

3.-OBJETIVOS Y PASOS DE QUE CONSTA NUESTRO PROYECTO.

El objetivo es claramente disminuir la carga de ruido que llega al parque infantil procedente de la carretera SE-517 que lo bordea. Para ello diseñaremos una pantalla acústica.

En el proceso de diseño, probaremos varias soluciones. Jugaremos con distintos materiales y con distintas ubicaciones.

Para calcular la disminución de ruido en el parque que cada pantalla ocasiona disponemos del programa informático IMMI 4.0.

Para validar dicho programa informático de alguna manera, recurriremos a la realización de mediciones sonoras en este parque infantil. Dichas mediciones serán comparadas con los valores que el programa informático prevé.

Si existe una coincidencia, nuestros resultados tendrán una mayor base.

4.-DESCRIPCION DE LA ZONA.

Junto con el presente texto se adjunta una serie de diapositivas que muestran nuestro terreno de trabajo.

Además, contamos con un plano en el que se aprecia claramente la situación de nuestro parque infantil.

La urbanización Las Pilas se encuentra situada a un lado de la carretera que une Gines y Valencina de la Concepción.

Muchas familias viven allí todo el año, aunque para la mayoría es su residencia de fin de semana y estival.

Tanto durante el invierno como durante el verano, este parque es centro de reunión de jóvenes grandes y pequeños. Los pequeños disfrutan de los columpios y toboganes y los más mayores se dan allí cita para charlar o jugar a las cartas.

La proximidad a escasos 4 ó 5 metros de la carretera, y con ella todo el ruido que el tráfico genera hace molesta la estancia en este parque, sobretodo a ciertas horas punta.

Hay que decir que el tráfico que circula por las calles de la urbanización que rodean el parque es mucho menos numeroso que el que circula por la carretera, y además de muy baja velocidad.

La interposición de una pantalla acústica pretende por tanto aliviar las molestias que en estos momentos sufre la gente que visita el parque. Además, esto repercutirá positivamente en el nivel de ruido que llega a las casas de la urbanización.

En el momento de la realización de este proyecto, se encuentran en marcha las obras para la realización de un carril bici . Este carril-bici pasará por el lado de la carretera donde se encuentra nuestra urbanización, y le quitará espacio a ésta. En concreto, la

alambrada que cierra la urbanización será retranqueada 2 metros. En nuestro diseño de la pantalla acústica incluiremos este carril bici como ya existente, guiándonos por sus planos.

Nuestro parque posee una planta casi rectangular. Uno de los lados mayores da a la carretera Valencina-Gines, y el otro lado a la calle Alameda. Uno de los lados menores linda con un solar mientras que el otro da a la salida de la urbanización.

La distancia que separa el parque de la carretera es de unos 5.50 metros.

Tanto la carretera como el parque y las diversas calles que lo rodean son superficies prácticamente horizontales y de igual cota.

El parque posee en una de sus esquinas una pequeña marquesina de paredes de ladrillo y techado metálico para esperar el autobús.

Los elementos de que consta el parque son arriates, columpios y toboganes, bancos metálicos, y media docena de árboles. El suelo está sembrado de césped en más de la mitad de su superficie, estando el resto cubierto de albero.

Se encuentra vallado en todo su perímetro por una reja metálica y posee dos puertas de entrada en la calle Alameda.

Enfrente del parque, al otro lado de la calle Alameda, se encuentra la primera línea de chalets de la urbanización. Éstos se extienden desde allí hacia delante en rampa.

El tráfico dentro de la urbanización tiene la velocidad limitada a 30 km/h.

La carretera SE-517 Valencina-Gines tiene a su paso por la urbanización un límite de velocidad de 70 km/h.

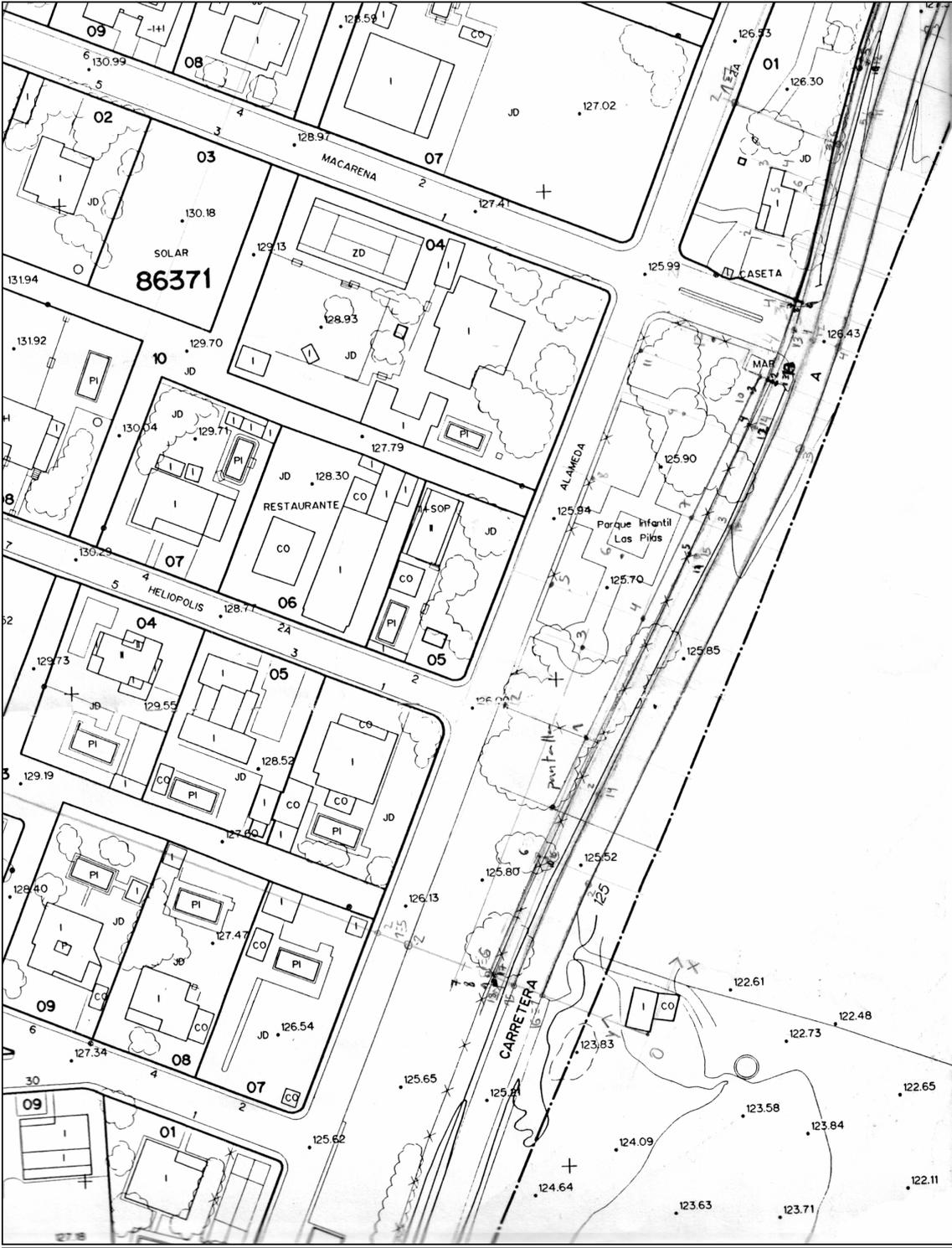
La entrada/salida de la urbanización es única, siendo la circulación por ella siempre fluida.

Entrando en la urbanización a la derecha, justo enfrente del parque, se encuentra la garita del guarda y detrás suya está su casa y otro parque aún en construcción.

Enfrente del parque, al otro lado de la carretera, tenemos campo. Es aquí donde encontramos una casa con un pequeño huerto donde vive una familia. Esta casa se encuentra situada a unos 20 metros de la carretera.

El terreno donde situaremos la pantalla está formado por arcilla semiblanda, por lo que podemos considerar una tensión máxima admisible de 1 kp/cm^2 .

A continuación mostramos un plano de la zona:



5.-FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROGRAMA DE ORDENADOR IMMI 4.0

El programa informático IMMI 4.0 nos permitirá modelar nuestro problema, con lo que podremos simular situaciones de nuestro interés, como puede ser la interposición de una pantalla acústica.

En este apartado pretendemos dar una idea del método de cálculo que sigue este programa informático.

La norma ISO 9613, titulada “Acústica – Atenuación del sonido durante su propagación en campo libre”, da, en su segunda parte, un “Método general de cálculo” que es seguido básicamente por el programa IMMI 4.0, y que incluimos a continuación.

5.1.-Introducción.

Esta parte de la norma ISO 9613 especifica un método ingenieril para calcular la atenuación del sonido durante su propagación en campo libre, de cara a predecir los niveles de ruido ambiental a una distancia de una serie de fuentes.

El método predice el nivel de presión sonora ponderado A contínuo equivalente bajo condiciones meteorológicas favorables a la propagación del sonido desde fuentes de conocida potencia.

Estas condiciones son para propagación viento a favor, como especifica la norma ISO 1996-2, y las veremos en el apartado 5.5.

El método aquí especificado consiste básicamente en algoritmos de banda de octava (con frecuencias centrales nominales desde 63 Hz hasta 8 kHz) para calcular la atenuación del sonido producido por una fuente de sonido puntual o por un conjunto de fuentes puntuales. La fuente (o fuentes) puede ser fija o móvil.

En dichos algoritmos hay términos específicos que tienen en cuenta los siguientes efectos físicos:

- divergencia geométrica.
- absorción atmosférica.
- efecto del suelo.
- reflexión desde superficies.
- apantallamiento por obstáculos.
- otros efectos, como vegetación, entorno industrial o viviendas.

Este método es aplicable a la mayoría de las situaciones que encontramos en la vida cotidiana, como tráfico por carretera, trenes, fuentes de ruido industriales, actividades de la construcción,...Para ello es necesario conocer varios parámetros relativos a la geometría de la fuente y del ambiente, las características de la superficie del suelo, y la potencia de la fuente en términos de banda de octava según direcciones relevantes a la propagación.

5.2.-Normativa de referencia.

ISO 1996-1:1982, Acústica – Descripción y medida del ruido ambiental – 1ª parte: Procedimientos y magnitudes básicas.

ISO 1996-2:1987, Acústica – Descripción y medida del ruido ambiental – 2ª parte: Toma de datos.

ISO 1996-3:1987, Acústica – Descripción y medida del ruido ambiental – 3ª parte: Aplicación a los límites de ruido.

ISO 9613-1:1993 Acústica – Atenuación del sonido durante su propagación en campo libre – 1ª parte: Cálculo de la absorción del sonido por la atmósfera.

IEC 651:1979, Medidores del nivel sonoro, y su anexo 1:1993.

5.3.-Definiciones.

5.3.1.-Nivel de presión sonora ponderado A contínuo equivalente, en dB.

Definido por la ecuación:

$$L_{AT} = 10 \text{Log} \left(\frac{1}{T} \int_0^T dt p_A^2(t) \right) \quad (\text{dB})$$

donde

$p_A(t)$ es la presión sonora instantánea ponderada A, en pascales(Pa);

p_0 es la presión sonora de referencia: 20 μ Pa;

T es un intervalo de tiempo especificado, en segundos.

La ponderación por frecuencias A es aquella especificada para medidores de niveles sonoros en la norma IEC 651.

5.3.2.-Nivel de presión sonora de banda de octava a favor de viento continuo equivalente, en dB.

Definido por la ecuación:

$$L_{fT}(DW) = 10 \text{Log} \left(\frac{1}{T} \int_0^T dt p_f^2(t) \right) \quad (\text{dB})$$

donde

$p_f(t)$ es la presión sonora instantánea a favor de viento de banda de octava, y la letra f denota una frecuencia nominal de un filtro de banda de octava.

5.3.3-Pérdida por inserción(de una pantalla).

Es la diferencia, en dB, entre los niveles de presión sonora que sufre un receptor sin pantalla y con pantalla.

5.4.-Descripción de las fuentes.

Las ecuaciones a usar en este método son para la atenuación de ruido emitido por fuentes puntuales. Fuentes de ruido como el tráfico de carreteras o ferroviario, o un entorno industrial (que puede incluir varias instalaciones o plantas, junto con tráfico moviéndose por la zona) serán representadas por un conjunto de secciones (celdas), cada una con una cierta potencia de sonido y directividad.

La atenuación calculada del sonido emitido por un punto representativo dentro de una sección es usada para representar la atenuación del sonido emitido por la sección entera. Una fuente lineal queda así dividida en secciones lineales, una fuente de superficie en secciones de superficie, cada sección representada por una fuente puntual en su centro. Además de estas fuentes reales, serán introducidas fuentes imagen para describir la reflexión del sonido desde paredes y techos(pero no desde el suelo).

5.5.-Condiciones meteorológicas.

Las condiciones de propagación viento a favor para el método son las siguientes:

- dirección del viento dentro de un ángulo de -45° a $+45^\circ$ respecto de la dirección de la recta que une fuente y receptor, y soplando desde la fuente al receptor.
- velocidad del viento entre 1 y 5 m/s, medida a una altura de 3 a 11 m sobre el suelo.
- no existencia de inversiones fuertes de temperatura cerca del suelo.
- no existencia de precipitaciones fuertes.

El método predice también un nivel de presión sonora ponderado A media durante un intervalo de tiempo largo (varios meses a un año). Este valor pretende tener en cuenta niveles de presión sonora correspondientes a una gran variedad de condiciones meteorológicas.

5.6.- Ecuaciones básicas.

El nivel de presión sonora de banda de octava continuo equivalente a favor de viento en un punto receptor, $L_{fT}(DW)$ será calculado para cada fuente puntual y sus fuentes imagen, y para las ocho frecuencias centrales nominales de bandas de octava desde 63 Hz a 8 kHz, según la ecuación:

$$L_{fT}(DW) = L_w + D_C - A$$

donde,

L_w es el nivel de potencia sonora de banda de octava, en dB, producido por la fuente de sonido puntual relativa a una potencia sonora de referencia de 1 picowatio (pW);

D_C es la corrección de directividad, en dB, que describe cómo el nivel de presión sonora continuo equivalente debido a la fuente sonora puntual se desvía en una

dirección especificada del nivel de una fuente sonora puntual omnidireccional de potencia sonora L_w ; D_C es igual al índice de directividad D_l de la fuente puntual de sonido más un índice, D_Ω , que tiene en cuenta la propagación del sonido dentro de ángulos sólidos de menos de 4π estereoradianes; para una fuente sonora puntual omnidireccional radiando en campo abierto, D_C vale 0 dB.

A es la atenuación de banda de octava, en dB, que ocurre durante la propagación desde la fuente sonora puntual al receptor.

El nivel de potencia sonora L_w de una fuente sonora puntual puede ser determinado experimentalmente por medio de mediciones.

El término de atenuación, A, es dado por la ecuación:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

Donde

A_{div} es la atenuación debida a la divergencia geométrica;

A_{atm} es la atenuación debida a la absorción atmosférica;

A_{gr} es la atenuación debida al efecto del suelo;

A_{bar} es la atenuación debida a una pantalla;

A_{misc} es la atenuación debida a otros efectos (viviendas, vegetación, entorno industrial).

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A a favor de viento se obtiene sumando para cada fuente sonora puntual, para cada una de sus fuentes imagen, y para cada banda de octava, los niveles de L_{jT} , como especifica la ecuación siguiente:

$$L_{AT}(DW) = 10 \text{Log} \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^8 10^{0.1[L_{jT(i,j)} - A_f(j)]} \right] \right\} \quad (\text{dB})$$

donde

n es el número de contribuciones i (fuentes y caminos);

j indica las ocho frecuencias estándares nominales de banda de octava, de 63 Hz a 8 kHz;

A_f denota la ponderación estándar A (ver IEC 651).

5.7.- Cálculo de los términos de atenuación.

5.7.1.-Divergencia geométrica (A_{div}).

La divergencia geométrica se refiere a la propagación esférica en campo libre del sonido emitido por una fuente sonora puntual. Viene dada por la expresión:

$$A_{div} = [20 \log(d/d_0) + 11] \text{ dB}$$

Donde

d es la distancia de la fuente al receptor, en m;

d_0 es la distancia de referencia (= 1 m).

La constante en esta ecuación relaciona el nivel de potencia sonora con el nivel de presión sonora a una distancia de referencia d_0 de una fuente sonora puntual omnidireccional.

5.7.2.-Absorción atmosférica.

La atenuación debida a la absorción atmosférica, A_{atm} , en dB, durante la propagación del sonido a través de una distancia d , en m, viene dada por la ecuación:

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

Donde α es el coeficiente de atenuación atmosférica, en dB/km, para cada banda de octava a la frecuencia central nominal. Los valores de este coeficiente, para distintas temperaturas y distintas humedades relativas, y para cada frecuencia nominal, vienen dados en forma de tabla:

Tª °C	HR %	Coeficiente de atenuación atmosférica, α , dB/km							
		Frecuencia central nominal, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
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

5.7.3.- Efecto del suelo (A_{gr}).

El efecto suelo consiste en la reflexión del sonido en la superficie del suelo y su posterior interferencia con el sonido que se propaga directamente desde la fuente al receptor. Esta atenuación está básicamente determinada por las superficies del suelo cercano a la fuente y al receptor. Este método de cálculo del efecto suelo es aplicable

sólo a suelos aproximadamente lisos, horizontales o con una ligera pendiente. Distinguimos tres regiones:

- la región de la fuente, que se extiende desde la fuente al receptor una distancia 30 veces la altura de la fuente;
- la región del receptor, que se extiende desde el receptor a la fuente una distancia 30 veces la altura del receptor;
- la región intermedia entre las dos anteriores.

Puede ocurrir que las regiones de la fuente y del receptor se solapen y no haya zona intermedia.

De acuerdo con este esquema, la atenuación del suelo no se ve aumentada con el tamaño de la región intermedia, sino que depende mayormente de las propiedades de las regiones de la fuente y del receptor.

Las propiedades acústicas de cada región se tienen en cuenta mediante un factor de suelo, G .

Distinguimos tres categorías de superficies:

- suelo duro, que incluye pavimento, agua, hielo, hormigón y toda superficie que tenga una baja porosidad. Para este tipo de suelos, $G = 0$.
- suelo poroso, que incluye suelo cubierto de hierba, árboles u otra vegetación, y toda superficie útil para el crecimiento de vegetación, como los terrenos de granjas. Para suelos porosos, $G=1$.
- suelo mixto, que posee partes porosas y otras duras. En este caso G toma un valor entre 0 y 1 igual a la fracción de suelo que es poroso.

La atenuación para A_{gr} cada banda de octava debida al suelo se obtiene de la ecuación:

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m$$

Donde

A_s es la componente de la atenuación asociada a la región de la fuente, y especificada por el factor G_s ;

A_r es la componente de la atenuación asociada a la región del receptor, y especificada por el factor G_r ;

A_m es la componente de la atenuación asociada a la región intermedia, y especificada por el factor G_m .

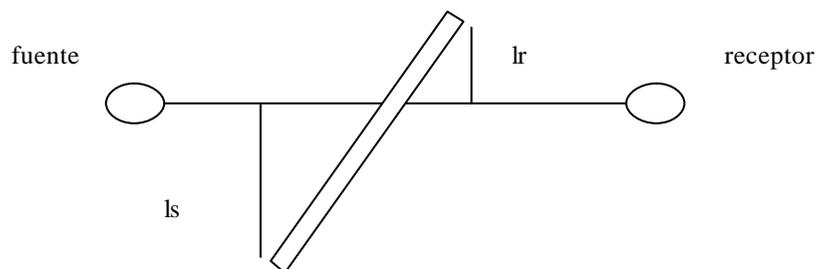
Para el cálculo de estas componentes recurrimos a la siguiente tabla:

Frecuencia nominal , Hz	As ó Ar , dB	Am, dB
63	-1.5	-3q
125	-1.5+ G a'(h)	-3q(1-Gm)
250	-1.5+ G b'(h)	
500	-1.5+ G c'(h)	
1000	-1.5+ G d'(h)	
2000	-1.5(1-G)	
4000	-1.5(1-G)	
8000	-1.5(1-G)	
Notas		
a'(h)=1.5+3(exp[-0.12(h-5)^2])(1-exp[-d/50])+5.7exp[-0.09h^2](1-exp[-2.8x10^-6xd^2])		
b'(h)= 1.5+8.6(exp[-0.09h^2])(1-exp[-d/50])		
c'(h)= 1.5+14(exp[-0.46h^2])(1-exp[-d/50])		
d'(h)=1.5+5(exp[-0.9h^2])(1-exp[-d/50])		
Para calcular As, se toma G=Gs y h=hs.Para calcular Ar, G=Gr y h=hr		
q=0 si d<=30(hs+hr)		
q = 1- 30(hs+hr)/d si d> 30(hs+hr)		
Donde d es la distancia fuente-receptor proyectada sobre el suelo		

5.7.4.-Apantallamiento(A_{bar}).

Un objeto será tenido en cuenta como obstáculo capaz de producir apantallamiento si cumple los requisitos siguientes:

- Su densidad superficial es al menos de 10 kg/m²;
- el objeto tiene una superficie sin grandes orificios;
- la dimensión horizontal del objeto normal a la línea fuente-receptor es mayor que la longitud de onda acústica λ a la frecuencia nominal para la banda de octava de interés, en otras palabras, $l_r+l_s>\lambda$.



La atenuación debida a una pantalla (A_{bar}) se describirá como la pérdida por inserción.

La difracción puede darse sobre el borde superior y también alrededor de los bordes laterales de la pantalla. El efecto (en dB) de la difracción sobre el borde superior será calculado por:

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0,$$

y el de la difracción lateral alrededor de un borde vertical de la pantalla por:

$$A_{bar} = D_z > 0$$

donde

D_z es la atenuación debida a la pantalla para cada banda de octava;

A_{gr} es la atenuación debida al suelo en ausencia de pantalla.

Para calcular la atenuación debida a la pantalla, asumimos que existe un solo camino significativo de propagación del sonido desde la fuente al receptor. Si esta asunción no es válida, se requieren cálculos separados para cada camino de propagación del sonido.

La atenuación debida a una pantalla, en dB, se calculará para un camino según la ecuación:

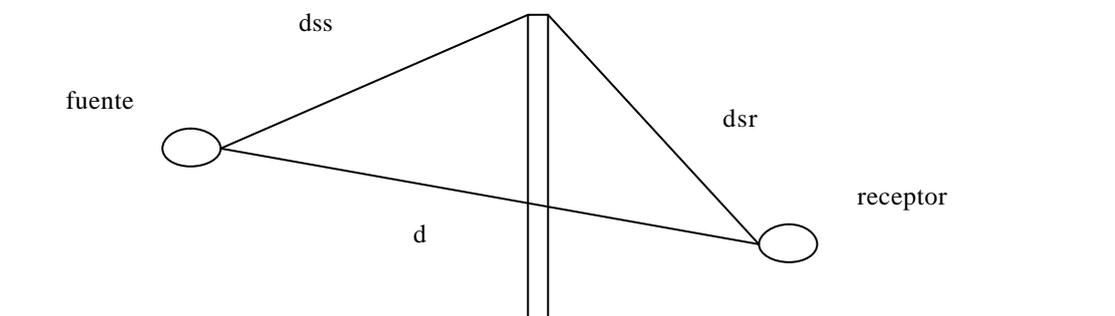
$$D_z = 10 \log [3 + (c^2/\lambda) C_3 Z Kmet] \text{ dB}$$

Donde

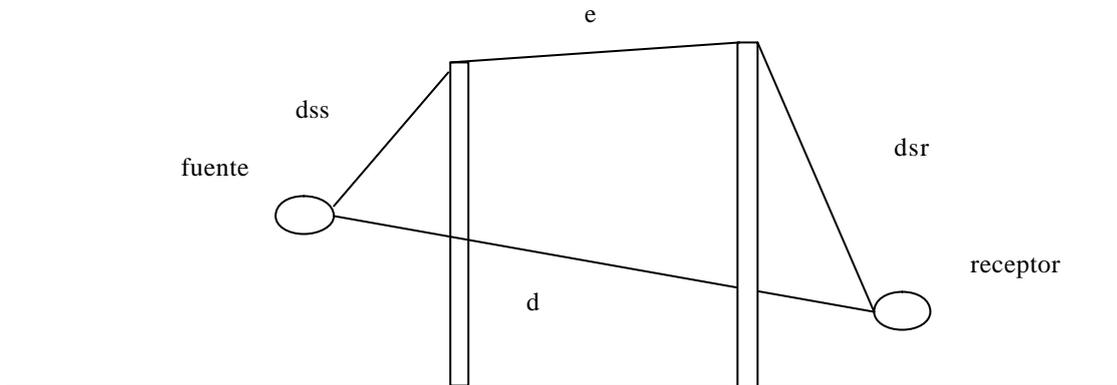
C_2 es igual a 20, e incluye el efecto de la reflexión en el suelo;

C_3 vale 1 para difracción simple, y $C_3 = [1 + (5\lambda/e)^2] / [(1/3) + (5\lambda/e)^2]$ para difracción doble.

Difracción simple



Difracción doble



Donde

λ es la longitud de onda acústica, en m, a la frecuencia nominal de banda de octava;

z es la diferencia, en m, entre las longitudes de los caminos del sonido difractado y directo;

K_{met} es el factor de corrección por efectos meteorológicos;

e es la distancia entre los dos bordes de difracción en caso de difracción doble.

Para difracción simple, z se calcula así:

$$z = [(dss + dsr)^2 + a^2]^{(1/2)} - d$$

donde

dss es la distancia de la fuente al borde de difracción, en m;

dsr es la distancia del borde de difracción al receptor, en m;

a es la componente paralela al borde de la pantalla de la distancia entre la fuente y el receptor, en m.

Para difracción doble, z se calcula por:

$$z = [(dss + dsr + e)^2 - a^2]^{(1/2)} - d$$

El factor de corrección por condiciones meteorológicas se calcula por:

$$K_{met} = \exp\left\{-\frac{1}{2000}\left[\frac{dss \ dsr \ d}{(2z)}\right]^{(1/2)}\right\} \quad \text{para } z > 0$$

$$K_{met} = 1 \quad \text{para } z \leq 0$$

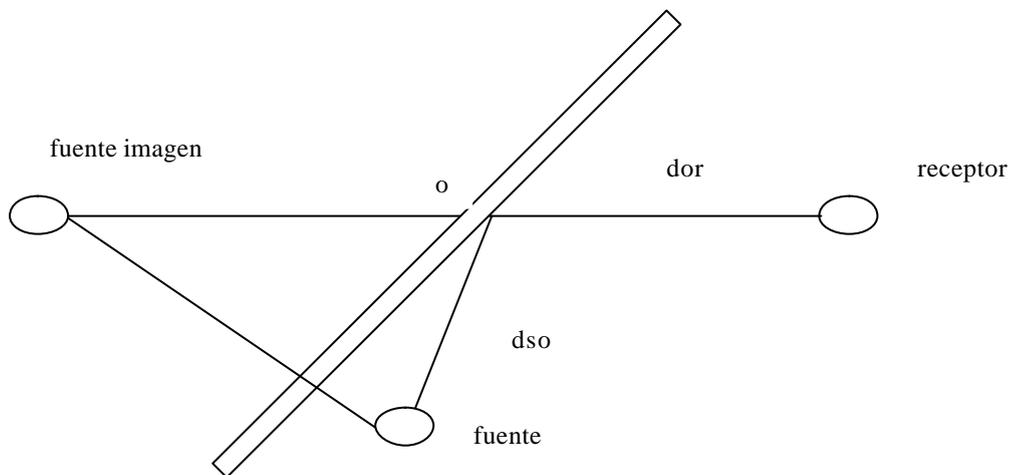
Para difracciones laterales alrededor de un borde vertical de la pantalla se tomará $K_{met}=1$.

5.7.5.- Reflexión

Las reflexiones son aquí consideradas en términos de fuentes imagen. Estas reflexiones son aquellas desde techos exteriores y superficies más o menos verticales, como fachadas de edificios, que pueden aumentar los niveles de presión sonora en el receptor. El efecto de la reflexión del suelo ya está incluido en el término A_{gr} , por lo que no lo tenemos aquí en cuenta.

Las reflexiones de un obstáculo serán calculadas para todas las bandas de octava para las que se cumplen los siguientes requisitos:

-se puede construir una reflexión especular:



-la magnitud del coeficiente de reflexión de la superficie del obstáculo es mayor que 0.2

-se debe cumplir la relación:

$$1/\lambda > [2/(l_{min} \cos\beta)^2][dso \cdot dor / (dso + dor)]$$

donde

λ es la longitud de onda acústica a la frecuencia nominal de banda de octava ($\lambda=340 \text{ m/s} / f$);

dso es la distancia entre la fuente y el punto de reflexión del obstáculo;

dor es la distancia entre el punto de reflexión del obstáculo y el receptor;

β es el ángulo de incidencia, en radianes;

l_{min} es la dimensión mínima (longitud o altura) de la superficie reflectante;

La fuente real y la fuente imagen se tratan separadamente. El nivel de potencia sonora de la fuente imagen viene dado por:

$$L_{W,im} = L_W + 10 \log \rho + D_{Ir}$$

Donde

ρ es el coeficiente de reflexión sonora para un ángulo de incidencia β en la superficie del obstáculo;

D_{Ir} es el índice de directividad de la fuente en la dirección de la imagen del receptor.

Para la fuente de sonido imagen, los términos de atenuación, así como ρ y D_{Ir} , serán determinados de acuerdo al camino de propagación del sonido reflejado.

5.8.-Corrección meteorológica (Cmet).

Ya hemos dicho que la expresión $L_{AT}(DW)$ implica condiciones meteorológicas favorables a la propagación desde la fuente al receptor (condiciones que describimos en el apartado 5.5). Esta expresión puede ser la adecuada para verificar el cumplimiento de un límite de ruido normativo en una comunidad.

A menudo sin embargo se requiere un nivel de presión sonora que describa un periodo de tiempo largo (varios meses o un año) ($L_{AT}(LT)$). Este periodo incluye normalmente una gran variedad de condiciones meteorológicas, tanto favorables como desfavorables a la propagación.

Un valor de $L_{AT}(LT)$ puede ser entonces obtenido a partir de $L_{AT}(DW)$ usando el factor de corrección Cmet:

$$L_{AT}(LT) = L_{AT}(DW) - Cmet$$

$Cmet = 0$ si $d \leq 10(hs + hr)$, y

$Cmet = C_0 [1 - 10(hs + hr)/d]$ si $d > 10(hs + hr)$

Donde

hs es la altura de la fuente, en m;

hr es la altura del receptor, en m;

d es la distancia entre la fuente y el receptor proyectada sobre el plano del suelo, en m;

C_0 es un factor, en dB, que depende de estadísticas meteorológicas locales sobre dirección y velocidad del viento, y temperaturas.

Los efectos de las condiciones meteorológicas en la propagación del sonido son pequeños para distancias d cortas, y para distancias d mayores con mayores alturas del receptor y de la fuente.

El valor de C_0 puede ser estimado de un análisis elemental de las estadísticas meteorológicas locales. La experiencia indica que los valores de C_0 están en la práctica limitados a un rango de 0 a 5 dB, y que valores mayores de 2 dB son excepcionales.

5.9.-Exactitud y limitaciones del método.

La atenuación del sonido que se propaga en campo abierto desde una fuente fijada a un receptor fluctúa debido a variaciones en las condiciones meteorológicas a lo largo del camino de propagación. Restringiendo la atención a condiciones con viento moderado a favor, limitamos el efecto de condiciones meteorológicas variables sobre la atenuación a valores razonables.

Hay información para apoyar este método de cálculo. La concordancia entre valores calculados y medidos del nivel de presión sonora ponderado A media, $L_{AT}(DW)$, para propagación a favor de viento apoya la exactitud de los cálculos estimada en la tabla siguiente:

Altura, h	Distancia, d	
	0 < d < 100 m	100 m < d < 1000 m
0 < h < 5 m	+3 dB -3 dB	+3 dB -3 dB
5 m < h < 30 m	+1 dB -1 dB	+3 dB -3 dB

d es la distancia entre fuente y receptor;
 h es la altura mayor de fuente y receptor.

Nota: Estas estimaciones han sido hechas en situaciones donde no hay efectos debidos a reflexión ni atenuaciones debidas a apantallamientos.

5.10.- Tipos adicionales de atenuación.

El término A_{misc} cubre contribuciones a la atenuación de sonido debidas a :

- la vegetación(A_{fol});
- entornos industriales(A_{site});
- zonas de viviendas(A_{hous}).

Para calcular estas atenuaciones, el camino de propagación a favor de viento puede ser aproximado por un arco de circunferencia de radio 5 km.

5.10.1.-Vegetación.

La vegetación de árboles y arbustos produce una atenuación pequeña, pero sólo si es suficientemente densa como para bloquear completamente la vista a su través a lo largo del camino de propagación.

La atenuación puede ser por vegetación próxima al receptor (una distancia d_2), a la fuente (una distancia d_1), o a ambos. Estas distancias se miden sobre el arco de propagación del sonido, y tienen una inclinación con respecto al suelo de 15° .

La suma de d_1 y d_2 nos da df .

En la siguiente tabla vemos cómo depende esta atenuación de la frecuencia y de la distancia a través de vegetación densa:

Distancia df , m	Frecuencia central nominal, Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10< df <20	Atenuación en dB:							
	0	0	1	1	1	1	2	3
20< df <200	Atenuación en dB/m:							
	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.12

5.10.2.-Entornos industriales.

En entornos industriales, una atenuación puede ocurrir debido a la presencia de instalaciones diversas, y es recogida dentro del término A_{site} .

Entre las instalaciones tenemos válvulas, bombas, elementos estructurales, cajas, etc.

Como el valor de A_{site} depende fuertemente del tipo de fábrica, se recomienda determinarlo mediante medidas. Sin embargo, para tener una estimación de esta atenuación, podemos usar la siguiente tabla:

Frecuencia nominal, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A_{site} , dB/m	0	0.015	0.025	0.025	0.02	0.02	0.015	0.015

La atenuación aumenta linealmente con la longitud del camino a través de las instalaciones, con un máximo de 10 dB.

5.10.3.-Zonas de viviendas (A_{hous}).

Cuando la fuente o el receptor, o ambos, están situados en una región donde hay viviendas, ocurre una atenuación debida al apantallamiento de las casas. Sin embargo, este efecto puede ser compensado en parte por la propagación entre las casas y por las reflexiones desde otras casas vecinas.

Este efecto combinado de apantallamiento y reflexión que constituye A_{hous} puede ser calculado, al menos en principio, para una situación específica aplicando los principios de apantallamiento y reflexión ya vistos anteriormente.

Debido a que el valor de A_{hous} depende mucho de la situación concreta, un cálculo de ese tipo debería estar justificado en la práctica.

Una alternativa más útil, particularmente para el caso de reflexiones múltiples, puede ser medir el efecto, ya en la realidad o mediante un modelo.

Un valor aproximado para A_{hous} , que no debe exceder 10 dB, puede ser estimado como sigue. Hay dos contribuciones separadas:

$$A_{hous} = A_{hous1} + A_{hous2}$$

Un valor medio de A_{hous1} (en dB), puede ser calculado usando la ecuación:

$$A_{hous1} = 0.1 B d_b \text{ dB}$$

Donde

B es la densidad de edificios a lo largo del camino, dada por el área de suelo construido dividido por el área de suelo total;

d_b es la longitud del camino de propagación del sonido, en m, a través de la región de viviendas, determinada por un procedimiento análogo al usado para el caso de vegetación.

La distancia d_b puede así incluir una distancia d_1 cercana a la fuente y una distancia d_2 cercana al receptor.

El valor de A_{hous} será igual a cero en caso de una fuente pequeña con una línea de vista directa, no obstruida, hasta el receptor a través de un corredor entre casas.

Si hay filas bien definidas de edificios cerca de una carretera, una vía férrea, o un corredor similar, un término adicional, A_{hous2} , puede ser incluido:

$$A_{hous2} = -10 \log[1-(p/100)] \text{ dB}$$

Donde p es el porcentaje de la longitud de las fachadas relativo a la longitud total de la carretera o la vía férrea vecinas, ($p \leq 90\%$ siempre).