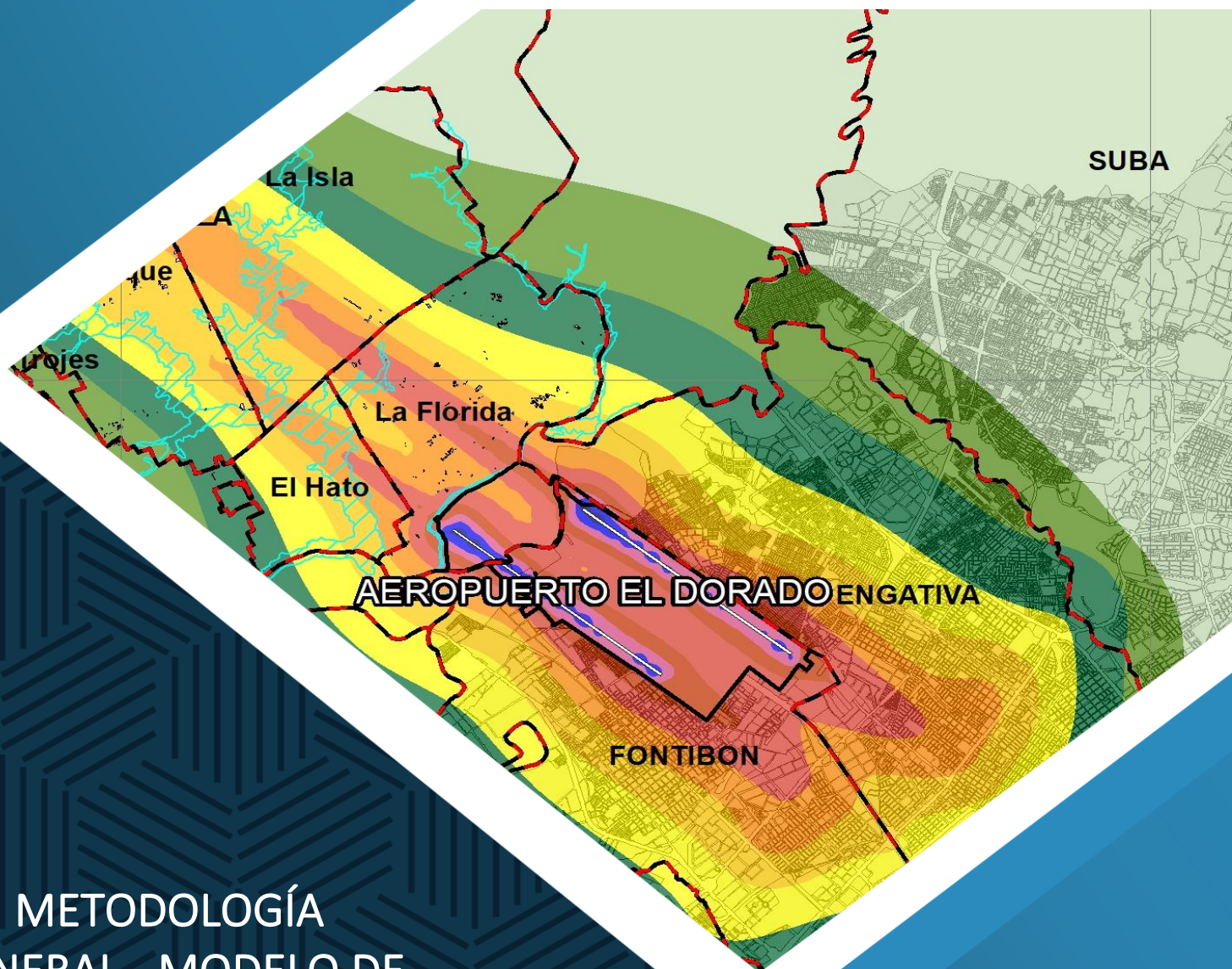


TÉRMINOS DE REFERENCIA EN ESTUDIO DE  
IMPACTO AMBIENTAL PARA EL  
AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO  
DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.



**AERONÁUTICA CIVIL**  
Unidad Administrativa Especial



METODOLOGÍA  
GENERAL - MODELO DE  
PROPAGACIÓN DE  
RUIDO.

Contrato No.  
18001608 H3 – 2018

---

## TABLA DE CONTENIDO

5	METODOLOGÍA PARA ELANORACIÓN DE MODELOS ACÚSTICOS .....	4
5.1	SIMULACIÓN DE PROPAGACIÓN DE RUIDO .....	6
5.1.10	MODELACIÓN DE MÉTODOS DE CÁLCULO .....	8
5.1.11	CÁLCULO DE CURVAS DE NIVELES DE RUIDO (ISÓFONAS).....	12
5.2	PROCEDIMIENTO METODOLOGÍCO PARA LOS MODELOS ACÚSTICOS POR OPERACIONES .....	13
5.2.1	MODELO ACÚSTICO GENERADO POR OPERACIONES EN AIRE “a” .....	13
5.2.1	MODELO ACÚSTICO GENERADO POR OPERACIONES EN TIERRA “b” ..	15
5.2.2	RESULTADOS DE MODELACIÓN DEL CÁLCULO DE MODELOS ACÚSTICOS .....	18

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de modelos acústicos .....	5
Ilustración 2. Diagrama de simulación de programación de ruido .....	6
Ilustración 3. Esquema del diagrama de modelos de simulación acústica .....	9
Ilustración 4. Metodo cálculo “a” de modelación en aire.....	10
Ilustración 5. Metodo cálculo “b” de modelación en tierra.....	11
Ilustración 6. Esquema general del cálculo de isofonas – Doc 9911.....	12
Ilustración 7. Proceso y caracterisitcas de la modelación acustica en aire “a” .....	15
Ilustración 8. Proceso y caracterisitcas de la modelación acustica en tierra “b” .....	17
Ilustración 9. Representación gráfica de resultados de modelación Fuente: Elaboración propia de estudio.....	18

## 5 METODOLOGÍA PARA ELANORACIÓN DE MODELOS ACÚSTICOS

Los modelos acústicos permiten establecer e indicar posibilidades de resultados sonoros frente a la suposición del comportamiento y operación aérea causa del desarrollo de métodos de cálculo (conversión a algoritmos). Así, en el presente documento se detallará de forma general la metodología empleada para el desarrollo de los modelos acústicos presentados en este estudio de impacto ambiental. No obstante, se considera de suma importancia detallar a su vez las especificaciones metodológicas establecidas en el documento de resultados del modelo de propagación sonora del capítulo 5.1.10.4 – Ruido y vibraciones; ya que en él se establecen las condiciones taxativas de datos de entrada y aquellos elementos concretos, los cuales fueron de consideración para la elaboración del modelo que define el área de influencia por el presente proyecto.

La elaboración de este estudio obedece exclusivamente a la generación de resultados acústicos predictivos frente a la configuración operacional establecida como objetivo pilar de la modificación de licencia ambiental y es insumo para la caracterización del aérea de influencia. Así, en este capítulo, se desarrollan un conjunto de métodos, para desarrollar y determinar un escenario real y predictivo basado en las condiciones logísticas que determinan la operatividad de un aeródromo para luego ser ajustado y/o redireccionadas las operaciones aéreas teniendo en cuenta las posibilidades para su ejecución, de acuerdo a las operaciones reales, cuyo objetivo es la optimización de la operación aeroportuaria en términos ambientalmente sostenibles.

En la Ilustración 1, se presenta un esquema general correspondiente a las actividades en esta sección, de manera desglosada, la descripción en la ejecución y desarrollo de modelos acústicos predictivos de las operaciones aéreas en Aeropuerto Internacional El Dorado.

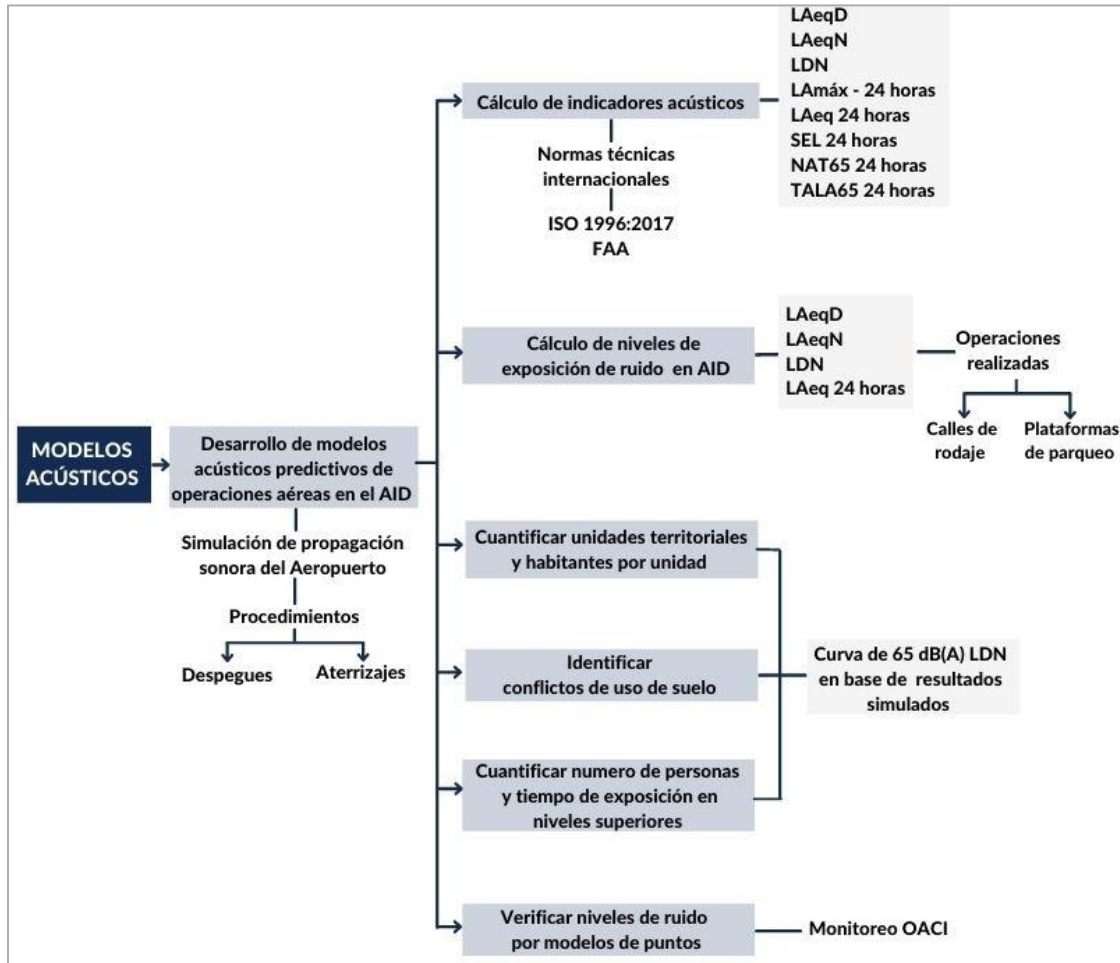


Ilustración 1. Diagrama de modelos acústicos  
Fuente: Elaboración propia de estudio

Las modelaciones acústicas, se emplean bajo las recomendaciones establecidas por la OACI en el documento 9911<sup>1</sup> – “Guía de recomendaciones para el cálculo de contornos de ruido en aeropuertos” y la elaboración del modelo acústico mediante la más reciente versión del software AEDT 2d<sup>2</sup> especializados en predicción sonora en aeropuertos establecido por la FAA (Administración Federal de Aviación de Estados Unidos) como organización altamente competente en el diseño e investigación de evaluación de impactos productos de la operación aérea en proximidades de aeródromos.

En la ejecución y desarrollo de este modelo acústico se tienen en cuenta múltiples variables asignadas como datos de entrada que luego son relacionadas mediante la integración y manejo de base de datos relacionales y su respectiva teoría. Luego entonces, como todo proceso de manejo de datos e información, es admitido el hecho de emplear herramientas que permitan la validación, depuración y/o corrección de datos, en función de generar una

<sup>1</sup> Guía de recomendaciones para el cálculo de contornos de ruido en aeropuertos

<sup>2</sup> Herramienta de diseño ambiental de aviación, link: [https://aedt.faa.gov/2d\\_information.aspx](https://aedt.faa.gov/2d_information.aspx)



correcta integración de datos de entrada toda vez que así la teoría de manejo de base de datos lo permite, sin que ello de lugar a generación de resultados desconfiables.

## 5.1 SIMULACIÓN DE PROPAGACIÓN DE RUIDO

Para el desarrollo de las simulaciones de propagación del ruido debido a las operaciones en aire se utilizaron software, como herramienta para evaluar el impacto ambiental causado por la aviación en general como se observa en la Ilustración 2.

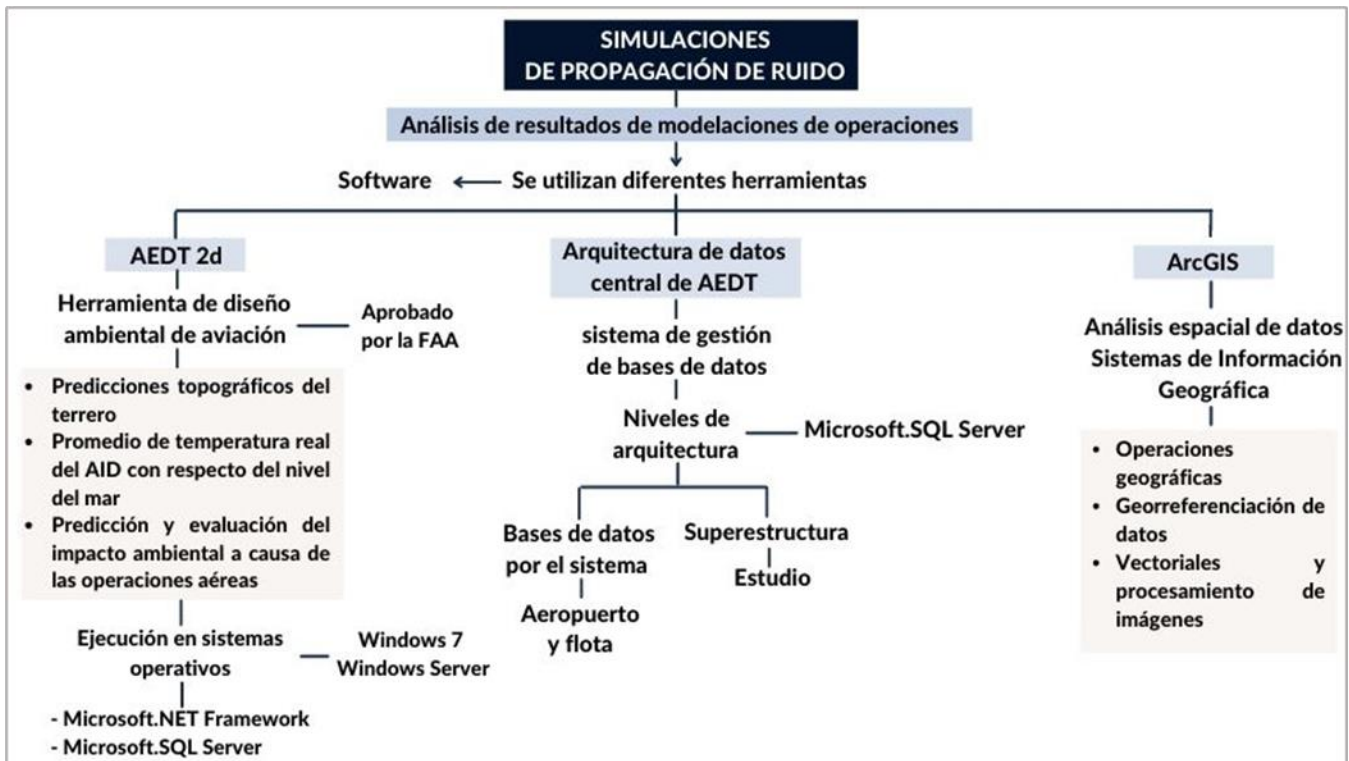


Ilustración 2. Diagrama de simulación de programación de ruido  
Fuente: Elaboración propia de estudio

Para el desarrollo de las simulaciones de propagación del ruido debido a las operaciones en aire se utilizó el software AEDT 2d aprobado oficialmente por la FAA (Administración Federal de Aviación), como herramienta para evaluar el impacto ambiental causado por la aviación en general, este software es la actualización de INM 7.0d (Modelación de Ruido Integrado) de la FAA, con el cual se conservan las respectivas formulaciones con varias mejoras. La más importante corresponde a que las simulaciones con AEDT se pueden realizar las predicciones con la topografía del terreno y el promedio de temperatura real del aeropuerto SKBO con respecto al nivel del mar, esta herramienta provee información y modelos matemáticos implementados en algoritmos de predicción y evaluación del impacto ambiental causado por las operaciones aéreas.

El AEDT se basa en Microsoft .NET Framework y SQL Server y es capaz de ejecutarse en los sistemas operativos Windows 7 y Windows Server. Está respaldado por extensas bases de datos del sistema que cubren aeropuertos, espacio aéreo e información de modelos de aeronaves que abarcan la naturaleza global de la industria de la aviación.



Adicionalmente se realizan operaciones y cálculos relacionales con ayuda del software Microsoft SQL Server el cual es un sistema de gestión de base de datos relacional, desarrollado por la empresa Microsoft. el lenguaje de desarrollo utilizado es Transact-SQL, una implementación del estándar ANSI del lenguaje SQL, utilizado para manipular y recuperar datos, crear tablas y definir relaciones entre ellas.

T-SQL (Transact-SQL) es el principal medio de interacción con el Servidor, el cual permite realizar las operaciones claves en SQL Server, incluyendo la creación y modificación de esquemas de base de datos, inserción y modificación de datos en la base de datos, así como la administración del servidor como tal. Esto se realiza mediante el envío de sentencias en T-SQL y declaraciones que son procesadas por el servidor y los resultados (o errores) regresan a la aplicación cliente.

La arquitectura de datos central de AEDT se basa en un sistema de gestión de bases de datos relacionales (Microsoft SQL Server). Hay dos niveles en la arquitectura, una base compuesta por dos bases de datos proporcionadas por el sistema (aeropuerto y flota) y una superestructura (estudio) para la gestión de contenido del usuario final.

En cuanto a las operaciones geográficas, georreferenciación de datos vectoriales y procesamientos de imágenes se utiliza el software ArcGIS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. producido y comercializado por ESRI, agrupando bajo el nombre genérico ArcGIS varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.

El análisis espacial proporciona una amplia posibilidad de recursos relacionados con el análisis espacial de datos. Con esta herramienta se pueden crear, consultar y analizar datos ráster; combinar varias capas ráster; aplicar funciones matemáticas, construir y obtener nueva información a partir de datos ya existentes, etc. y nos permite: obtener información nueva de los datos existentes; hallar ubicaciones adecuadas; realizar análisis de distancia y trayecto; identificar la mejor ruta existente entre dos puntos; realizar análisis estadísticos e Interpolar valores de datos para un área de estudio determinada.

La simulación de propagación de ruido de las operaciones en calles de rodaje, plataformas de parqueo y demás instalaciones en tierra, se realizaron con los estándares ICAN AzB 08 e ISO 9613-2\_2007 con el uso integrado del software CadnaA versión 2018 para presentar los resultados mixtos.

Los ajustes de este modelo se hicieron con base en los registros de los resultados del Sistema de Vigilancia y Control Ambiental (SVCA) implementado por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil para el área de influencia (AI) aeroportuaria, junto con los métodos establecidos de recomendaciones para el cálculo de contornos de ruido alrededor de aeropuertos a partir de la simulación acústica de trazas de radar. El modelo de simulación de propagación de ruido se realizó considerando la siguiente clasificación: a) operaciones despegue y aterrizaje, y b) operaciones en calles de rodajes, plataformas de parqueo y demás instalaciones en tierra.

#### **5.1.10 MODELACIÓN DE MÉTODOS DE CÁLCULO**

Los métodos del cálculo definidos para el estudio, se basa en los procedimientos operacionales de la terminal aérea, en escenarios de clasificación “a” y “b”, teniendo en cuenta las dinámicas operacionales para el año 2019 así como los procedimientos y operaciones de la puesta en marcha del denominado plan piloto 2019-2020. (Observar Ilustración 3)



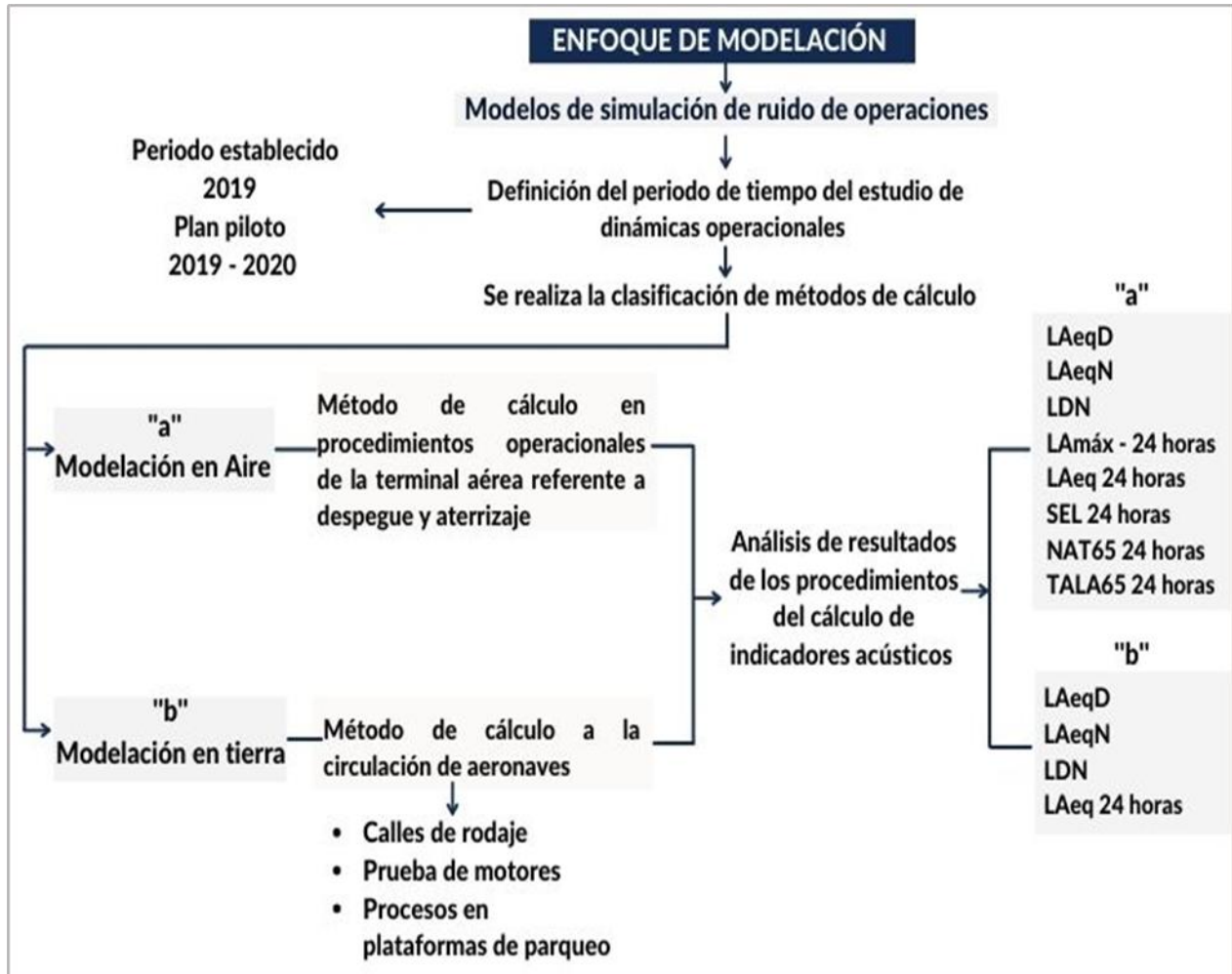


Ilustración 3. Esquema del diagrama de modelos de simulación acústica  
Fuente: Elaboración propia de estudio

Para llevar a cabo este escenario, es necesario el desglose total de los datos de las operaciones aéreas, así como la generación de escenarios adicionales que incluyen el comportamiento de las operaciones en conjunto e individuales de procedimientos de aterrizaje y despegue en las franjas horarias y tiempos específicos, nueva configuración de pistas y operaciones aéreas con restricción de aeronaves.

La clasificación “a” y “b”, son modelos matemáticos, que permitirá la formulación de los métodos de cálculo matemáticos de INM aprobados por la FAA. En la Ilustración 4 e Ilustración 5, se presenta el esquema general de los procedimientos para las modelaciones en aire y tierra, donde se representan la descripción de los softwares utilizados y algunas características del método.

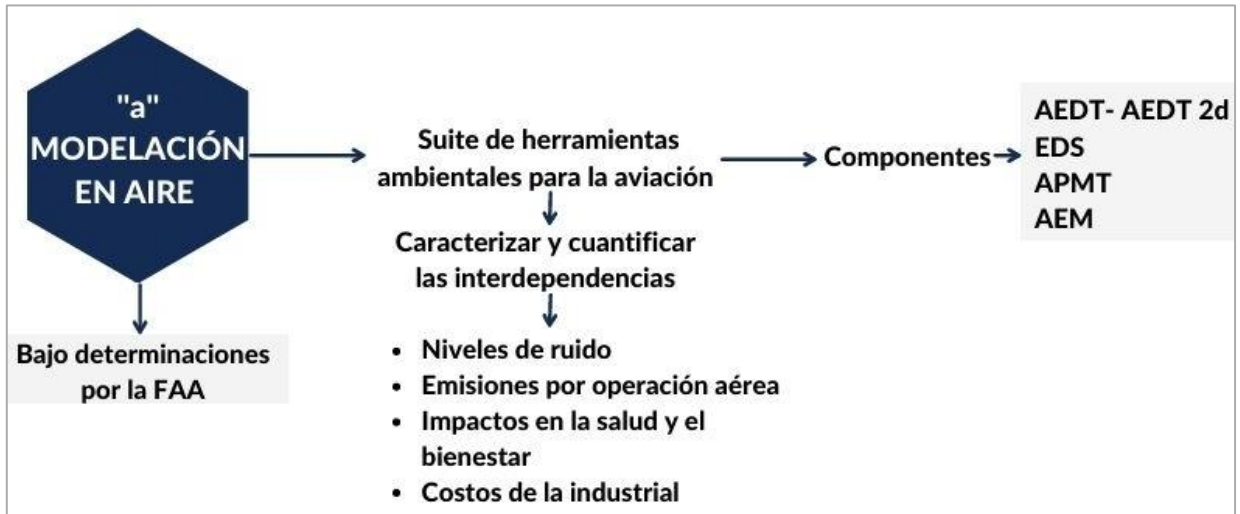


Ilustración 4. Metodo cálculo “a” de modelación en aire

Fuente: Elaboración propia de estudio

Para el desarrollo de esta modelación se debe utilizar la herramienta AEDT 2d de la FAA<sup>3</sup>, esta herramienta tiene como función proveer información para evaluar los impactos ambientales de acuerdo a los resultados de modelación esto a causa por la aviación, se deben tener en cuenta diferentes variables, como: altura, topografía del terreno y promedio de temperatura real del presente proyecto para el Aeropuerto Internacional El Dorado de la ciudad de Bogotá D.C. – SKBO, con respecto a la altura a nivel del mar (FAA, 2016). El software, permite por medio de otras herramientas, se ejecuten, o se lleven a cabo las curvas isófonas, con el fin de evidencia la altura del terreno más cuatro metros de altura, en un periodo de horas para el día (14 horas) y la noche (10 horas) tomado como se indica en la Res 0627<sup>4</sup> del MADS, para simular todos los indicadores acústicos definidos.

Considerando lo anterior y teniendo en cuenta el alcance del estudio, se debe establecer, los datos de alimentación del modelo de simulación bajo condiciones reales de las trayectorias de vuelo y trazas de radar que son extraídas a partir del Sistema de Vigilancia y Control Ambiental - SVCA, el cual es el sistema que integra cada traza de radar registrada por el aeropuerto junto con información FIS<sup>5</sup> (Fly information System) suministrada por la captación de datos de torre de control en su sistema de radar. No obstante, y como todo análisis de información de una base de datos, se debe realizar una evaluación, depuración y/o correcciones de los datos en el caso de que ello represente desajuste de estos.

<sup>3</sup> Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos

<sup>4</sup> Resolución 0627 del 2006 –

<sup>5</sup> Fly Information System

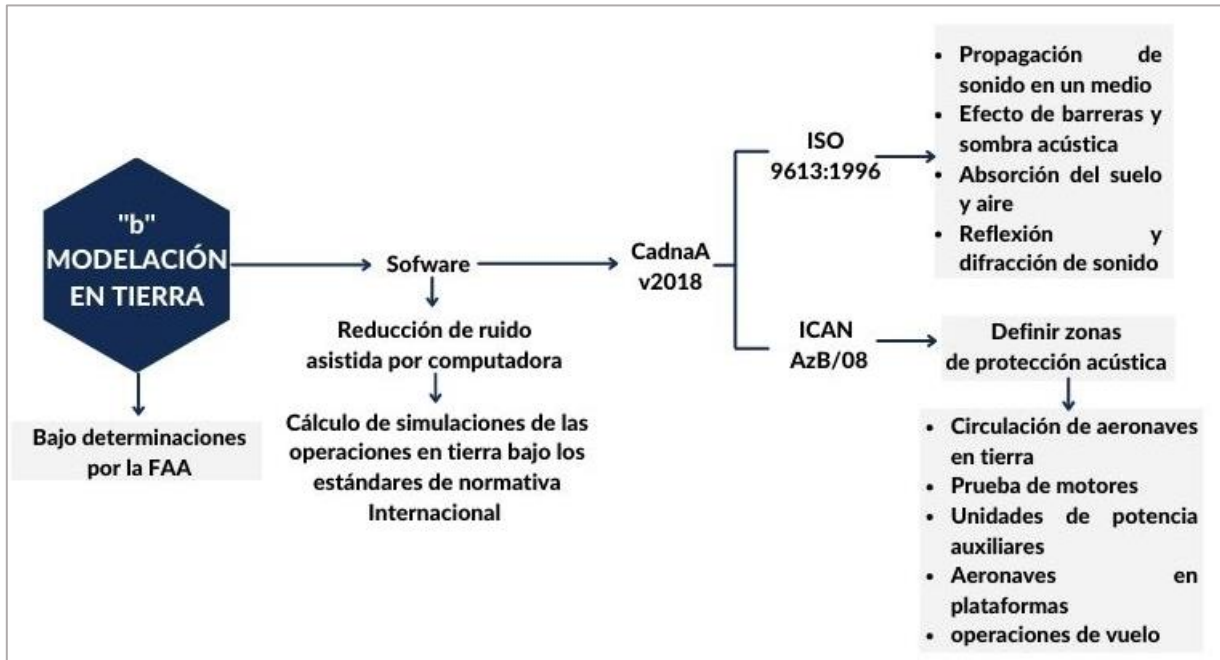


Ilustración 5. Metodo cálculo “b” de modelación en tierra  
Fuente: Elaboración propia de estudio

En la Ilustración 5, se tiene el esquema general para el método de cálculo, a emplear en modelación en tierra, dado a la importancia de la modelación acústica frente a las fuentes sonoras. El software de modelación en tierra “b” utilizado es CadnaA, este permite el cálculo, para representar, evaluar y predecir el ruido ambiental en una zona definida. La simulación de las operaciones en tierra, se caracterizan con respecto a los indicadores acústicos bajo los estándares internacionales ISO 9613:1996 y ICAN AzB/08, de tal manera obtener la equivalencia de los niveles de emisión de ruido producto de las operaciones aeroportuarias en tierra.

Con el estándar ISO 9613<sup>6</sup>, se calcula, la propagación sonora teniendo en cuenta los aspectos que esta norma refiere: propagación del sonido en un medio, efecto de barreras y sombras acústicas, absorción del suelo y del aire, reflexión y difracción del sonido.

El estándar ICAN/AzB 2008<sup>7</sup>, permite definir zonas de protección acústica a partir de información relacionada con circulación de aeronaves en tierra, prueba de motores, unidades de potencia auxiliares, aeronaves en plataformas y operaciones de vuelo como despegues y aterrizajes. La topografía, altura del aeropuerto, temperatura, porcentaje de humedad relativa y demás datos de entrada para el uso de este software fueron iguales a las consideradas en el desarrollo de las modelaciones con AEDT 2d.

<sup>6</sup> Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 2: General method of calculation

<sup>7</sup> ICAN/AzB 2008 Instrucción para el cálculo de ruido generado por aeronaves

### 5.1.11 CÁLCULO DE CURVAS DE NIVELES DE RUIDO (ISÓFONAS)

El cálculo de las curvas de niveles de ruido, se siguen los lineamientos establecidos en el Doc. 9911 de la OACI, cuales tienen como función bajo indicaciones el proceso de generación de los contornos. Se establece la importancia de los parámetros de entrada del modelo, así como la evaluación en los propósitos que este representa a corto mediano o largo plazo. Así, el presente documento y elaboración del modelo acústico para el Estudio de Impacto Ambiental del Aeropuerto Internacional El Dorado acoge los procesos metodológicos establecidos por el documento guía en relación. (Observar Ilustración 6).

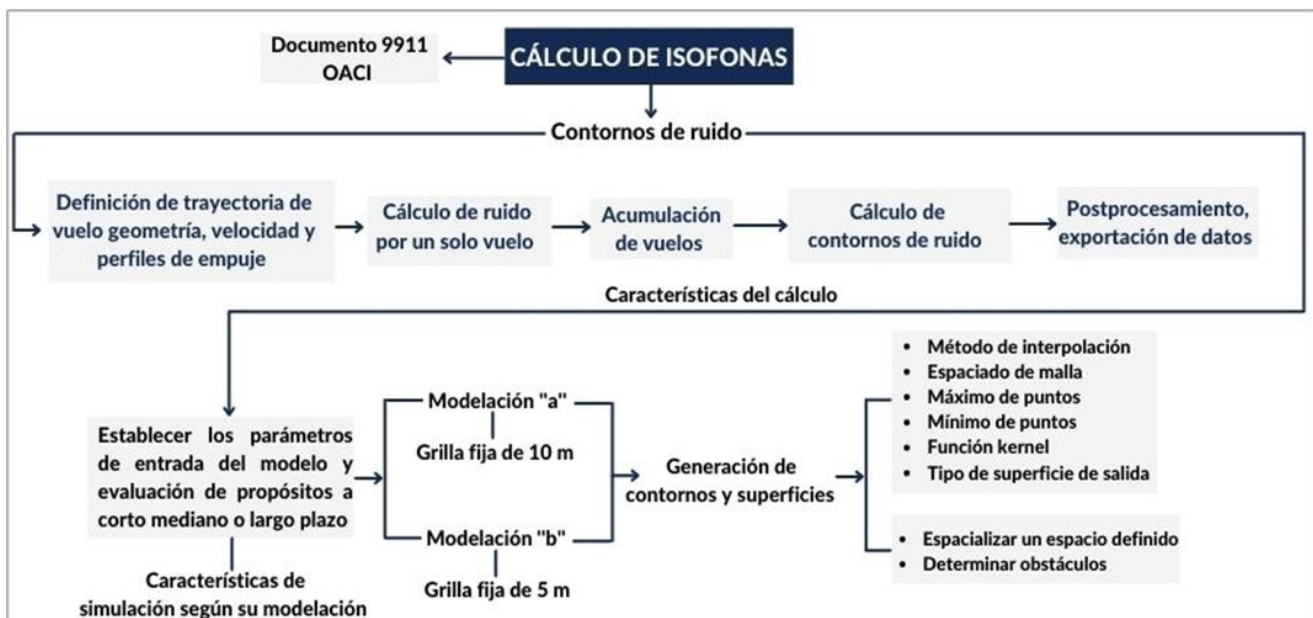


Ilustración 6. Esquema general del cálculo de isofonas – Doc 9911

Fuente: Elaboración propia de estudio

Es así que, bajo esos lineamientos, se definen, características de cálculos, como la optimización de un entramado regular de la cuadrícula, este requiere equilibrio entre la precisión del modelado y el tiempo de ejecución<sup>8</sup>. Se establece simulaciones de acuerdo al espaciado para los modelos de simulación acústica, donde:

- “a” se establecen 10 metros
- “b” se establecen 5

Este espaciado se determina, debido a que el dominio de los modelos “b” es mucho menor que el dominio de los modelos “a”. Asimismo, en la generación de los contornos y superficies continuas de niveles de presión sonora de estos modelos “a” se realizaron interpolaciones debido a las siguientes características:

<sup>8</sup> Doc. 9911 OACI - “Guía de recomendaciones para el cálculo de contornos de ruido en aeropuertos” Versión 2018.

- Método de interpolación: Interpolación polinomial local.
- Espaciado de malla: 10 metros.
- Máximo de puntos: 15.
- Mínimo de puntos: 10.
- Función kernel: Exponencial.
- Tipo de superficie de salida: Predicción.

Respecto a los modelos “b” el espaciado definido, representar la propagación del ruido en función de los obstáculos con sus respectivas refracciones. Con el respectivo software (ArcGIS) de simulación fueron generadas las salidas gráficas con sus contornos.

## 5.2 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA LOS MODELOS ACÚSTICOS POR OPERACIONES

La modelación acústica, se realiza con base en los registros de los resultados del Sistema de Vigilancia y Control Ambiental (SVCA) implementado por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil para el área de influencia (AI) aeroportuaria, junto con los métodos establecidos de recomendaciones para el cálculo de contornos de ruido alrededor de aeropuertos a partir de la simulación acústica de trazas de radar.

El modelo de simulación de propagación de ruido se debe considerar, la siguiente clasificación: a) operaciones despegue y aterrizaje, y b) operaciones en calles de rodajes, plataformas de parqueo y demás instalaciones en tierra.

Como características a considerar, para los cálculos, se realizaron con base en los resultados de las simulaciones de propagación de ruido e información cartográfica de predios, usos del suelo y densidad poblacional. La configuración operacional utilizada en la construcción del escenario para este modelo obedece a los siguientes parámetros establecidos en los siguientes numerales.

### 5.2.1 MODELO ACÚSTICO GENERADO POR OPERACIONES EN AIRE “a”

El objetivo principal de este esfuerzo es desarrollar una capacidad críticamente necesaria para caracterizar y cuantificar las interdependencias entre los niveles de ruido y las emisiones relacionados con la aviación, los impactos en la salud y el bienestar, así como los costos de la industria y el consumidos, bajo diferentes escenarios de políticos, tecnologías, operaciones y mercado. (Federal Aviation Administration, s.f.)

Considerando lo anterior y teniendo en cuenta el alcance del presente estudio, se establecieron los datos de alimentación del modelo de simulación bajo condiciones reales de las trayectorias de vuelo y trazas de radar que son extraídas a partir del Sistema de Vigilancia y Control Ambiental - SVCA, el cual es el sistema que integra cada traza de radar registrada por el aeropuerto junto con información FIS (Fly information System)





---

suministrada por la captación de datos de torre de control en su sistema de radar. No obstante, y como todo análisis de información de una base de datos, se debe realizar una evaluación, depuración y/o correcciones de los datos en el caso de que ello represente desajuste de estos.

En la siguiente Ilustración 7, se describen el proceso de modelación acústica generado por operaciones en aire, teniendo en cuenta los datos de entrada bajo todas las características físicas del Aeropuerto Internacional El Dorado de la ciudad de Bogotá D.C.

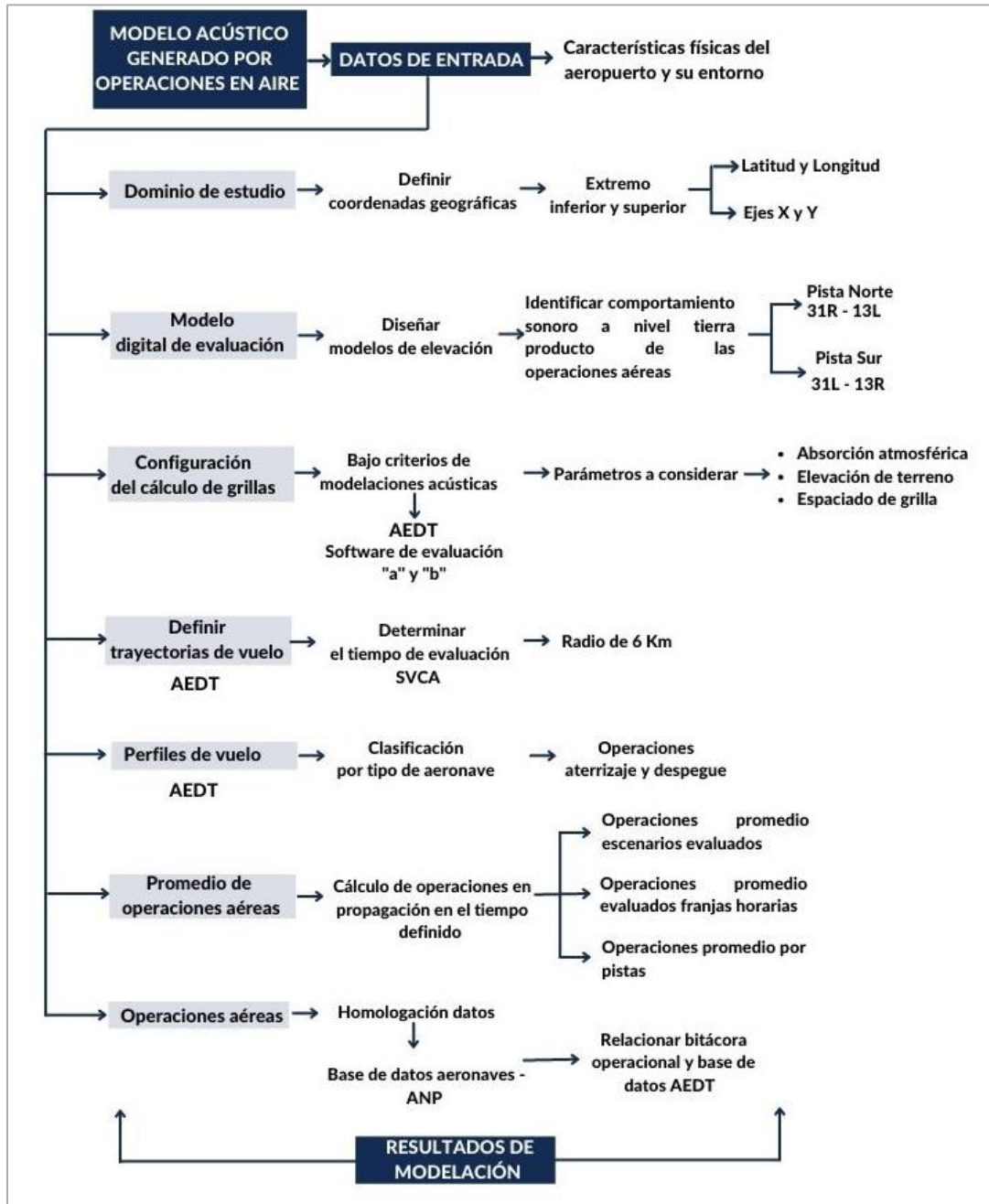


Ilustración 7. Proceso y características de la modelación acústica en aire “a”  
Fuente: Elaboración propia de estudio

### 5.2.1 MODELO ACÚSTICO GENERADO POR OPERACIONES EN TIERRA “b”

En la siguiente Ilustración 8, se describen el proceso de modelación acústica generado por operaciones en tierra teniendo en cuenta los datos de entrada bajo todas las características físicas del Aeropuerto Internacional El Dorado de la ciudad de Bogotá D.C.



AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL

TÉRMINOS DE REFERENCIA EN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL  
AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO

CAPÍTULO 5 – CARACTERIZACIÓN ÁREA DE INFLUENCIA



AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL

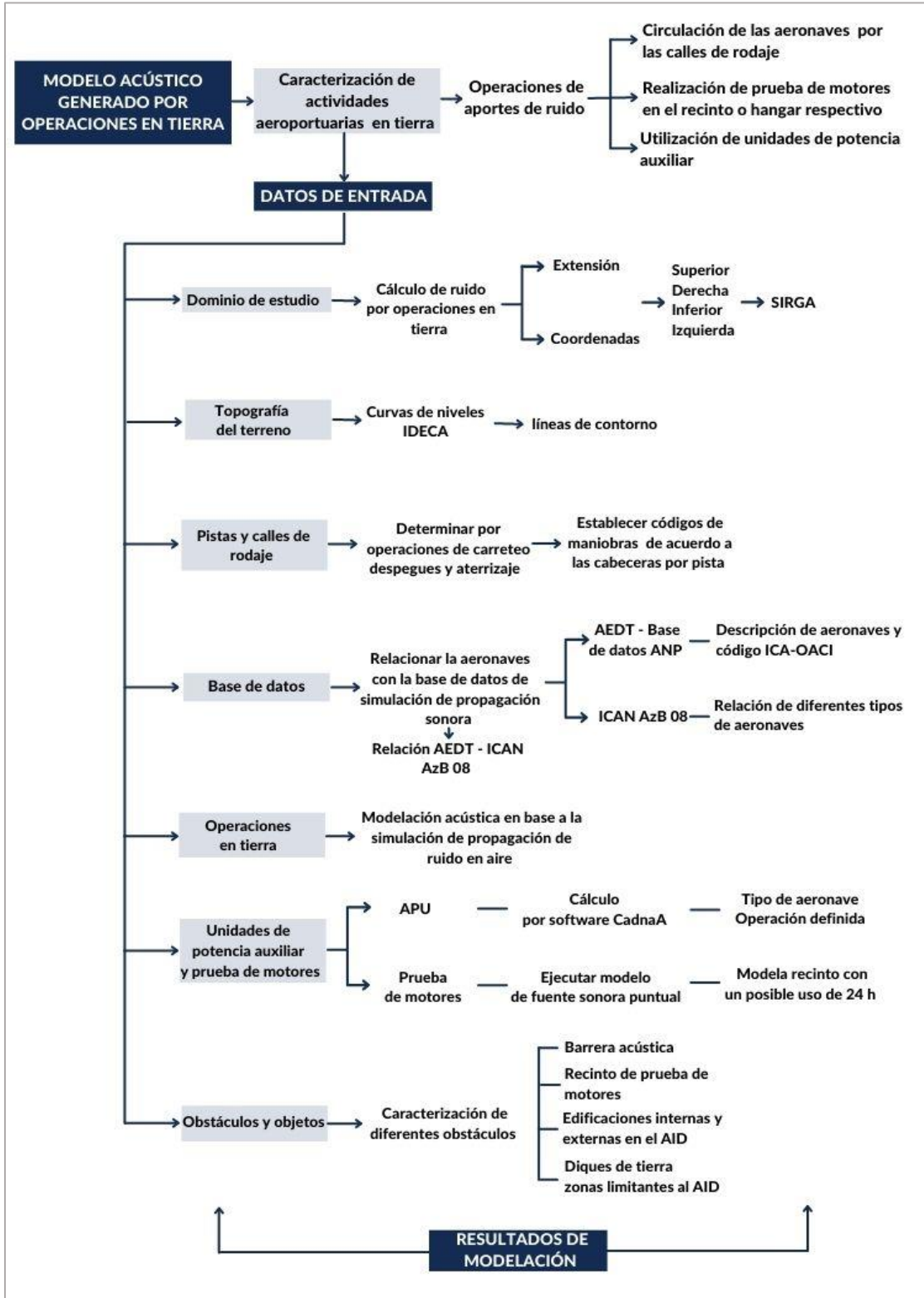


Ilustración 8. Proceso y características de la modelación acústica en tierra “b”  
Fuente: Elaboración propia de estudio

La simulación de propagación de ruido con los indicadores acústicos se basa en el número de pruebas de motores en el recinto, que corresponden a valores calculados como promedios energéticos diarios, los cuales son equivalentes a 2 pruebas en el día y 1 prueba en la noche.

### 5.2.2 RESULTADOS DE MODELACIÓN DEL CÁLCULO DE MODELOS ACÚSTICOS

Los resultados de la modelación de las operaciones aéreas, se representan bajo los criterios ya mencionados en los procesos con la respectiva caracterización de los niveles acústicos, base de datos geográficos de información de entrada y salida de cada uno de los ejecutables del software ArcGIS.

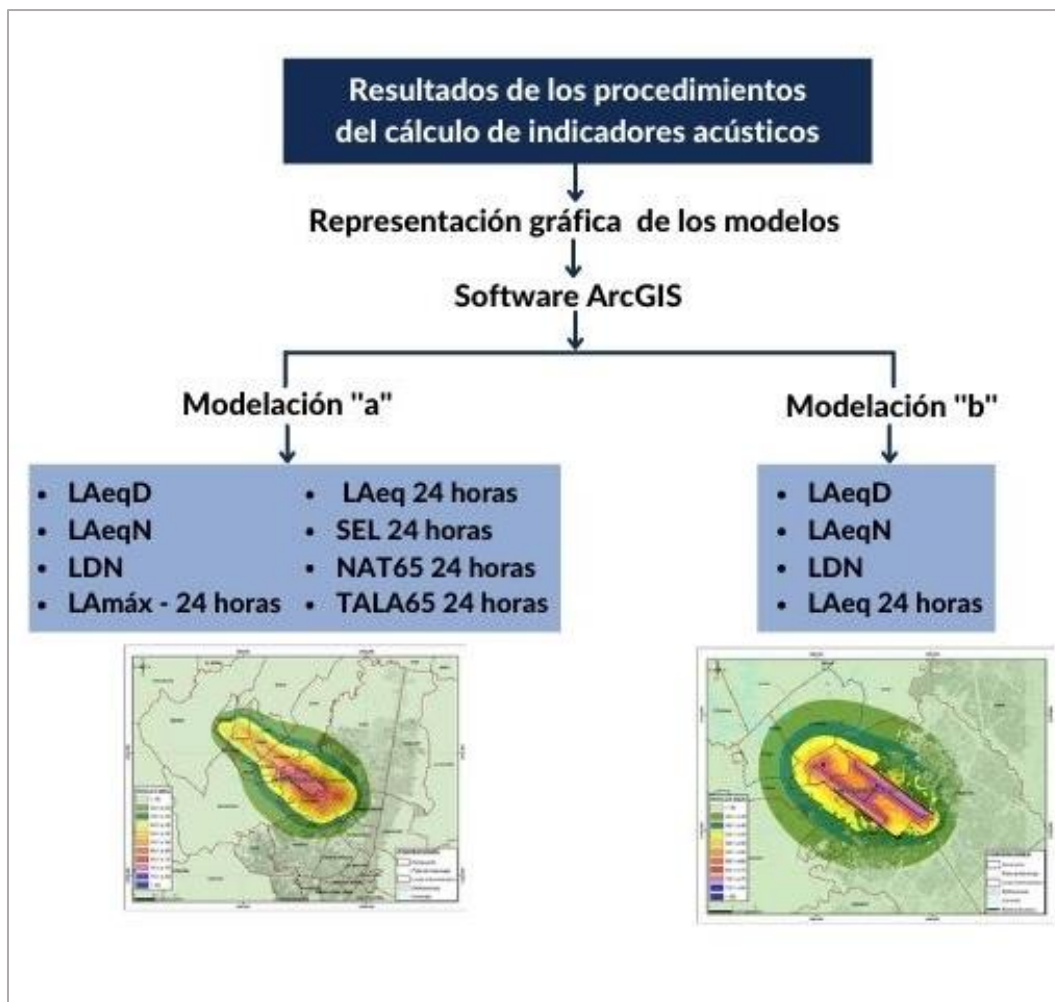


Ilustración 9. Representación gráfica de resultados de modelación

Fuente: Elaboración propia de estudio