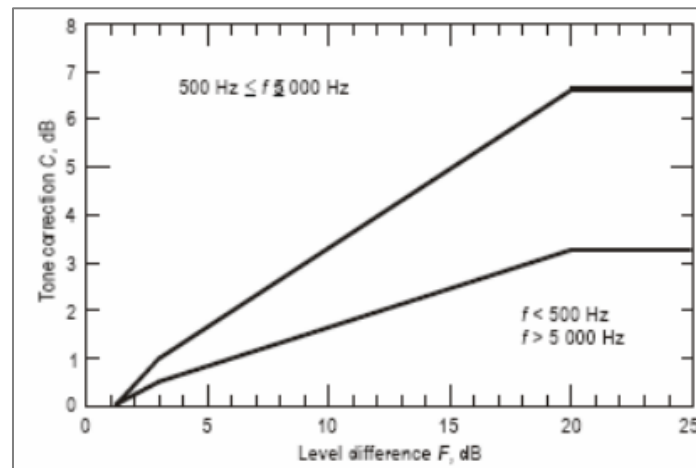


Ilustración 22. Factor de corrección EPNL
Fuente: Anexo 16 – OACI

- Se realiza la siguiente suma

$$PNLT = PNL + C$$

- Para todo el evento aéreo:

$$D = 10 * \log_{10} \left[\left(\frac{1}{T} \right) * \sum_{k=0}^{\frac{d}{\Delta t}} \Delta t * \text{antilog} \left(\frac{PNLT(k)}{10} \right) \right] - PNLTM$$

Donde $t=10$ segundos y $\Delta t=0.5$ segundos

- $EPNL=PNLTM+D$

Donde $PNLTM=\text{Máx}(PNLT)$ ⁴²

⁴¹ Anexo 16 OACI – Protección del medio ambiente. Apéndice I. Cálculo del nivel efectivo de ruido percibido a partir de los datos de medición de ruido.

⁴² Anexo 16 – Protección del medio ambiente. Figura A1-2. Ejemplo de nivel de ruido percibido corregido por tono en función del tiempo de sobrevuelo de la aeronave.

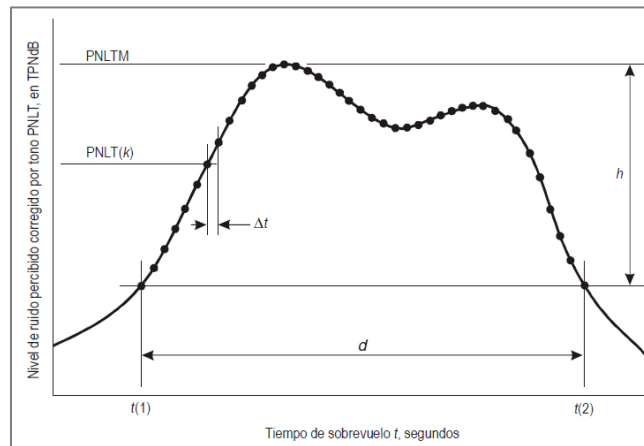


Ilustración 23. Comportamiento de niveles EPNL respecto al tiempo
Fuente: Anexo 16 – OACI

Nivel de ruido percibido corregido por tono en función del tiempo de sobrevuelo de la aeronave.

Una vez son calculados los descriptores acústicos estos se reportan mediante un archivo .CSV en el cual se encuentra el aglomerado de datos de niveles de ruido y descriptores de vuelo para cada una de los eventos aeronáutico confiables detectados por la red de monitoreo.

1.7.3 Evaluación de series temporales

La evaluación y análisis de series temporales se define como una aglomeración de observaciones de una variable, las cuales son recolectadas de forma secuencial durante un tiempo definido. Para practicidad técnica los datos son calculados y obtenidos en tiempos equidistantes, gracias a que los datos se pueden procesar de manera digital, se utilizan herramientas estadísticas que permitan un análisis representativo en gráficos sencillos de fácil entendimiento. Por consiguiente, se presenta el procesamiento necesario para la evaluación de series temporales en la Ilustración 24.

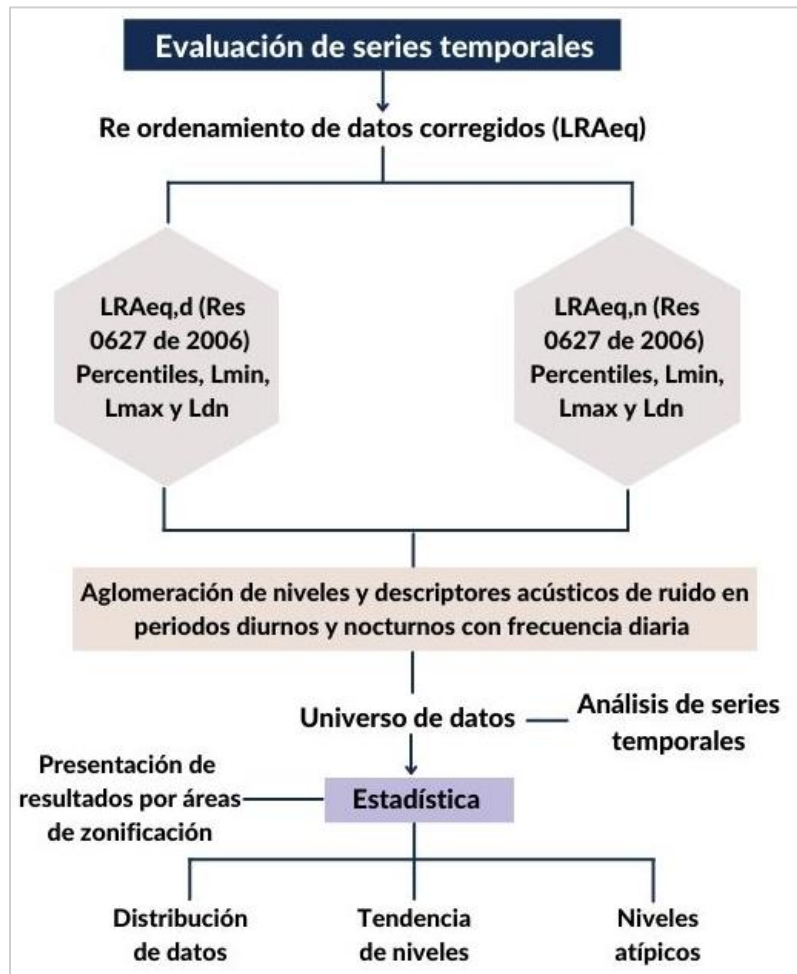


Ilustración 24. Evaluación de series temporales
Fuente: Aerocivil

Una de las principales características de las series temporales es que las observaciones sucesivas son dependientes entre sí. Por tal motivo, en el análisis se tiene en cuenta el orden temporal de la ocurrencia de los valores de análisis. Por tal motivo, los niveles de ruido ambientales y aeronáuticos son presentados en gráficos con una sucesión temporal ordenada. Esto permite identificar los días que presentaron niveles atípicos y que sean objeto de análisis en cada uno de los puntos de monitoreo.

Por medio de las herramientas estadísticas, se puede obtener información que permita conocer: la distribución de niveles de ruido por estación, tendencia de niveles de ruido y niveles atípicos durante el tiempo de evaluación. Para conocer la distribución de datos por cada estación, se procesa el universo de datos respectivo y agrupa, de tal forma se puede cuantificar los niveles de ruido mínimos, máximos y por ende el umbral de niveles de ruido por jornada calculados.

Por tal motivo, los resultados que se presentarán incluyen las medidas de tendencia central a partir de la presentación de histogramas y diagramas de violines, además de presentarse

la trazabilidad de los niveles continuos equivalentes por jornada en el transcurso de los días de evaluación. De esta forma, se puede dar un concepto mensual y general del comportamiento de los niveles de ruido aeronáutico, teniendo en cuenta dos consideraciones. Por un lado, el diagrama de violines permite visualizar la distribución de los datos y densidad de probabilidad en cada punto de monitoreo, de esta forma poder verificar el comportamiento de todos los eventos de ruido aeronáutico registrados para cada estación de ruido dentro de la localidad de Engativá, Fontibón, Funza, sector de Suba Niza y las zonas internas del aeródromo.

1.7.4 Estadísticos realizados y respectivo análisis e interpretación

Para el estudio en mención, se realizan la representación de los datos, cálculos y resultados de las estaciones del SVCA, donde se analizan mediante diferentes representaciones graficas que brindan de manera específica los resultados para el respectivo análisis tanto para ruido ambiental y ruido aeronáutico como se observa en la Ilustración 25.

Y es que debido al gran número de datos que se conformaron en el análisis del estudio de ruido en la caracterización del área de influencia, es válido reconocer la ciencia de la estadística para describir el comportamiento del universo de datos resultante para su relación tal cual se define de la siguiente manera:

“(...) La estadística es una ciencia y una rama de las matemáticas a través de la cual se recolecta, analiza, describe y estudia una serie de datos a fin de establecer comparaciones o variabilidades que permitan comprender un fenómeno en particular.

La estadística se vale, en gran medida, de la observación para la recolección de datos que posteriormente serán analizados y comparados a fin de obtener un resultado.

Asimismo, la estadística se emplea para estudiar una población o muestra sobre el que se pretende obtener una información en particular, de esta manera se puede ofrecer una solución a un problema o ver cómo ha variado una situación en específico. (...)” (Significados, 2021)

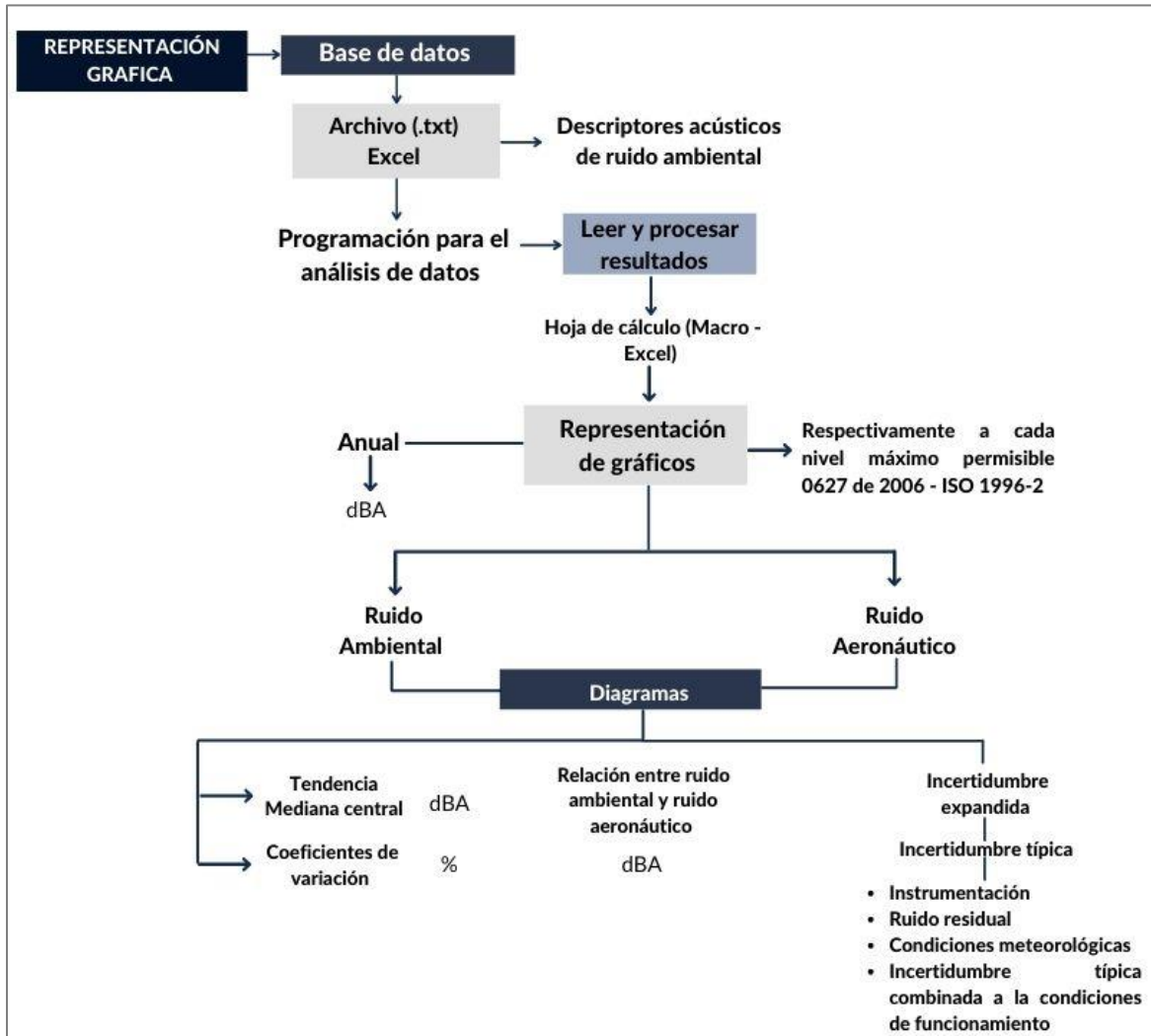


Ilustración 25. Representación gráfica de resultados de los descriptores acústicos de ruido ambiental

Fuente_ Aerocivil