

RESULTADOS DE MONITOREO TEMPORAL DE RUIDO  
AMBIENTAL– BARRIO LA FELICIDAD, BOGOTÁ.



**AERONÁUTICA CIVIL**  
Unidad Administrativa Especial

INFORME DE MONITOREO DE  
RUIDO AMBIENTAL

SEPTIEMBRE 2022

Contrato No. 18001608 H3 – 2018



**Ingeniería**

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	6
2	GLOSARIO .....	7
3	OBJETIVOS .....	10
3.1	<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>10</b>
3.2	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>10</b>
4	SISTEMA DE VIGILANCIA Y CONTROL AMBIENTAL – SVCA.....	11
4.1.1	COMPONENTES DEL SVCA.....	12
4.1.2	ESTACIONES DE MONITOREO .....	13
	Micro y Macrolocalización.....	13
	Macrolocalización .....	13
	Microlocalización .....	14
4.1.3	UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN MÓVIL DE MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL.....	14
4.1.3.1	Fuentes de ruido detectadas .....	16
4.1.4	COBERTURA DE ESTACIONES Y CARACTERÍSTICAS ADICIONALES.....	18
4.1.5	NOVEDADES TÉCNICAS DEL MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL – LA FELICIDAD .....	18
4.1.6	VALIDEZ DE LA INFORMACIÓN.....	19
4.2	<b>OPERACIÓN DEL AEROPUERTO .....</b>	<b>19</b>
4.2.1	CONFIGURACIÓN DE LAS PISTAS.....	20
4.2.1.1	Pista 13L - 31R (Pista Norte) .....	21
4.2.1.2	Pista 13R - 31L (Pista sur).....	21
4.2.1.3	Cuota de ruido (QC) .....	22
4.2.1.4	Resultados operaciones del periodo de medición.....	24
4.2.2	TIEMPOS DE MEDICIÓN Y PARÁMETROS ACÚSTICOS DE ANÁLISIS .....	26
	Nivel corregido de presión sonora continuo equivalente ponderado A ( $L_{RAeq}$ ): .....	26
	Nivel sonoro para jornada completa (LDN): .....	26
4.3	<b>NORMATIVIDAD Y LEGISLACIÓN VIGENTE DE RUIDO.....</b>	<b>27</b>
4.3.1	RESOLUCIÓN 627 DE 2006 - MAVDT .....	27
4.3.2	NORMATIVA INTERNACIONAL UNE ISO 1996: Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental .....	28
5	ANÁLISIS DE RUIDO AMBIENTAL.....	29
5.1	<b>NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL BARRIO LA FELICIDAD, FONTIBÓN. ....</b>	<b>29</b>
5.1.1	Clasificación uso del suelo en punto de monitoreo.....	30
5.1.2	Análisis de niveles de ruido ambiental jornada diurna .....	31

5.1.2.1	Ruido residual jornada diurna (Percentil 90) .....	32
5.1.3	Análisis de niveles de ruido ambiental jornada nocturna .....	33
5.1.3.1	Ruido residual jornada nocturna (Percentil 90) .....	35
5.1.4	Análisis de niveles promediados día-noche (LDN) .....	36
5.1.5	Comparación Niveles de Ruido Ambiental (La Felicidad vs EMRI 3 y EMRI 23) 37	
<b>5.2</b>	<b>COMPARACIÓN DE NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL BAJO RESOLUCIÓN 0627 DE 2006 .....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>6.1</b>	<b>INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA DEBIDO A LA CADENA DE INSTRUMENTACIÓN (<math>\delta_{slm}</math>).....</b>	<b>42</b>
<b>6.2</b>	<b>INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA DEBIDO A LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO (<math>\delta_{sou}</math>).....</b>	<b>46</b>
<b>6.3</b>	<b>INCERTIDUMBRE TÍPICA DEBIDO A LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS (<math>\delta_{MET}</math>) .....</b>	<b>47</b>
<b>6.4</b>	<b>INCERTIDUMBRE TÍPICA DEBIDO AL RUIDO RESIDUAL (<math>\delta_{RES}</math>) .....</b>	<b>47</b>
<b>6.5</b>	<b>Incertidumbre típica combinada.....</b>	<b>48</b>
<b>6.6</b>	<b>Incertidumbre de medición Expandida .....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO.....</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>52</b>

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de operación del SVCA .....	11
Ilustración 2. Ejemplo de estación inteligente para monitoreo de ruido .....	12
Ilustración 3. Software MapAero .....	13
Ilustración 4. Ubicación de estación La Felicidad.....	15
Ilustración 5. Obras de construcción colindantes al Conjunto Residencial El Refugio.....	17
Ilustración 6. Avenidas principales en el predio de estudio. ....	18
Ilustración 7. Plano Aeropuerto Internacional El Dorado SKBO. ....	21
Ilustración 8. Cantidad de operaciones aéreas – SKBO.....	24
Ilustración 9. Proyección de instalación para estación EMRI. ....	25
Ilustración 10. Cantidad de operaciones aéreas sobre Bogotá D.C – SKBO.....	25
Ilustración 11. Espectrograma de medición de ruido ambiental, La Felicidad.....	29
Ilustración 12. Plano de localización de Sectores Normativos UPZ 112.....	30
Ilustración 13. Distribución de niveles de ruido diarios diurnos – La Felicidad .....	32
Ilustración 14. Ruido residual diurno (La Felicidad, EMRI 3 y EMRI 23) .....	33
Ilustración 15. Porcentaje de días con componentes tonales.....	34
Ilustración 16. Distribución de niveles de ruido diarios nocturnos – La Felicidad.....	34
Ilustración 17. Ruido residual diurno (La Felicidad, EMRI 3 y EMRI 23) .....	35
Ilustración 18. Distribución de niveles de ruido L <sub>DN</sub> diarios – La Felicidad. ....	36
Ilustración 19. Niveles de ruido ambiental diurnos (La Felicidad, EMRI 3 y EMRI 23).....	37
Ilustración 20. Niveles de ruido ambiental nocturnos (La Felicidad, EMRI 3 y EMRI 23) ..	37
Ilustración 21. Niveles de ruido ambiental diurnos ± Inc. Expandida – La Felicidad. ....	39
Ilustración 22. Niveles de ruido ambiental nocturnos ± Inc. Expandida – La Felicidad. ....	40
Ilustración 23. Incertidumbre expandida de medición – La Felicidad.....	49

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores aplicables para el Sistema de Cuota de Ruido (QC) – Aeropuerto Internacional El Dorado. ....	23
Tabla 2. Modelos de aeronaves con cuota de ruido 4 o superior. ....	23
Tabla 2. Horarios establecidos por la Resolución 627 de 2006. ....	27
Tabla 3. Estándares máximos permisibles de ruido ambiental. ....	27
Tabla 4. Niveles mensuales de ruido ambiental – La Felicidad. ....	31

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Función para el cálculo de nivel acústico con componentes de incertidumbre. ....	41
Ecuación 2. Cálculo de incertidumbre combinada. ....	41
Ecuación 3. Nivel de ruido estimado durante las condiciones especificadas. ....	41
Ecuación 4. Cálculo de incertidumbre por la cadena de instrumentación. ....	42
Ecuación 5. Magnitud del coeficiente de sensibilidad $C_{slm}$ . ....	46
Ecuación 6. Incertidumbre típica por tráfico rodado. ....	46
Ecuación 7. Incertidumbre típica por tráfico rodado. ....	47
Ecuación 8. Desviación típica de niveles L90 mensual. ....	47
Ecuación 9. Magnitud del coeficiente de sensibilidad $C_{slm}$ . ....	48
Ecuación 10. Cálculo de incertidumbre típica combinada total. ....	48
Ecuación 11. Cálculo de incertidumbre expandida. ....	48

## 1 INTRODUCCIÓN

La ejecución de macro-proyectos tales como el del Aeropuerto Internacional El Dorado, Luis Carlos Galán Sarmiento - SKBO, el cual sirve como terminal aérea para la ciudad de Bogotá D.C., tienen un impacto económico positivo en la región y el país. Sin embargo, este tipo de proyectos generan retos ambientales para el entorno que los rodea y concretamente, la contaminación acústica es una gran preocupación para la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil - Aerocivil, por lo cual se diseñan acciones que respondan, al desarrollo ambientalmente sostenible de la aviación civil y en áreas de proximidades a los aeropuertos. Es así que, partiendo de la premisa de una operación sostenible con el ambiente, se han tomado e implementado medidas de control y mitigación de los impactos ambientales por consecuencia de la operación del aeródromo.

La Aerocivil, en conocimiento de la problemática del ruido producto de las operaciones aéreas y debido a las condiciones particulares de proximidad a comunidades del Aeropuerto Internacional El Dorado de la ciudad de Bogotá D.C, implementó un sistema de control integral sin precedentes en Colombia por medio del cual, gestiona un completo análisis, seguimiento, registro y control de los niveles de emisión de ruido, permitiendo una evaluación y monitoreo constante del impacto sonoro sobre las zonas directamente afectadas por la operación aérea del Aeropuerto. De igual forma, se evalúa el cumplimiento a lo establecido en la Resolución Nacional 0627 del 7 de abril de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible referente a la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.

La operación del Sistema de Vigilancia y Control Ambiental (SVCA), el cual es la red de monitoreo de ruido continuo para el Aeropuerto Internacional El Dorado, es ejecutada por la firma K2 Ingeniería S.A.S. y sus asociados internacionales ACOEM Group y Atech Acoustic Technologies. Este sistema permite monitorear el ruido referente a las emisiones generadas por la operación aérea, identificando los diferentes eventos aeronáuticos que generan molestias a las comunidades aledañas al aeródromo y/o rutas aéreas. De igual forma, este sistema permite gestionar una respuesta articulada y con mayor precisión técnica, frente a las solicitudes, quejas o reclamos generada por los habitantes de la ciudad de Bogotá D.C., sobre el impacto sonoro.

Razón por la cual, este informe tiene como finalidad mostrar los resultados del monitoreo de ruido ambiental realizados durante el 4 de agosto de 2022 hasta el 20 de agosto del mismo año, por la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido, en el cual se identifica tendencias de la presión sonora y el análisis de niveles de ruido corregidos respecto al estándar máximos establecido en la Resolución 0627 de 2006<sup>1</sup>. Todo lo anterior bajo el marco del contrato de consultoría No. 18001608 H3 – 2018 entre la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil – K2 Ingeniería S.A.S.

Los resultados proporcionados en este informe son confiables y cumplen con la normatividad nacional e internacional para monitoreo de ruido ambiental. Adicionalmente, se encuentran avalados mediante acreditación de la Resolución N° 0448 otorgada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales a la organización K2 Ingeniería S.A.S.

<sup>1</sup> RESOLUCIÓN 0627 DEL 7 DE ABRIL DE 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.



## 2 GLOSARIO

A continuación, se presentan los términos generales necesarios para entender de manera correcta los términos técnicos relacionados con ruido.

7

### **L<sub>D</sub>' - NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA EN HORARIO DIURNO SIN CORREGIR**

Diez veces el logaritmo decimal del cuadrado del cociente entre el cuadrado de la presión sonora cuadrática media durante un intervalo de tiempo determinado (horario diurno entre las 07:01 y 21:00), y la presión acústica de referencia, donde la presión sonora se obtiene con una ponderación frecuencial normalizada.

### **L<sub>N</sub>' - NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA EN HORARIO NOCTURNO SIN CORREGIR**

Diez veces el logaritmo decimal del cuadrado del cociente entre el cuadrado de la presión sonora cuadrática media durante un intervalo de tiempo determinado (horario nocturno entre las 21:01 y 07:00), y la presión acústica de referencia, donde la presión sonora se obtiene con una ponderación frecuencial normalizada.

### **LI - NIVEL DE IMPULSIVIDAD ACÚSTICA**

Ruido caracterizado por breves incrementos importantes de la presión sonora. La duración de un ruido impulsivo aislado es generalmente inferior a 1s.

### **KI – NIVEL DE CORRECCIÓN POR COMPONENTE DE IMPULSIVIDAD**

Nivel específico de corrección por componente impulsiva, el cual se adiciona al nivel de presión acústica ponderando en tiempo y frecuencia en su respectivo horario de análisis el cual se determina en los valores de ajuste K referenciados en el ANEXO A de la normativa ISO 1996-1.

### **KT – NIVEL DE CORRECCIÓN POR COMPONENTE TONAL**

Nivel específico de corrección por componente tonal, el cual se adiciona al nivel de presión acústica ponderando en tiempo y frecuencia en su respectivo horario de análisis el cual se determina en los valores de ajuste K referenciados en el ANEXO A de la normativa ISO 1996-1.

### **L<sub>D</sub> – NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA EN HORARIO DIURNO CORREGIDO**

En el intervalo de tiempo diurno, el nivel de presión sonora continuo equivalente corregido, viene indicado por el nivel de presión sonora continuo equivalente real, más el termino corrector de nivel K, expresado en decibelios.

### **L<sub>N</sub> – NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA EN HORARIO NOCTURNO CORREGIDO**

En el intervalo de tiempo nocturno, el nivel de presión sonora continuo equivalente corregido, viene indicado por el nivel de presión sonora continuo equivalente real, más el termino corrector de nivel K, expresado en decibelios.

## **LMAX – NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA MÁXIMA**

Mayor nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y tiempo durante un intervalo de tiempo determinado.

## **L90 – NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA QUE SOBREPASA EL 90% DEL TIEMPO DE OBSERVACIÓN**

Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo superando en el 90% del intervalo de tiempo considerado.

## **L10 – NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA QUE SOBREPASA EL 10% DEL TIEMPO DE OBSERVACIÓN**

Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo superando en el 10% del intervalo de tiempo considerado.

## **SEL – NIVEL DE EXPOSICIÓN SONORA**

Diez veces el logaritmo decimal del cociente de la exposición sonora,  $E$ , con respecto a la exposición sonora de referencia en una integral temporal del cuadrado, variable en el tiempo, de la presión sonora instantánea ponderada en frecuencia sobre un intervalo de tiempo determinado o u durante un suceso.

$$L_E = 10 * \log_{10} \left( \frac{E}{E_0} \right) dB$$
$$E = \int_0^T P^2(t) dt \text{ dB}$$

$E_0$ , es igual al cuadrado de la presión acústica de referencia de  $20\mu$  Pa multiplicado por el intervalo de tiempo de 1s ( $400\mu$  Pa)<sup>2s</sup>

La duración,  $T$ , de la integración está incluida implícitamente en la integral y no necesita ser explícita.

## **LDN – NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA QUE SE PRODUCE EN 24 HORAS**

Descriptor acústico del entorno acústico de una comunidad a partir de los niveles de evaluación durante diferentes periodos de una jornada completa a partir de la siguiente ecuación.

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

## **LPEAK – NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA PICO ALCANZADO EN EL TIEMPO DE OBSERVACIÓN**

La presión acústica pico es el valor absoluto máximo de la presión acústica instantánea durante un intervalo de tiempo determinado con una ponderación frecuencial determinada o un ancho de banda determinado.



## NIVEL PROMEDIO MENSUAL

Es el nivel promedio logarítmico de los niveles equivalentes corregidos diarios para horario diurno o nocturno, en un mes completo de evaluación. Este promedio mensual constituye un análisis global mensual con el objeto de evaluar la tendencia del medio a partir del uso de la siguiente ecuación. No obstante, este valor no es referencial para los niveles estándares máximos permisibles.

$$L = 10 \times \text{Log}_{10} \left( \frac{1}{N} \times \left( \sum_0^N 10^{\left(\frac{L_1}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{L_N}{10}\right)} \right) \right)$$

## NIVEL DE RUIDO PERCIBIDO PNL

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 parámetros aeronáuticos como: tipo de motor de las aeronaves, diagrama de emisión sonora, entre otras.<sup>2</sup>

## NIVEL EFECTIVO DE RUIDO PERCIBIDO EPNL

Este descriptor acústico es el nivel instantáneo de ruido percibido, PNL, corregido por componentes frecuenciales irregulares y consideraciones de duración de eventos aeronáuticos, la corrección denominada; factor de corrección por tono solo se realiza para 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”.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> 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.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

10

Presentar los resultados del monitoreo de ruido ambiental y datos operacionales dentro del marco del Sistema de Vigilancia y Control ambiental (SVCA) del Aeropuerto Internacional El Dorado de la ciudad de Bogotá D.C, de la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido Ambiental correspondientes a la medición de ruido durante el 4 de agosto de 2022 hasta el 20 de agosto del 2022.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar los niveles de ruido ambiental monitoreados en la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido Ambiental instalada en el barrio la Felicidad en la localidad de Fontibón.
- Analizar los datos operacionales ejecutados por el Aeropuerto Internacional El Dorado en consecuencias a las trayectorias de sobrevuelo detectadas por el SVCA.
- Analizar los niveles de ruido ambiental con base en los respectivos umbrales estipulados en la Resolución Nacional 627/06 del MAVDT.
- Realizar un análisis estadístico de los datos monitoreados y determinar el comportamiento de los niveles de ruido.
- Identificar la incertidumbre de los niveles de presión sonora continuos equivalentes referentes a las emisiones de ruido ambiental para cada una de la jornada de evaluación.

## 4 SISTEMA DE VIGILANCIA Y CONTROL AMBIENTAL – SVCA

El SVCA, es el medio por el cual la Aerocivil puede detectar y medir niveles de presión sonora con el objeto de ser asociados a niveles de ruido producto de las operaciones de aeronaves en inmediaciones al Aeropuerto Internacional El Dorado de la ciudad de Bogotá D.C.

11

La operación del SVCA está a cargo de la firma K2 INGENIERÍA S.A.S.; asimismo, el monitoreo de ruido se encuentra en ejecución las 24 horas del día los 7 días de la semana, dada la tecnología de punta, esta permite un conocimiento detallado de cada una de las operaciones generadas por el aeródromo en términos acústicos debido al cubrimiento de la red de monitoreo. Razón por la cual, el SVCA relaciona el ruido obtenido de las estaciones de monitoreo con los datos aeronáuticos correlacionados desde el sistema de radar; por ende, las trazas de radar son proyectadas en un plano cartográfico con niveles de ruido en su visualización como sistema integral de información de ruido aeronáutico. Esta información es procesada por medio de un software especializado para tal fin.

No obstante, tal como se especificó en la visita técnica realizada el viernes 22 de julio de 2022, la estación que se instalará en el predio correspondiente al Conjunto Residencial El Refugio hará medición de los niveles de ruido ambiental únicamente. Esto de debido a que los resultados de ruido aeronáutico se obtienen en las demás estaciones que componen el SVCA, medio por el cual se puede conocer los niveles de ruido correspondientes a la operación aérea, las dinámicas y trazabilidad de los mismos.



Ilustración 1. Diagrama de operación del SVCA  
Fuente: SVCA

#### 4.1.1 COMPONENTES DEL SVCA

El Sistema de Vigilancia y Control Ambiental (SVCA) se compone de los siguientes módulos de hardware y software:

- Hardware de medición de niveles de presión sonora: son las estaciones inteligentes de monitoreo que están ubicadas cumpliendo criterios de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) otras consideraciones de pertinencia acústica establecidas por profesionales en el área. Para el Aeropuerto Internacional El Dorado, se estipularon un total de 21 estaciones fijas y 5 estaciones de tipo móvil (para subsanar mediciones exclusivas, requerimientos de monitoreo en casos especiales, etc.) sin alterar el correcto funcionamiento de la red principal. Cada estación cuenta con un sonómetro tipo 1 (marca 01dB, modelo CUBE), micrófono y antena para transmisión y recepción de datos, caja de protección, mástiles, pararrayos, cableado y sistema de autosuficiencia energética (batería, panel solar, regulador de voltaje), observar Ilustración 2.



Ilustración 2. Ejemplo de estación inteligente para monitoreo de ruido  
Fuente: SVCA

Los equipos utilizados para el Sistema de Vigilancia y Control Ambiental - SVCA (Sonómetros integradores, calibradores acústicos, estaciones meteorológicas y dispositivos de monitoreo de calidad del aire); a su vez, se detallan las características de distintos software y licencias utilizadas.

- Software de ruido: Comprende los programas de gestión aeronáutica, Fly Information System (FIS), base de datos, análisis y procesamiento de información y modelación.

El software utilizado por el SVCA para integrar los datos de ruido, meteorología y los datos de radar es el MapAero como se ve en la Ilustración 3. Además, este permite el cálculo automático de niveles de ruido y la obtención de toda la información relevante de cada una de las operaciones aéreas realizadas en el Aeropuerto Internacional El Dorado.

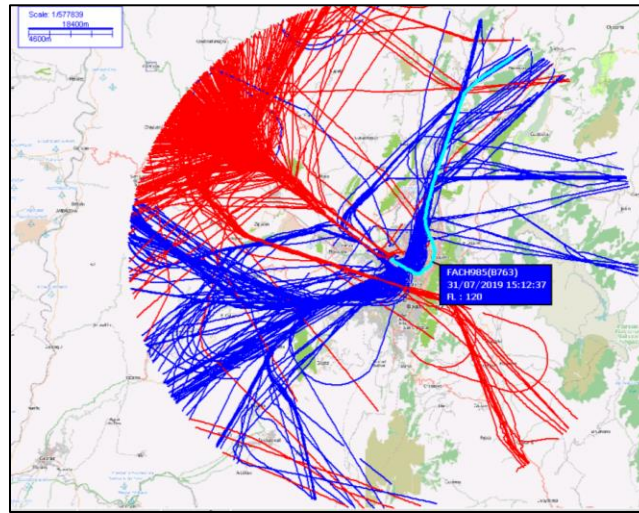


Ilustración 3. Software MapAero  
Fuente: SVCA

#### 4.1.2 ESTACIONES DE MONITOREO

Como se mencionó anteriormente, el SVCA cuenta con 21 estaciones de monitoreo de ruido inteligentes (EMRI) fijas y 5 móviles ubicadas en toda el área de influencia (AI), es decir, al interior del Aeropuerto Internacional El Dorado, en la localidad de Fontibón, la localidad de Engativá, localidad de suba y el municipio de Funza. Todas las estaciones cuentan con las mismas características técnicas, las cuales dan cumplimiento a las normativas nacionales aplicadas a mediciones de ruido ambiental y ruido aeronáutico.

##### Micro y Macrolocalización

La Aerocivil junto con la firma K2 Ingeniería S.A.S. y con la colaboración de las firmas internacionales ACOEM Group y Atech Acoustic, revisaron la ubicación y la pertinencia acústica con los datos muestreados históricamente; se logró demostrar que, con la ubicación estratégica de las estaciones, se cumple con una correcta cobertura tanto del área de influencia directa como indirecta de los niveles de ruido producidos por la operación del Aeropuerto Internacional El Dorado.

Las 21 estaciones de monitoreo de ruido inteligentes fijas y las 5 estaciones móviles, se encuentran ubicadas estratégicamente y su georreferenciación (macro localización y micro localización) fue estipulada bajo metodologías ingenieriles emitidos por la firma ACOEM, los cuales, según su experiencia en casos internacionales de ruido aeronáutico, utilizaron la mejor metodología de localización para las estaciones de la red del SVCA en el Aeropuerto Internacional El Dorado de Bogotá D.C.

La ubicación de las estaciones es justificada basándose en las rutas teóricas aéreas de las aeronaves que tienen para despegue y aterrizaje del Aeropuerto Internacional El Dorado, junto con la muestra histórica y pertinencia acústica de los niveles presentados en los sectores contiguos a la terminal aérea.

##### Macrolocalización

Hace referencia a la identificación de las zonas geográficas donde se deben ubicar las diferentes estaciones de monitoreo, esto se realiza en función de criterios científicos y objetivos:

14

- Ubicación estratégica: dentro o cerca del área de influencia (curva de ruido  $L_{DN}$  de 65 dBA de ruido aeronáutico), distribuidos uniformemente en los barrios y áreas afectadas por ruido ambiental, preferentemente en áreas residenciales o áreas críticas como hospitales, bibliotecas, sanatorios u hogares geriátricos.
- Revisión de rutas teóricas aéreas preestablecidas: análisis de los procedimientos de vuelo y corredores aéreos utilizados comúnmente para las trayectorias aéreas.
- Puntos de comparación al interior del aeropuerto: es primordial obtener puntos de referencia base para realizar consolidados históricos y comparaciones de los niveles de ruido (cercanías a las operaciones aéreas y en tierra).
- Representaciones de las molestias por ruido y quejas de la población vulnerable.

### Microlocalización

Los lugares propuestos garantizan la integridad física del personal encargado de instalación, operación y mantenimiento de la red de monitoreo del SVCA como también del equipo de monitoreo, el cual está protegido contra robo o alteración del sistema.

La comunicación del sistema de monitoreo se realiza a través de un módem 3G, que permite acceder a los niveles de presión sonora, descarga de datos, modificación de la configuración del equipo, etc. Por lo tanto, es necesario verificar en cada sitio que la señal 3G sea correcta y que no haya equipos eléctricos cerca que puedan generar ondas electromagnéticas que potencialmente afecten la correcta comunicación.

El monitoreo de ruido ambiental es registrado y almacenado de manera continua, ya que es de gran importancia garantizar el funcionamiento constante de la red de monitoreo. El mantenimiento preventivo generalmente se realiza durante el día, en toda la semana; sin embargo, en caso de falla repentina, los ingenieros y técnicos responsables de la operación acceden rápidamente a los sitios, incluso durante la noche y durante los fines de semana. Por lo tanto, se evaluó la ubicación de todas las estaciones dónde sea posible el acceso en cualquier momento, garantizando el funcionamiento continuo y correcto de las estaciones de vigilancia.

### **4.1.3 UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN MÓVIL DE MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL**

La localización del punto de monitoreo se puede apreciar en la siguiente Ilustración 4:






Ilustración 4. Ubicación de estación La Felicidad.  
Fuente: Google Earth

En la Ilustración 4 el indicador de color verde, indica la geolocalización para la instalación temporal de la estación de monitoreo de ruido ambiental. Cabe mencionar que el día viernes 22 de julio de 2022, el equipo técnico de la consultora K2 Ingeniería S.A.S, se dirigió al lugar indicado por la comunidad para la posible instalación de la estación de monitoreo de ruido ambiental. Allí, se logró inspeccionar la cubierta o techo de dos torres en específico, Torre 4 y Torre 2, donde se verifica que por causas de acceso y seguridad operacional dicha estructura sería la mejor opción de instalación. No obstante, por petición de la administración y comunidad del Conjunto Residencial El Refugio, se llegó al acuerdo de instalar la estación de monitoreo en la Torre 4, sustentando que es en dicho punto donde la percepción del ruido generado por la operación aérea es mayor.

A continuación, en la Tabla 2, se encuentra la ficha técnica de la estación instalada, en la cual se describen los datos principales, desde las coordenadas geográficas dadas por los equipos hasta una breve descripción del entorno de ubicación con respecto a fuentes sonoras en aproximación.

Tabla 2. Estaciones de monitoreo de ruido – SVCA

EMRI 5			
	Localidad	Fontibón, barrio La Felicidad.	
	Coordenadas	Latitud	Longitud
		4°39'22.00" N	74°7'40.70"O
	Dirección	Cra 77 #19-87	
	Tipo de estación	Móvil	
	Entorno	Estación localizada en el barrio la Felicidad perteneciente a la UPZ Granjas de Techo, sobre zona múltiple de la localidad de Fontibón a una distancia de 4.14 km del cono de aproximación de	

		<p>la cabecera 31L. Dicha estación se encuentra colindando con el conjunto residencial La Pradera, un terreno sin construir que abarca una cuadra y el Centro Comercial Multiplaza. Las principales fuentes de ruido identificadas son el tráfico de vehículos por la Avenida Boyacá ubicada al suroriente y la Avenida Centenario localizada al sur. Además, se observan actividades comerciales generadas por el comercio ambulante y las aglomeraciones ciudadanas focalizadas por el Centro Comercial Multiplaza. Finalmente, se encuentran algunas operaciones debido a las diferentes rutas de navegación establecidas y que generan sobrevuelos en la zona.</p>
---	--	--

Fuente: SVCA

16

#### 4.1.3.1 Fuentes de ruido detectadas

Teniendo en cuenta que la localización de la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido se instaló al interior del Conjunto Residencial El Refugio, se verificaron las fuentes de ruido principales que pueden aportar energía sonora a las mediciones realizadas diariamente. Dentro de esta inspección se verificó que, el predio tipificado con la dirección; carrera 77 # 19-87 se encuentra colindando con predios destinados para el desarrollo y en los cuales actualmente se están realizando obras de construcción, tales como: descapote de material vegetal, cimentación y levantamiento estructural de las edificaciones proyectadas en dichas zonas. Esto se puede corroborar en la Ilustración 5.

Sin embargo, también es preciso mencionar que la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido instalada en la azotea de la torre 4 del Conjunto Residencial El Refugio, se encuentra a una distancia inferior a 6 metros de sala de maquinas del elevador de dicha torre. Los motores que permiten el accionar del ascensor pueden llegar a influir en los niveles de ruido medidos, ya que cada vez que es accionado el elevador los motores inician su funcionamiento generando emisiones de ruido con posibles componentes tonales en varios momentos del día, en especial en las horas con mayor fluencia de personas dentro de la torre.



Ilustración 5. Obras de construcción colindantes al Conjunto Residencial El Refugio.  
Fuente: Elaboración propia.

No obstante, se identificaron las principales vías de tráfico rodado que aportan ruido debido al tránsito de vehículos pesados, livianos y motocicletas que circulan por las calzadas de las vías. Es por esto que se verifica que la Avenida Centenario o Calle 13, presenta un alto flujo vehicular principalmente en las horas pico del día, además el porcentaje de tráfico pesado es mayor en comparación a otras avenidas de la ciudad de Bogotá. Esta avenida se encuentra a una distancia aproximada de 327 metros, permitiendo inferir que es la avenida principal mas cercana al punto de monitoreo. Por otro lado, en dirección oriental, se encuentra la Avenida Boyacá a una distancia de 553 metros del lugar de estudio. Cabe mencionar que el flujo vehicular que circula sobre las calles secundarias tales como: calle 18ª, carrea 77 y calle 19ª presentan mayor flujo vehicular en las horas pico, debido al ingreso y salida de vehículos en los conjuntos colindantes al lugar de estudio.



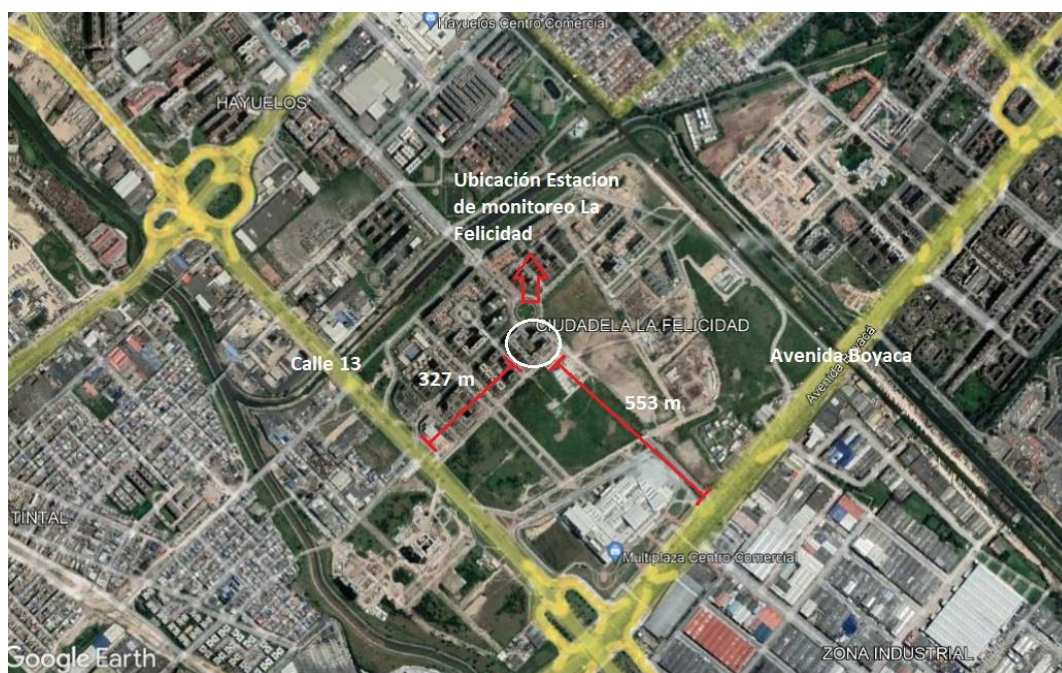


Ilustración 6. Avenidas principales en el predio de estudio.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4 COBERTURA DE ESTACIONES Y CARACTERÍSTICAS ADICIONALES

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 de:

Cobertura EMRI	Cobertura Total de estaciones	Área de Influencia
Radio de 750m	45.9 km <sup>2</sup>	22.00 Km <sup>2</sup> (2021)

La cobertura total de las estaciones que integran el SVCA y que permiten el registro de los niveles de ruido generados por la operación aérea del aeródromo, 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 para la red de monitoreo supera el área de influencia definido para el año 2021 en aproximadamente 23.9 Km<sup>2</sup>.

#### 4.1.5 NOVEDADES TÉCNICAS DEL MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL – LA FELICIDAD

Inicialmente, el planteamiento de la campaña medición para ruido ambiental se estableció para iniciar el lunes 25 de julio de 2022 con un periodo de duración de siete (7) días de medición. No obstante, durante la revisión de los datos se observó una falla en el sistema de almacenamiento de datos del sonómetro, ocasionada en la memoria SD por algún corto eléctrico o desgaste de la vida útil del componente electrónico. No obstante, se procedió a generar el cambio de la memoria de almacenamiento defectuosa por una memoria nueva, debido a que los datos almacenados no se guardaron de manera correcta. Razón por la

cual, el periodo de medición para la campaña de captura de datos cambió, obteniendo datos de ruido entre el jueves 4 de agosto de 2022 y el 20 de agosto de 2022, permitiendo así obtener un mayor periodo de medición del planteado inicialmente.

19

Durante los días de monitoreo, transcurridos desde el 4 de agosto de 2022, los equipos de monitoreo han registrado datos de presión sonora de manera continua para cada jornada de evaluación. Lo que permitió evaluar el 100% del total de días desde la fecha de instalación.

#### 4.1.6 VALIDEZ DE LA INFORMACIÓN

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<sup>4</sup> para mediciones según normativa 0627 del 2006 y normativa ISO 1996.

#### 4.2 OPERACIÓN DEL AEROPUERTO

El Aeropuerto Internacional El Dorado rige la operación de acuerdo a las restricciones ambientales por horario y operacionales, las cuales, establecen el tipo y dirección de operación (despegue o aterrizaje) en el horario sensible atribuible al descanso de la ciudadanía, así como la restricción operacional a aquellas aeronaves que generan niveles de ruido muy altos. Esta configuración operacional se describe de acuerdo con lo señalado en la Resolución 1728 del 4 de octubre de 2022 modificada mediante resolución 301 del 1 de abril de 2022 proferidas en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, las cuales modificaron el horario operacional establecido en la Resolución 1034 del 2015 modificada por Resolución 1567 de 2015 proferidas en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.

Actualmente El Aeropuerto Internacional El Dorado tiene aprobado mediante la Resolución 801 del 22 de abril de 2022 y que aprueba lo establecido en las Resoluciones 1728 de 2022 y 301 de 2022. Adicionalmente, es importante señalar que, para el mes de junio de 2022 sigue vigente lo establecido, la suspensión transitoria de restricciones de horario de tipo ambiental establecidas para las pistas del aeropuerto, dadas las indicaciones mediante el Artículo 12 del Decreto 569 de 2020 del Ministerio de Transporte; el cual dictamina qué:

*“Durante el término de la emergencia sanitaria declarada por el Ministerio de Salud y Protección Social, con ocasión de la pandemia derivada del Coronavirus COVID-19, o durante el término de cualquier emergencia sanitaria declarada por el Ministerio de Salud y Protección Social con ocasión de la pandemia derivada del Coronavirus COVID-19, suspéndase transitoriamente las restricciones de horario de*

<sup>4</sup> Resolución de acreditación determinada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

*tipo ambiental establecidas para la operación de pistas de los aeropuerto nacionales y/o internacionales en el territorio nacional”.*

20

Vale agregar, que las operaciones aéreas desarrolladas entre marzo de 2020 a junio de 2022 han sido relevantes para el manejo y contención de las adversidades causadas por la emergencia sanitaria, para apoyar a las poblaciones más vulnerables del país y acceder a mecanismos de inmunización. Ya que se ha podido garantizar el abastecimiento de alimentos, medicinas y productos de primera necesidad para todo el Territorio Nacional. Según la OMS, la pandemia del coronavirus COVID-19 es una emergencia sanitaria y social mundial, que requiere una acción efectiva e inmediata de los gobiernos, las personas y las empresas.

Por consiguiente, es de vital importancia la conexión con los diferentes aeródromos nacionales e internacionales, lo que permite el flujo del personal y abastecimientos esenciales como medicamentos, alimentos y alimentos de primera necesidad, para las diferentes regiones, especialmente las más alejadas del país. Actualmente, se mantienen las condiciones de emergencia sanitaria decretada por el Ministerio de Salud y Protección Social, acogida mediante la Resolución 385 del 12 de marzo de 2020, prorrogada mediante las Resoluciones 0844 del 2020, 1462 de 2020, 2230 del 2020, 0222 de 2021, 0738 de 2021, 1913 de 2021, 304 de 2022 y estando vigente hasta el 30 de junio de 2022 la Resolución 666 de 28 de abril de 2022.

#### 4.2.1 CONFIGURACIÓN DE LAS PISTAS

La terminal aérea de la ciudad de Bogotá D.C., dispone de dos pistas de vuelo paralelas separadas por una distancia de 1,400 m entre ellas, designadas como pista Norte (13L-31R) y pista Sur (13R-31L) las cuales tienen 3,800 m de longitud y 45 m de ancho como se observa en la Ilustración 7. Disponen de múltiples radio ayudas para la navegación y el aterrizaje de aeronaves. Las pistas 13L y 13R, cuentan con un sistema de aproximación y aterrizaje ILS CAT I y ILS CAT III respectivamente.

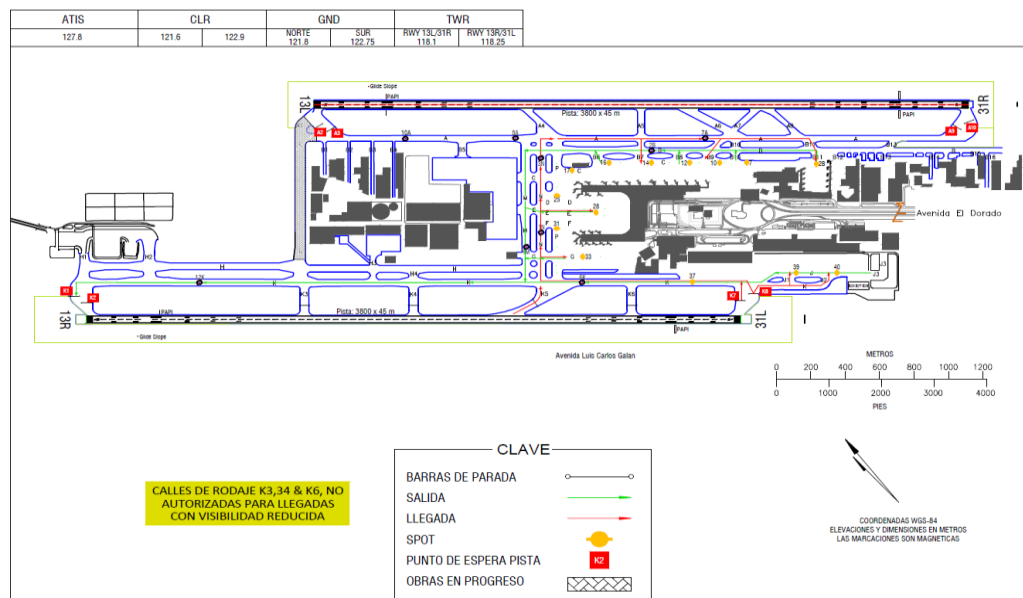




Ilustración 7. Plano Aeropuerto Internacional El Dorado SKBO.  
Fuente: AIP – SKBO.

A continuación, se presenta la configuración operacional de las pistas del Aeropuerto Internacional El Dorado:

#### 4.2.1.1 Pista 13L - 31R (Pista Norte)

La pista norte dispone de cinco salidas que se conectan con la pista de carreteo que discurre de forma paralela y de igual longitud que la pista RWY 13L/31R, y de la cual es aproximadamente colindante con la localidad de Engativá por su cercanía. La pista de carreteo tiene a su vez cuatro salidas que comunican a una segunda zona de carreteo que conduce a la plataforma de operaciones de aeronaves y/o zona de carga.

Actualmente las operaciones aéreas realizadas por el Aeropuerto Internacional El Dorado se encuentran bajo la nueva licencia ambiental aprobado mediante la Resolución 801 del 22 de abril de 2022 y que aprueba lo establecido en las Resoluciones 1728 de 2022 y 301 de 2022. Por la argumentación expuesta se indican los horarios y restricciones operacionales de las pistas del Aeropuerto Internacional El Dorado actualmente vigentes y para su conocimiento:

- 5:00 a.m. a 6:59 a.m. Operación en cualquier dirección. Las operaciones sobre y hacia la ciudad de Bogotá con restricciones por cuota de ruido  $QC \geq 4$
- 7:00 a.m. a 4:49 a.m. Se mantienen las condiciones establecidas en la Resolución 1034 de 2015, modificada por la Resolución 1567 de 2015.

Condiciones establecidas en la Resolución 1034 de 2015, modificada por la Resolución 1567 de 2015.

- 7:00 a.m. a 10:00 p.m., sin restricción alguna para la operación de todo tipo de aeronaves.
- 10:01 p.m. a 11:59 p.m., las operaciones podrán realizarse sobrevolando la ciudad.
- 12:00 p.m. a 4:59 a.m., no se podrá sobrevolar la ciudad de Bogotá
  - a) Decolajes 100% en sentido oriente – occidente sin sobrevolar la ciudad.
  - b) Aterrizajes 100% occidente - oriente.

#### Excepciones de operación

- Podrán operar en la pista 13L/31R del Aeropuerto, en cualquier horario, las aeronaves de todo tipo que tengan que utilizar dicho terminal, como aeropuerto alternativo por motivos meteorológicos, técnicos o de seguridad durante el periodo en que permanezcan dichas razones y que afecten la seguridad del vuelo. Así mismo, podrán operar en todo momento las aeronaves que operen en misiones de ayuda médica, desastres u otras clases de emergencia y vuelos especiales del Ministerio de Defensa. (subrayado fuera de texto original)

#### 4.2.1.2 Pista 13R - 31L (Pista sur)

La pista sur presenta seis comunicaciones con la pista de carreteo, que discurre en forma paralela a 240 m de esta. Las dos pistas se comunican a lo largo de la zona central por un área de 950 m de largo y 250 m de ancho.

Actualmente El Aeropuerto Internacional El Dorado tiene aprobado mediante la Resolución 801 del 22 de abril de 2022 y que aprueba lo establecido en las Resoluciones 1728 de 2022 y 301 de 2022. Por la argumentación expuesta se indican los horarios y restricciones operacionales de las pistas del Aeropuerto Internacional El Dorado actualmente vigentes y para su conocimiento:

- 5:00 a.m. a 6:59 a.m. Operación en cualquier dirección. Las operaciones sobre y hacia la ciudad de Bogotá con restricciones por cuota de ruido  $QC \geq 4$
- 7:00 a.m. a 4:49 a.m. Se mantienen las condiciones establecidas en la Resolución 1034 de 2015, modificada por la Resolución 1567 de 2015.

Condiciones establecidas en la Resolución 1034 de 2015, modificada por la Resolución 1567 de 2015.

- 7:00 a.m. a 10:00 p.m., sin restricción alguna para la operación de todo tipo de aeronaves.
- 10:01 p.m. a 11:59 p.m. Se permiten aterrizajes sin sobrevolar la ciudad, sentido occidente - oriente.
- 12:00 p.m. a 4:59 a.m. que opere bajo las siguientes condiciones:
  - a) las operaciones de descolaje se realizan en 100% sentido oriente - occidente, sin sobrevolar la ciudad.
  - b) Las operaciones de aterrizaje se realizan en un 100% en dirección occidente – oriente.

### Excepciones de operación

- Podrán operar en la pista 13R/31L del Aeropuerto, en cualquier horario, las aeronaves de todo tipo que tengan que utilizar dicho terminal, como aeropuerto alterno por motivos meteorológicos, técnicos o de seguridad durante el periodo en que permanezcan dichas razones y que afecten la seguridad del vuelo. Así mismo, podrán operar en todo momento las aeronaves que operen en misiones de ayuda médica, desastres u otras clases de emergencia y vuelos especiales del Ministerio de Defensa. (subrayado fuera de texto original)

#### 4.2.1.3 Cuota de ruido (QC)

Para el Aeropuerto Internacional el Dorado el sistema cuota de ruido se define y propone como un método restrictivo de operación por el impacto de ruido que producen las aeronaves en sus condiciones operativas, de ingeniería de diseño y de fabricación. Lo anterior definido para las franjas horarias sensibles en la población aledaña al Aeropuerto Internacional El Dorado definidas en el proyecto de modificación de licencia ambiental. Este sistema consiste en la definición de una variable, “Cuota de Ruido (Quota Count - QC)”, a partir de los niveles de ruidos emitidos para cada aeronave.

Para definir el valor de cuota de ruido de cada aeronave o modelo de aeronave, se tomaron los datos de los niveles de ruido efectivo percibido y certificado (EPNdB), donde, dependiendo del procedimiento de aterrizaje o despegue varían. Los niveles de ruido EPNdB son tomados de los certificados de ruido de las aeronaves. Cada aeronave que opere en el país debe contar con un certificado de ruido según el RAC 4 “NORMAS DE AERONAVEGABILIDAD Y OPERACIÓN DE AERONAVES”, de acuerdo con los numerales 4.2.6.7 y 4.18.10. PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES DE AERONAVES PARA LA ATENUACIÓN DEL RUIDO, entre otras normas del reglamento Aeronáutico de Colombia. Dichos certificados son realizados de acuerdo con la metodología y parámetros establecidos por Anexo 16 – “Protección al medio ambiente”, Volumen I – “Ruido de las aeronaves” de la Organización de Aviación Civil Internacional – OACI. En la siguiente tabla se muestra los valores de clasificación del sistema cuota de ruido.

Tabla 1. Valores aplicables para el Sistema de Cuota de Ruido (QC) – Aeropuerto Internacional El Dorado.

Clasificación de los niveles de Ruido (EPNL)	Cuota de conteo.
Menos de 84 dB EPNL	Exentó de conteo
84 – 86.9 dB EPNL	0.25
87 – 89.9 dB EPNL	0.5
90 – 92.9 dB EPNL	1
93 – 95.9 dB EPNL	2
96 – 98.9 dB EPNL	4
99 – 101.9 dB EPNL	8
Mayor a 101.9 dB EPNL	16

Fuente: Aerocivil.

La Unidad Administrativa Especial de Aviación Civil determinó mediante los antecedentes del sistema de cuota de ruido, la operación de aeropuertos con sistema cuota de ruido y la clasificación de aeronaves por sistema cuota de ruido mediante los certificados de ruido y bases de datos del Anexo A establecido en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), restringir la operación de aeronaves que debido a sus niveles EPNdB son cuota de ruido 4 o superior. Dicha restricción en la configuración operacional propuesta y en las franjas horarias de mayor sensibilidad. La Tabla 2 muestra las aeronaves que, mediante los certificados de ruido, son cuota de ruido 4 o superior.

Tabla 2. Modelos de aeronaves con cuota de ruido 4 o superior.

Modelo de Aeronave	Cuota de Ruido
Boeing B727-2XX	4
Boeing B747-4XX	4
McDonnell Douglas MD 11X	4

Fuente: Aerocivil.

El sistema cuota de ruido no solo busca restringir las aeronaves que actualmente operan en el aeropuerto Internacional El Dorado, sino también aquellas aeronaves que en un futuro lleguen a realizar sus operaciones en el aeródromo.

#### 4.2.1.4 Resultados operaciones del periodo de medición

Teniendo en cuenta el horario operacional descrito, entre los días de medición de la estación móvil de monitoreo de ruido ubicada en el conjunto residencial El Refugio del barrio la Felicidad, el promedio de operaciones aérea entre despegues y aterrizajes realizadas en el Aeropuerto Internacional el Dorado fue de 872. En la Ilustración 8 se muestran la cantidad de operaciones realizadas del 4 al 20 de agosto de 2022.

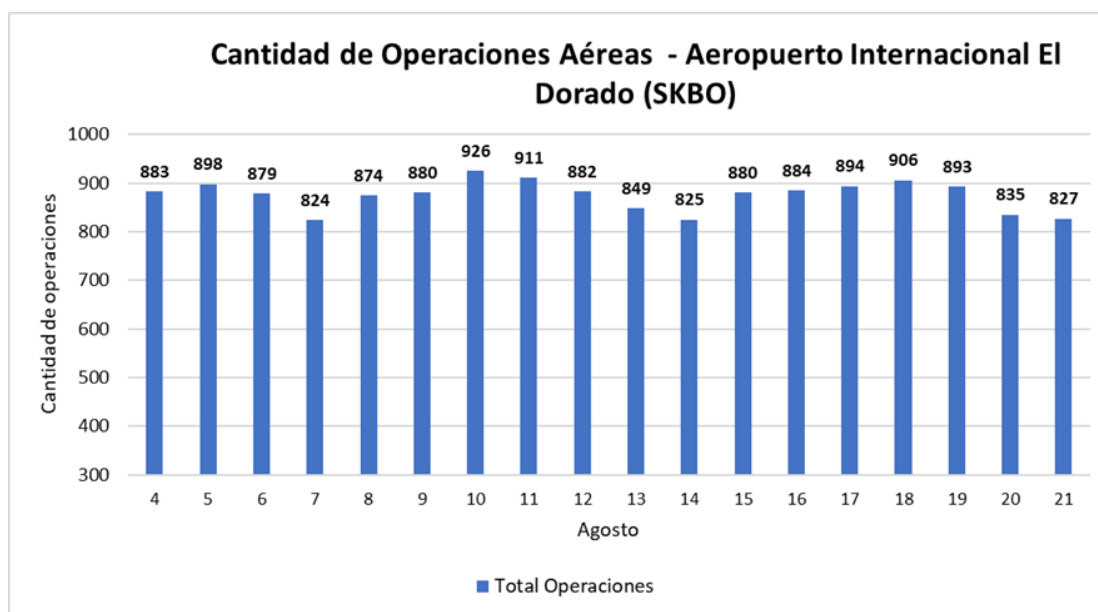


Ilustración 8. Cantidad de operaciones aéreas – SKBO  
Fuente: SVCA

Los procedimientos aéreos realizados sobre el sector están sujetos al cumplimiento de lo establecido en las cartas de navegación aérea para el espacio aéreo del Aeropuerto, tal como lo establece y administra la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea. Las rutas de salida y aproximación aeronaves para el aeropuerto son diseñadas de acuerdo a los estándares internacionales de la Organización de Aviación Civil Internacional – OACI y las normativas nacionales expuestas en los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia - RAC. Estas rutas son diseñadas bajo los Documentos 9829<sup>5</sup>, 8168<sup>6</sup>, 9931<sup>7</sup>, 9993<sup>8</sup>, 9992<sup>9</sup>, 9888<sup>10</sup>, 10031<sup>11</sup> de la OACI y los RAC 14, 90, 204 y 211.

Dicho lo anterior las rutas aéreas que sobrevuelan el barrio la Felicidad corresponde en más de un 90% a operaciones aéreas de despegues realizadas por la pista sur 13R/31L en

<sup>5</sup> Orientación sobre el enfoque equilibrado de la gestión de ruido de las aeronaves.

<sup>6</sup> Procedimientos para los servicios de navegación aérea - Operaciones de aeronaves (PANS-OPS).

<sup>7</sup> Manual de operaciones de descenso continuo (CDO).

<sup>8</sup> Manual de operaciones de ascenso continuo (CCO).

<sup>9</sup> Manual sobre el uso de la Navegación Basada en el Rendimiento (PBN) en el diseño del espacio aéreo.

<sup>10</sup> Revisión de los proyectos de investigación, desarrollo y ejecución de la reducción de ruido.

<sup>11</sup> Orientación sobre la evaluación de los cambios operacionales propuestos en la gestión de tránsito aéreo.

configuración Oriente. Las operaciones aéreas que sobrevuelan el sector entre las 10:00 PM y 11:59 PM, son operaciones de despegue realizadas por la pista norte 13L/31R, ya que toda la operación aérea se recarga a esta pista debido a las restricciones horarias y operativas descritas al inicio del capítulo.

25



Ilustración 9. Proyección de instalación para estación EMRI.  
Fuente: Google Earth.

La pista que mayor cantidad de operaciones aéreas realizó sobre la ciudad de Bogotá D.C fue la pista norte con un promedio aproximado de 213 operaciones, mientras que para la pista sur fueron aproximadamente 201 operaciones. En la Ilustración 10 se muestran la cantidad de operaciones aéreas sobre la ciudad realizadas del 4 al 20 de agosto de 2022 por cada pista.

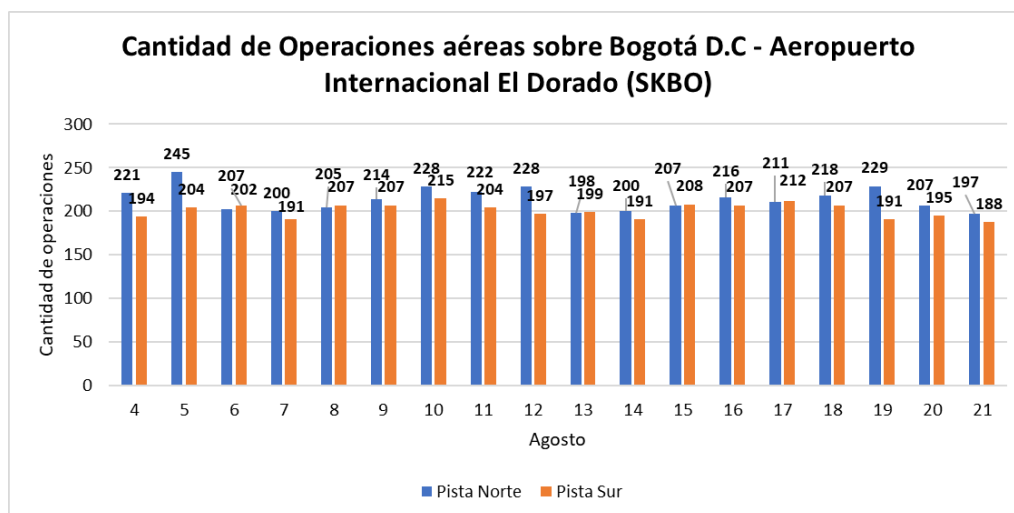


Ilustración 10. Cantidad de operaciones aéreas sobre Bogotá D.C – SKBO  
Fuente: SVCA



Es importante mencionar que el Aeropuerto Internacional El Dorado realiza cambios en la configuración operacional de pista entre las 6:00 y 18:00 horas, de configuración oriente a configuración occidente, debido a condiciones meteorológicas específicamente por la dirección y velocidad del viento. Los cambios de configuración de pista duraran de 2 a 6 horas. Dado lo anterior durante entre el periodo de medición de la estación, los días 5, 12, 16 y 18 de agosto, se realizaron operaciones de aproximación y aterrizaje sobre la ciudad de Bogotá D.C, por lo que acuerdo con las rutas y conos de aproximación establecidas para estos procedimientos. No se sobrevoló el sector de la felicidad.

#### 4.2.2 TIEMPOS DE MEDICIÓN Y PARÁMETROS ACÚSTICOS DE ANÁLISIS

Como se mencionó anteriormente, la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido Ambiental, realiza monitoreo continuo 24 horas al día. 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 (ANLA):

##### Nivel corregido de presión sonora continuo equivalente ponderado A ( $L_{RAeq}$ ):

Son los niveles de presión sonora continuos equivalentes corregidos por impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas, horarios, tipos de fuentes y receptores. Los niveles corregidos de presión sonora continua equivalentes ponderados en A,  $L_{RAeq}$ , son los que se comparan con los estándares máximos permisibles de ruido ambiental descritos en la resolución 627 del 2006 y se calculan según:

$$L_{RA(x),T} = L_{A(x),T} + (K_I, K_T, K_R, K_S)$$

Donde,

$L_{A(x),T}$ : es el nivel de presión sonora continuo equivalente

$K_I$ : es un ajuste realizado por impulsos, expresado en dBA

$K_T$ : es un ajuste realizado por tono y contenido de la información, expresado en dBA

$K_R$ : es un ajuste realizado por hora del día, expresado en dBA

$K_S$ : es un ajuste realizado para cierta clasificación de fuentes y situaciones, por ejemplo, para bajas frecuencias, este factor es expresado en dBA

Se debe tener en cuenta que las correcciones  $K_R$  y  $K_S$ , aunque están definidas en la normativa, no se aplican para este estudio en específico. Esto se debe a que el análisis realizado se presenta en niveles  $L_D$  y  $L_N$ , y se calcula con mediciones continuas de ruido. De igual forma, la corrección por clasificación de fuentes no se pone en práctica ya que los componentes espectrales del ruido aeronáutico no son únicamente en baja frecuencia. Por lo tanto, se aplica la corrección de tipo tonal, garantizando una evaluación asertiva de las componentes en frecuencia más relevantes.

##### Nivel sonoro para jornada completa ( $L_{DN}$ ):

Indicador ponderado de  $L_D$  y  $L_N$ . Se calcula de acuerdo a la ISO 1996, es decir de la siguiente manera:

$$- L_{DN} = 10 \times \log_{10} \left( \frac{1}{24} \times \left( 14 \times 10^{\left(\frac{L_D}{10}\right)} + 10 \times 10^{\left(\frac{L_N+10}{10}\right)} \right) \right)$$

Donde,

$L_D$  [dBA]: Nivel equivalente para el periodo diurno, sin ajustes por tonos e impulsos.



$L_N$  [dBA]: Nivel equivalente para el periodo nocturno, sin ajustes por tonos e impulsos.

27

### 4.3 NORMATIVIDAD Y LEGISLACIÓN VIGENTE DE RUIDO

#### 4.3.1 RESOLUCIÓN 627 DE 2006 - MAVDT

Esta resolución establece la norma nacional de ruido ambiental y emisión de ruido; en el Artículo 2 de dicha normativa se define el horario diurno y nocturno tal como se muestra en la siguiente Tabla 3:

Tabla 3. Horarios establecidos por la Resolución 627 de 2006.

Tipo de horario	Hora de inicio	Hora final
Diurno	7:01 h	21:00 h
Nocturno	21:01 h	7:00 h

Fuente: Resolución Nacional 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

De igual forma, en el Artículo 17 la Resolución 627 se define los estándares máximos permisibles para ruido ambiental, tal como se presentan en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4. Estándares máximos permisibles de ruido ambiental.

SECTOR	SUBSECTOR	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
<b>Sector A. Tranquilidad y Silencio</b>	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
<b>Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado</b>	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
<b>Sector C. Ruido Intermedio Restringido</b>	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, que perestaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	50
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
<b>Sector D. Zona Suburbana o Rural de</b>	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		

SECTOR	SUBSECTOR	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: Resolución Nacional 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Como se evidencia en la Tabla 4, la Resolución 0627 de 2006 – MAVDT hoy MinAmbiente, establece normas de acuerdo a una clasificación de sectores y subsectores que deben verificarse con los usos del suelo establecidos por los planes de ordenamiento para cada área donde se realice el monitoreo de ruido.

Para el caso puntual de la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido Ambiental, se encuentra ubicada en una zona múltiple, caracterizada por el Decreto 622 de 2006<sup>12</sup> como un área de actividad destinada como área urbana integral en modalidad de desarrollo. Razón por la cual, se analizarán los resultados obtenidos teniendo en cuenta el uso de suelo más restrictivo. Razón por la cual, esta área es clasificada dentro de un Sector B, subsector I, con niveles de estándar máximo de 50.0 LRAeq (dBA) para la jornada nocturna y 65.0 LRAeq (dBA) para la jornada diurna.

#### 4.3.2 NORMATIVA INTERNACIONAL UNE ISO 1996: Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental

La metodología para realizar el cálculo de ruido aeronáutico se fundamenta en la norma internacional UNE ISO 1996, “Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental”, la cual se divide en dos partes:

- Parte 1: “*Cantidades básicas y evaluación de procedimientos*”. Se detallan las magnitudes básicas y métodos de evaluación del ruido en el medio ambiente
- Parte 2: “*Determinación de los niveles de presión sonora*”. Se centra en los métodos para determinar los niveles de presión sonora para diferentes tipos de fuentes y la definición de la incertidumbre asociada a la medida. La UNE ISO 1996 – 1:2016 y UNE ISO 1996 – 2:2017 tienen por fundamento la respuesta potencial a la molestia que se causa a partir del ruido y por ello definen términos correctores para ajustar, penalizar y corregir ruidos con características determinadas y que ocasionan una molestia específica. Partiendo de ellos, incorporan el término de “Nivel de evaluación”, sobre el cual se comparan los estándares máximos permisibles a partir de lo cual se determina que el cumplimiento no se realiza por medio de la medición neta, sino con el nivel obtenido a partir de ella más los correctores añadidos para estimar la molestia.

<sup>12</sup> Alcaldía Mayode Bogota D.C. Decreto 622 de 2006. Por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) N° 112, GRANJAS DE TECHO, ubicada en la localidad de FONTIBÓN.

## 5 ANÁLISIS DE RUIDO AMBIENTAL

En este apartado se presentan los niveles mensuales de presión sonora corregidos equivalentes para los horarios diurno y nocturno (LD y LN). Así mismo, se ilustran los resultados de ruido ambiental medidos por jornadas de acuerdo a los horarios establecidos en la Resolución Nacional 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en comparación con el nivel estándar permisible para cada sector. Teniendo en cuenta que el Decreto 555 de 2021 en el Artículo 597 provee que los planes de ordenamiento establecidos antes de la fecha del nuevo Plan de Ordenamiento Territorial (POT) continuara ejerciendo todos los efectos jurídicos ya adquiridos.

### 5.1 NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL BARRIO LA FELICIDAD, FONTIBÓN.

Respecto a los niveles medidos para ruido ambiental, es preciso mencionar que estos son analizados teniendo en cuenta las recomendaciones descritas en la Resolución 0627 de 2006. Razón por la cual, en el Artículo 14. *Aplicabilidad del ruido ambiental* de dicha resolución, se contempla que los resultados obtenidos en las mediciones son utilizados, posterior al procesamiento y cálculos de los descriptores acústicos, para realizar el diagnóstico del ambiente por ruido. Este diagnóstico se realiza teniendo en cuenta los niveles corregidos de presión sonora continuo equivalente ponderados A, el sector y subsector donde se encuentra ubicado el punto de monitoreo y la respectiva incertidumbre de la medición.

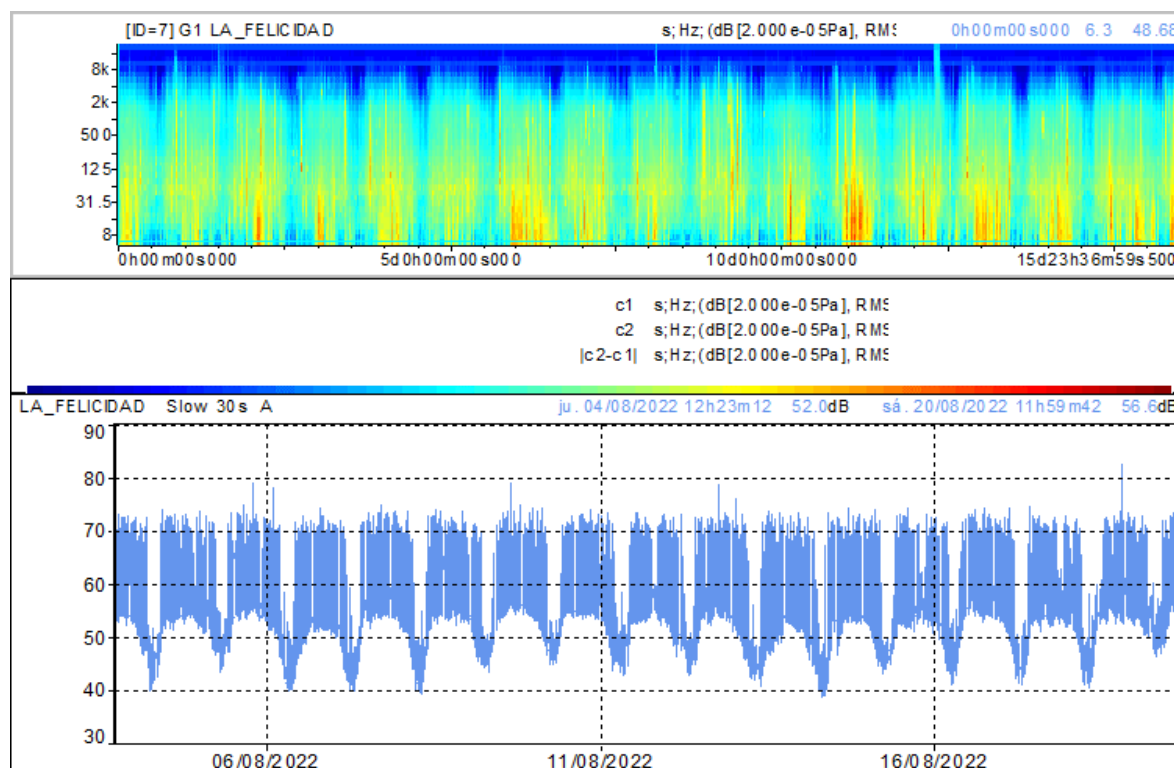


Ilustración 11. Espectrograma de medición de ruido ambiental, La Felicidad.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 11 se puede evidenciar la evolución temporal y frecuencial de la campaña de medición de ruido ambiental, de la cual se puede inferir que durante el transcurso de la medición no se detectaron interrupciones o fallas dentro de la medición, lo cual corrobora la trazabilidad de la captura de datos.

30

### 5.1.1 Clasificación uso del suelo en punto de monitoreo

La clasificación del uso del suelo en la ciudad de Bogotá es realizada por la Secretaría Distrital de Planeación, razón por la cual desde el componente Web del SINUPOT y a partir de la dirección del predio donde se ubicó la estación, la cual es; carrera 77 # 19-87, se establece que el Conjunto Residencial El Refugio hace parte del segundo sector de la UPZ Granjas de Techo. Contemplándolo a su vez como un Área Urbana Integral<sup>13</sup> en una zona múltiple con tratamiento en Desarrollo<sup>14</sup>. Esta información se puede corroborar en el Anexo Digital 1. Ficha Reglamentaria UPZ 112.

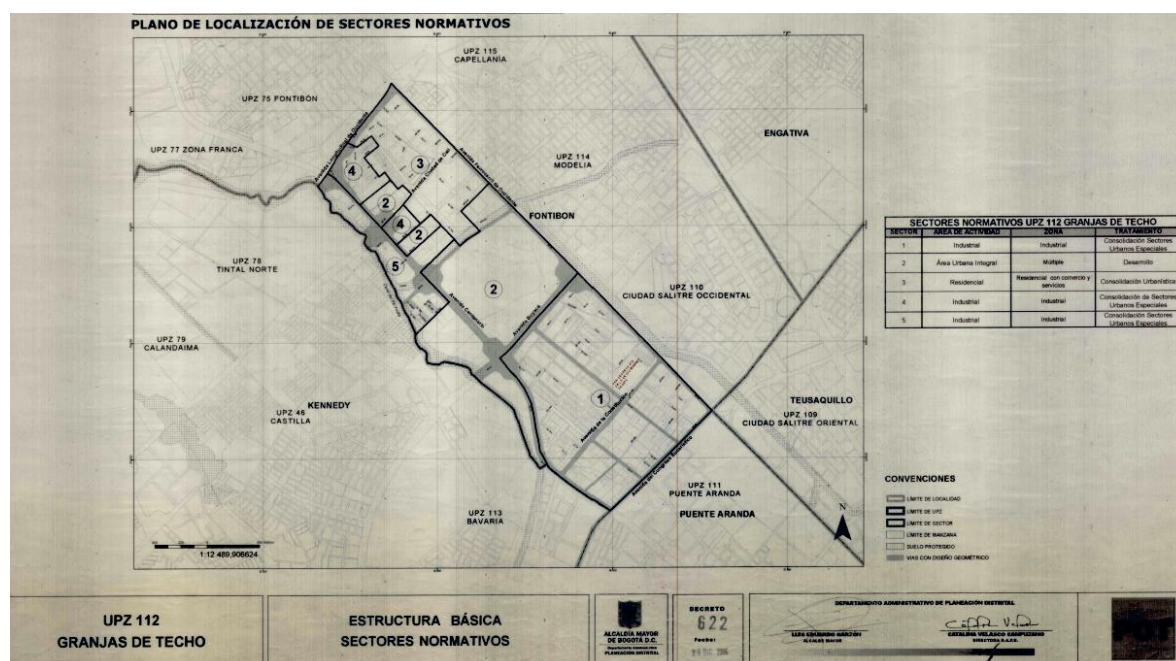


Ilustración 12. Plano de localización de Sectores Normativos UPZ 112.

Fuente: Secretaría Distrital de Planeación.

Esta clasificación esta reglamentada por medio del Decreto N° 622 del 29 de diciembre de 2006. Por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal UPZ N° 112, Granjas de Techo, ubicada en la localidad de Fontibón. Cabe mencionar que dentro de las políticas generales especificadas en el Artículo 1, numeral A, se establece que:

<sup>13</sup> Área Urbana Integral. Es la que señala un determinado suelo urbano y/o de expansión para proyectos urbanísticos que combinen armónicamente zonas de vivienda, zonas de comercio y servicios, zonas de industria y zonas dotacionales, en concordancia con la estrategia de ordenamiento territorial prevista para las diferentes zonas y centralidades. <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/2areas.html>

<sup>14</sup> Desarrollo. El tratamiento de desarrollo es aquel que orienta y regula la urbanización de los terrenos o conjunto de terrenos urbanizables no urbanizados. <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/2tratamiento.html>

*“Las políticas adoptadas en el presente Decreto buscan consolidar las actividades residenciales predominantes en el costado occidental y las industriales y comerciales del sector oriental, de forma tal que el desarrollo urbanístico de la parte central permita la integración y complementación de ambos sectores. Así mismo, estas políticas buscan contribuir al desarrollo del Anillo de Innovación a lo largo de la Avenida Centenario (Calle 13) para propiciar el mejoramiento de las condiciones de habilidad de la población” (Pagina 3, Capítulo I, Decreto 622 de 2006)*

De la misma forma, se especifica en el Artículo 4 del Capítulo II, los sectores normativos de la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) N° 112, Granjas de Techo. Catalogando el área de actividad, zona, tratamiento y norma específica para cada sector de la dicha UPZ. No obstante, esta entidad toma como criterio de selección, para el análisis de los niveles de ruido ambiental en el predio de estudio, el uso del suelo de carácter residencial, Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado, subsector I, especificado en la Resolución 0627 de 2006.<sup>15</sup>

### 5.1.2 Análisis de niveles de ruido ambiental jornada diurna

En la siguiente Ilustración 13, se observa la distribución de los niveles corregidos y ponderados diarios de ruido ambiental medidos por la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido, estos se muestran organizados por rangos de niveles, de tal forma que se comprender por medio de los rangos de niveles de ruido las magnitudes que tiene mayor frecuencia a lo largo de cada día de evaluación.

Tabla 5. Niveles mensuales de ruido ambiental – La Felicidad

Días	LRAeq, Diurno (dBA)	LRAeq, Nocturno (dBA)
Jue 04/08/2022	60.3	58.5
Vie 05/08/2022	60.6	60.0
Sáb 06/08/2022	60.8	65.9
Dom 07/08/2022	63.0	61.6
Lun 08/08/2022	61.1	58.0
Mar 09/08/2022	60.9	59.0
Mié 10/08/2022	61.6	62.0
Jue 11/08/2022	61.2	59.1
Vie 12/08/2022	60.7	59.1
Sáb 13/08/2022	61.8	61.8
Dom 14/08/2022	59.6	58.3
Lun 15/08/2022	60.3	61.8
Mar 16/08/2022	59.9	61.0
Mié 17/08/2022	61.5	61.7
Jue 18/08/2022	60.2	59.0
Vie 19/08/2022	61.1	59.3
Sáb 20/08/2022	61.6	55.0

Fuente: SVAC

<sup>15</sup> RESOLUCIÓN 0627 DEL 7 DE ABRIL DE 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.



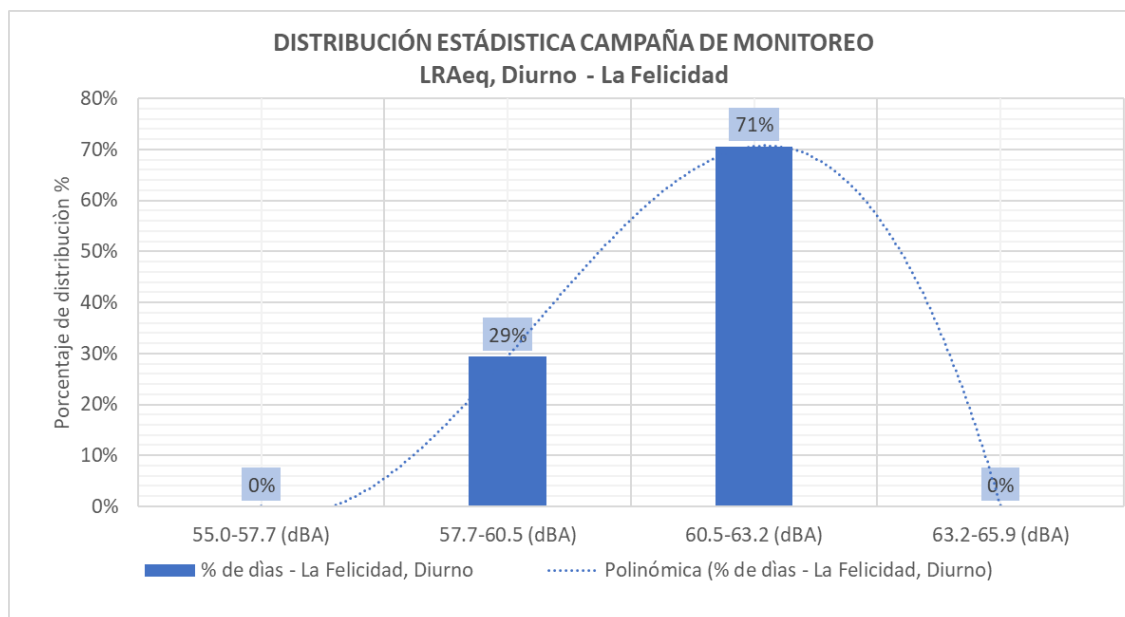


Ilustración 13. Distribución de niveles de ruido diarios diurnos – La Felicidad  
Fuente: SVCA

Tal como se puede observar en la ilustración anterior que, durante los diecisiete (17) días se registró la distribución con mayor frecuencia de niveles de ruido con un porcentaje de 71% de días con niveles corregidos y ponderados entre 60.5  $L_D$  (dBA) y 63.2  $L_D$  (dBA). No obstante, los días 4, 14, 15, 16 y 18 de agosto se registró la distribución de datos con menor frecuencia, siendo menor al 5% y presentándose en el rango de niveles entre 57.7  $L_D$  (dBA) y 60.5  $L_D$  (dBA). Esto permite inferir que, las distribuciones de datos que registraron los mayores porcentajes de frecuencia durante el periodo de evaluación se presentaron en los rangos entre 60.5  $L_D$  (dBA) y 63.2  $L_D$  (dBA). Este rango coincide con el nivel de presión sonora equivalente para el total de días monitoreados, el cual fue para la jornada diurna de 61.0  $L_{D,total}$  (dBA).

#### 5.1.2.1 Ruido residual jornada diurna (Percentil 90)

El descriptor acústico de ruido residual o ruido de fondo permite expresar el nivel de ruido medido en el momento que las emisiones sonoras de las fuentes sonoras específicas no es audible, tal como se describe en el Anexo 1 de la Resolución 0627 de 2006.<sup>16</sup> Además, en esta misma resolución se especifica en el parágrafo 1 del Artículo 8 que, “En caso de no poderse evaluar el ruido residual, se toma el nivel percentil  $L_{90}$  corregido y se utiliza a cambio del valor del ruido residual corregido.”<sup>17</sup> Es por esto que, para la campaña de monitoreo de ruido ambiental realizada en el lugar de estudio, y la imposibilidad de la suspensión de las fuentes sonoras específicas que emiten ruido en los alrededores del punto de monitoreo, se opta por evaluar el percentil  $L_{90}$  como parámetro de evaluación del ruido de fondo para cada jornada de medición.

<sup>16</sup> RESOLUCIÓN 0627 DEL 7 DE ABRIL DE 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Anexo 1. DEFINICIONES.

<sup>17</sup> RESOLUCIÓN 0627 DEL 7 DE ABRIL DE 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Artículo 8, parágrafo 1.



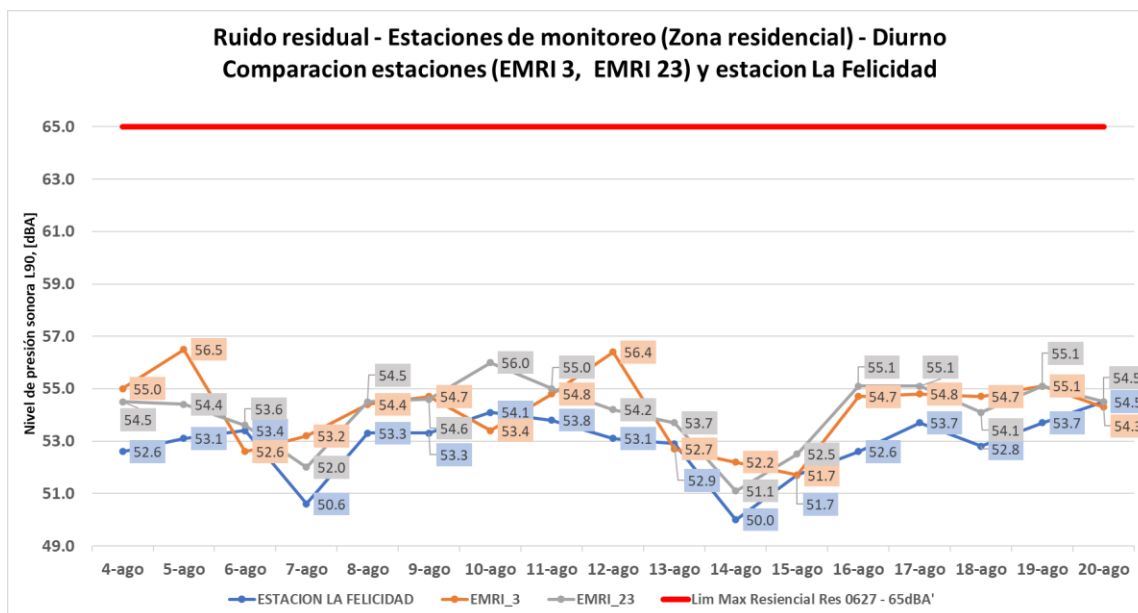


Ilustración 14. Ruido residual diurno (La Felicidad, EMRI 3 y EMRI 23)  
Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede observar en la Ilustración 14 el ruido de fondo medido en la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido y las estaciones EMRI 3 y 23 ubicadas en cercanías a la cabecera 13L del Aeropuerto Internacional El Dorado permite indicar que durante el 90% del tiempo de medición los niveles de ruido están por debajo del estándar máximo permisible que establece la Resolución 0627 de 2006. No obstante, a que las estaciones EMRI 3 y 23 se encuentran localizadas a 1.7 Km de distancia de la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido ubicada en el barrio La Felicidad, la magnitud de los niveles de ruido de fondo son muy cercanos, obteniéndose niveles entre 50.0  $L_{90}$  (dBA) y 56.5  $L_{90}$  (dBA). De lo cual se permite inferir que, las fuentes de ruido que emiten presión sonora en los puntos de monitoreo, durante el 90% del tiempo de medición, son similares en magnitud y temporalidad.

### 5.1.3 Análisis de niveles de ruido ambiental jornada nocturna

En la Ilustración 16, se presentó una situación similar a la mencionada en jornada diurna, debido a que en la totalidad de los días supera el máximo permisible de 55.0 dBA para la jornada nocturna establecido por la Resolución 627 del 2006, identificando que esta zona de la UPZ N° 112. Granjas de Techo, presentó para el total de días monitoreados un 41.1% de componentes tonales, tal como se puede observar en la siguiente ilustración.

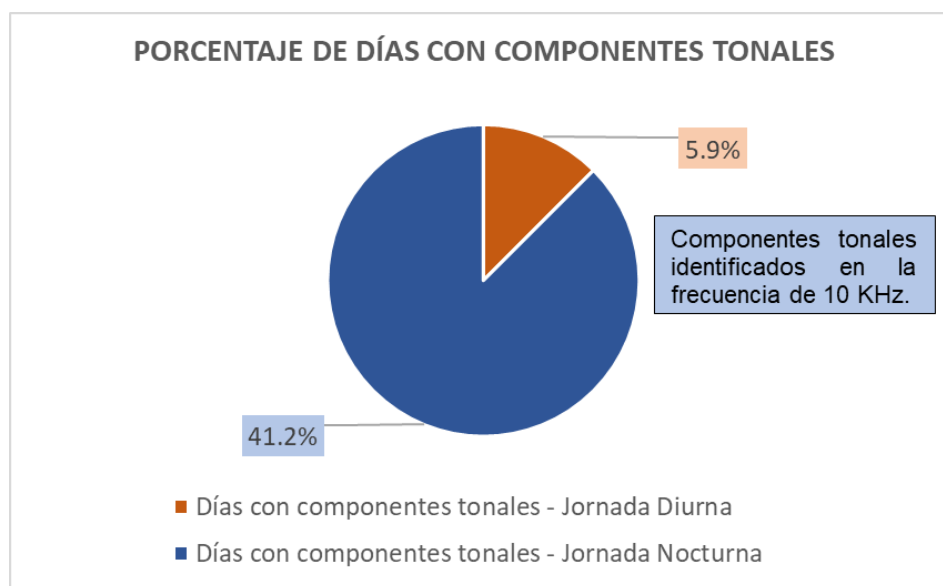


Ilustración 15. Porcentaje de días con componentes tonales.  
Fuente: Elaboración propia.

Igualmente se observa la distribución de los niveles corregidos y ponderados diarios de ruido ambiental medidos por la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido, estos se muestran organizados por rangos de niveles, de tal forma que se comprenda por medio de cada agrupación de niveles de ruido las magnitudes que tiene mayor frecuencia a lo largo de cada mes de evaluación.

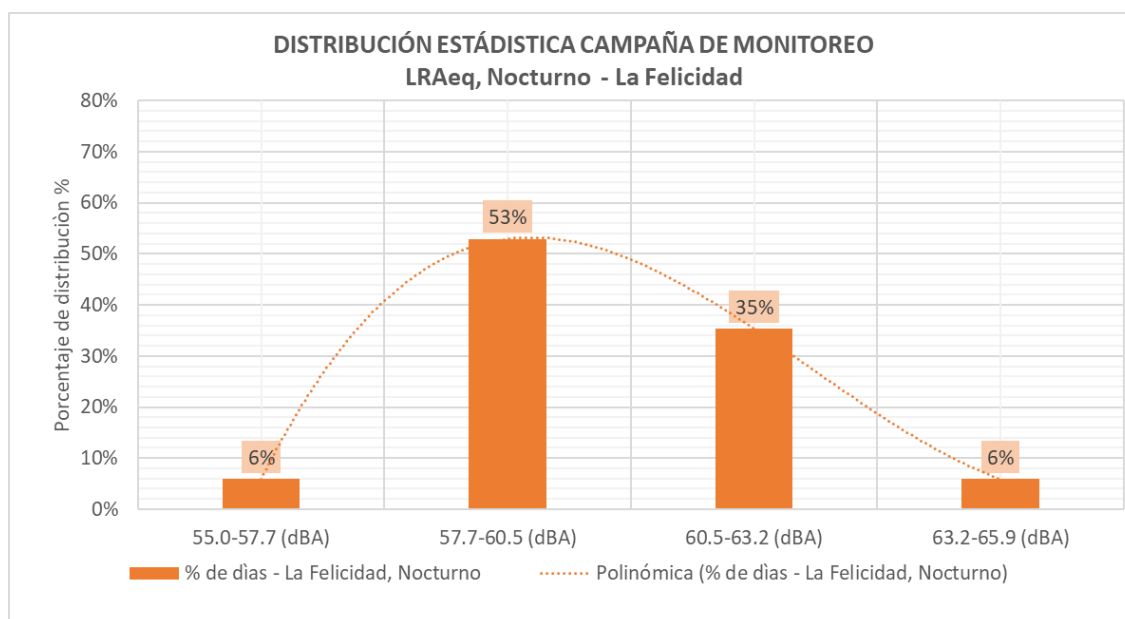


Ilustración 16. Distribución de niveles de ruido diarios nocturnos – La Felicidad  
Fuente: SVCA

De igual forma se puede observar en la ilustración anterior que durante los diecisiete (17) días se registró la distribución con mayor frecuencia de niveles de ruido con un porcentaje de 53.0% de días con niveles corregidos y ponderados entre 57.7  $L_N$  (dBA) y 60.5  $L_N$  (dBA).

No obstante, los días 5, 7, 10, 13, 15 y 17 de agosto se registró la distribución de datos con menor frecuencia, siendo menor al 35% y presentándose en el rango de niveles entre 60.5  $L_N$  (dBA) y 63.2  $L_N$  (dBA). No obstante, se registraron dos valores atípicos registrados para los días sábado del 6 y 20 de agosto, con niveles nocturnos de 65.9  $L_N$  y 55.0  $L_N$ , lo cual corresponde al 6% del total de las jornadas monitoreadas. Esto permite inferir que, las distribuciones de datos que registraron los mayores porcentajes de frecuencia durante el periodo de evaluación se presentaron en los rangos entre 57.7  $L_N$  (dBA) y 60.5  $L_N$  (dBA). Este rango coincide con el nivel de presión sonora equivalente para el total de jornadas nocturnas monitoreadas, el cual fue para la jornada nocturna de 60.7  $L_{N,total}$  (dBA).

### 5.1.3.1 Ruido residual jornada nocturna (Percentil 90)

El descriptor acústico de ruido residual o ruido de fondo permite expresar el nivel de ruido medido en el momento que las emisiones sonoras de las fuentes sonoras específicas no es audible, tal como se describe en el Anexo 1 de la Resolución 0627 de 2006. Es por esto que, para la campaña de monitoreo de ruido ambiental realizada en el lugar de estudio, y la imposibilidad de la suspensión de las fuentes sonoras específicas que emiten ruido en los alrededores del punto de monitoreo, se opta por evaluar el percentil  $L_{90}$  como parámetro de evaluación del ruido de fondo para cada jornada de medición.

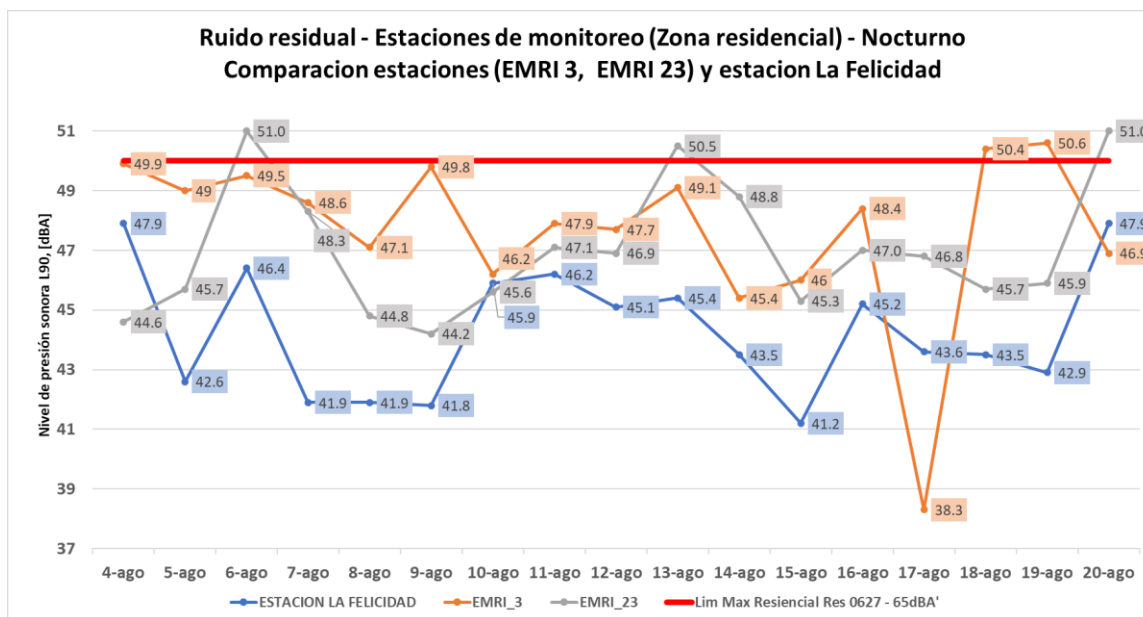


Ilustración 17. Ruido residual diurno (La Felicidad, EMRI 3 y EMRI 23)  
Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede observar en la Ilustración 17 el ruido de fondo medido en la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido y las estaciones EMRI 3 y 23 ubicadas en cercanías a la cabecera 13L del Aeropuerto Internacional El Dorado permite indicar que durante el 90% del tiempo de medición la mayoría de niveles de ruido están por debajo del estándar máximo permisible que establece la Resolución 0627 de 2006, para la jornada nocturna. No obstante, a que las estaciones EMRI 3 y 23 se encuentran localizadas a 1.7 Km de distancia de la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido ubicada en el barrio La Felicidad, la magnitud de los niveles de ruido de fondo presentan variaciones que no son significativas, obteniéndose niveles entre 41.2  $L_{90}$  (dBA) y 51.0  $L_{90}$  (dBA). De lo cual se permite inferir que,

la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido presento los niveles de ruido de fondo más bajos en comparación a los registrados en las estaciones EMRI 3 y 23 siendo las más cercanas al cono de aproximación de la pista sur (31L).

36

#### 5.1.4 Análisis de niveles promediados día-noche (LDN)

En la Ilustración 18, se presentan el histograma que describen el comportamiento de los niveles LDN de la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido ubicada en el Conjunto Residencial El Refugio, donde a partir de esta información se encuentra lo siguiente:

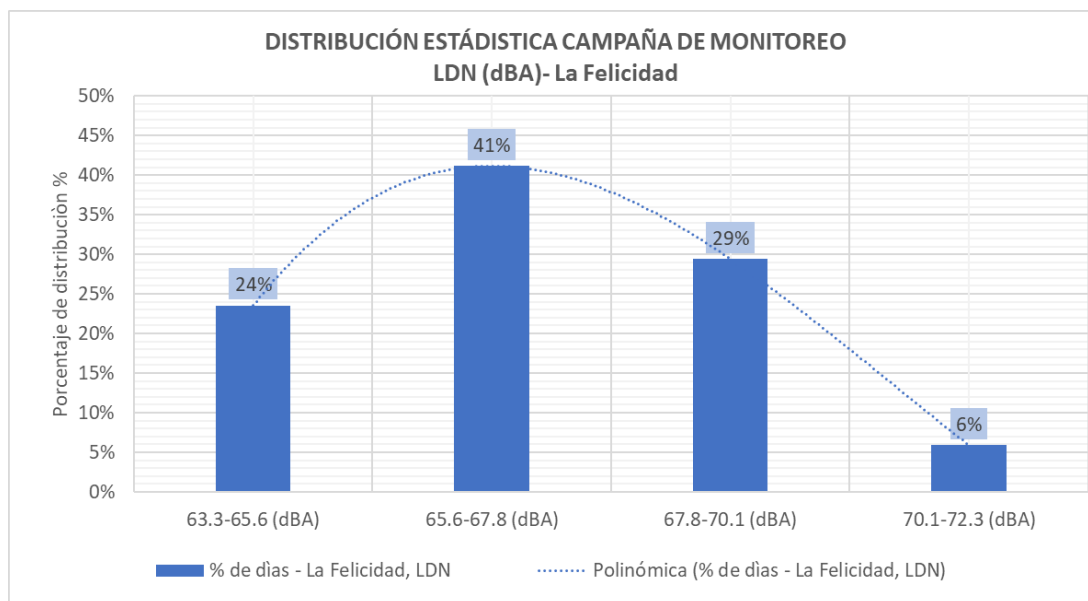


Ilustración 18. Distribución de niveles de ruido  $L_{DN}$  diarios – La Felicidad.  
Fuente: SVCA

Teniendo en cuenta que el descriptor acústico  $L_{DN}$  hace referencia al promedio de nivel de ruido calculado para las jornadas diurnas y nocturnas de manera continua. En la anterior ilustración se puede observar la distribución de niveles de ruido  $L_{DN}$ , donde la mayor frecuencia de niveles promedio día-noche, se registró entre 65.6  $L_{DN}$  (dBA) y 67.8  $L_{DN}$  (dBA), representando el 41% del total de días monitoreados. No obstante, se registraron distribuciones de niveles en mayores rangos de magnitud, pero con un menor porcentaje de frecuencia, tal como se muestra para los días 7, 10, 13, 15 y 17 de agosto, tales días presentaron niveles promedio día-noche entre 67.8  $L_{DN}$  (dBA) y 70.1  $L_{DN}$  (dBA) representando el 29% del total de niveles promediados día-noche, sin embargo, para el día sábado 6 de agosto se registró un dato atípico que alcanzó los 72.3  $L_{DN}$  (dBA).

### 5.1.5 Comparación Niveles de Ruido Ambiental (La Felicidad vs EMRI 3 y EMRI 23)

Es preciso mencionar que los resultados obtenidos mediante el monitoreo fueron comparados con los datos suministrados por las estaciones EMRI 3 y EMRI 23 del SVCA. Razón por la cual, en las ilustraciones siguientes, se observa una diferencia relevante entre los niveles detectados por estaciones mas cercanas al Aeropuerto Internacional El Dorado y el punto de monitoreo instalado en La Felicidad. Cabe mencionar que durante el mismo periodo de observación las estaciones EMRI 3 y EMRI 23 presentan niveles que podrían estar superando el estándar máximo permisible establecido por la Resolución 0627 de 2006 para estos sectores.

37

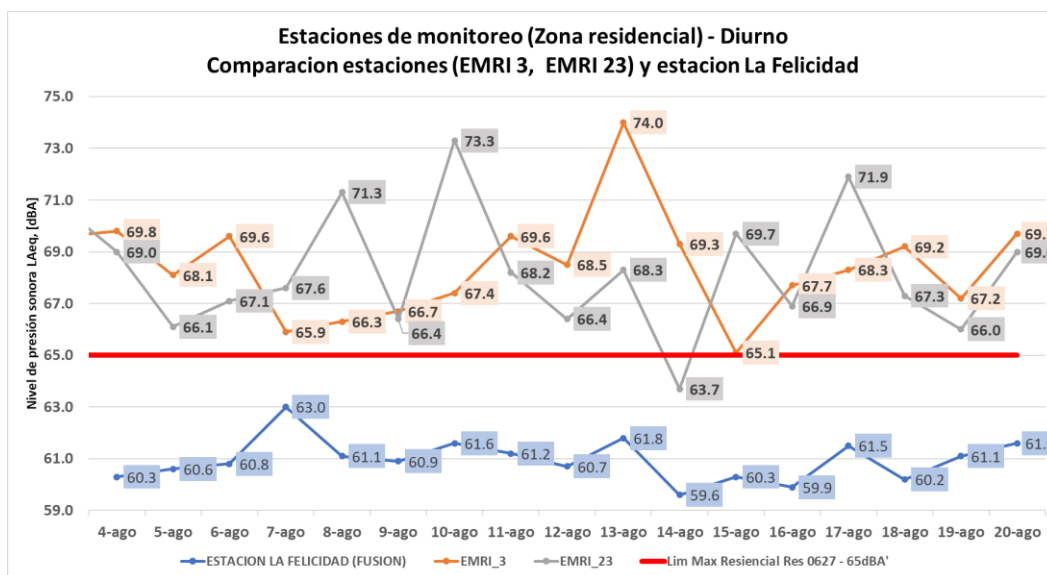


Ilustración 19. Niveles de ruido ambiental diurnos (La Felicidad, EMRI 3 y EMRI 23)  
Fuente: Elaboración propia.

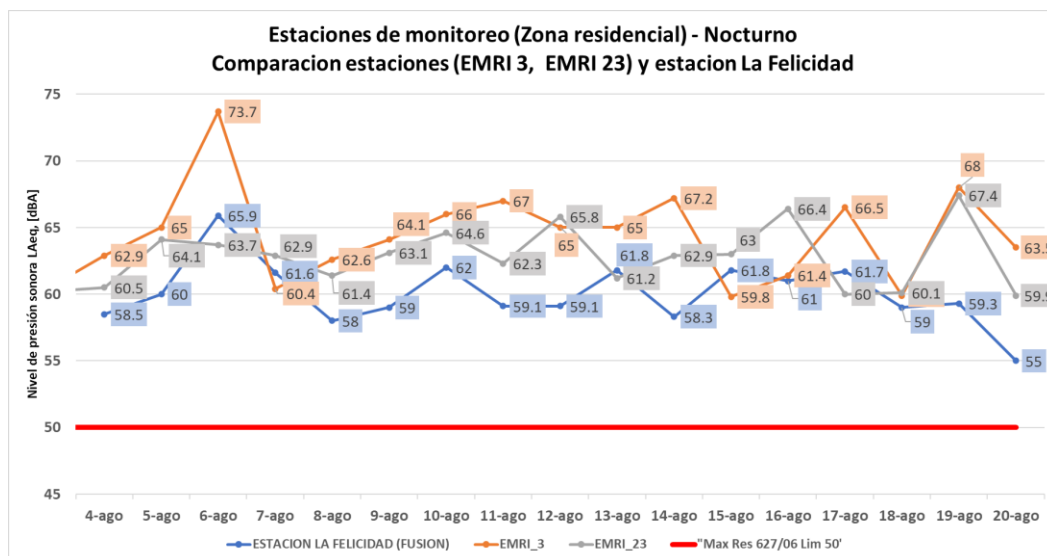


Ilustración 20. Niveles de ruido ambiental nocturnos (La Felicidad, EMRI 3 y EMRI 23)  
Fuente: Elaboración propia.

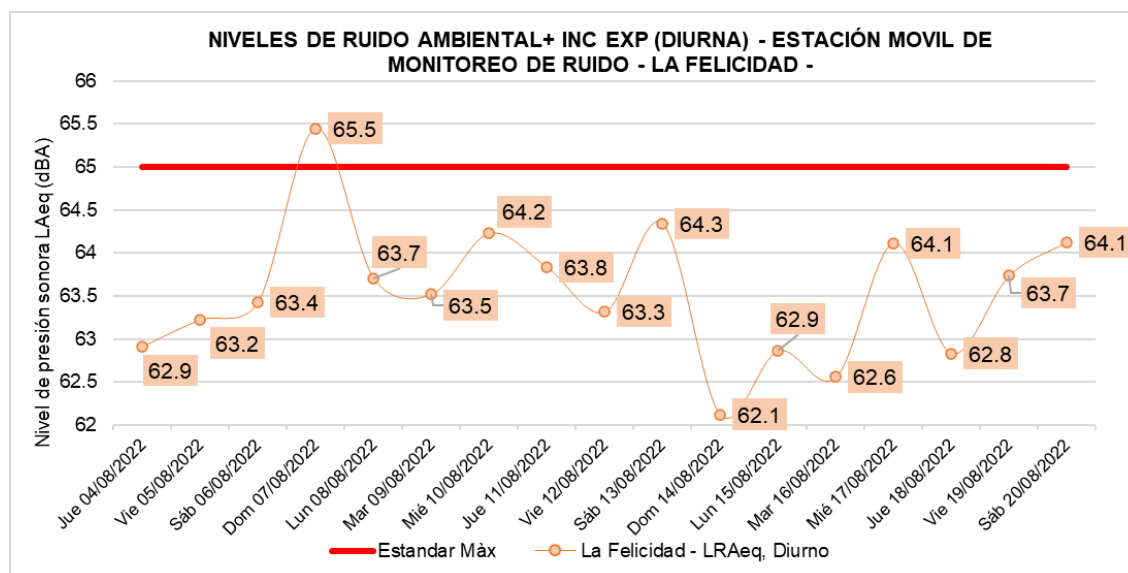
Por otro lado, la jornada nocturna presentó niveles de ruido que registraron una menor variación en el nivel de presión sonora continuo equivalente corregido. Permitiendo inferir que las fuentes sonoras que se encuentran colindando con cada una de las estaciones puede aportar una energía sonora similar.

38

## 5.2 COMPARACIÓN DE NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL BAJO RESOLUCIÓN 0627 DE 2006

La comparación de los niveles de ruido ambiental, para cada jornada específicamente, se desarrolla contrastando el nivel de presión sonora equivalente corregido y ponderado, con el estándar máximo de nivel de ruido establecido en la Tabla 2 de la Resolución 0627 de 2006 y denominada “Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental, expresados en decibeles dB(A)”. No obstante, y teniendo en cuenta que, las medidas asociadas a metrología están ligadas a un valor de incertidumbre combinada expandida. Esto indica que, el resultado medido para cada jornada presenta un rango de variabilidad, según la magnitud calculada para la incertidumbre, es decir que, el nivel medido puede oscilar más o menos el valor de la incertidumbre calculada.

Por consiguiente, en la siguiente ilustración se presentan los niveles de ruido diurnos medidos para la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido, estas graficas representa el valor crítico correspondiente a la suma del valor de la incertidumbre, además, del nivel no crítico que corresponde al nivel medido menos el valor de incertidumbre calculada.





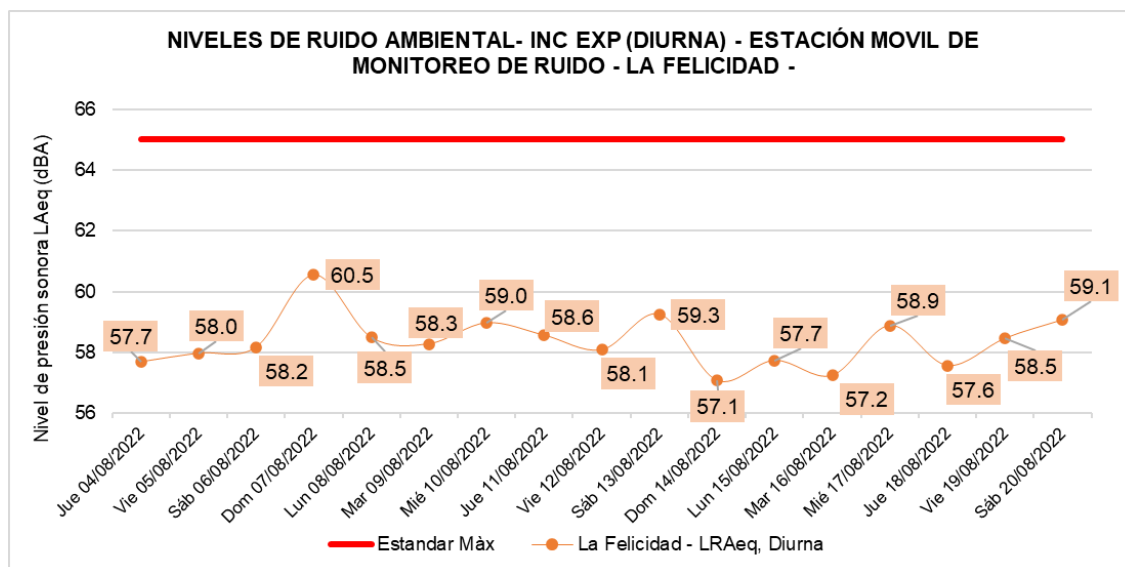
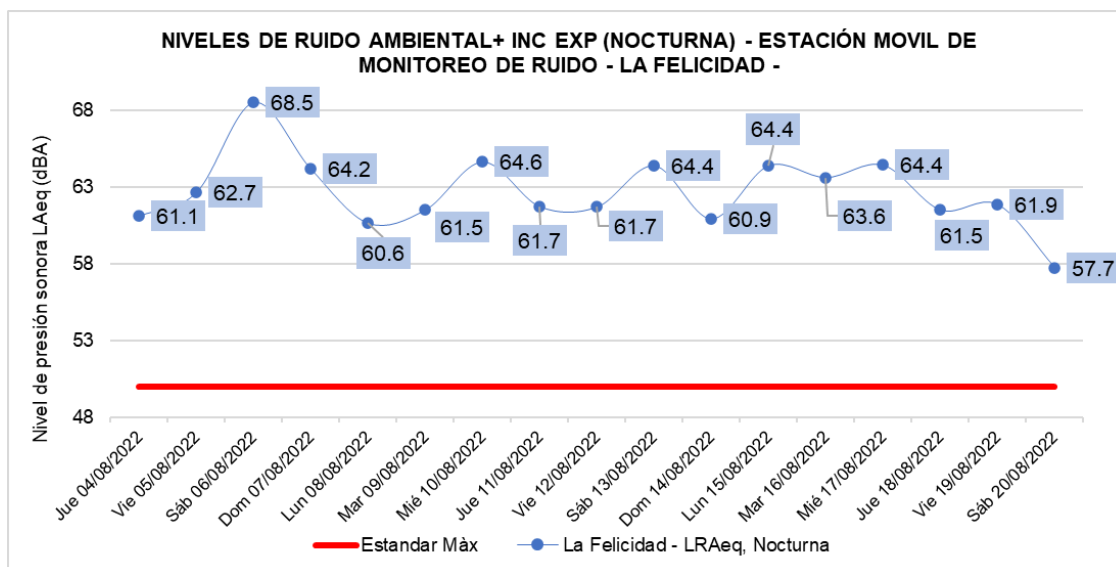


Ilustración 21. Niveles de ruido ambiental diurnos  $\pm$  Inc. Expandida – La Felicidad.  
Fuente: SVCA

Con respecto a los datos de niveles de ruido ambiental para la jornada diurna se observa que en la Ilustración 21, los niveles de ruido pueden variar entre 2.5 dBA y 2.7 dBA, tal como sucedió para el día 7 de agosto de 2022 en la jornada diurna, día en el cual se obtuvo un nivel diurno de 63.0  $L_D$  (dBA) con una incertidumbre expandida de  $\pm 2.5$  dBA reportada con un nivel de confianza del 95%. Por lo cual, el valor crítico para este día corresponde a 65.5  $L_D$  (dBA) y el no crítico corresponde a 60.5  $L_D$  (dBA), de tal forma, para este día se estima un nivel marginal el cual está asociado a una incertidumbre expandida que podría contener o exceder el estándar máximo permisible establecido en la Resolución 0627 de 2006.



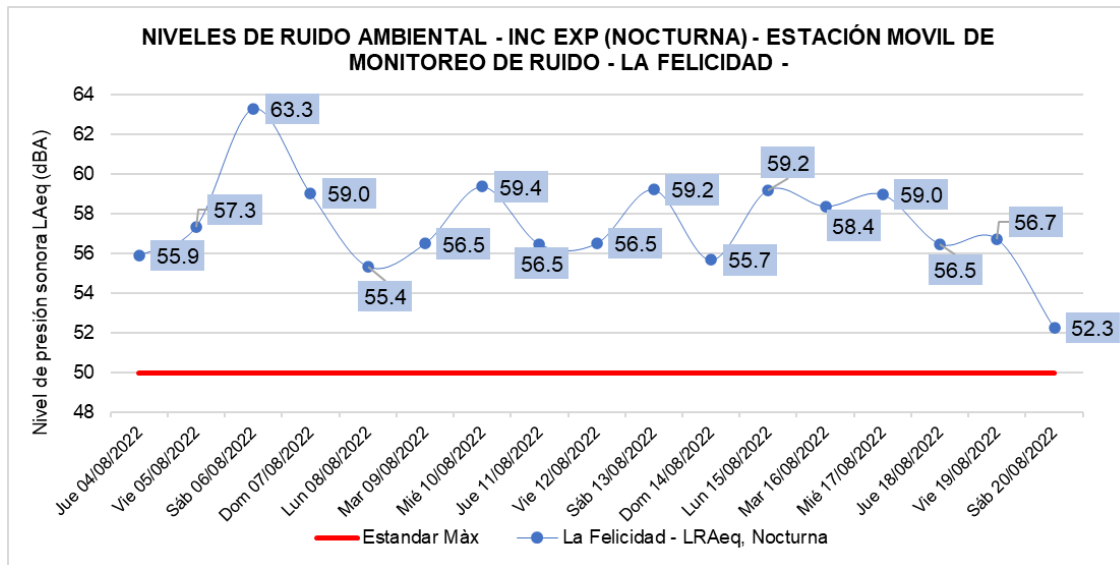


Ilustración 22. Niveles de ruido ambiental nocturnos  $\pm$  Inc. Expandida – La Felicidad.  
Fuente: SVCA

Respecto a los niveles medidos en la jornada nocturna, estos presentaron en su gran mayoría niveles que superan el estándar máximo establecido para este sector de evaluación, es decir, niveles superiores a 55.0 L<sub>N</sub> (dBA). Por consiguiente, los niveles de ruido corregidos por el factor de incertidumbre expandida, superan para el caso crítico y no crítico, el nivel máximo establecido. Por otro lado, se detectó que el día 20 de agosto de 2022, el nivel de presión sonora corregido y ponderado registro un nivel de 55.0 L<sub>N</sub> (dBA) con una incertidumbre expandida de  $\pm 2.7$  dBA reportada con un nivel de confianza del 95%. Por lo cual, el valor crítico para este día corresponde a 57.7 L<sub>D</sub> (dBA) y el no crítico corresponde a 52.3 L<sub>D</sub> (dBA).

## 6 INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

41

La incertidumbre de los niveles de presión sonora continuos equivalentes presentados en este documento y referentes al ruido ambiental dependen de múltiples factores, tales como: condiciones meteorológicas, características de la instrumentación de medición, coeficientes de sensibilidad de parámetros acústicos y condiciones de funcionamientos de las fuentes de influencia, tal como lo especifica la normativa ISO 1996-2: "Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de presión sonora.". El cálculo de la incertidumbre de medición se determina según lo establecido con la Guía ISO/IEC 98-3 con un enfoque de modelización. Este enfoque se basa en identificar y cuantificar todas las principales componentes de incertidumbre para hallar la incertidumbre típica combinada y por último la incertidumbre de medición expandida.

Cada componente de incertidumbre significativa está representada por una función única  $X_j$ , por tal motivo si la magnitud a medir es  $L$ , la ecuación inicial es:

$$L = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_j)$$

Ecuación 1. Función para el cálculo de nivel acústico con componentes de incertidumbre.

Si cada componente posee la incertidumbre típica  $u_j$ , la incertidumbre típica combinada viene dada por la ecuación:

$$u(L) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_j * u_j)^2}$$

Ecuación 2. Cálculo de incertidumbre combinada.

Para las mediciones de ruido ambiental, el cálculo de este coeficiente es de alto grado de complejidad ya que se debe hallar una relación entre la derivada de la Ecuación 1 respecto a las mediciones de ruido ambiental realizadas. No obstante, la normativa internacional determina algunas componentes importantes de incertidumbre siguiendo los principios indicados en la norma ISO 3745<sup>18</sup>. Por tal motivo, la ecuación para el caso de mediciones individuales diarias se presenta a continuación:

$$L = L' + 10 * \log(1 - 10^{-0.1 * (L' - L_{res})}) dB + \delta_{sou} + \delta_{met} + \delta_{slm} + \delta_{loc}$$

Ecuación 3. Nivel de ruido estimado durante las condiciones especificadas.

Donde

$L'$ , el valor medido incluyendo el ruido residual,  $L_{res}$ , expresado en decibelios (dB).

$\delta_{sou}$ , componente de entrada que incluye cualquier incertidumbre debida a las condiciones de funcionamiento de las fuentes esperadas, expresado en decibelios (dB).

<sup>18</sup> ISO 3745. Acústica. Determinación de nivel de potencia sonora y nivel de energía sonora de fuentes de ruido usando la presión sonora.

$\delta_{met}$ , componente de entrada que incluye cualquier incertidumbre debida a las condiciones meteorológicas que se desvían de las condiciones meteorológicas admitidas, expresado en decibelios (dB).

$\delta_{slm}$ , componente de entrada que incluye cualquier incertidumbre de la cadena de medición, desde la interacción del micrófono con la presión sonora, el comportamiento electroacústico de los componentes y las ponderaciones usadas en la medición se expresa en decibelios (dB).

$\delta_{loc}$ , componente de entrada que incluye cualquier incertidumbre debida a la selección de la ubicación del receptor, expresado en decibelios (dB).

Teniendo en cuenta que la incertidumbre que se debe notificar es la incertidumbre asociada a una probabilidad de cobertura escogida, es decir la incertidumbre expandida. Esta a su vez presenta una probabilidad de cobertura del 95%, con un factor de cobertura asociado de 2. Esto quiere decir que para el reporte de los niveles diurnos y nocturnos de ruido se asocia una incertidumbre expandida, la cual se convierte en  $L \pm 2 \cdot u$ .

Debido a que la ecuación 3 está muy simplificada y cada componente de incertidumbre es una función que incluye varias variables de incertidumbre que pueden afectar la medición, en los siguientes apartados se describirá el cálculo y la magnitud correspondiente para cada componente de incertidumbre. Se debe tener en cuenta que, los valores de incertidumbre diarios por jornada para cada estación se presentan en el Anexo Digital 1. "Datos de ruido y operacionales".

## 6.1 INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA DEBIDO A LA CADENA DE INSTRUMENTACIÓN ( $\Delta_{SLM}$ )

La ISO 1996-2:2017 sugiere que para toda instrumentación tipo 1, se asuma una incertidumbre típica de  $\pm 1$  dB. No obstante, para ampliar la representatividad de este factor, se hace uso de la ISO 20906:2009 para obtener la incertidumbre según cálculos.

La norma ISO 20906:2009 plantea que en la incertidumbre de la información reportada existen dos componentes principales que afectan de forma directa el grado de confianza del nivel de presión sonora continuo equivalente  $L_{Aeq}$ , de acuerdo con las condiciones dadas:

- Influencia de los instrumentos
- Manipulación del operario

La incertidumbre que genera la influencia de estos instrumentos y la manipulación de los operarios es calculada de la siguiente manera:

$$\delta_{slm} = \delta_{mic} + \delta_{PA} + \delta_{PA_{1k}} + \delta_{Leq_{temp}} + \delta_{Etb} + \delta_{TO} + \delta_{lin} + \delta_{IS} + \delta_{Etb_{nl}} + \delta_p + \delta_T + \delta_{RH} + \delta_{calref}$$

Ecuación 4. Cálculo de incertidumbre por la cadena de instrumentación.

Donde:

- $\delta s/m$ : Es la incertidumbre estándar combinada que se asume sobre toda la medición.
- $\delta mic$ : Es una cantidad de entrada para prever influencias de la respuesta direccional del micrófono, preamplificador, pantalla de viento y todos los accesorios relevantes.
- $\delta PA$ : Es una cantidad de entrada proveniente del certificado de calibración del equipo y basado en las pruebas de ponderación frecuencial A con señales eléctricas.
- $\delta PA_{1k}$ : Es una cantidad de entrada proveniente del certificado de calibración del equipo y basado en las pruebas de ponderación frecuenciales y temporales con referencia a 1KHz.
- $\delta Leq_{temp}$ : Es una cantidad de entrada proveniente del certificado de calibración del equipo y basado en las pruebas de ponderación para niveles continuos equivalentes respecto a la ponderación temporal Fast.
- $\delta Etb$ : Es una cantidad de entrada proveniente del certificado de calibración del equipo y basado en las pruebas de estabilidad a largo plazo y con ponderación A.
- $\delta TO$ : Es una cantidad de entrada proveniente del certificado de calibración del equipo y basado en las pruebas de respuesta a trenes de onda en ponderaciones temporales y niveles de exposición sonora.
- $\delta lin$ : Es una cantidad de entrada proveniente del certificado de calibración del equipo y basado en las pruebas de tolerancias para la linealidad de nivel.
- $\delta IS$ : Es una cantidad de entrada proveniente del certificado de calibración del equipo y basado en las pruebas de tolerancias debido a la influencia del suministro variable de voltaje e indicaciones de sobrecarga del equipo.
- $\delta Etb_{ne}$ : Es una cantidad de entrada proveniente del certificado de calibración del equipo y basado en las pruebas de estabilidad a niveles elevados en ponderación A.
- $\delta p$ : Es una cantidad de entrada que prevé influencias de las variaciones en la presión del aire estático ambiental.
- $\delta T$ : Es una cantidad de entrada que prevé influencias de las variaciones en la temperatura del aire.
- $\delta RH$ : Es una cantidad de entrada que prevé influencias de las variaciones en la humedad.



- **$\delta_{calref}$ :** Es una cantidad de entrada que prevé tolerancias en los niveles de presión sonora dentro de la cavidad del calibrador bajo condiciones de referencia.

Para aplicar la estimación de algunas componentes de incertidumbre, se asume que la población de datos dentro del análisis estadístico tiene una distribución normal con un nivel de confianza del 95%.

- **Estimación  $\delta_{mic}$ :** Teniendo en cuenta que tanto los sonómetros (IEC 61672-1) como los calibradores (IEC 60942) empleados son Clase 1, y que según normativa el ángulo " $\theta$ " de incidencia del sonido es cercano a los  $30^\circ$ ; se asume con distribución normal un factor de cobertura de  $K=2.58$ . Es decir que la incertidumbre estándar para esta variable es:  
 $u_{mic} = 0.39 \text{ dB}$
- **Medición  $\delta_{PA^*}$ :** La incertidumbre expandida para el rango de frecuencia con ponderación A, desde 63 Hz a 2KHz se mantiene inferior a  $\pm 0.46 \text{ dBA}$ . No obstante, el cálculo se basa en el valor más alto de incertidumbre típica medido para cada banda de octava de frecuencia para cada sonómetro. Entonces la incertidumbre estándar en esta variable depende de los resultados obtenidos en laboratorio los cuales pueden estar dentro de los siguientes rangos:  
 $u_{PA} = 0.35 - 0.39 \text{ dB}$
- **Medición  $\delta_{PA_{1k}^*}$ :** La incertidumbre expandida para las ponderaciones frecuenciales y temporales con una frecuencia de referencia de 1KHz no varía significativamente. No obstante, el cálculo se basa en el valor más alto de incertidumbre típica medido para cada ponderación frecuencial y para cada sonómetro. Entonces la incertidumbre estándar en esta variable depende de los resultados obtenidos en laboratorio los cuales pueden estar dentro de los siguientes rangos:  
 $u_{PA_{1k}} = 0.06 - 0.07 \text{ dB}$
- **Medición  $\delta_{Leq_{temp}^*}$ :** La incertidumbre expandida para los niveles de ruido continuos equivalentes respecto a la ponderación temporal fast se encuentra alrededor de los  $\pm 0.13 \text{ dBA}$ . No obstante, el cálculo se basa en el valor más alto de incertidumbre típica medido para cada sonómetro. Entonces la incertidumbre estándar en esta variable depende de los resultados obtenidos en laboratorio los cuales pueden estar dentro de los siguientes rangos:  
 $u_{Leq_{temp}} = 0.06 - 0.08 \text{ dB}$
- **Medición  $\delta_{Etb^*}$ :** La incertidumbre expandida para las mediciones a largo plazo se encuentra alrededor de los  $\pm 0.13 \text{ dBA}$ . Por tal motivo, la incertidumbre estándar en esta variable depende de los resultados obtenidos en laboratorio los cuales pueden estar dentro de los siguientes rangos:  
 $u_{Etb} = 0.06 - 0.08 \text{ dB}$
- **Medición  $\delta_{TO^*}$ :** La incertidumbre expandida para la respuesta a trenes de onda con duraciones de tiempo entre 0.25 ms y 200 ms, correspondientes a ponderaciones temporales fast, slow y niveles de exposición sonora se encuentra alrededor de los  $\pm 0.23 \text{ dBA}$ . Por tal motivo, la incertidumbre estándar en esta

variable depende de los resultados obtenidos en laboratorio para cada equipo, los cuales pueden estar dentro de los siguientes rangos:

$$u_{TO} = 0.1 - 0.12 \text{ dB}$$

- **Medición  $\delta_{lin}^*$ :** La incertidumbre expandida para el rango de niveles previstos desde 39 dBA hasta 133 dBA se mantiene inferior a  $\pm 0.24$  dBA. No obstante, el cálculo se basa en el valor más alto de incertidumbre típica medido para cada rango de nivel previsto en cada sonómetro. Entonces la incertidumbre estándar en esta variable depende de los resultados obtenidos en laboratorio los cuales pueden estar dentro de los siguientes rangos:

$$u_{lin} = 0.06 - 0.13 \text{ dB}$$

- **Medición  $\delta_{IS}^*$ :** La desviación del nivel sonoro visualizado no debería exceder los  $\pm 0.3$  dB para cambios en el voltaje de suministro (IEC 61672-1:2002, 5.20.2, Clase 1). No obstante, se pueden presentar variaciones de voltaje producto de los niveles de presión sonora de entrada, por tal motivo la incertidumbre estándar en esta variable depende de los resultados obtenidos en laboratorio, los cuales pueden estar dentro de los siguientes rangos:

$$u_{IS} = 0.09 - 0.12 \text{ dB}$$

- **Medición  $\delta_{Etb_{ne}}^*$ :** La incertidumbre expandida para las mediciones a niveles elevados se encuentra alrededor de los  $\pm 0.09$  dBA. Por tal motivo, la incertidumbre estándar en esta variable depende de los resultados obtenidos en laboratorio los cuales pueden estar dentro de los siguientes rangos:

$$u_{Etb} = 0.04 - 0.06 \text{ dB}$$

- **Estimación  $\delta_p$ :** La desviación del nivel de presión sonora visualizado no debería exceder los  $\pm 0.7$  dB para variaciones en la presión del aire estático entre los 850 hPa y 1080 hPa (IEC 61672-1:2002, 6.2.1, Clase 1) y la incertidumbre expandida de la medición es 0.3 dB. Por tanto, la incertidumbre estándar es:

$$u_p = 0.16 \text{ dB}$$

- **Estimación  $\delta_T$ :** La desviación del nivel sonoro visualizado no debería exceder los  $\pm 0.8$  dB para variaciones en la temperatura entre los  $-10$  °C y  $+50$  °C (IEC 61672-1:2002, 6.3.3 y 6.4, Clase 1) y la incertidumbre expandida de la medición es 0.3 dB. La incertidumbre estándar es:

$$u_T = 0.19 \text{ dB}$$

- **Estimación  $\delta_{RH}$ :** La desviación del nivel sonoro visualizado no debería exceder los  $\pm 0.8$  dB para humedad relativa entre el 25% y el 90% (IEC 61672-1:2002, 6.4, Clase 1) y la incertidumbre expandida de la medición es 0.3 dB. La incertidumbre estándar es:

$$u_{RH} = 0.19 \text{ dB}$$

- **Estimación  $\delta_{calref}$ :** El límite de tolerancia es de 0.4 dB para el nivel de presión sonora en la cavidad del calibrador a condiciones de referencia (IEC 60942, Clase 1). Es decir que:

$$u_{calref} = 0.16 \text{ dB}$$

Para hallar el valor de la incertidumbre típica combinada producto de la cadena de instrumentación se deberá calcular la raíz cuadrada de la suma de las incertidumbres típicas al cuadrado mencionado con anterioridad. \*Los factores de medición de la “Incertidumbre típica debido a la instrumentación” no son constantes para todas las EMRI puesto que los resultados de las pruebas desarrolladas en laboratorio para cada equipo pueden variar en algunas componentes, por tal motivo los resultados finales se encuentran en el Anexo Digital 2. “Datos de ruido y operacionales”. Sin embargo, un valor aproximado para esta componente puede estar entre: 0.66 – 0.70 dBA, dependiendo de la estación de evaluación.

El cálculo completo para la incertidumbre típica combinada producto de la cadena de instrumentación incluye el cálculo de la magnitud del coeficiente de sensibilidad  $c_j$ , el cual se expresa en la siguiente ecuación.

$$C_{slm} = \frac{1}{1 - 10^{-0.1*(L' - L_{res})}}$$

Ecuación 5. Magnitud del coeficiente de sensibilidad  $C_{slm}$ .

Este coeficiente depende de la relación entre el nivel diurno o nocturno medido y el ruido residual. Para las mediciones de ruido ambiental es difícil realizar mediciones de ruido con la menor cantidad de aportes energéticos de las principales fuentes de ruido, por esto se adopta el descriptor acústico L90 para cada uno de los días medidos.

## 6.2 INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA DEBIDO A LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO ( $\Delta_{sou}$ )

Las condiciones de funcionamiento para cada una de las mediciones diarias realizadas cambian significativamente dependiendo del comportamiento de las fuentes sonoras del entorno de ruido. Para la ubicación de la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido se presentan diferentes tipos de fuentes de ruido, las más comunes son: ruido de tráfico rodado y ruido de tráfico aéreo.

Por tal motivo, la magnitud de esta componente está directamente relacionada con la cantidad y tipo de tráfico que se presenta en cada una de las zonas de cobertura, afectando el nivel de ruido continuo equivalente debido a la fluctuación, constancia y dinámicas de los tipos de tráfico. Para el cálculo de esta incertidumbre se hace uso de la siguiente ecuación.

$$u_{trod} \cong \frac{c}{\sqrt{n}}(dB)$$

Ecuación 6. Incertidumbre típica por tráfico rodado.

Donde  $n$  es el número de pasadas y  $c$  la componente de clasificación de los tipos de tráfico. Para tráfico mixto  $c=10$ , para solo vehículos de tipo pesado  $c=5$  y para los vehículos de turismo  $c=2.5$ . En cada caso, se puede determinar una incertidumbre típica más precisa. No obstante, y teniendo en cuenta que en las vías fluviales de tráfico rodado no hay prohibiciones para el tránsito de vehículos pesados se elige una componente de clasificación de  $c=10$ .

Para el cálculo de la incertidumbre típica debido al tráfico aéreo se utiliza la misma metodología mencionada anteriormente, por lo cual, la ecuación para el cálculo correspondiente se define de la siguiente manera.

$$u_{taereo} \cong \frac{c}{\sqrt{n}} (dB)$$

Ecuación 7. Incertidumbre típica por tráfico rodado.

47

Donde  $n$  es el número de sucesos sonoros y  $c$  la componente de clasificación debido a las condiciones de funcionamiento de las aeronaves. Si el cálculo es independiente de las condiciones operacionales de las aeronaves se establece  $c=4$ . Se establece  $c=3$  para el despegue de los aviones a reacción.  $c=4$  para el despegue de otros tipos de aeronaves.  $C=2$  para el aterrizaje de todos los aviones a reacción y  $c=3$  para el aterrizaje de otros modelos de aeronaves.

Respecto a la magnitud del coeficiente de sensibilidad  $c_k$ , la normativa UNE ISO 1996-2:2020 establece un coeficiente de 1. Por tal motivo el valor de incertidumbre típica para las componentes de tráfico rodado y aéreo se define en función de las ecuaciones 6 y 7.

### 6.3 INCERTIDUMBRE TÍPICA DEBIDO A LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS ( $\Delta_{MET}$ )

Esta incertidumbre “ $\delta_{met}$ ” para el caso específico de este informe y las condiciones con las que se cuenta de fuente – receptor en cada EMRI, se iguala a:

$$\delta_{met} = 0,5 (dB)$$

Lo anterior debido a que según la norma ISO/FDIS 1996-2:2017 se cuantifica de este modo tal contribución, en los casos donde la EMRI no está bajo condiciones de “sombra sonora”<sup>19</sup>, y la superficie del terreno entre la fuente y la posición de medición es dura, entonces la desviación típica inducida por el clima se puede “omitir” dando como resultante el valor dictado anteriormente.

### 6.4 INCERTIDUMBRE TÍPICA DEBIDO AL RUIDO RESIDUAL ( $\Delta_{RES}$ )

Debido a la dificultad de medir con precisión el ruido residual en la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido y, en consecuencia, el impedimento de medir con exactitud la incertidumbre típica referente al ruido residual, se realiza una estimación para  $u_{met}$  usando el percentil 90 como descriptor acústico de ruido de fondo de los niveles diurnos y nocturnos diarios del mes, por medio de la desviación típica mensual en cada una de las estaciones del Sistema de Vigilancia y Control Ambiental.

$$u_{res} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Ecuación 8. Desviación típica de niveles L90 mensual.

Donde  $X_i$ , es la observación del nivel L90 por día.  $\bar{x}$  representa el valor del promedio mensual de los niveles L90<sup>20</sup> del periodo de evaluación y  $N$  la cantidad de días del mes de análisis. No obstante, el cálculo completo para la incertidumbre típica producto del ruido

<sup>19</sup> Cada una de las estaciones EMRI fueron ubicadas según protocolos de referenciación precisos en donde se evaluó la pertinencia acústica y sus condiciones en campo.

<sup>20</sup> Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y pondera en el tiempo que supera el 90% del intervalo de tiempo considerado.

residual incluye el cálculo de la magnitud del coeficiente de sensibilidad  $c_i$ , el cual se expresa en la siguiente ecuación.

$$c_{res} = \frac{10^{-0.1*(L' - L_{res})}}{1 - 10^{-0.1*(L' - L_{res})}}$$

Ecuación 9. Magnitud del coeficiente de sensibilidad  $C_{slm}$ .

Este coeficiente depende de la relación entre el nivel diurno o nocturno medido y el ruido residual correspondiente. Para las mediciones de ruido ambiental es difícil realizar mediciones de ruido con la menor cantidad de aportes energéticos de las principales fuentes sonoras, por esto se adopta el descriptor acústico L90 para cada uno de los días medidos.

## 6.5 INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA

Al obtener todas las incertidumbres necesarias, se realiza el cálculo de la incertidumbre típica combinada, por medio de la siguiente ecuación:

$$u(L) = \sqrt{(u_{slm} * c_{slm})^2 + (u_{trod})^2 + (u_{taereo})^2 + (u_{met})^2 + (u_{res} * c_{res})^2}$$

Ecuación 10. Cálculo de incertidumbre típica combinada total.

## 6.6 INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN EXPANDIDA

Teniendo todos los factores de contribución de incertidumbre y su respectivo coeficiente, se calcula la incertidumbre expandida con un nivel de confianza del 95%. La incertidumbre expandida se caracteriza con un  $k = 2$ , con lo cual el término se define como:

$$U = k * u(L)$$

Ecuación 11. Cálculo de incertidumbre expandida.

Algunas variables que definen la incertidumbre típica combinada como lo son la instrumentación y las condiciones meteorológicas, no varían de una estación a otra puesto que las estaciones se encuentran próximas entre ellas y utilizan los mismos equipos de medición, por lo cual no son variables que se tengan en cuenta y que afecten el valor de la incertidumbre entre estaciones de medición, mientras que variables como el ruido residual, el nivel de presión sonora continuo equivalente y las condiciones de funcionamiento si influyen y cambian entre estaciones, ya que este tipo de variables son influenciadas por valores típicos de cada estación como lo son los datos de ruido ambiental, ruido residual referente al percentil L90 y el aforo vehicular en cercanías a cada una de los puntos de medición.



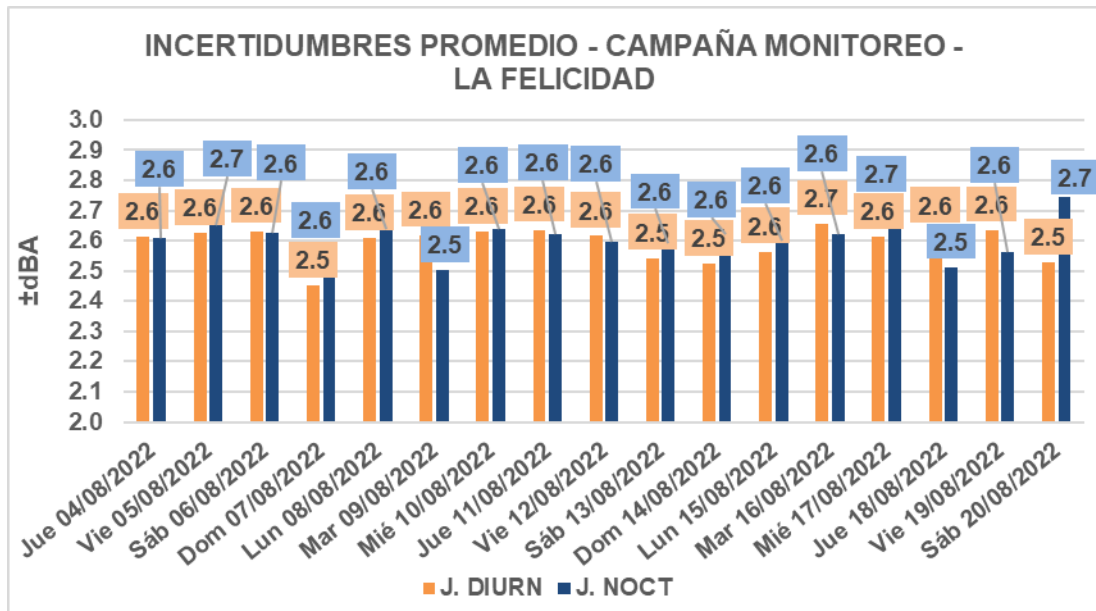


Ilustración 23. Incertidumbre expandida de medición – La Felicidad.  
Fuente: SVCA

Se encuentran incertidumbres promedio inferiores a  $\pm 2.6$  dBA, lo cual indica que los valores recopilados por el SVCA pueden fluctuar en promedio desde  $\pm 2.5$  dBA y  $\pm 2.7$  dBA, dependiendo de la estación de monitoreo. En el Anexo Digital 2. “Datos de ruido y operacionales”. Se adjuntan tablas de los resultados de incertidumbre expandida para cada uno de los días y sus respectivas jornadas. Esto se debe a que la incertidumbre expandida por jornadas varía para cada uno de los días del mes, ya que esta depende de las características de funcionamiento de las fuentes de tráfico rodado y aéreo, además del comportamiento en general de todas las fuentes sonoras de cada día y su respectivo ruido de fondo.

## 7 CONCLUSIONES

50

Respecto a los niveles de ruido ambiental para la jornada diurna se encuentran por debajo del estándar máximo de ruido establecido en la Resolución 0627 de 2006 para zonas residenciales (Sector B, subsector II), teniendo en cuenta que según el Plan de Ordenamiento Territorial vigente estipula dicho predio contemplándolo como un Área Urbana Integral<sup>21</sup> en una zona múltiple con tratamiento en Desarrollo<sup>22</sup>, generando un área que permite integrar actividades, industriales, comerciales y residenciales. Esta información se puede corroborar en el Anexo 1. Ficha Reglamentaria UPZ 112. No obstante, la variabilidad de los niveles de ruido a causa la incertidumbre expandida permiten concluir que, para los casos críticos, el 94% de los niveles de ruido ambiental para la jornada diurna se mantienen inferiores al estándar máximo de ruido.

En relación a lo expuesto en el estudio, se identifica que existen diferentes fuentes de emisión de ruido comprendido como ruido ambiental en la jornada diurna y nocturna, con niveles que están por encima del límite máximo permisible, especialmente en la jornada nocturna. Atribuido por las diferentes actividades socioeconómicas y de transporte del sector, las cuales aportan de manera significativa en la propagación y aumento de ruido en esta zona. Es importante señalar que la actividad aeronáutica no es la causante principal de sobrepasar estos niveles puesto que, en la zona de estudio para la jornada nocturna, la operación aérea tiene un promedio de 34.3 eventos aeronáuticos diarios que pueden sobrevolar sobre el sector del barrio La Felicidad, además teniendo en cuenta que en dicha jornada la Resolución 801 de 2022 establece restricciones a la operación aérea que sobrevuelo la ciudad de Bogotá, entre las 23:59 y las 5:00, esto permite concluir que menos del 50% del tiempo para la jornada nocturna se presentan eventos de vuelos aéreos. No obstante, las demás fuentes de ruido cercanas a la zona pueden emitir niveles de presión durante toda la jornada.

Cabe precisar que, para la jornada nocturna se detectó un alto componente de actividad tonal, lo cual conlleva a que alrededor del 41.1% de niveles nocturnos medidos presentaran correcciones tonales causados por un alto nivel de presión sonora en la banda de tercio de octava de 10 KHz. Esto teniendo en cuenta que la ubicación de la estación se encuentra un nivel por encima del salón de máquinas y de alta tensión de la Torre 4, cabe mencionar que los componentes de medición del sonómetro, tales como: micrófono, preamplificador y la tarjeta principal del sonómetro son propensos a detectar emisión de ruido eléctrico generadas por maquinaria, motores o emisores eléctricos.

En relación al ruido de fondo caracterizado por el descriptor  $L_{90}$  para los días monitoreados, se permite concluir que, para la jornada diurna, los niveles  $L_{90}$  se encuentran en un rango similar a los medidos en las estaciones del SVCA, EMRI 3 y EMRI 23, dichas estaciones se encuentran a más de 1.7 Km de distancia de la unidad residencial de estudio. Sin embargo, tal como se observa en la Ilustración 14, los niveles de ruido de fondo presentan una

<sup>21</sup> Área Urbana Integral. Es la que señala un determinado suelo urbano y/o de expansión para proyectos urbanísticos que combinen armónicamente zonas de vivienda, zonas de comercio y servicios, zonas de industria y zonas dotacionales, en concordancia con la estrategia de ordenamiento territorial prevista para las diferentes zonas y centralidades. <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/2areas.html>

<sup>22</sup> Desarrollo. El tratamiento de desarrollo es aquel que orienta y regula la urbanización de los terrenos o conjunto de terrenos urbanizables no urbanizados. <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/2tratamiento.html>



diferencia al menos de 8 dBA con el estándar máximo de ruido para zonas residenciales, teniendo en cuenta que la tendencia de estos niveles se asemeja, lo cual podría ser consecuente al comportamiento del ruido emitido por el tráfico rodado en esas áreas de la ciudad. Por otro lado, para la jornada nocturna se detectó que la Estación Móvil de Monitoreo de Ruido presentó los niveles de ruido de fondo más bajos en comparación a los registrados en las estaciones EMRI 3 y EMRI 23, esto puede presentarse debido a la variación de las fuentes sonoras que se encuentran en cada uno de los puntos receptores en dichos horarios.

Para finalizar, estos resultados son de fundamentación para complementar los procesos de descripción del ambiente sonoro y las campañas de monitoreo, ya que existen puntos geográficos que permiten una mejor detección de los eventos de ruido aeronáuticos. No obstante, este proceso depende de un estudio de micro y macro localización en el cual se pueda identificar zonas donde la actividad aérea sea predominante y se pueda detectar una mayor cantidad de eventos de ruido aeronáuticos.

## 8 ANEXO

- Anexo Digital 1. Ficha Reglamentaria UPZ 112
- Anexo Digital 2. Datos de ruido y operacionales.

52

## 9 REFERENCIAS

- Resolución 0627 de 2006 Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial
- Resolución 1330 Ministerio Del Medio Ambiente
- Resolución 1034 de 2015, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA
- Barti, D. R. (2013). Acústica medioambiental: Volumen I.
- Barti, D. R. (2013). Acústica medioambiental: Volumen II.
- Simón, Francisco, Pfretzschner, Jaime, & Santiago Páez, José Salvador. (2008). Técnicas estadísticas y separación del ruido ambiental. Sociedad Española de Acústica.
- Pérez, O. M. A. (2000). Análisis costo-beneficio del programa de insonorización de viviendas en las zonas aledañas al Aeropuerto El Dorado. Santafé de Bogotá: Uniandes.
- Salas, F. Z. (n.d.). Impacto acústico generado por las operaciones aéreas en el Aeropuerto El Dorado y sus zonas aledañas. Bogotá.

AIP, Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil, 2018