

EXAMEN DE GESTION DE CALIDAD AMBIENTAL

NOMBRE:

CANTIDAD DE HOJAS QUE ENTREGAS INCLUIDA LA LETRA:

IMPORTANTE: Para la aprobación del examen se deberá contar al menos con el 50 % correcto en cada módulo.

MÓDULO RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

- 1- Explica detalladamente las operaciones unitarias en las cuales se puede concretar las actividades relacionadas con la recolección de los RSU.
- 2- Identifica los métodos utilizados para estimar la tasa de generación de residuos de una población. Explica detalladamente uno de ellos.
- 3- Identifica y explica las características principales de cada uno de los elementos de diseño y funcionamiento para que un sitio de disposición final de RSU pueda ser definido como un relleno sanitario.
- 4- Explica los principales parámetros que intervienen en el proceso de compostaje aerobio.
- 5- Menciona las normativas más relevantes, vigentes actualmente en Uruguay vinculadas con la gestión de Residuos Sólidos, identifica los aspectos principales que se establecen en estas normativas.

MÓDULO DE CONTAMINACIÓN SONORA

Ejercicio 1-Teórico

Pregunta 1)

Explique brevemente:

- a) Qué es el nivel de presión sonora y por qué se expresa en dB.
- b) Qué representa el Leq y por qué es un parámetro adecuado para evaluar contaminación sonora ambiental.
- c) En qué se diferencia un parámetro energético (Leq) de un parámetro estadístico (por ejemplo, L_{10} o L_{90}).

Pregunta 2

En campo libre:

- a) Explique qué es la divergencia esférica y cuánto disminuye el nivel al duplicar la distancia.
- b) Explique en qué caso se aplica divergencia cilíndrica y cuánto disminuye el nivel al duplicar la distancia.
- c) Dé un ejemplo práctico real de cada tipo de fuente en contexto urbano.



Pregunta 3

En una medición ambiental urbana:

- ¿Qué clase de sonómetro utilizaría y por qué?
- ¿Cuándo usaría ponderación A y cuándo sería útil comparar con C?
- ¿Qué significa que $(LC - LA) \geq 10 \text{ dB}$?

Ejercicio 2. Práctico

Una industria proyecta instalar cuatro equipos HVAC (*se refiere a los diferentes sistemas utilizados para circular el aire entre áreas interiores y exteriores, además de calentar y enfriar edificios residenciales y comerciales*) idénticos en la azotea de su edificio. Según ficha técnica del fabricante, cada equipo presenta un nivel de presión sonora de 72 dB(A) medido a 1,5 m de distancia en campo libre. La vivienda más cercana se encuentra a 15 m de distancia horizontal respecto a la ubicación de los equipos. Se asume propagación en campo libre con divergencia esférica, y que los equipos funcionan de manera independiente (fuentes no coherentes).

Se realizó una medición de ruido ambiente nocturno en la fachada de la vivienda, registrándose un valor de 45 dB(A) en ausencia de funcionamiento de los equipos. La normativa departamental establece un límite nocturno de 55 dB(A) en fachada de vivienda.

Se solicita:

- Determinar el nivel de presión sonora esperado en fachada cuando funciona un solo equipo.
- Determinar el nivel esperado cuando funcionan simultáneamente dos equipos y los cuatro equipos.
- Analizar si en cada caso corresponde considerar el ruido de fondo medido, y justificar técnicamente.
- Evaluar el cumplimiento o incumplimiento del límite normativo en cada escenario.
- Finalmente, desde el punto de vista de la gestión ambiental, proponga y justifique al menos tres medidas que podrían adoptarse en caso de verificarse incumplimiento. Las medidas pueden ser de carácter:
 - Operacional
 - Constructivo
 - De diseño o ingeniería

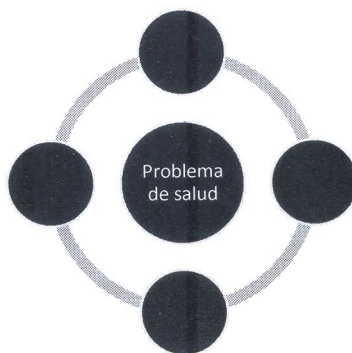
Se deberá justificar brevemente cómo cada medida contribuiría a reducir el impacto acústico en la fachada de la vivienda.



2/18

MÓDULO DE AIRE

1. Mencione los cuatro métodos de dispersión de contaminantes atmosféricos.
2. Mencione los cuatro factores que podrían influir en la generación de un problema de salud en las personas, derivado de la contaminación atmosférica.



3. Se está analizando la viabilidad de la instalación de una nueva industria. En el marco de sus actividades, en la mencionada industria se utilizará un combustible que genera emisiones atmosféricas de PM_{10} en un régimen continuo de operación (24 h/d). Con el objetivo de controlar estas emisiones, se prevé la instalación de un sistema de control con un 75% de eficiencia.

En primer lugar, se pide estimar la concentración de PM_{10} que esta industria generará a nivel de suelo para atmósfera estable (clase F), en una localidad ubicada a 1 km de distancia de la nueva industria en la dirección predominante del viento.

De acuerdo con las autoridades de la localidad bajo estudio, la concentración de PM_{10} que se estima generaría la nueva industria debe disminuirse en un 80%, de forma tal de no afectar el cumplimiento de los objetivos de calidad del aire.

En este sentido se proponen las siguientes medidas de control:

- Elevar la altura de la chimenea a 25 m.
- Aumentar la eficiencia del sistema de control de emisiones existente a 97%.

¿Se logrará el objetivo fijado por las autoridades con alguna de estas medidas? En caso afirmativo, ¿Cuál es la medida de control adecuada?



3/18

Otra información:

- Consumo de combustible = 400 ton/d.
- $FE_{PM_{10}} = 16 \text{ kg/ton comb.}$
- Altura proyectada para la chimenea inicialmente: 20 m.
- Diámetro proyectado para la chimenea: 0.5 m.
- Temperatura y velocidad de la emisión estimadas: 403 K y 15 m/s respectivamente.
- $WS_{10m} = 10 \text{ m/s.}$
- Temperatura ambiente: 293 K.
- Presión atmosférica: 1013 mb.
- Tipo de superficie: urbana.

Para una fuente emisora situada a una altura efectiva $z = H$, la ecuación del penacho gaussiano es:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2 * \pi * u * \sigma_y * \sigma_z} * e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right)}$$

Donde:

$C(x, y, z)$: concentración de contaminante en el punto x, y, z ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Q : emisión del contaminante ($\mu\text{g}/\text{s}$).

σ_y, σ_z : coeficientes de dispersión horizontal y vertical (m).

H : altura efectiva de emisión (m).

u : velocidad del viento a la altura efectiva (m/s).

x, y, z : coordenadas (m).



4/18

Cálculo de velocidades de viento a diferentes alturas:

$$U_2 = U_1 * \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^n$$

Donde:

U_1 : velocidad del viento a la altura de referencia en m/s.

U_2 : velocidad del viento a la altura objetivo en m/s.

H_1 : altura de referencia en m.

H_2 : altura objetivo en m.

n : coeficiente que depende del tipo de terreno y de la estabilidad atmosférica.

Estabilidad atmosférica	Superficie rural	Superficie urbana
	n	n
A	0.10	0.15
B	0.15	0.15
C	0.20	0.20
D	0.25	0.25
E	0.25	0.40
F	0.30	0.60

Cálculo de la sobre-elevación de la emisión:

$$\Delta h(m) = \frac{v_s * D}{u} * \left(1,5 + 2,68 \times 10^{-3} * p * D * \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \right)$$

Donde:

v_s : velocidad de salida del gas en m/s.

D : diámetro de la chimenea en m.

u : velocidad del viento a la altura de la boca de la chimenea en m/s.

p : presión atmosférica en mb.

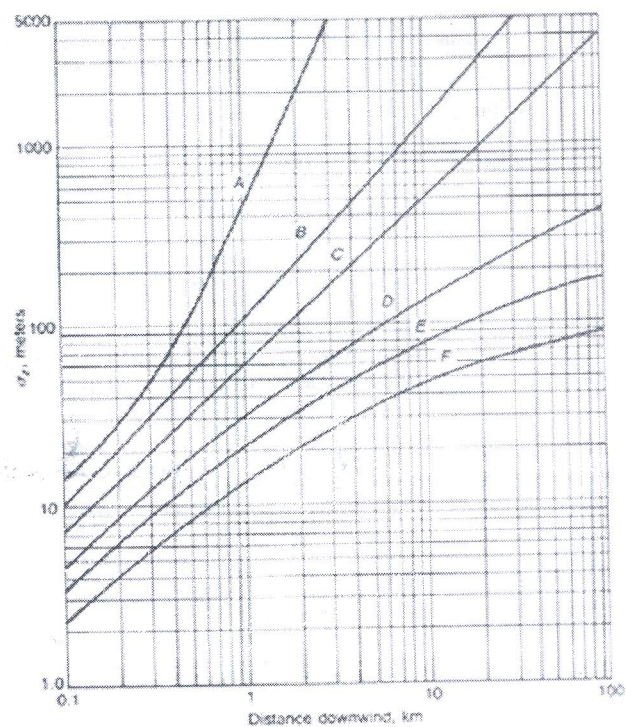
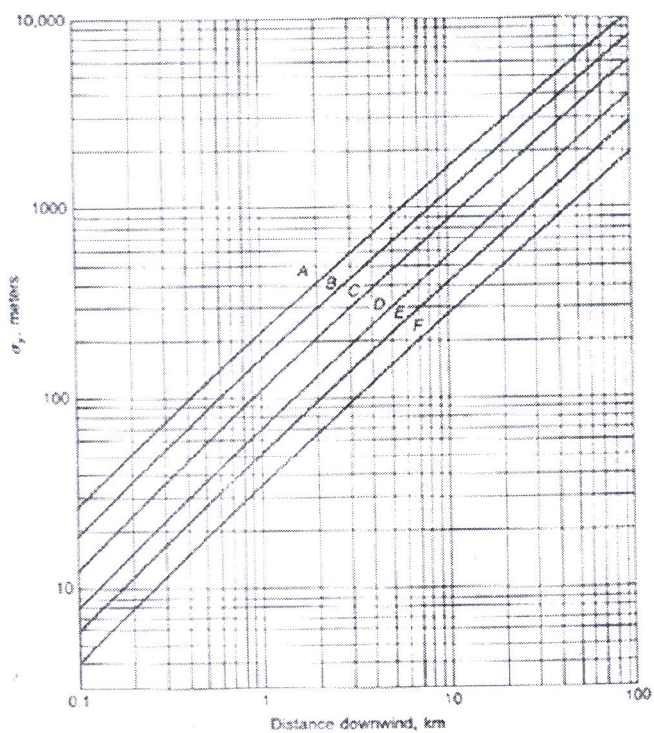
T_s : temperatura de salida de los gases de la chimenea en K.

T_a : temperatura atmosférica en K.



5118

Coeficientes de dispersión (σ_y , σ_z):



6/18

MÓDULO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

- 1- Explica detalladamente las operaciones unitarias en las cuales se puede concretar las actividades relacionadas con la recolección de los RSU.

DETERMINACIÓN DE TASAS DE GENERACIÓN

▪ Métodos utilizados para estimar las cantidades de residuos:

- ✓ Análisis del número de cargas
- ✓ Análisis peso - volumen
- ✓ Análisis de balance de masas

- 2- Identifica los métodos utilizados para estimar la tasa de generación de residuos de una población. Explica detalladamente uno de ellos.

DETERMINACIÓN DE TASAS DE GENERACIÓN

▪ Métodos utilizados para estimar las cantidades de residuos:

- ✓ Análisis del número de cargas
- ✓ Análisis peso - volumen
- ✓ Análisis de balance de masas

- 3- Identifica y explica las características principales de cada uno de los elementos de diseño y funcionamiento para que un sitio de disposición final de RSU pueda ser definido como un relleno sanitario.



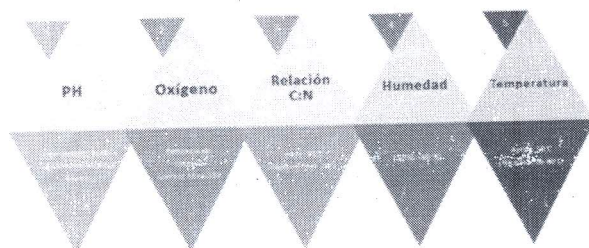
7/18

Elementos necesarios para que un sitio de disposición final de residuos sólidos sea un relleno sanitario:

- Preparación del terreno para lograr un fondo impermeable.
- Cobertura diaria.
- Sistema de Operación.
- Monitoreo de variables ambientales.
- Sistema de drenaje y tratamiento de lixiviados.
- Sistema de recolección y venteo/quema/tratamiento de gases.
- Gestión de pluviales.
- Clausura y Post-clausura del relleno sanitario

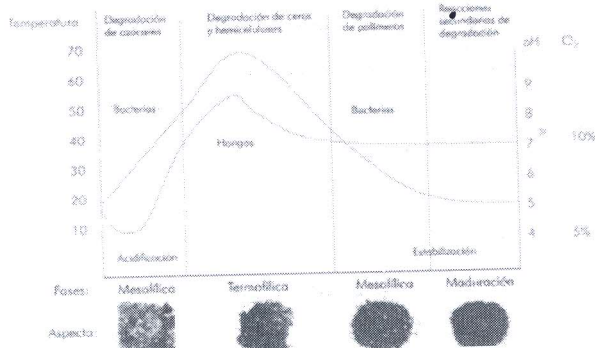
4- Explica los principales parámetros que intervienen en el proceso de compostaje aerobio.

Compostaje



Principales parámetros de interés

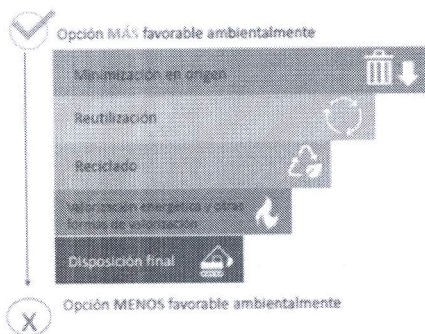
FASES DEL COMPOSTAJE



5- Menciona las normativas más relevantes, vigentes actualmente en Uruguay vinculadas con la gestión de Residuos Sólidos, identifica los aspectos principales que se establecen en estas normativas.

Como mínimo: Ley 19.829 – **Aprobación de normas para la gestión integral de residuos.** Economía circular, Política Nacional de residuos, Plan Nacional Gestión de Residuos, Planes departamentales gestión de residuos.

8/18



6-

MÓDULO DE RUIDO

Ejercicio 1-Teórico/conceptual

1) Explique brevemente:

- Qué es el nivel de presión sonora y por qué se expresa en dB.
- Qué representa el L_{eq} y por qué es un parámetro adecuado para evaluar contaminación sonora ambiental.
- En qué se diferencia un parámetro energético (L_{eq}) de un parámetro estadístico (por ejemplo L_{10} o L_{90}).

Pregunta 2

En campo libre:

- Explique qué es la divergencia esférica y cuánto disminuye el nivel al duplicar la distancia.
- Explique en qué caso se aplica divergencia cilíndrica y cuánto disminuye el nivel al duplicar la distancia.
- Dé un ejemplo práctico real de cada tipo de fuente en contexto urbano

Pregunta 3

En una medición ambiental urbana:

- ¿Qué clase de sonómetro utilizaría y por qué?
- ¿Cuándo usaría ponderación A y cuándo sería útil comparar con C?
- ¿Qué significa que $(L_C - L_A) \geq 10$ dB?



9 / 18

Soluciones

1.a) ¿Qué es el nivel de presión sonora y por qué se expresa en dB?

El nivel de presión sonora (L_p) es una magnitud logarítmica que expresa la relación entre una presión sonora medida y una presión de referencia (umbral auditivo).

Se define como:

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

donde:

- p = presión sonora medida
- $p_0 = 20 \times 10^{-6}$ Pa (umbral auditivo a 1000 Hz)



donde:

- p = presión sonora medida
- $p_0 = 20 \times 10^{-6}$ Pa (umbral auditivo a 1000 Hz)

Se expresa en decibelios (dB) porque:

- El oído humano percibe el sonido en forma aproximadamente logarítmica.
- El rango de presiones audibles es extremadamente amplio (de 20 μ Pa a 200 Pa).
- El uso de escala logarítmica permite manejar valores numéricos más prácticos.

Importante: 0 dB no significa ausencia de sonido, sino que corresponde al umbral auditivo.

El **Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq)** es el nivel de presión sonora constante que, durante un intervalo de tiempo T, contiene la misma energía acústica que el sonido variable real ocurrido en ese intervalo.

Es un **parámetro energético**.

Es adecuado para evaluación ambiental porque:

- Integra la totalidad de la energía acústica.
- Penaliza fuertemente eventos de alta intensidad.
- Permite comparar situaciones variables mediante un único valor.
- Es el parámetro adoptado por la mayoría de normativas ambientales.

Diferencia entre parámetro energético y estadístico

10/1/8

- El Leq es un parámetro energético: se basa en la energía total recibida (integral de $p^2(t)$).
- Los niveles de permanencia (L10, L90, etc.) son parámetros estadísticos: indican el nivel superado durante un determinado porcentaje del tiempo.

Diferencias clave:

Parámetro energético	Parámetro estadístico
Integra energía	Describe distribución temporal
Permite operaciones matemáticas directas	Depende de la muestra
Útil para normativa	Útil para caracterizar variabilidad

Ejemplo:

- L90 suele asociarse al ruido de fondo.
- L10 suele representar eventos de mayor intensidad.

2.a) Divergencia esférica

- Se aplica cuando la fuente puede considerarse puntual y omnidireccional.
- La energía se distribuye sobre superficies esféricas de área $4\pi r^2$.
- El nivel disminuye según:

$$L_{p,r1} = L_{p,r0} - 20 \log \left(\frac{r_1}{r_0} \right)$$

Al duplicar la distancia:

Disminuye 6 dB

Ejemplos:

- Altavoz
- Máquina aislada
- Generador

2.b) Divergencia cilíndrica

Se aplica a fuentes lineales (de longitud muy grande respecto a la distancia). La energía se distribuye sobre superficies cilíndricas $2\pi r l$.

El nivel disminuye según:



11/18

$$L_{p,r1} = L_{p,r0} - 10 \log \left(\frac{r_1}{r_0} \right)$$

Al duplicar la distancia:

Disminuye 3 dB

Ejemplos:

- Tránsito continuo en avenida
- Vía férrea
- Línea de maquinaria

2.c) Ejemplos urbanos

- Fuente puntual → equipos de ventilación en azoteas.
- Fuente lineal → tránsito en autopista.

3.a) Clase de sonómetro

Se debe utilizar un sonómetro Clase 1 para:

- Mediciones oficiales
- Evaluación normativa
- Certificación

Precisión aproximada: $\pm 0,7$ dB.

Clase 2 puede usarse para controles preliminares.

3.b) Ponderación A y C

- Ponderación A (LA):
 - Simula la respuesta del oído humano.
 - Es la escala utilizada en normativa ambiental.
 - Atenúa bajas frecuencias.
- Ponderación C (LC):
 - Se usa para detectar presencia de bajas frecuencias.
 - Útil para análisis comparativo.

3.c) Significado de $(LC - LA) \geq 10$ dB

Indica que existe un contenido importante de energía en bajas frecuencias.

Esto puede implicar:



72/18

- Mayor molestia subjetiva.
- Necesidad de análisis espectral.
- Posibles problemas de vibración o tonos graves dominantes.

Ejercicio 2. Práctico

Una industria proyecta instalar cuatro equipos HVAC idénticos en la azotea de su edificio. Según ficha técnica del fabricante, cada equipo presenta un nivel de presión sonora de 72 dB(A) medido a 1,5 m de distancia en campo libre.

La vivienda más cercana se encuentra a 15 m de distancia horizontal respecto a la ubicación de los equipos. Se asume propagación en campo libre con divergencia esférica, y que los equipos funcionan de manera independiente (fuentes no coherentes).

Se realizó una medición de ruido ambiente nocturno en la fachada de la vivienda, registrándose un valor de 45 dB(A) en ausencia de funcionamiento de los equipos.

La normativa departamental establece un límite nocturno de 55 dB(A) en fachada de vivienda.

Se solicita:

- Determinar el nivel de presión sonora esperado en fachada cuando funciona un solo equipo.
- Determinar el nivel esperado cuando funcionan simultáneamente dos equipos y los cuatro equipos.
- Analizar si en cada caso corresponde considerar el ruido de fondo medido, y justificar técnicamente.
- Evaluar el cumplimiento o incumplimiento del límite normativo en cada escenario
- Finalmente, desde el punto de vista de la gestión ambiental, proponga y justifique al menos tres medidas que podrían adoptarse en caso de verificarse incumplimiento. Las medidas pueden ser de carácter:
 - Operacional
 - Constructivo
 - De diseño o ingeniería

Se deberá justificar brevemente cómo cada medida contribuiría a reducir el impacto acústico en la fachada de la vivienda.



13/18.

Datos:

- Nivel por ficha técnica (1 equipo): $L_{p,1.5m} = 72 \text{ dB(A)}$
- Distancia a fachada: $r_1 = 15 \text{ m}$
- Distancia de referencia: $r_0 = 1.5 \text{ m}$
- Ruido de fondo nocturno en fachada: $L_f = 45 \text{ dB(A)}$
- Límite nocturno en fachada: $L_{lim} = 55 \text{ dB(A)}$
- Se asume campo libre, **divergencia esférica**, fuentes **idénticas** y **no coherentes**.

a) Nivel esperado en fachada con 1 equipo

Se aplica propagación esférica:

$$L_{p,r1} = L_{p,r0} - 20 \log \left(\frac{r_1}{r_0} \right)$$

$$\frac{r_1}{r_0} = \frac{15}{1.5} = 10$$

$$L_{p,15m} = 72 - 20 \log(10) = 72 - 20 = 52 \text{ dB(A)}$$

Resultado (1 equipo):

$$L_{1eq} \approx 52 \text{ dB(A)}$$

b) Nivel esperado en fachada con 2 equipos

Para fuentes idénticas no coherentes:

$$L_{2eq} = L_{1eq} + 10 \log(2)$$

$$10 \log(2) \approx 3 \text{ dB}$$

$$L_{2eq} = 52 + 3 = 55 \text{ dB(A)}$$

Resultado (2 equipos):

$$L_{2eq} \approx 55 \text{ dB(A)}$$

$$L_{4eq} = L_{1eq} + 10 \log(4)$$

Como $4 = 2 \times 2$, entonces $10 \log(4) = 6 \text{ dB}$

$$L_{4eq} = 52 + 6 = 58 \text{ dB(A)}$$

Resultado (4 equipos):

$$L_{4eq} \approx 58 \text{ dB(A)}$$



14/18.

c) ¿Corresponde considerar el ruido de fondo? Justificación

Se compara el nivel esperado de los equipos con el ruido de fondo:

Caso 1 equipo:

- $L_{1eq} = 52 \text{ dB(A)}$ y $L_f = 45 \text{ dB(A)}$ → diferencia = 7 dB

No es $\geq 10 \text{ dB}$, por lo tanto **el fondo puede influir** y conviene sumar logarítmicamente:

$$L_T = 10 \log \left(10^{L_{eq}/10} + 10^{L_f/10} \right)$$

$$L_{T,1} = 10 \log (10^{5.2} + 10^{4.5})$$

Factorizando $10^{4.5}$:

$$= 10 \log (10^{4.5}(10^{0.7} + 1)) = 10 [4.5 + \log(10^{0.7} + 1)]$$

$$10^{0.7} \approx 5.01 \Rightarrow (5.01 + 1) = 6.01 \Rightarrow \log(6.01) \approx 0.78$$

$$L_{T,1} \approx 10(4.5 + 0.78) = 52.8 \text{ dB(A)}$$

Nivel total con 1 equipo + fondo $\approx 53 \text{ dB(A)}$

Caso 2 equipos:

- $L_{2eq} = 55 \text{ dB(A)}$ y $L_f = 45 \text{ dB(A)}$ → diferencia = 10 dB

Cuando la diferencia es $\geq 10 \text{ dB}$, el fondo es despreciable (aporte $< \sim 0.5 \text{ dB}$).

Por tanto:

Nivel total $\approx 55 \text{ dB(A)}$

Caso 4 equipos:

- $L_{4eq} = 58 \text{ dB(A)}$ y $L_f = 45 \text{ dB(A)}$ → diferencia = 13 dB

Fondo despreciable.

Nivel total $\approx 58 \text{ dB(A)}$

d) Evaluación de cumplimiento normativo (límite 55 dB(A))

- 1 equipo: $L_T \approx 53 \text{ dB(A)}$ → Cumple
- 2 equipos: $L_T \approx 55 \text{ dB(A)}$ → En el límite (cumple justo)
- 4 equipos: $L_T \approx 58 \text{ dB(A)}$ → Incumple (exceso $\approx 3 \text{ dB}$)



15/78

e) Medidas de gestión ambiental (operacionales / constructivas / diseño)

Se proponen medidas posibles, justificadas:

- 1. Medida operacional: limitar simultaneidad nocturna**
 - Operar máximo 2 equipos en horario nocturno (o aplicar secuenciación/alternancia).
 - Justificación: pasar de 4 a 2 equipos reduce ≈ 3 dB en fachada.
- 2. Medida de ingeniería: pantallas/barreras acústicas en azotea**
 - Instalar parapetos/pantallas entre equipos y borde hacia la vivienda.
 - Justificación: reduce propagación directa y mejora atenuación por difracción.
- 3. Medida de diseño: reubicación / aumentar distancia efectiva**
 - Alejar equipos del borde más cercano a la vivienda o llevarlos a un sector más protegido.
 - Justificación: por divergencia esférica, aumentar distancia reduce nivel según $20 \log(r)$.
- 4. Medida constructiva: encapsulado o cabinas acústicas**
 - Encapsular equipos o generar recinto técnico con tratamiento acústico.
 - Justificación: reduce emisión directa (especialmente en medias/altas frecuencias).
- 5. Medida técnica complementaria: silenciadores y control de vibraciones**
 - Silenciadores en ductos + aisladores antivibratorios.
 - Justificación: reduce ruido aerodinámico y estructural, evitando radiación secundaria.

Conclusión de gestión:

Para asegurar cumplimiento nocturno con 4 equipos, se requiere **mitigación** (ingeniería/constructiva) o **restricción operativa** (no simultaneidad), ya que el escenario actual excede el límite.



16/180

MÓDULO DE AIRE

1.

- **Métodos de dispersión:**

- ❖ Difusión.
- ❖ Convección.
- ❖ Advección.
- ❖ Reacción.

2.



3.

77/198

Parte a) $C = 114 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Parte b)

Medida de gestión N°1: $C = 51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (55% de disminución; no se logra el objetivo).

Medida de gestión N°2: $C = 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (88% de disminución; se logra el objetivo).



18/18.