



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008- A057

Resultados y metodologías de estudios de ruido aeroportuario

Max Glisser Donoso^(a)
Christian Gerard Büchi^(b),

(a) Jefe de Proyectos – Control Acústico Ltda. Villaseca #21, oficina 5005, Santiago, Chile. E-mail: mglisser@controlacustico.cl

(b) Gerente General – Control Acústico Ltda. Villaseca #21, oficina 5005, Santiago, Chile. E-mail: cgerard@controlacustico.cl

Abstract

Since some five years ago, Control Acústico Ltda is working on surveys to get information on noise levels generated by airplanes operation at airports, both in Chile and abroad. These surveys included Chilean airports such as Arturo Merino Benítez in Santiago, Maquehue in Temuco, Carriel Sur in Concepción, El Tepual at Puerto Montt, Mataveri at Eastern Island and Español in Barcelona, Spain. This paper displays some results of these surveys using the software Integrated Noise Model (INM) from the Federal Aviation Administration, discusses methods used to obtain curves of equal sonority of YLDN, among them measuring of 24 hours, or longer, continuous Sound Pressure Levels and shows an analysis allowing to calibrate the models, fleet structure, approaching and take-off pathways and finally results evaluation according to the North American Rules, FAR, chapter 150, “Airports Noise Compatibility Plan”.

Resumen

Desde hace más de 5 años que Control Acústico Ltda., viene efectuando estudios para la obtención de los niveles de ruido generado por las operaciones aéreas de aeropuertos en Chile y también en el exterior. Dentro de estos estudios se incluyen los aeropuertos chilenos Arturo Merino Benítez de Santiago, Maquehue de Temuco, Carriel Sur de Concepción, El Tepual de Puerto Montt, Mataveri de Isla de Pascua y el aeropuerto Español de Barcelona. En este documento, además de mostrar los resultados obtenidos mediante el software Integrated Noise Model (INM) de la Federal Aviation Administration en algunos de los estudios efectuados por la empresa, se discuten las metodologías utilizadas para la obtención de las curvas de igual sonoridad de YLDN, dentro de los cual se encuentran las mediciones de Nivel de Presión Sonora en forma continua por 24 horas o más y su análisis que permite calibrar los modelos, la composición de flota, las ruta de acercamiento y despegue utilizadas y finalmente la evaluación de los resultados considerando la normativa norteamericana FAR Parte 150 “Plan de Compatibilidad Sonora de Aeródromos”.

1 Introducción

Este trabajo pretende efectuar un análisis de la normativa aplicable, y las metodologías utilizadas por Control Acústico Ltda. para efectuar estudios del ruido generado por las operaciones aéreas de aeropuertos.

2 Antecedentes

2.1 Política y Regulaciones De Ruido - F.A.A (U.S. Federal Aviation Administration)

Las regulaciones FAR (Federal Aviation Regulations) se presentan en el Código 14 CFR (Code of Federal Regulations) para Estados Unidos de Norteamérica. Además la FAA publica su política, guías y material de información a través de circulares llamadas Advisory Circular (AC).

FAR Part 150: Esta regulación fue realizada en respuesta a la necesidad de establecer un estándar nacional para identificar las incompatibilidades entre el uso de suelo y nivel de ruido, junto con establecer programas de eliminación de conflictos. Esta regulación fue establecida bajo el acta de 1979 de la "Aviation Safety and Noise Abatement".

La FAR 150 describe estándares específicos y sistemas para:

- Mediciones de Ruido
- Estimación de exposiciones acumulativas de ruido usando modelaciones computacionales.
- Descriptores de exposición sonora, incluyendo niveles de ruido instantáneo, niveles de ruido para evento único y exposición acumulativa.
- Define el L_{DN} como:

$$L_{DN} = 10 \log \left\{ \left(\frac{1}{24} \right) \left[(15 \times 10^{0.1L_D}) + (9 \times 10^{0.1(L_N+10)}) \right] \right\} \quad (1)$$

Donde:

L_D : Nivel de presión sonora continuo equivalente día (medido de 07:00 a 22:00 horas).

L_N : Nivel de presión sonora continuo equivalente noche (medido de 22:00 a 07:00 horas).

- Se define el Nivel Día Noche Anual YL_{DN} como la media energética de los 365 L_{DN} diarios:

$$YL_{DN} = 10 \log \left[\frac{1}{365} \sum_{j=1}^{365} 10^{\frac{L_{DNj}}{10}} \right] \quad (2)$$

- Coordinación del desarrollo de programas de ruido compatible, junto con la planificación de usos de suelo con autoridades locales y otras partes interesadas.
- Detalla la documentación de los procesos analíticos y el desarrollo de programas de compatibilidad de uso de suelo con el ruido, los cuales serán remitidos a la FAA.
- Procesos de revisión pública del estudio por parte de la FAA.
- Proceso de aprobación por parte de la FAA.

La Tabla siguiente muestra los valores límites de nivel de ruido, compatibles con distintos usos de suelo.

Tabla 1: FAR 150, cuadro de compatibilidad para diferentes usos de suelo, según el $Y_{L_{DN}}$ en dB(A) Lento

$Y_{L_{DN}}$ en dB(A) Lento	< 65	65 - 70	70 - 75	75 - 80	80 - 85	85 <
RESIDENCIAL						
Residencial casas rodantes, y estadias transitorias	Si	No	No	No	No	No
Estacionamientos de casas rodantes	Si	No	No	No	No	No
Estadias transitorias	Si	No	No	No	No	No
USO PUBLICO						
Escuelas	Si	No	No	No	No	No
Hospitales y casas de reposo	Si	25	30	No	No	No
Iglesias, Auditorios, salas de concierto	Si	25	30	No	No	No
Servicios gubernamentales	Si	SI	25	30	No	No
Transporte	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Estacionamientos	Si	Si	Si	Si	Si	No
USO COMERCIAL						
Oficinas, Negocios y Profesionales	Si	Si	25	30	No	No
Supermercados y comercio en general, ferretería y equipamiento de granja	Si	Si	Si	Si	Si	No
Servicios	Si	Si	25	30	No	No
Comunicaciones	Si	Si	Si	Si	no	No
MANUFACTURA Y PRODUCCIÓN						
Manufactura en general	Si	Si	Si	Si	Si	No
Fotografía y óptica	Si	Si	25	30	No	No
Agricultura excepto animales y forestación	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Semilleros, otros	Si	Si	Si	No	No	No
Minería, pesca, producción y extracción	Si	Si	Si	Si	Si	Si
RECREACIONAL						
Deportes en exterior	Si	Si	Si	No	No	No
Conchas acústicas, anfiteatros	Si	No	No	No	No	No
Exposiciones naturales y zoológicos	Si	Si	No	No	No	No

NLR: Nivel de Reducción de Ruido, (exterior a interior) a ser lograda con la incorporación de atenuación de ruido en el diseño y construcción de la estructura.

25, 30 o 35: Uso de suelo y estructuras relacionadas, generalmente compatibles; medidas para lograr un NLR de 25, 30 o 35 dB debieran ser incorporadas en el diseño y construcción de la estructura.

FAR Part 161: Establece un programa de revisión de los niveles de ruido de aeropuertos, junto con las restricciones sobre el uso de aeronaves etapa 2 y etapa 3. Esta FAR requiere que el administrador del aeropuerto examine los impactos acústicos en un área de estudio, ocasionados por proposiciones de acceso y variaciones del nivel de ruido.

El área debe incluir todas las localidades ubicadas dentro del contorno $Y_{L_{DN}}$ 65 dB(A), posteriormente se deben realizar las evaluaciones de acuerdo a la FAR 150.

3 Mediciones de ruido

3.1 Procedimiento de medición - Monitoreo Continuo y Mediciones Puntuales

Se utilizaron dos métodos para minimizar el potencial efecto del ruido de fondo, ajeno a las actividades de los aeródromos estudiados. En primer lugar, se determinó en cada punto el valor de ruido de fondo, constatando que el $NPS_{m\acute{a}x}$ dB(A) estuviera por lo menos 10 dB(A) por debajo del $NPS_{m\acute{a}x}$ de registro correspondiente al paso de aviones, junto con esto, se registró el descriptor SEL en dB(A) lento.

Las mediciones de tipo móvil se realizaron con un operador en terreno, por lo tanto se tiene la certeza de que los registros de SEL corresponden a la exposición sonora o energía vinculada a la maniobra realizada por la aeronave.

Al mismo tiempo, se instalan estaciones de registro continuo de 48 horas y 24 horas, con una resolución de 10 segundos. El registro contempla los descriptores SEL, $NPS_{m\acute{a}x}$ y NPS_{eq} . En un trabajo de post-proceso se filtró la energía correspondiente al paso de aeronaves identificada por la superación de un umbral de SEL determinado para cada punto, la duración del evento y una relación constante en torno a 10 dB(A) entre el $NPS_{m\acute{a}x}$ y el SEL. Eventos de mayor o menor duración, menor umbral de exposición sonora, o relaciones entre máximo y SEL fuera del rango definido, indicarían la presencia de un evento que no corresponde al paso de aeronaves. A esta energía sonora no correspondiente a las maniobras de despegue o aproximación, se le denominó nivel de ruido “residual”, ya que no se tiene la certeza que represente el ruido de fondo del sector.

En una segunda etapa se correlaciona la información con el itinerario de operaciones aéreas (informe de operaciones estimadas), donde se verificaron específicamente las coincidencias con las horas punta.

La ubicación de los puntos de medición obedeció a los siguientes criterios:

- Que estén suficientemente alejados de fuentes de ruido fijas y de tránsito vehicular.
- Que representen sectores densamente poblados y con alta percepción del tráfico aéreo.
- Que se ubiquen en el sector marginal del área de influencia de L_{DN} 65 dB(A) definido ‘a priori’ por el método “screening” de la F.A.A. (conjunción del modelo AEM e INM).
- Que describan zonas de los contornos de ruido esperados por el método Screening, ya sean zonas laterales de los contornos, como los umbrales del contorno.
- Que presenten los niveles más altos de ruido en la actualidad.
- Que representen por similitud física, a los futuros sectores potencialmente impactados, caracterizando así, un posible escenario comparado.

En resumen, la elección de los puntos móviles proporciona vital información sobre la propagación sonora con la distancia, y las dosis de exposición sonora por evento, lo cual permite definir los contornos de nivel de ruido, dentro de un área de influencia acotada.

El descriptor utilizado, corresponde al NPS_{eq} , el $NPS_{m\acute{a}x}$, el $NPS_{m\acute{i}n}$ y el SEL (Nivel de Exposición Sonora).

El SEL representa el mejor descriptor métrico de la dosis de energía para el paso de una aeronave (un evento aislado), y corresponde a una cantidad acumulativa, lo que significa que:

- a) eventos más sonoros tienen un SEL más alto,
- b) eventos más largos en el tiempo, tienen un SEL más alto que eventos cortos.

Matemáticamente se define el SEL como:

$$SEL = 10 * \text{Log}_{10}[\text{Energía_Total_del_Evento}] \quad (3)$$

Este descriptor tiene una mejor correlación con la molestia de los receptores, debido a que pondera de mejor forma la duración del evento y además sirve para calcular el NPSeq para la jornada.

El Valor NPSeq para la jornada de 24 horas se define a partir del SEL de eventos múltiples durante la jornada:

$$NPS_{eq}(24 \text{ horas}) = 10 * \text{Log}(Energía \text{ Suma de SEL de las 24 horas}) - 49.4 \quad (4)$$

Por otra parte, se define el SEL de varios eventos iguales al registrado como:

$$SEL(\text{Periodo}) = SEL(\text{un evento aislado}) + 10\text{Log}(N^{\circ} \text{ eventos en el periodo}) \quad (5)$$

Se calcula el valor Nivel Día Noche (L_{DN}) de acuerdo a la siguiente ecuación (1).

3.2 Ubicación de puntos de medición continua de ruido

En las siguientes ilustraciones se entregan la ubicación de algunos puntos donde se efectuaron monitoreos continuos de 48 y 24 horas.



Figura 1: Ubicación esquemática de los puntos de monitoreo continuo considerados. Aeropuerto Mataveri, Isla de Pascua, Chile.

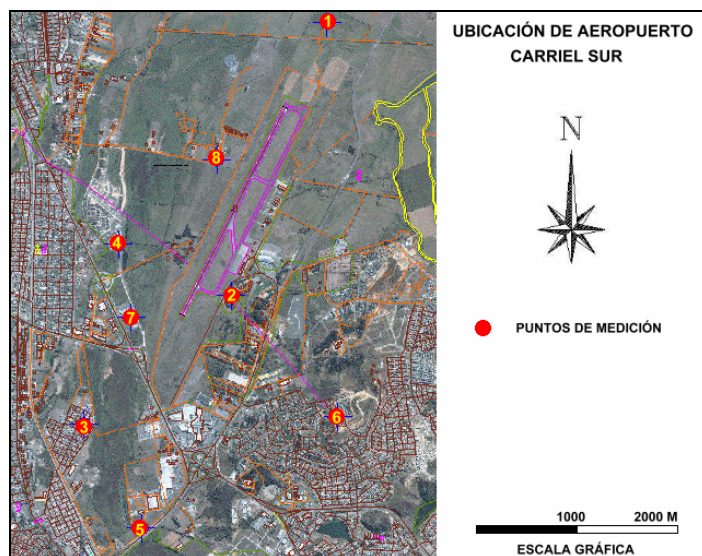


Figura 2: Ubicación esquemática de los puntos de monitoreo continuo considerados. Aeródromo Carriel Sur, Concepción, Chile.

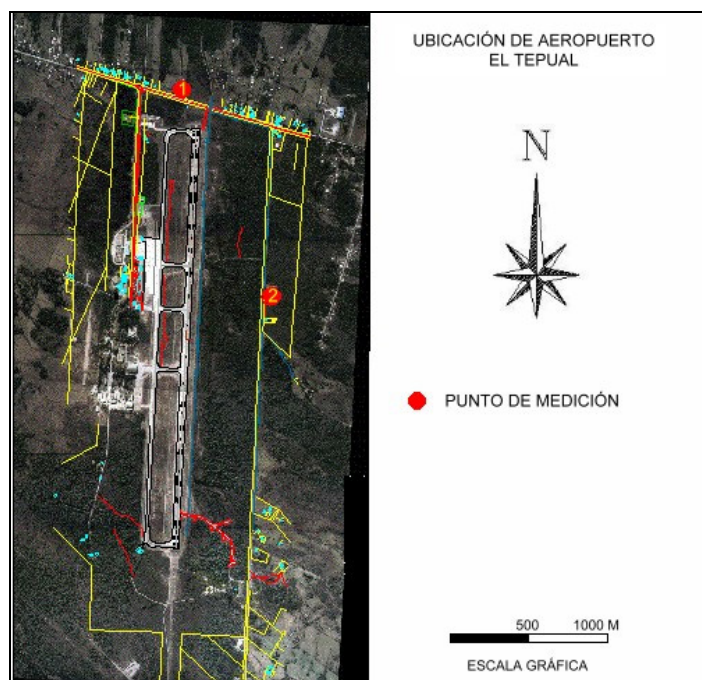


Figura 3: Ubicación esquemática de los puntos de monitoreo continuo considerados. Aeropuerto El Tepual, Puerto Montt, Chile.

4 MODELACIÓN DE CONTORNOS DE EXPOSICIÓN SONORA

Teniendo en cuenta la extensión del área afectada por el ruido de un aeropuerto, es posible imaginar la gran dificultad que encierra tratar de definir con una precisión aceptable, el impacto de un aeropuerto en base a mediciones. Serían necesarias campañas de medición muy largas para que puedan considerarse representativas, ya que, los niveles de inmisión obtenidos en un punto en un día determinado, pueden diferir en muchos dB(A), respecto a otro día cualquiera; debido a la variación de factores como:

- Mayor o menor utilización de trayectorias para aterrizaje o despegue.
- Propagación del sonido por las condiciones meteorológicas.
- Carga y modos de operación de la aeronave.

Lo anterior sin tener en cuenta la dificultad que en determinadas áreas puede presentar la presencia de focos de ruido externos. Sin embargo, el planteamiento de estudios con un grado de precisión aceptable para efectuar, por ejemplo, una planificación de los usos del suelo en el área afectada por el aeropuerto, que sea acorde con los niveles sonoros existentes, se necesitan contemplar los factores ya mencionados. Una metodología que permite estas consideraciones, es el empleo de métodos de cálculo avanzados que permiten la inclusión de un elevado porcentaje de los parámetros que influyen en el cálculo del impacto, obteniendo un resultado representativo del impacto promedio en períodos largos de tiempo (Media anual).

El presente capítulo describe la metodología utilizada para la realización de un contorno de exposición sonora para los sectores aledaños de un aeropuerto, representando una descripción del escenario actual (Y_{LDN} año corriente), proporcionando una herramienta de diagnóstico y refinación del conocimiento del ambiente acústico del sector.

4.1 Metodología de Análisis y Modelación de Ruido Aeronáutico Según “Anexo A” de La FAR 150 – Contornos de Exposición Sonora

El procedimiento para la elaboración del modelo de contornos de ruido, se realizó de acuerdo a las directrices fijadas en el Apéndice A de la F.A.R. 150 “Noise Exposure Maps”, es decir:

- Incluye un único método de mediciones para relacionar el grado de molestia con el nivel de ruido.
- Permite el uso del modelo INM u otro autorizado por el F.A.A. para la generación de los contornos de ruido actual y predictivo normalizados.
- Las mediciones y monitoreo se utilizan para una refinación del modelo (opcionales).

El apéndice A de la FAR 150 define los descriptores y procedimientos de medición que se deben utilizar:

- Las mediciones se realizan con un equipo de tipo 2, con el filtro en ponderación A en respuesta lenta.
- Las mediciones de validación del modelo deben incluir el $NPS_{máx}$ y el SEL en dB(A).
- Describe el método para calcular el LDN (Nivel equivalente día-noche) y el Y_{LDN} (Nivel equivalente anual día-noche) a partir de los registros de SEL en dB(A) para un número conocido de eventos.

Los requerimientos mínimos que el reporte de exposición sonora debe cumplir son los siguientes:

- Se deben incluir los contornos de 65, 70 y 75 dB(A) YLDN (se pueden incluir contornos adicionales).
- Se deben identificar las rutas de vuelo y las pistas del aeropuerto.
- Sitios sensibles (escuelas, templos, hospitales)
- Estimación del número de habitantes dentro de los contornos de 65, 70 y 75 dB(A) YLDN.
- El mapa se debe presentar en una escala que permita identificar las calles.
- Se incluirán descripciones de las rutas usadas en el periodo diurno y nocturno.

Se utilizará la metodología estandarizada para el análisis de condiciones de ruido, lo que involucra el uso de un software de simulación INM 6.1 (Integrated Noise Model – actualizado al año 2003).

Este software incluye sofisticadas variables, como la elevación del aeropuerto, viento de cabezal, configuración de pistas, rutas de vuelo, perfiles de vuelo, índice de mezcla por ruta, carga de aeronave, numero de operaciones por aeronave y variables meteorológicas.

El software proporciona una base de datos y una ayuda para elaborar los perfiles de vuelo, junto con establecer la potencia o empuje por motor de cada aeronave (Corrected Net Thrust per Engine), para la maniobra diseñada.

Finalmente, el software es capaz de calcular valores detallados en una cuadrícula, proporcionando valores precisos en puntos definidos como receptores, además de un mapa de contorno de ruido.

4.2 Ejemplo de Escenario modelado – Pistas y Rutas

A modo de ejemplo se muestra el aeropuerto de Barcelona el cual presenta tres pistas con las siguientes características físicas:

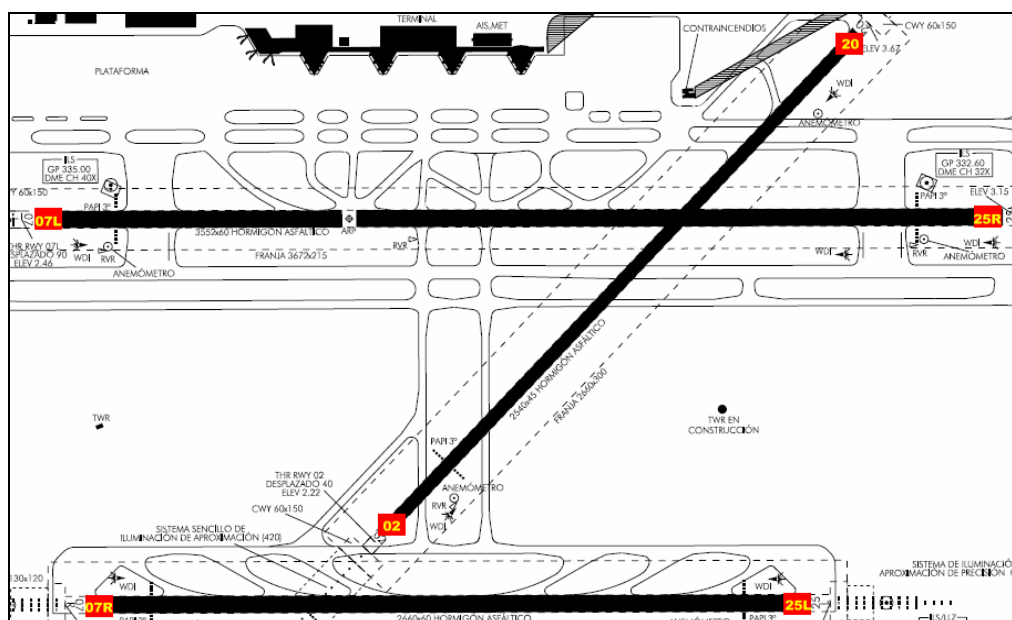


Figura 4: Descripción de pistas y umbrales de aeropuerto de Barcelona

4.3 Resultados del Modelo

En el presente capítulo se mostrarán algunas salidas del modelo a modo de ejemplo.

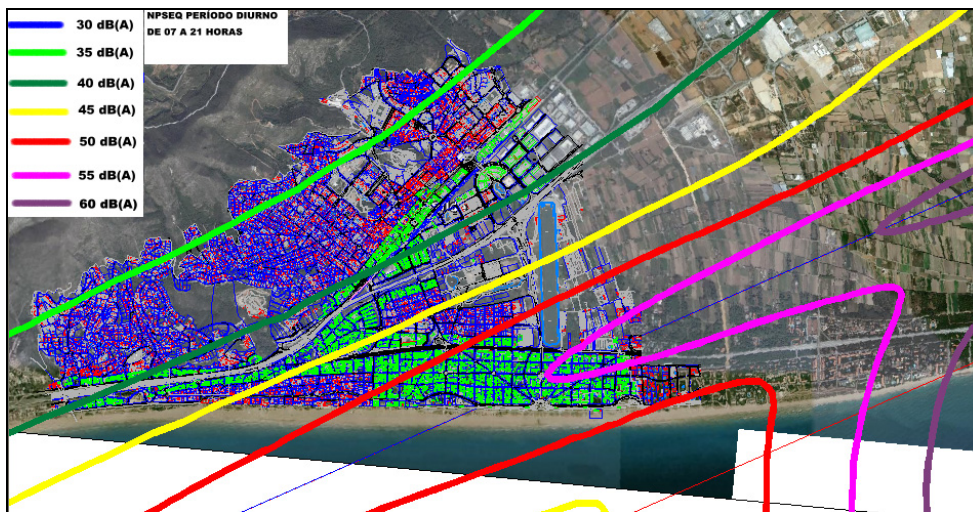


Figura 5: Mapa de ruido para escenario $L_{Día}$. Para el sector de Castelldefels, Barcelona.

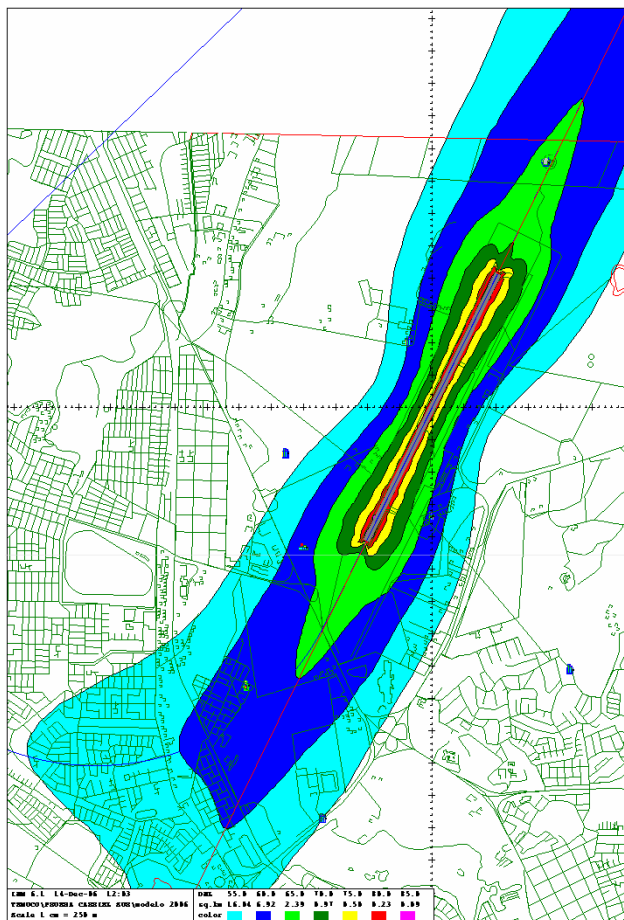


Figura 6: Mapa de ruido para escenario YLDN para año 2006. Carriel Sur

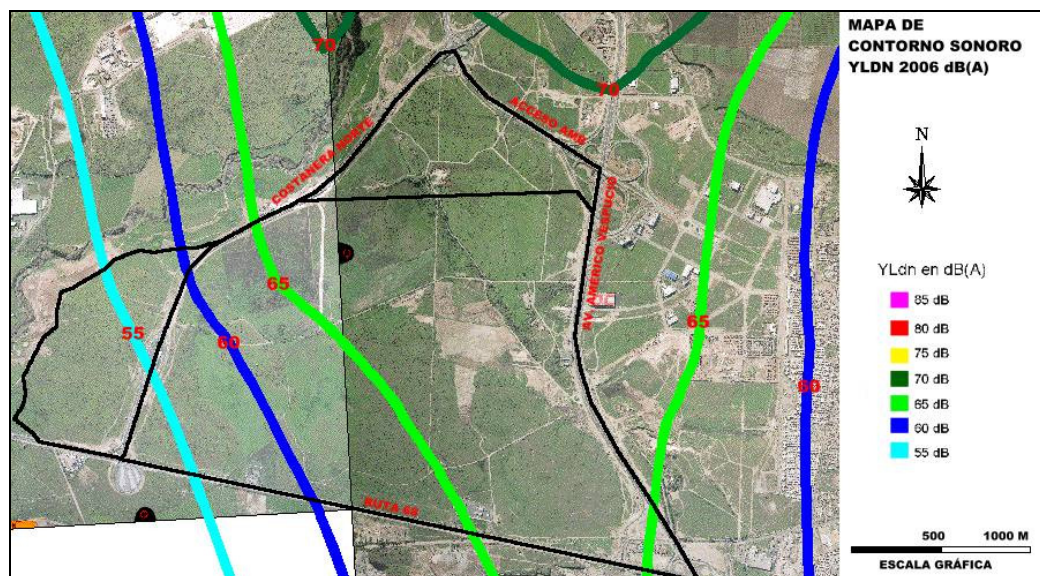


Figura 7: Escenario YLDN para año 2006. Sector sur, Aeropuerto A. M. B.

5 CONCLUSIONES

El procedimiento de modelación recomendado por la FAR part 150 otorga una herramienta eficiente para efectuar mediciones y modelaciones del ruido generado por las operaciones aéreas en los entornos de aeropuertos.

A través de las modelaciones de YLDN es posible evaluar los resultados obtenidos con respecto a la compatibilidad de los usos de los sectores elegidos con el ruido generado por las operaciones aéreas.

Con el uso del modelo Integrated Noise Model (INM) se obtienen además de variados descriptores acústicos en puntos específicos, gráficas las cuales pueden incorporarse tanto en formatos SIG como vectoriales a otra información que permita determinar zonas de conflictos actuales o futuros con respecto a la compatibilidad del uso de los sectores con el ruido generado por las operaciones aéreas.

Referencias

- Regulación de Aviones Federal (FAR), Parte 36 “Normativa sobre Ruidos: Tipo de Avión y Certificado de Aeronavegabilidad”, Parte 150 “Plan de Compatibilidad Sonora de Aeródromos”
- Software INM 6.3, Contornos de Exposición Sonora en Entornos Aeroportuarios; INM User’s Guide. 1994, Federal Aviation Administration. Office of Environment and Energy. Washington DC.
- Regulación de Aviación Federal (FAR) parte 91: Noise Limits Aircraft Operation;
- Regulación de Aviones Federal (FAR), Parte 36 “Normativa sobre Ruidos: Tipo de Avión y Certificado de Aeronavegabilidad”, Parte 150 “Plan de Compatibilidad Sonora de Aeródromos”