INERCO Acústica

Consultores · Fabricantes · Instaladores · Laboratorio Acústico

Parque Tecnológico Aeroespacial de Andalucía "AEROPOLIS"
C/ Juan Olivert, 10 – CN. IV – Km. 528
41300 – SEVILLA
Telf: 95.563.02.73 · 95.563.09.84 · Fax: 95.563.04.22
e-mail: info@inerco.com

Sevilla-Madrid-Tarragona

CHILE-PERU-COLOMBIA-U.S.A.

ESTUDIO ACÚSTICO DE LA PLANTA DE REGASIFICACIÓN EN MUGARDOS

Nº Informe: IN/ES-16/0316-001/01
Fecha: 23 de mayo de 2016

ÍNDICE

1. IDENTIFICACIÓN DEL ESTUDIO 1
1.1. ENTIDAD QUE REALIZA EL ESTUDIO 1
1.2. EQUIPO DE TRABAJO 1
2. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO 2
3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA Y ENTORNO 3
3.2. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO Y ZONIFICACIÓN ACÚSTICA 4
4. NORMATIVA DE REFERENCIA 5
5. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 7
6. MODELO DE RADIACIÓN SONORA 10
7. RESULTADOS 11
8. 8. CONCLUSIONES 18
ANEXO I. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN 19
I.1 ATENUACIONES DURANTE LA PROPAGACIÓN DEL RUIDO 20

1. IDENTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

1.1. ENTIDAD QUE REALIZA EL ESTUDIO

INERCO Acústica, S.L. sita en Parque Tecnológico Aerospacial de Andalucía “AERÓPOLIS”, calle Juan Olivert, 10, en La Rinconada (Sevilla) es Entidad Colaboradora en materia de Calidad Ambiental del Ruido en la Comunidad Autónoma de Andalucía (REC-0087) de acuerdo con el Decreto 334/2012, de 17 de julio, por el que se regulan las entidades colaboradoras en materia de Calidad Ambiental en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

El presente estudio se identifica con el número de registro interno del departamento de Laboratorio Acústico de INERCO Acústica **IN/ES-16/0316-001/00** con fecha de emisión 23/05/16.

1.2. EQUIPO DE TRABAJO

El equipo de trabajo que ha participado en la realización del presente Estudio Acústico ha sido el siguiente:

- Álvaro Grilo Bensusan (Director del Estudio).

2. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El objeto del presente informe es analizar el impacto acústico ambiental asociado a la planta de regasificación de Reganosa en Mugardos sobre el entorno de la parcela que es ocupada por la misma. Y verificar con ello los límites del Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA Y ENTORNO

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA OBJETO DE ESTUDIO

El Proyecto está localizado en el término municipal de Mugardos (A Coruña), en la zona de las Rías Altas y, concretamente, en la Punta Promontorio, situada en la parte central de la ría de Ferrol. El acceso a la planta se realiza a través de la carretera comarcal DP-3504 que une Punta Promontoiro y la vía rápida VG-1.2, que da acceso a la autopista AP-9.

Mugardos es uno de los 11 términos municipales que forman la comarca de Ferrol y separado por la ría se encuentra el municipio de Ferrol, con uno de los puertos de mayor importancia de la zona.

Los límites de la parcela del Proyecto dan al mar y a zonas industriales mayormente. En la zona sur donde hay una zona de viviendas aisladas donde vamos a estudiar los posibles efectos sobre las mismas.

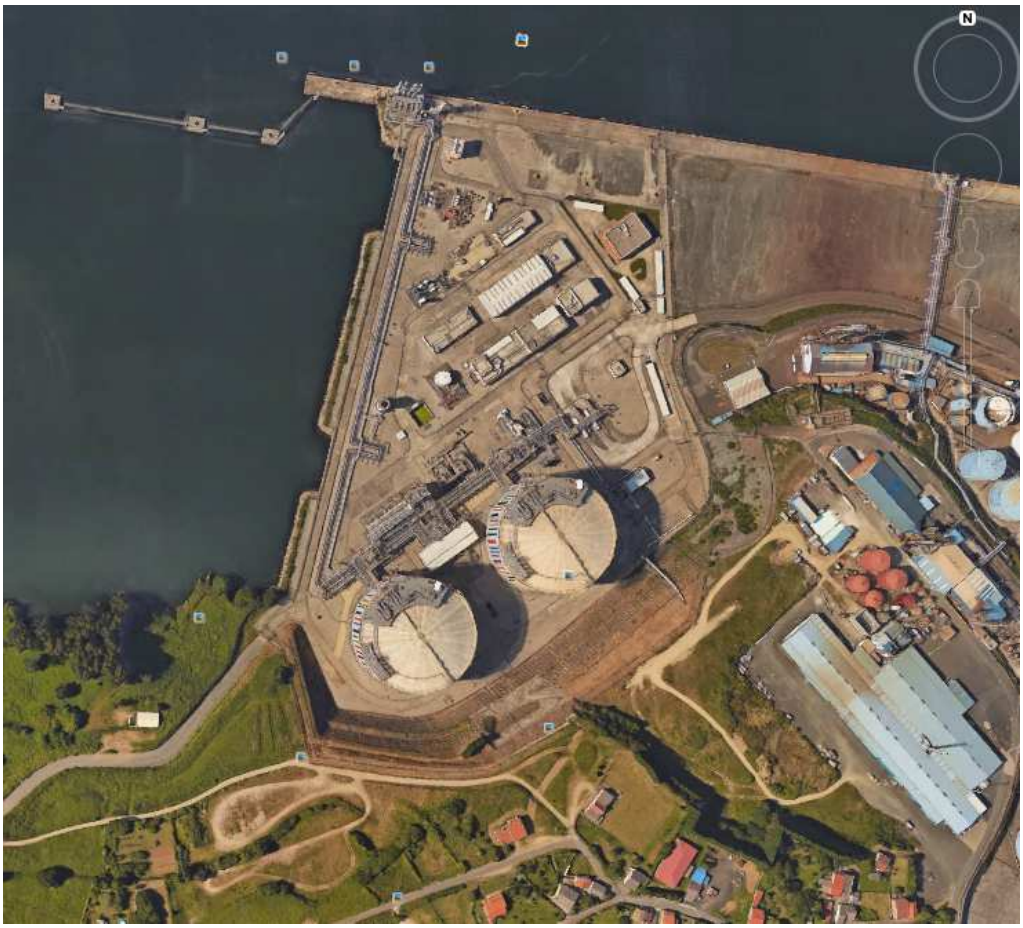


Imagen 3.1. Ubicación de la planta

3.2. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO Y ZONIFICACIÓN ACÚSTICA

Conforme a los requisitos establecidos en el Real Decreto 1367/2007, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 en lo referente a la zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, la zonificación acústica debe responder al uso predominante actual o previsto en el planeamiento urbanístico. Desde el punto de vista acústico se considera que la parcela objeto de estudio se engloba en un área tipo b (Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial), siendo los niveles sonoros ambientales condicionados por la propia actividad industrial, las actividades industriales cercanas, así como por el tráfico rodado y marítimo.

3.3. METODOLOGÍA DE JUSTIFICACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA

Para calcular los niveles sonoros de emisión de la planta se ha llevado a cabo una modelización acústica (zonas indicadas por el cliente en el layout “PLOT PLAN E-0001016939”), utilizando como base del cálculo de las emisiones sonoras el método de ingeniería descrito en la Norma ISO 9613-2:1996 “*Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation*”.

La modelización acústica se ha realizado mediante modelos de cálculo y predicción sonora de reconocimiento internacional, que permiten representar de forma gráfica los niveles sonoros generados mediante curvas isófonas.

4. NORMATIVA DE REFERENCIA

La normativa de aplicación para este estudio como ya se ha indicado es el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, que contiene las exigencias publicadas para emisores acústicos, ya sean actividades o infraestructuras.

En consecuencia, se establecerán las siguientes evaluaciones conforme a la normativa vigente:

- **Valores límite de nivel de inmisión en el ambiente exterior (NIE)**, valorado en el ambiente exterior de las áreas acústicas afectadas por la actividad ruidosa de acuerdo al artículo 24 y 25 del RD1367/2007. Se considerarán los valores límites del periodo nocturno (23:00 – 07:00 horas) indicados en la tabla B.1 del Anexo III del Real Decreto como situación más desfavorable desde el punto de vista acústico (Tabla 4.1). Estos niveles serán verificados a 1,5 metros del límite de propiedad y a una altura relativa de 1,5 metros respecto al suelo.

Tipo de área acústica		**Índices de ruido**		
		L_{kd} dB(A)	**L_{ke} dB(A)**	**L_{kn} dB(A)**
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	65	65	55
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	55	55	45

Tabla 4.1. Valores límite de inmisión de ruidos aplicables a actividades y a infraestructuras portuarias de competencia autonómica o local (dBA)

La evaluación del cumplimiento de los límites anteriormente indicados se realiza conforme al artículo 25.b) del RD 1367/2007:

- Ningún valor promedio anual (referido a 365 días) supera los valores fijados en la tabla B1 del Anexo III
- Ningún valor diario (referido a un periodo laboral de 8 horas durante un día) supera en 3dB los valores fijados en la tabla B1 del Anexo III.
- Ningún valor medio del índice $L_{Keq,\ Ti}$ (referido a un instante) supera en 5 dB los valores fijados en la tabla B1 del anexo III.

- **Objetivos de calidad acústica (OCA)**, valorado en el ambiente exterior de las áreas acústicas afectadas por la actividad ruidosa de acuerdo al artículo 14 del RD1367/07. Se considerarán los valores límites del periodo nocturno (23:00 – 07:00 horas) indicados en la tabla A del anexo II del Real Decreto como situación más desfavorable desde el punto de vista acústico (Tabla 4.2). Estos niveles serán verificados a una altura relativa de 4 metros respecto al suelo.

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L_d dB(A)	L_e dB(A)	L_n dB(A)
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55

Tabla 4.2. Objetivos de calidad acústica para ruidos aplicables a áreas urbanizadas existentes (dBA)

5. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

El GNL llega a las instalaciones de Reganosa mediante barcos metaneros. La descarga de los metaneros se realiza mediante las bombas propias del barco y se transporta el GNL hasta los tanques de almacenamiento de la instalación. Una parte del gas natural puede vaporizarse durante estas operaciones de descarga y transporte (*boil-off*). Estos vapores se recuperan mediante los compresores *boil-off* que, junto con los vapores procedentes del GNL almacenado en los tanques de la instalación, son enviados al relicuador. El relicuador tiene la función de devolver al estado líquido todos los vapores de gas natural formados durante el proceso. Desde el propio relicuador el GNL es enviado hacia la zona de vaporización donde, mediante los evaporadores, se efectúa la regasificación del GNL. La planta dispone en la actualidad de 2 vaporizadores de agua de mar (ORV) y 1 vaporizador (SCV) de combustión sumergida. El gas natural producido en los vaporizadores se introduce en el sistema gasista peninsular. En condiciones normales de funcionamiento, la vaporización se realiza mediante el funcionamiento de los 2 ORV.

5.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS FOCOS PRINCIPALES DE RUIDO

A continuación se muestran todos los focos de ruido considerados en el estudio acústico en base a la información proporcionada por el cliente, especificando la altura considerada en el modelo de cálculo y el tipo de equipo.

En la información suministrada se incluían potencias sonoras de los equipos, sin información espectral. En base a nuestras experiencias previas y nuestra base de datos se han asignado espectro tipo para los equipos para los que había información disponible y espectros de ruido rosa con la potencia sonora que se ha suministrado para los que no.

Estas potencias han sido validadas posteriormente mediante receptores situados a un metro de distancia de los focos y contrastadas con los niveles de presión sonora a un metro de distancia que han sido suministrados.

5.2. POTENCIAS SONORAS

A continuación describimos los niveles de potencias sonoras y/o niveles de presión sonora considerados para representar los principales focos de ruidos asociados al presente proyecto.

5.2.1. Bombas

Se ha considerado el siguiente espectro de nivel de potencia sonora “tipo” para las bombas.

	Espectro de nivel de potencia sonora (dB)									A (dBA)	Global (dB)
Foco de ruido	31.5 (Hz)	63 (Hz)	125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	8000 (Hz)		
Bombas de agua de mar	47	57	72	78	81	82	79	75	71	86	87
Bombas de alta presión	44	54	69	75	78	79	76	72	68	83	84

Tabla 5.1. Espectro de nivel potencia sonora de bombas

5.2.2. Compresores

Se ha considerado el siguiente espectro de nivel de potencia sonora “tipo” para los compresores. Se considerarán dos compresores funcionando y el tercero en reserva.

	Espectro de potencia sonora (dB)									A (dBA)	Global (dB)
Foco de ruido	31.5 (Hz)	63 (Hz)	125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	8000 (Hz)		
Compresores	54	75	82	83	93	89	81	77	71	93	95

Tabla 5.2. Espectro de nivel de potencia sonora de compresores

5.2.3. Vaporizadores ORV

Para representar el ruido generado por los vaporizadores ORV se ha considerado que estos generarán niveles de presión sonora inferiores a 77 dBA a una distancia de un (1) metro de los mismos.

5.2.4. Vaporizador SCV

Para representar el ruido generado por el vaporizador SCV se ha considerado que este generará niveles de presión sonora inferiores a 85 dBA a una distancia de un (1) metro del mismo. Además de considerar el foco de la aspiración de la soplante cuya emisión a una distancia de un (1) metro será de 90 dB(A). Para la caracterización de las emisiones sonoras del Proyecto se ha tenido en cuenta un funcionamiento máximo del 15% de las horas del año ya que como se ha explicado detalladamente en el EIA al que acompaña este estudio, el vaporizador SCV funciona como back-up en condiciones de parada de uno de los vaporizadores ORV o en casos puntuales para atender puntas de demanda. . Los escenarios en los que se considerará el funcionamiento de este equipo se especifican más adelante.

5.2.5. Combustor

Para representar el ruido generado por el combustor se ha considerado que este generará niveles de presión sonora inferiores a 85 dBA a una distancia de un (1) metro del mismo. Destacar que se trata de un equipo de emergencia de la planta y que únicamente funciona durante operaciones diferentes a la propia regasificación de GNL. Se considera que las condiciones de funcionamiento de este equipo son esporádicas y con un máximo del 5% de las horas al año de media. Los escenarios en los que se considerará el funcionamiento de este equipo se especifican más adelante.

6. MODELO DE RADIACIÓN SONORA

Con el fin de analizar la viabilidad técnica acústica de la zona de estudio se ha realizado una modelización mediante el software de predicción sonora CadnaA basado en la Norma ISO 9613-2:1996 "*Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation*", con el cual se han estimado los niveles de presión sonora producidos por los distintos focos de ruido de la planta, en base a la localización de estos y de la ubicación de su entorno.

En el Anexo I se presenta una descripción del método de cálculo empleado para llevar a cabo la simulación.

A continuación se recogen las hipótesis y suposiciones que se han considerado a la hora de simular la propagación acústica del ruido generado por los focos asociados al Proyecto.

ITEM	Referencia	Observaciones
Layout	PLOT PLAN E-0001016939	Layout proporcionados por el cliente
Método de calculo	ISO 9613-2 Atenuación acústica durante la propagación al exterior Parte 2: Método general de cálculo	Recomendaciones de la Comisión, del 6 de agosto de 2003, relativa a las directrices sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, ruido de las aeronaves, el ruido del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes (Diario Oficial L 212 de 22/08/2003 P. 0049- 0064).
Absorción del suelo industrial	Factor de absorción = 0	Suelo acústicamente duro
Absorción del suelo no industrial	Factor de absorción = 1	Suelo acústicamente blando
Distancia entre puntos de malla	1 m	-
Orden de reflexión	Max. Orden de reflexión= 1	-
VDI-Parámetros de difracción	-	C1= 3 C2=20
Condiciones meteorológicas	Condiciones estándar	Temperatura: 17 – 21 ºC Humedad (%): 90-51

Tabla 6. Suposiciones de cálculo

7. RESULTADOS

7.1. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS RECEPTORES

Con vistas a verificar el cumplimiento de los límites de inmisión sonora y los objetivos de calidad acústica indicados por la normativa de aplicación, se ha procedido a seleccionar los siguientes receptores para estimar los índices de valoración normativa, en todos ellos se evaluarán los valores tanto a 1,5 metros (para límites de inmisión sonora) como a 4 metros (para objetivos de calidad acústica).

ID	Descripción	Altura (m)	Uso	Coordenadas	
				x(m)	y(m)
F001	Fachada de edificio residencial cercano	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Residencial	561526	4812085
F002	Fachada de edificio residencial cercano	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Residencial	561579	4812101
L001	Límite de propiedad	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Industrial	561340	4812226
L002	Límite de propiedad	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Industrial	561350	4812214
L003	Límite de propiedad	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Industrial	561548	4812137
L004	Límite de propiedad	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Industrial	561567	4812152
L005	Límite de propiedad	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Industrial	561666	4812337
L006	Límite de propiedad	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Industrial	561658	4812364
L007	Límite de propiedad	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Industrial	561644	4812401
L008	Límite de propiedad	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Industrial	561643	4812439
L009	Límite de propiedad	1,5 m (NIE) 4 m (OCA)	Industrial	561642	4812466

Tabla 7.1. Identificación de receptores del modelo de predicción

A continuación se incluye un plano de localización de los receptores objeto de estudio.

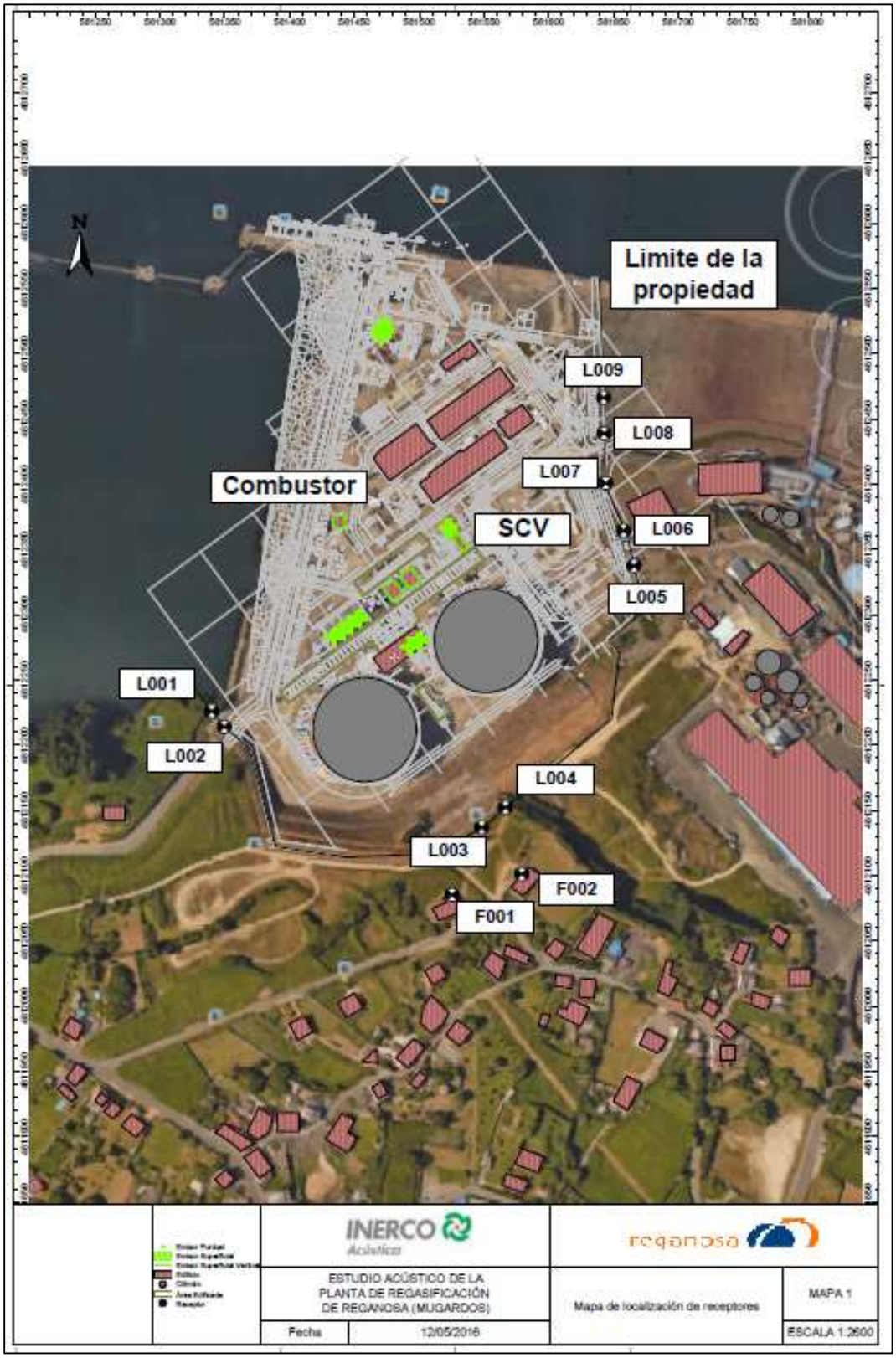


Imagen 7.1. Localización de receptores del modelo de predicción

7.2. EVALUACIÓN DE NIVEL DE INMISIÓN AL EXTERIOR Y OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA

A continuación se muestra la estimación de niveles sonoros en cada uno de los puntos seleccionados. Se definirán las diferentes fases de funcionamiento teniendo en cuenta el régimen de operación del SCV y del combustor:

- **Fase de funcionamiento 1**: Contempla el funcionamiento de todos los focos funcionando de forma continua con la excepción del combustor y el SCV que se considerarán en parada (igualmente no se considerará funcionando el compresor en reserva). Este escenario contempla las condiciones de funcionamiento de la planta en un periodo completo de un año. Para la evaluación de este escenario, como se indica posteriormente, se aplica el límite de inmisión anual.

- **Fase de funcionamiento 2**: Caso con todos los focos funcionando de forma continua, con la excepción del combustor, que se considerará funcionando un 5% del tiempo, y el SCV, que se considerará funcionando un 15% del tiempo (excluyendo de nuevo el compresor en reserva). Este escenario considera las condiciones de operación de la planta funcionando a capacidad nominal para un periodo completo de un año incluyendo el funcionamiento puntual del SCV para cubrir indisponibilidad parcial de un ORV y en las que el combustor entra también puntualmente en funcionamiento para apoyar a los compresores *boil-off* a eliminar los excesos de gas del sistema. Para la evaluación de este escenario, como se indica posteriormente, se aplica el límite de inmisión anual.

- **Fase de funcionamiento 3**: Se considerarán todos los equipos funcionando en continuo, incluyendo el combustor y el SCV (pero excluyendo el compresor en reserva). Con este escenario se evalúa el cumplimiento del límite de inmisión diario en condiciones de funcionamiento muy puntuales (todos los focos funcionando de forma simultánea) y más desfavorables en términos de emisión sonora. Este escenario se ha incluido con el objetivo de analizar el peor caso y para su evaluación, como se indica posteriormente, se aplica el límite de inmisión diario.

7.2.1. Niveles de inmisión al exterior

En la tabla mostrada a continuación se muestran las aportaciones sonoras de los focos de ruido objetos de estudio en los puntos de medida establecidos en el límite de la propiedad y en las zonas residenciales más cercanas.

ID	Fase de funcionamiento 1			Fase de funcionamiento 2			Fase de funcionamiento 3		
	NIE = L_n (365) dB(A)(1)	Límite dB(A)(2)(3)	¿Cumple?	NIE = L_n (365) dB(A)(1)	Límite dB(A)(2)(4)	¿Cumple?	NIE = L_n (23:00-07:00) dB(A)(1)	Límite dB(A)(2)(5)	¿Cumple?
Uso residencial									
F001	42	45	Si	43	45	Si	43	50	Si
F002	42	45	Si	42	45	Si	44	50	Si
Uso industrial									
L001	48	55	Si	49	55	Si	53	60	Si
L002	48	55	Si	49	55	Si	52	60	Si
L003	45	55	Si	45	55	Si	47	60	Si
L004	44	55	Si	45	55	Si	47	60	Si
L005	45	55	Si	48	55	Si	54	60	Si
L006	46	55	Si	49	55	Si	56	60	Si
L007	47	55	Si	50	55	Si	57	60	Si
L008	46	55	Si	49	55	Si	55	60	Si
L009	46	55	Si	48	55	Si	54	60	Si

Tabla 7.2. Estimación del nivel de inmisión al exterior aportados por el modelo de predicción

Notas:

(1) Los valores presentados son los obtenidos de las modelizaciones realizadas y no incluyen posibles correcciones existentes por la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia o componentes impulsivas. Estos valores tienen una incertidumbre derivada del modelo de +/-3 dB(A).

(2) Se aplicará el límite correspondiente a cada caso (puntual (Tabla 4.1), diario (igual al límite puntual +3 dB(A)) o anual (igual al límite puntual +5 dB(A))) siempre en el periodo más restrictivo (nocturno).

(3) El caso 1 incluye los equipos que funcionarán de forma continua así que se aplica el límite de inmisión anual.

(4) El caso 2 incluye todos los equipos funcionando en sus correspondientes regímenes (Combustor y SCV funcionando solo cortos periodos de tiempo) por tanto se aplica el límite de inmisión anual.

(5) El caso 3 incluye todos los equipos funcionando y por ello se le aplicará el límite de inmisión puntual

Los valores obtenidos en los receptores situados en los **límites de la planta y en las viviendas cercanas** (todos ellos a 1,5 metros) para las tres fases de funcionamiento consideradas en la modelización de la planta muestran **valores dentro de los límites de inmisión permitidos** por la normativa aplicable.

7.2.2. Objetivos de calidad acústica

La siguiente tabla muestra las aportaciones sonoras de los focos de ruido objeto de estudio en los puntos de medida establecidos en los límites de propiedad y en las viviendas cercanas. Para los objetivos de calidad acústica solo se tendrán en cuenta los valores obtenidos en la fase de funcionamiento 2 pues solo se evalúan anualmente, siendo este un escenario más desfavorable que el considerado en el escenario fase de funcionamiento 1. Los receptores se hayan situados a una altura de 4 metros.

ID (1)	Fase de funcionamiento 2		
	L_n dB(A)(1)	Límite dB(A)	¿Cumple?
Uso residencial			
F001	44	55	Si
F002	44	55	Si
Uso industrial			
L001	49	65	Si
L002	49	65	Si
L003	47	65	Si
L004	47	65	Si
L005	48	65	Si
L006	49	65	Si
L007	50	65	Si
L008	49	65	Si
L009	48	65	Si

Tabla 7.3. Estimación de objetivos de calidad acústica aportados por el modelo de predicción

Notas:

(1) Los valores presentados son los obtenidos de las modelizaciones realizadas y no incluyen posibles correcciones existentes por la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia o componentes impulsivas. Estos valores tienen una incertidumbre derivada del modelo de +/-3 dB(A).

En la tabla anterior se muestran los niveles sonoros predichos en las modelizaciones realizadas para los receptores situados a 4 metros de altura y las localizaciones antes mostradas.

Para los receptores situados para la evaluación de los **límites de calidad acústica industriales** el valor mayor registrado está 15 dB(A) por debajo de los límites normativos y por tanto **cumplen los límites holgadamente.**

En relación a **los límites de calidad acústica en viviendas**, en los receptores situados en las viviendas más desfavorables se obtienen valores 11 dB(A) por debajo de los límites de calidad acústica y por tanto **puede afirmarse que no contribuyen a provocar la superación de los límites de calidad acústica en las áreas residenciales.**

A continuación, en las Figuras 7.2 y 7.3, se muestran las curvas isófonas en el caso más desfavorable para los niveles de inmisión (Fase de funcionamiento 3 a 1,5 m) y las curvas isófonas a 4 m para la evaluación de los objetivos de calidad (Fase de funcionamiento 2 a 4,0 m).

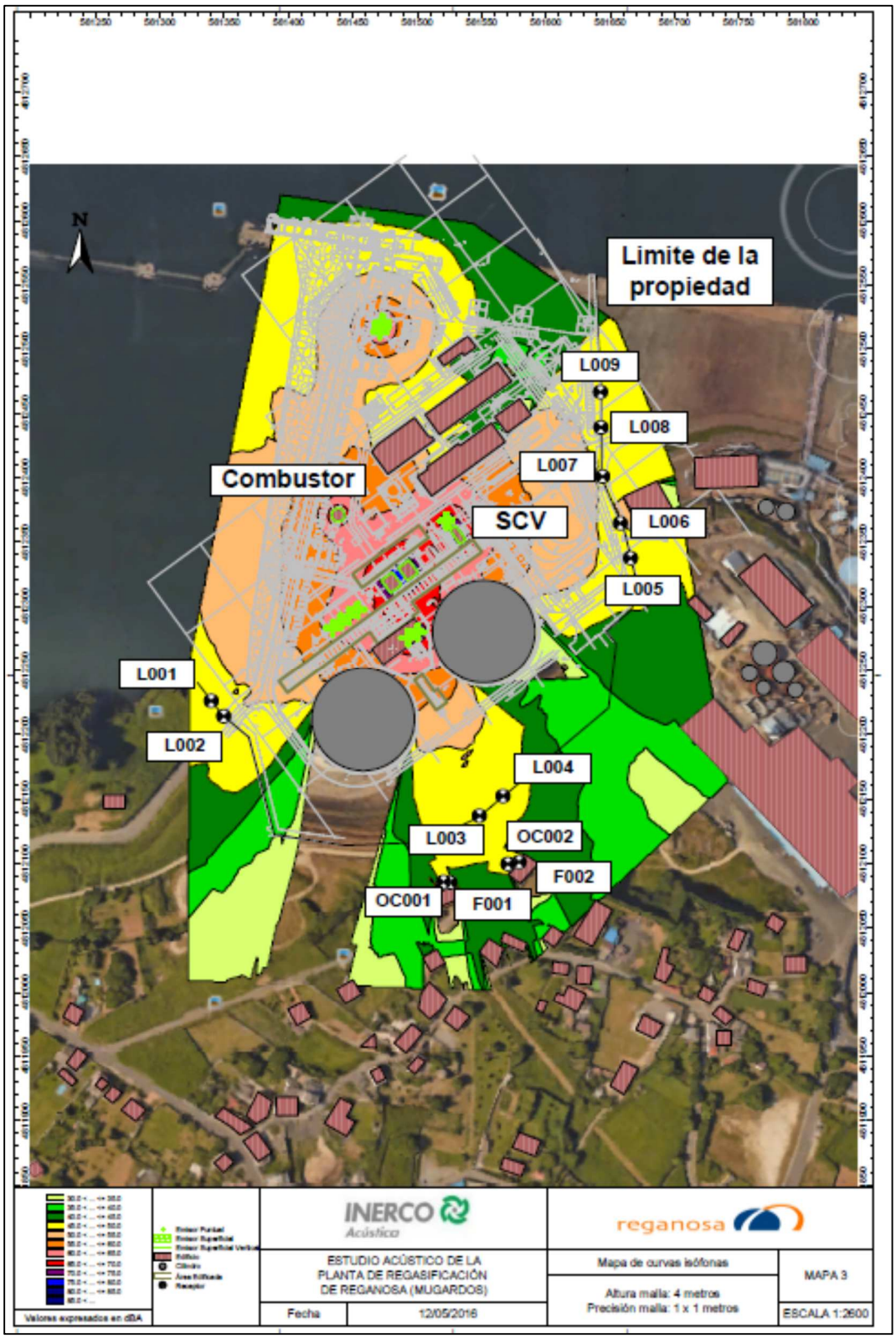


Imagen 7.2. Mapa de curvas isófonas fase de funcionamiento 2. Altura de evaluación = 4 metros

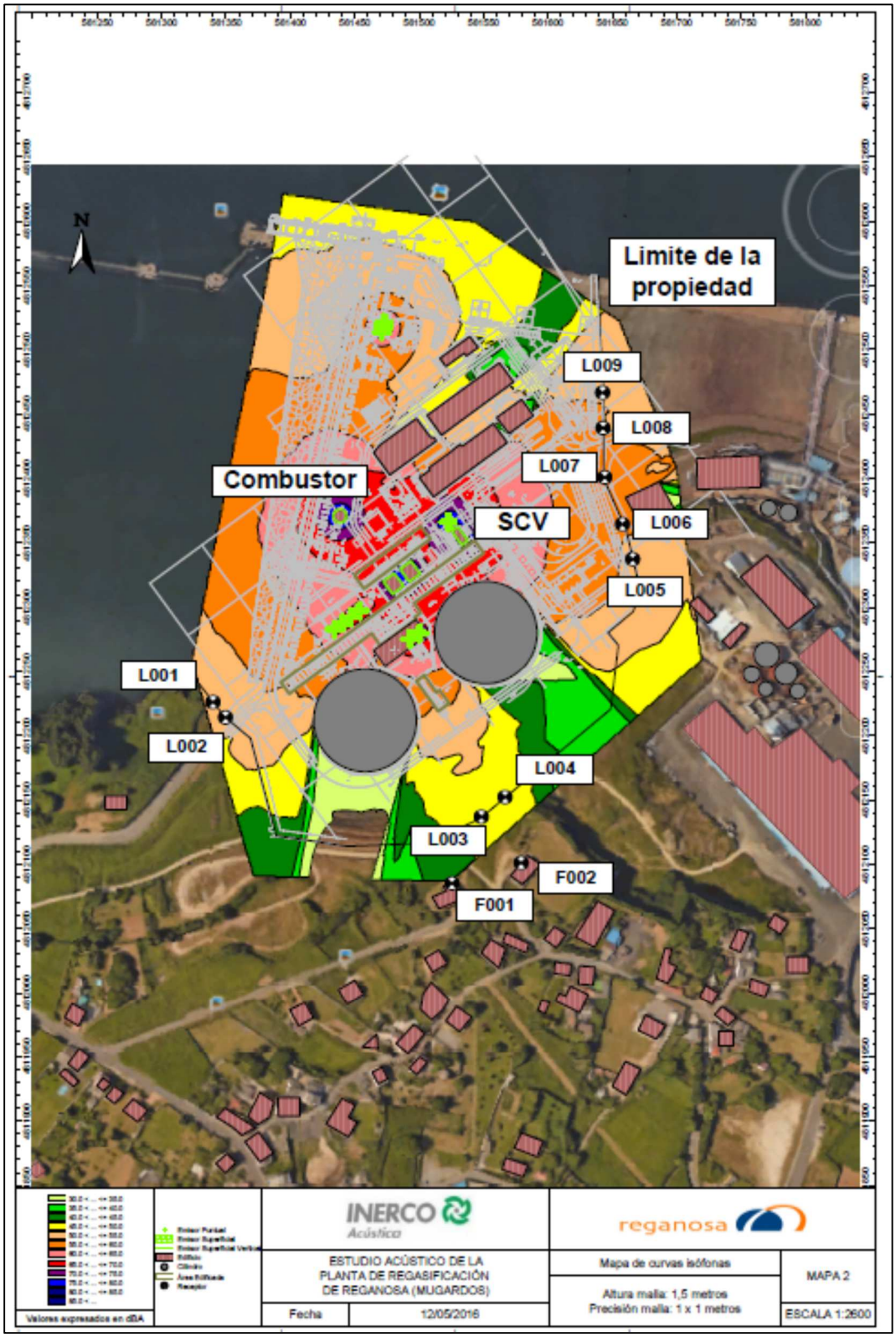


Imagen 7.3. Mapa de curvas isófonas fase de funcionamiento 3. Altura de evaluación = 1,5 metros

8. CONCLUSIONES

En el presente estudio acústico se ha analizado el impacto de la planta de Renagosa (Mugardos) a fin de verificar el cumplimiento normativo de acuerdo a los requerimientos establecidos en el Real Decreto 1367/07 de 19 de octubre, que desarrolla la Ley 37/2003, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Un estudio de predicción sonora ha posibilitado, a partir de las estimaciones sobre el funcionamiento de los focos ruidosos, analizar la emisión sonora de la actividad sobre el medio ambiente y el grado de cumplimiento de la normativa vigente.

Los modelos acústicos realizados y representados en forma de mapas sonoros muestran como **el nivel de emisión sonora generado por los focos de ruidos asociados al presente Proyecto son inferiores a los límites establecidos de inmisión acústica de zonas industriales y residenciales**, confirmando la viabilidad técnica acústica al nuevo proyecto.

Adicionalmente, los datos obtenidos en la evaluación de los límites de los objetivos de calidad acústica en la zona industrial muestran que la actividad industrial cumple con los límites establecidos.

Finalmente en la evaluación de los objetivos de calidad acústica en las **zonas residenciales cercanas, se muestra que la actividad no contribuye a producir la superación de los límites de calidad acústica establecidos.**

El presente informe sólo afecta a los objetos sometidos a estudio. Se prohíbe la reproducción o modificación parcial o total de este informe, salvo expreso consentimiento de la empresa que lo emite. Los resultados y conclusiones que se exponen en el presente informe son válidos mientras se mantengan las condiciones de entorno existentes en el momento de realizar el informe, dichas condiciones se describen en a lo largo de todo el informe. Es este nuestro mejor parecer, y salvo opinión mejor fundada se firma el presente estudio.

Por INERCO Acústica, S.L.

Elaborado por:

Fdo. Alvaro Grilo Bensusan

Revisado por:

Fdo. Alvaro Grilo Bensusan
Dirección Técnica

Aprobado por:

Fdo. Pedro Flores Dominguez
Ingeniero Industrial

ANEXO I. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

La estimación de los niveles sonoros (modelización de la propagación de ruido generado por el Proyecto) se ha efectuado mediante el empleo del software de predicción sonora **CadnaA**.

En concreto, para el caso que nos ocupa, se ha empleado el método de cálculo, basado en la norma ISO 9613-2 *"Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors"* para la estimación de la contribución del Proyecto (ruido de origen industrial).

Los principales efectos que se consideran en la modelización son:

- Divergencia geométrica
- Absorción atmosférica
- Efecto suelo
- Reflexión en superficies
- Apantallamiento por obstáculos
- Directividad

La ecuación básica que rige la propagación acústica es:

$$L_{PS} = L_{WS} + D_c - A,$$

donde:

LPS: Nivel de presión acústica esperado en un punto determinado.

LWS: Nivel de potencia acústica característica de un foco emisor.

Dc: Corrección por rumbo, en el caso de que la fuente emita prioritariamente en una dirección.

A: Atenuación que tiene lugar durante la propagación del sonido.

I.1 ATENUACIONES DURANTE LA PROPAGACIÓN DEL RUIDO

La atenuación total A del ruido al aire libre viene dada por la expresión:

$A = A_{div} + A_{atm} + A_{suelo} + A_{bar} + A_{misc}$ (dB)

Los primeros tres términos en la ecuación dan la atenuación producida por los tres mecanismos principales: divergencia geométrica (A_{div}), absorción atmosférica (A_{atm}) y el efecto suelo (A_{suelo}). El término A_{bar} cubre el efecto atenuante del apantallamiento por barreras, mientras que el último término, A_{misc}, cubre la atenuación por mecanismos adicionales que sólo surgen en casos específicos como pueden ser reflexión en edificios (A_{refl}), propagación a través de la vegetación (A_{veget}) y propagación a través de áreas edificadas (A_{edif}).

En general, es necesario calcular la atenuación de todas las bandas de octava de ruido por separado porque, a menos que se especifique de otra manera, la atenuación de cada término en la ecuación depende de la frecuencia. Los términos individuales de atenuación de la ecuación evaluados en un punto determinado pueden ser positivos, representando un descenso de nivel, o negativos, implicando un aumento.

a) Atenuación por divergencia geométrica (A_{div})

La divergencia geométrica es la expansión de la energía acústica en campo libre a partir de una fuente puntual. La atenuación debida a la divergencia, A_{div}, viene dada por:

$A_{div} = 20 \log_{10} r + k$ (dB)

donde r es la distancia desde la fuente puntual en metros y k una constante que depende de cómo se produzca la propagación del ruido.

La ecuación anterior asume que la energía sonora se propaga de forma esférica, por lo que el nivel de presión del sonido es el mismo en todos los puntos que se encuentran a la misma distancia de la fuente y disminuye en 6 dB al doblar la distancia. Esto se mantiene así hasta que el efecto del suelo y la atenuación del aire influyen de forma notoria en el nivel.

b) Atenuación resultante de la absorción atmosférica (A_{atm})

A medida que el sonido se propaga a través de la atmósfera, su energía se convierte gradualmente en calor (el sonido es absorbido) mediante varios procesos moleculares denominados absorción del aire. La atenuación del sonido debida a la absorción del aire durante la propagación, A_{atm}, a través de una distancia de d metros, viene dada por:

$A_{atm} = \alpha \cdot d/1000$

donde α es el coeficiente de atenuación del aire en decibelios por kilómetro. El coeficiente de atenuación depende en gran medida de la frecuencia y la humedad relativa y, en menor medida, de la temperatura, como muestran los valores de la Tabla II.1. También depende ligeramente de la presión ambiental, lo suficiente como para

notarse con cambios de altitud grandes (miles de metros), pero no con cambios climatológicos. Estos resultados muestran que la absorción del sonido en el aire puede ser poco significativa para distancias cortas desde la fuente (distancias inferiores a varios cientos de metros), salvo para frecuencias muy altas (por encima de 5.000 Hz). A distancias grandes, donde la atenuación por absorción del aire es significativa para todas las frecuencias, el nivel sonoro ha de calcularse en función de las frecuencias, a la temperatura y humedad relativa especificadas.

TABLA II.1
COEFICIENTE DE ATENUACIÓN DEL AIRE (dB/km) PARA UNA PRESIÓN AMBIENTAL DE 1 ATM PARA LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO AL AIRE LIBRE

Temperatura (ºC)	Humedad Relativa (%)	Coeficiente de atenuación atmosférica (dB/km)							
		Frecuencia (Hz)							
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

Fuente: ISO 9613-2

En cuanto a otros efectos atmosféricos como el viento y la temperatura puede decirse que la propagación del sonido cerca del suelo para distancias horizontales inferiores a 100 m es esencialmente independiente de las condiciones atmosféricas: en este caso la atmósfera puede considerarse homogénea y los rayos sonoros aproximadamente como líneas rectas. Las condiciones atmosféricas suelen ser un factor fundamental para distancias mayores. La humedad relativa y la temperatura ambiental tienen un efecto sustancial sobre la atenuación de frecuencias altas a grandes distancias debido a la absorción del aire. Sin embargo, el efecto principal es el de la refracción (un cambio en la dirección de las ondas sonoras) producida por los gradientes verticales del viento y la temperatura.

En la descripción del ruido ambiental se consideran como condiciones atmosféricas favorables a la propagación las siguientes:

- Dirección del viento, soplando de la fuente al receptor, dentro de un ángulo de 45° de la vía que conecta el centro de la fuente de sonido y el centro del área especificada.

- Velocidad del viento entre aproximadamente 1 y 5 m/s, tomada a una altura de entre 3 y 11 m.

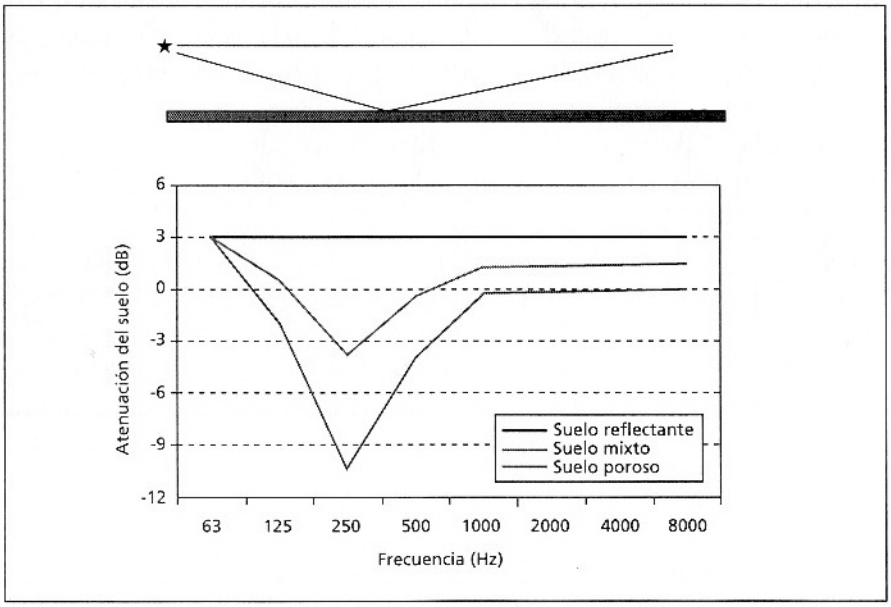
- Propagación (en cualquier dirección próxima a la horizontal) bajo una inversión de temperatura bien desarrollada.

c) Atenuación debida al suelo (A_{suelo})

Por encima de un suelo plano reflectante, el sonido llega a un receptor desde una fuente a través de dos vías: directamente a través de una trayectoria y mediante la reflexión desde el suelo, a través de otra trayectoria. La atenuación A_{suelo} es el resultado de la interferencia entre el sonido directo y el reflejado por el suelo y depende en gran medida del tipo de superficie de este último, el ángulo del rozamiento, la diferencia de longitud de los recorridos y la frecuencia del sonido.

El efecto del suelo es diferente cuando se trata de superficies acústicamente duras (hormigón o agua), blandas (césped, árboles o vegetación) o mixtas. La atenuación debida al suelo depende del tipo de terreno entre la fuente y el receptor y de la frecuencia del ruido (por lo que se calcula en bandas de frecuencia), es decir, no atenúa igual a un ruido grave que a un ruido agudo. La precipitación puede afectar a la atenuación del terreno. La nieve, por ejemplo, puede dar una atenuación considerable y además puede causar gradientes de temperatura positivos altos. Las normas habitualmente desaconsejan realizar medidas bajo dichas condiciones.

FIGURA II.1
EFECTO SUELO. INFLUENCIA DE LA SUPERFICIE



d) Pérdida por inserción de barreras (A_{bar})

Una barrera contra el sonido es cualquier obstáculo sólido relativamente opaco al sonido (densidad superficial mínima de 10 kg/cm^2) que bloquea al receptor la línea de visión de la fuente sonora. Las barreras pueden instalarse específicamente para reducir el ruido, por ejemplo, vallas sólidas o diques de tierra, o pueden producirse naturalmente por otras razones, como edificios o muros aislados. Las barreras pueden usarse en exteriores para apantallar áreas residenciales o instalaciones de ocio que requieran silencio (p. ej., parques, parcelas, campings) frente al ruido del tráfico, industrial o frente a la molestia del ruido producido por las propias instalaciones de ocio. El uso de una barrera es sobre todo adecuado cuando no es posible, o económicamente no es viable, reducir la emisión de ruido de la fuente molesta.

La medida habitual de la eficacia de una barrera es la pérdida por inserción. La pérdida por inserción de una barrera para una banda de octava, en un punto determinado, es la diferencia entre los niveles de presión sonora de la banda (medidos en ese punto) antes y después de la construcción de la barrera.

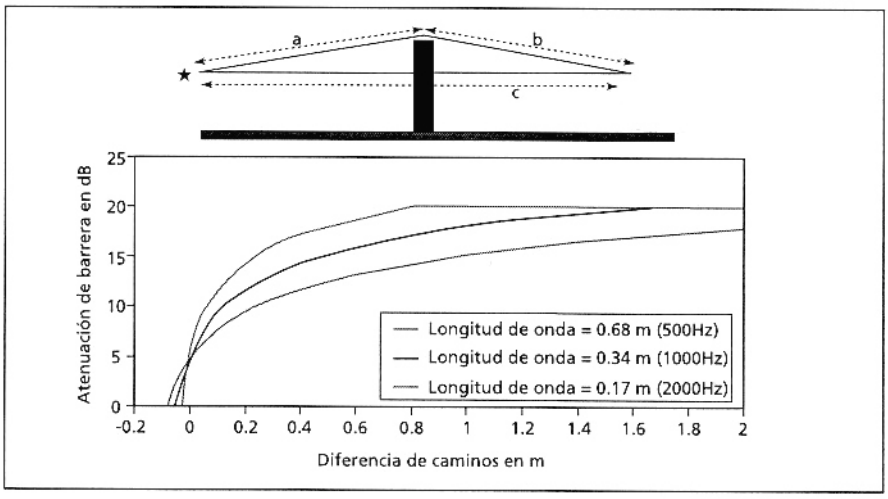
La reducción de ruido causado por una barrera depende de dos factores:

1. La diferencia de la trayectoria de la onda sonora al viajar por encima de la barrera comparado con la transmisión directa al receptor (en la Figura: a + b - c).

2. El contenido frecuencial del ruido.

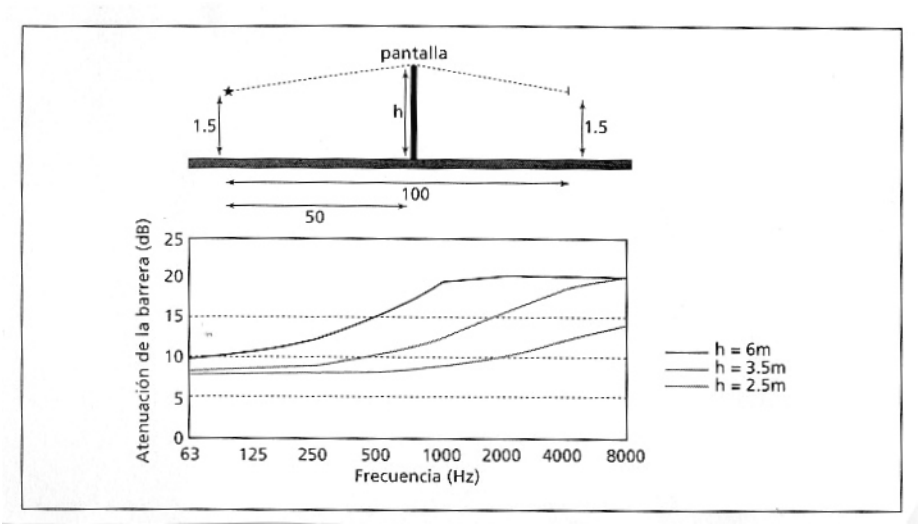
El efecto combinado de estos dos factores se muestra en la Figura adjunta.

FIGURA II.2
ATENUACIÓN POR BARRERAS



En la Figura siguiente se muestra la atenuación por efecto de barrera para una pantalla típica en función de la altura de la barrera. Una barrera es mucho más efectiva si se coloca cerca de la fuente de ruido o del receptor.

FIGURA II.3
ATENUACIÓN POR BARRERAS EN FUNCIÓN DE LA ALTURA



e) Otros tipos de atenuación (A_{misc})

El término A_{misc} de la ecuación general cubre las contribuciones a la atenuación de los efectos que no se incluyen en los métodos generales descritos anteriormente. Estas contribuciones son A_{refl}, el efecto de la reflexión de las paredes de los edificios o de superficies verticales próximas; A_{veget}, la atenuación cuando el sonido se propaga a través de la vegetación; y A_{edif}, la atenuación cuando el sonido se propaga a través de áreas edificadas.

e.1) Atenuación debida a la reflexión (A_{refl})

La energía que llega al receptor debida a la reflexión sobre una superficie más o menos vertical, como la pared exterior de un edificio, aumenta la energía sonora que va directamente de la fuente al receptor. Para este caso, la atenuación (negativa) debida a la reflexión A_{refl}, puede evaluarse de la misma manera que el valor para A_{suelo} descrito anteriormente.

e.2) Atenuación debida a la vegetación (A_{veget})

Árboles y arbustos no son buenas barreras contra el ruido, ya que como pantalla aportan muy poca atenuación. Al mantener el suelo poroso, sus raíces sí aportan cierta atenuación de barrera, por efecto suelo. Por tanto la principal contribución de la vegetación no es una atenuación de barrera, sino una atenuación de suelo, que es inherente al cálculo de A_{suelo}. Sin embargo, si la vegetación es suficientemente densa como para obstruir completamente la visión y si también intercepta la vía de propagación acústica, se produce una atenuación adicional debida a la propagación a través de ella. Un seto, un grupo de arbustos, una banda de vegetación que crezca naturalmente o un bosque son ejemplos de vegetación densa. No se produce atenuación mediante ramas desnudas o troncos de árboles.

La atenuación adicional (A_{veget}) de la propagación a través de cada metro de vegetación densa se presenta en la Tabla II.2 para las frecuencias de cada banda de octava. No debe tenerse en cuenta una longitud de propagación superior a 200 m a través de la vegetación.

TABLA II.2
ATENUACIÓN DEBIDA A LA PROPAGACIÓN A TRAVÉS DE LA VEGETACIÓN

	Frecuencia central de banda de octava, Hz							
	31,5	63	125	500	1000	2000	4000	8000
A_{veget}, dB/m	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,12

e.3) Atenuación por áreas edificadas (A_{edif})

Dicho efecto se considerará a través de una combinación de otros dos efectos anteriormente vistos; la atenuación por efecto de inserción de barreras (que contribuye lógicamente a la disminución de los niveles de ruidos) y la reflexión en superficies, que contribuye a incrementar los niveles de ruido.