

## INTRODUCCIÓN

Muchos centros educativos a nivel mundial vienen asumiendo su responsabilidad ambiental, representada en aspectos como campañas educativas, la implementación de sistemas de manejo ambiental y la transformación curricular de muchos de sus programas, en los cuales se incluye la dimensión ambiental<sup>1</sup>.

La Universidad Javeriana asume el compromiso ambiental, detectando la necesidad de generar espacios donde se estructuren, lideren y maten procesos que involucren la perspectiva ambiental.

Retomando algunas de las iniciativas y experiencias que se desarrollaron en la PUJ durante varios años y otras en ejecución, se identifica la conveniencia de establecer mecanismos de articulación que permitan integrar procesos de apoyo y coordinación interdisciplinaria en las actividades propias de la Universidad.

Es así como el Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo, IDEADE, convoca a un grupo interdisciplinario, que de una u otra manera han venido trabajando en el área, para formular una estrategia que permita recoger, proponer y ejecutar diferentes tipos de acciones, encaminadas a incorporar la dimensión ambiental en el quehacer institucional y en el estilo de vida Javeriano.

Tomando lo anterior como base surge la necesidad de establecer un estudio del ruido ambiental dentro del campus.

---

<sup>1</sup> DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL CAMPUS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

La capacidad auditiva no puede suspenderse cuando se desee, y es por eso que el hombre esta expuesto inevitablemente al ruido ambiental producido por la sociedad moderna.

El ruido es un factor presente en nuestra vida, ofrece uno de los sistemas de alarma más eficaces para el hombre. Pero, por otra parte el ruido puede perturbar el trabajo, el descanso, el sueño, el estudio y la comunicación de los seres humanos.

Con esta base, el presente trabajo evalúa las condiciones actuales, en cuanto a los niveles de ruido que se presentan dentro del campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá, ubicada en el predio cuyas fronteras son, al norte con la calle 45, al sur con el parque nacional, al oriente con la avenida circunvalar y al occidente con la carrera 7.

El objeto de este estudio, fue la evaluación del ruido ambiental del campus de la Universidad Javeriana partiendo de un sondeo de la población en el cual se determinó el nivel de molestias originado por el ruido ambiental de la zona; durante este proceso se identificaron las principales fuentes generadoras de ruido tanto al interior como en los alrededores del campus y se corroboró esta información con una serie de puntos de muestreo en diferentes sitios donde se determinó el nivel de sonido continuo equivalente.

Las mediciones se efectuaron entre el miércoles 16 y el martes 29 de octubre del año en curso y se distribuyeron en 3 periodos diferentes de 15 minutos en cada punto, con el fin de determinar las posibles variaciones de los niveles de ruido.

Con base en estos resultados, se elaboró el plano de curvas isófonas en el campus y se proponen soluciones, las cuales son analizadas desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y paisajístico para aminorar el impacto que el ruido ocasiona sobre el campus.

## **1. OBJETIVO**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL<sup>2</sup>**

Evaluar la magnitud de contaminación acústica (niveles de ruido), mediante una investigación descriptiva (exploratoria y causal), para delimitar en zonas, por medio de curvas isófonas del nivel de ruido, en el campus de la Universidad Javeriana (Sede Bogotá), para el año 2002, y recomendar controles de este fenómeno, desde una visión técnica y financiera.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar las principales fuentes de ruido y evaluar la respuesta de la comunidad a la exposición de ruido en el campus de la Universidad Javeriana, mediante la aplicación y análisis de una encuesta a los visitantes, estudiantes y profesores, para poder iniciar la medición del ruido.
- Medir los niveles de presión sonora, usando sonómetros en los puntos que se identifiquen gracias al análisis de la encuesta y por procedimientos estadísticos (presentados en el marco teórico), en el campus de la Universidad Javeriana, esto con el fin de poder darle una caracterización y cuantificar el ruido presente.
- Delimitar en zonas, por medio de curvas isófonas el nivel de presión sonora, en el campus de la Universidad Javeriana, para poder identificar las zonas con mayores riesgos de exposición.

---

<sup>2</sup> Se aclara que este estudio es realizado en áreas no construidas pertenecientes al campus de la Pontificia Universidad Javeriana.

- Aportar alternativas de solución, detallando la información técnica y recomendaciones en cuanto al control de ruido para ser utilizadas en futuros estudios que finalicen en programas de reducción y control de ruido dentro del campus.
- Evaluar la posibilidad de desarrollar estos controles desde una perspectiva financiera.
- Documentar a través de este estudio la revisión preparatoria del Sistema de Gestión Ambiental el cual es desarrollado por el Instituto de Estudios Ambientales para el desarrollo (IDEADE) quien busca darle continuidad a este macro proyecto dentro de la Universidad Javeriana.

## 2. GENERALIDADES SOBRE EL SONIDO<sup>3</sup>

### 2.1 EL SONIDO

El sonido es un fenómeno mecánico de carácter ondulatorio, que se origina al oscilar las partículas de un cuerpo físico, que se propaga en un medio elástico (agua, aire o sólidos) y que es capaz de producir una sensación auditiva.

La ecuación fundamental de propagación de ondas es:

$$C = f\lambda$$

Donde:  $c$  = velocidad del sonido (1100 pie/s),

$f$  = frecuencia en hz. (1/s)

$\lambda$  = longitud de onda en pie.

Se puede observar que al aumentar la longitud de onda, la frecuencia disminuye.

Los analistas miden la intensidad del sonido con un medidor de ruido (decibelímetro); la unidad de la intensidad del sonido es el *decibel* (dB). Al crecer la amplitud de las ondas sonoras, aumenta la presión del sonido medido en la escala de decibeles.

El ruido es un sonido indeseable que produce efectos adversos fisiológicos y psicológicos, que interfieren con las actividades humanas de comunicación, trabajo y descanso. El ruido ambiental es el ruido asociado con un ambiente

---

<sup>3</sup> HARRIS, Cyril M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. 3 ed. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana, 1995. Capítulo 2

determinado y suele estar compuesto de sonidos de muchas fuentes, cercanas y lejanas.

## **2.2 PROPIEDADES DEL SONIDO<sup>4</sup>**

**2.2.1. Velocidad del sonido** La velocidad del sonido es la velocidad a la cual se desplazan las ondas sonoras, a una temperatura de 20 °C (68 °F), en el aire es de aproximadamente 344 m/seg. (1127 ft/s). En casi todos los problemas de control del ruido, se puede asumir que la velocidad del sonido es independiente de la frecuencia y la humedad.

El sonido viaja mucho más deprisa en los sólidos que en el aire. Por ejemplo, la velocidad del sonido en ladrillo es aproximadamente 11 veces mayor que en el aire.

### **2.2.2 Propiedades de las Ondas Sonoras**

**2.2.2.1 Ondas planas y ondas esféricas** Cuando las ondas sonoras tienen la misma dirección de propagación en todos los puntos, se denominan ondas planas, porque los puntos de compresión máxima forman superficies planas perpendiculares a la dirección de propagación. Los puntos de máxima depresión también son planos perpendiculares a la dirección de propagación. Estos planos de fase constante se denominan frentes de onda. Muchas fuentes sonoras emiten

ondas en que los puntos de máxima compresión forman esferas concéntricas estas son denominadas ondas esféricas.

**2.2.2.2 Frecuencia** Por definición, la frecuencia de un fenómeno periódico, como una onda sonora, es el número de veces que este fenómeno se repite a sí mismo en un segundo. Habitualmente la frecuencia se designa mediante un número seguido de la unidad herzio (Hz).

**2.2.2.3 Longitud de onda** La longitud de onda de un sonido es la distancia perpendicular entre dos frentes de onda que tienen la misma fase. Esta longitud es la misma distancia que la recorrida por la onda sonora en un ciclo completo de vibración.

La longitud de onda, que se designa mediante la letra griega lambda,  $\lambda$ , está relacionada con la frecuencia  $f$  (en herzios) y la velocidad del sonido  $c$  (en metros o pies por segundo), mediante la ecuación:

$$\lambda f = c$$

El período  $T$  del movimiento ondular en segundos se obtiene mediante la expresión:

$$T = 1/f$$

La longitud de onda se expresa en metros o pies, dependiendo del sistema de unidades empleado.

---

<sup>4</sup> Ídem

En muchos problemas de control del ruido, la longitud real de las ondas sonoras no es una consideración importante, por el contrario, lo es la proporción entre la longitud de onda y alguna otra dimensión. Por ejemplo, la eficacia de una barrera, al servir de escudo entre un punto a un lado de ella y la fuente de sonido al otro, depende de la proporción entre la altura de la barrera y la longitud de onda del sonido.

**2.2.2.4 Movimiento armónico simple: tonos puros.** Una onda sinusoidal puede representarse matemáticamente mediante una función de seno,  $A \sin(2\pi f)t$ , donde  $A$  es la amplitud de vibración,  $f$  es la frecuencia de vibración en hercios y  $t$  es el tiempo en segundos. Se denomina periódica porque se repite a sí misma, exactamente, de una oscilación a la siguiente.

El movimiento descrito por una onda sinusoidal se denomina movimiento armónico simple. Una onda sonora compuesta solamente de una frecuencia única, una onda sinusoidal, se denomina tono puro.

**2.2.2.5 Presión sonora** Considérese un punto en el espacio cerca de una fuente de sonido. En el punto de observación, antes del paso de las ondas sonoras, la presión es igual a la atmosférica (estática),  $P$ . Cuando las ondas pasan por el punto de observación, la presión adicional  $p$  (la presión sonora) debida al paso de éstas. La presión sonora suele expresarse en micropascales ( $\mu\text{Pa}$ ), en el sistema internacional de unidades.

**2.2.2.6 Armónicos** Se denomina frecuencia fundamental a la más baja y se denominan armónicas a las frecuencias más altas que son múltiplos integrales de la fundamental.

**2.2.2.7 Amplitud de raíz cuadrática media (RMS)** La amplitud de raíz cuadrática media (RMS) de una onda es la raíz cuadrada de la suma de los desplazamientos medios al cuadrado durante un período. Para una onda sinusoidal, la amplitud RMS,  $x_{rms}$ , es 0,707 veces el valor máximo.

El movimiento total de una onda es la suma de movimientos de onda individuales. Una característica importante de los valores RMS es que permanecen igual sean cuales sean las fases relativas de las ondas constituyentes de un movimiento complejo.

En general, el término presión sonora se utiliza para hablar de presión sonora RMS o presión efectiva.

**2.2.2.8 Ondas complejas** Se denominan ondas complejas a aquellas que contienen más de un componente de frecuencia. Puede demostrarse que cualquier onda compleja está compuesta por una serie de ondas armónicas simples; éstas pueden determinarse mediante un análisis matemático. Los componentes de frecuencia de las ondas sonoras complejas pueden medirse empleando los analizadores de espectro.

**2.2.2.9 Difracción del sonido.** La difracción es el cambio en la dirección de la propagación de las ondas sonoras cuando chocan con un obstáculo. Casos concretos de difracción son el cambio de dirección de las ondas sonoras sobre un muro, alrededor de la esquina de un edificio, después de chocar contra un muro que contenga una abertura y la dispersión de las ondas sonoras en una columna situada en una habitación.

**2.2.2.10 Potencia sonora.** La potencia sonora es la tasa a la que la energía sonora es radiada en cualquier instante de tiempo la cual fluctúa considerablemente. El valor máximo en cualquier intervalo de tiempo se define como potencia máxima. La potencia media suele tener un valor mucho menor que la potencia máxima y depende del intervalo de tiempo a lo largo del cual se calcule la media y del método empleado. La potencia sonora suele expresarse en vatios o en picovatios\*.

## **2.3 NIVELES<sup>5</sup>**

**2.3.1 Nivel y decibelio** El término nivel indica que se emplea la escala logarítmica y que las unidades se expresan en decibelios<sup>6</sup>.

---

\* Un picovatio es igual a  $10^{-12}$  vatios.

<sup>5</sup> ídem

<sup>6</sup> el nivel es el logaritmo de la razón de una cantidad dada respecto de una cantidad de referencia del mismo tipo

El decibelio (dB) es una unidad de nivel que denota la relación entre dos cantidades que son proporcionales en su potencia.

**2.3.2 Nivel de presión sonora** El nivel de presión sonora,  $L_P$ , en decibelios, correspondiente a una presión sonora  $p$ , se define por

$$L_P = 10 \log_{10} (p/p_0)^2 = 20 \log_{10} (p/p_0) \text{ dB}$$

Donde

$p_0$ : es la presión sonora de referencia.

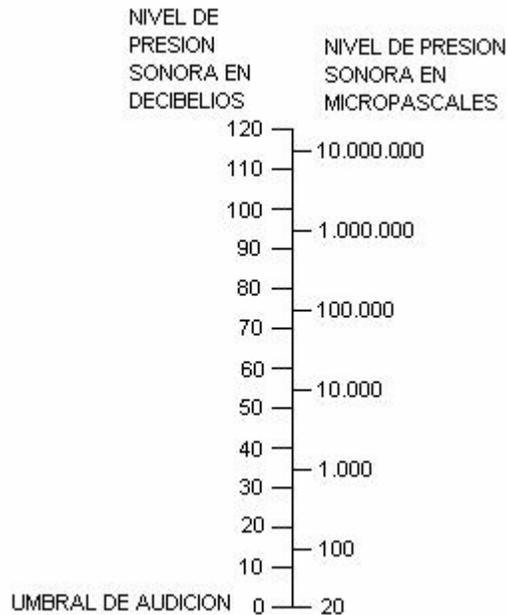
Al expresar la presión sonora sobre una escala logarítmica, es costumbre comparar la presión sonora de todos los sonidos en el aire con un valor de referencia de 20 micropascales. Se aproxima este valor al nivel de presión sonora mínimo que es audible por el oído humano de un adulto joven dentro del rango de frecuencias en que es más sensible.

Por definición, el nivel de presión sonora de las ondas sonoras con una presión sonora igual a  $p$  es igual a:

$$\text{Nivel de presión sonora} = 20 \log_{10} (p/20) \text{ dB}$$

Cualquier valor de presión sonora corresponde a un aumento de 6 dB en el nivel de presión sonora; la multiplicación por 10 de la presión sonora corresponde a un aumento de 20 dB en el nivel de presión sonora. La relación presentada se muestra de forma gráfica en la siguiente figura.

**Figura 1. Relación entre presión sonora en micropascales y nivel de presión sonora en decibelios.**



## 2.4. EQUIPOS DE MEDICIÓN DEL SONIDO<sup>7</sup>

Habitualmente el grado de precisión del sonómetro elegido para una aplicación concreta viene determinado por las normas aplicables a la medición que se va a llevar a cabo. Los sonómetros se clasifican de la siguiente manera:

Tipo 0 (Clase 0). Un instrumento que cumple las tolerancias más estrictas con respecto al nivel de linealidad, desviaciones en la respuesta en frecuencia y en desviaciones de la omnidireccionalidad. Se utiliza con objetivos de referencia de laboratorio, donde se requiere una precisión extrema.

---

<sup>7</sup> idem

Tipo 1 (Clase I). Un instrumento de precisión que se utiliza en mediciones de ruido donde se requiere una precisión plana, de grado técnico para un rango amplio de medidas de campo.

Tipo 2 (Clase 2). Un instrumento de propósito general que cumple con la tolerancia menos estricta (más amplia) con respecto a la linealidad del nivel y la respuesta en frecuencia. Un sonómetro de Tipo 2 sólo tiene que poseer ponderación de frecuencia A; otras ponderaciones de frecuencia son opcionales.

Tipo 3 (Clase 3). Un sonómetro del tipo más sencillo. Aunque tiene menor precisión que cualquiera de los demás tipos, su sencillez hace que su uso sea más fácil. Se utiliza frecuentemente en mediciones de sondeos de ruido, con el fin de determinar si existe un problema de ruido. Si el problema existe, habrá que llevar a cabo un análisis más detallado mediante sonómetros de mayor precisión.

**2.4.1 Niveles sonoros ponderados; sonómetros** Los niveles sonoros ponderados son niveles que se obtienen a partir de las lecturas de un sonómetro. El oído, no es igualmente sensible a todas las frecuencias; por esta razón, aunque el nivel de presión sonora de dos sonidos distintos sea el mismo, el primero puede juzgarse como más alto que el segundo si el nivel de presión sonora del primero está concentrado en una región de frecuencias donde el oído es más sensible.

Para obtener niveles que mantengan una relación más estrecha con los enjuiciamientos de sonoridad que los niveles de presión sonora, la ponderación en frecuencia se incorpora en los sonómetros para alterar la sensibilidad del aparato

respecto a la frecuencia, de manera que sea menos sensible a aquellas frecuencias a las que el oído es menos sensible.

Los niveles sonoros medidos con un sonómetro que emplea ponderaciones A, B y C se denominan niveles sonoros con ponderación A, niveles sonoros con ponderación B y niveles sonoros con ponderación C, respectivamente. En todos los casos, la unidad es el decibelio; Sin embargo, es práctica habitual añadir la letra apropiada, entre paréntesis, después del símbolo de la unidad para recordar la ponderación utilizada, p.ej., dB(A); sea cual sea la ponderación indicada por la letra, la unidad sigue siendo el decibelio. De entre las redes de ponderación incluidas en los sonómetros, la A es la más utilizada en el campo del control del ruido.

**2.4.1.1 Ponderación A** Las normas nacionales e internacionales requieren que todos los aparatos que midan el nivel sonoro incorporen la ponderación de frecuencia designada mediante la letra A. Muchos años de estudio y experiencia práctica han demostrado que los niveles sonoros con ponderación A ofrecen una correlación adecuada con varias respuestas humanas (de personas o grupos en una comunidad) para distintos tipos de fuentes de ruido. En consecuencia, es la ponderación de frecuencia más utilizada. La característica de la ponderación A es que tiene en cuenta la sensibilidad reducida de la audición humana normal para frecuencias bajas, comparada con la respuesta frente a frecuencias altas.

**2.4.1.2 Ponderación B** La ponderación B ya no suele incluirse en los instrumentos de medida acústica.

**2.4.1.3 Ponderación C** La respuesta con ponderación C es bastante uniforme entre 50 y 5000 Hz. A menudo, si un sonómetro no incluye la ponderación «plana o lineal», la ponderación C se utiliza para una medición «global» o de banda ancha del nivel sonoro. Cuando se usa la ponderación C, el símbolo de la unidad dB es seguido de la letra C entre paréntesis para indicarlo [por ejemplo, un nivel sonoro de 72 dB(C); sin embargo, la cantidad sigue siendo un nivel sonoro con ponderación C y la unidad el decibelio.

El nivel sonoro utilizado con más frecuencia es el de ponderación A, por lo que se suele representar con el símbolo de unidad dB. Muchas instituciones gubernamentales añaden la letra (A) al símbolo de la unidad dB cuando utilizan esta ponderación en sus informes, normas y reglas; esto se hace para evitar la confusión entre el gran público con muchos otros niveles que también se expresan en decibelios.

**2.4.2 Ponderación temporal; respuestas rápida y lenta.** Los sonómetros realizan un promedio temporal de las fluctuaciones de los niveles de sonido. Las ponderaciones temporales exponenciales ponen más énfasis en los sonidos que han ocurrido más recientemente que en aquellos que lo han hecho anteriormente.

En un sonómetro existen dos tipos de ponderaciones temporales exponenciales: rápida y lenta (a veces denominadas respuesta rápida y respuesta lenta). La respuesta rápida utiliza un tiempo constante de aproximadamente 1/8 de segundo, y la respuesta lenta una constante temporal de aproximadamente 1 segundo. Para sonidos cuyo nivel fluctúa rápidamente, la indicación del medidor puede depender de la selección de la ponderación temporal. Por esta razón, al publicar los resultados, se suele asumir que se ha empleado la ponderación temporal rápida. Para sonidos estables, el indicador de medida del nivel sonoro es independiente del promedio temporal seleccionado.

**2.4.3 Nivel de banda de octava** Una medida importante del ruido es su distribución en frecuencias. Los instrumentos empleados en la medida de la distribución del sonido a lo largo del rango de frecuencias audible, denominados analizadores de espectro. El analizador de espectro que es más habitual divide el rango de frecuencia audible en bandas de una octava de anchura. (Una octava es un intervalo de frecuencia entre dos sonidos cuya razón de frecuencia es 2; p. ej., desde 707 Hz a 1414 Hz.) Este instrumento se denomina analizador de bandas de octava. El nivel de presión sonora dentro de una banda con una octava de anchura se denomina nivel de presión sonora de banda de octava o simplemente nivel de banda de octava.

## 2.5 DEFINICIÓN DE CLASES DE SONIDO Y RUIDO<sup>8</sup>

**2.5.1 Sonido ambiental** El sonido envolvente asociado con un ambiente determinado en un momento específico, compuesto habitualmente del sonido de muchas fuentes en muchas direcciones, próximas y lejanas, incluida(s) la(s) fuente(s) de interés específico.

**2.5.2 Sonido audible** Oscilaciones acústicas de tal carácter que pueden excitar la sensación de audición.

**2.5.3 Sonido directo** El sonido que llega a una localización determinada en línea directa desde la fuente, sin ninguna reflexión.

**2.5.4 Sonido reflejado** El sonido que persiste en un espacio cerrado como resultado de reflexiones repetidas o dispersión; no incluye el sonido que se transmite directamente de la fuente sin reflexiones.

**2.5.5 Sonido residual** El sonido envolvente, en un momento especificado, habitualmente compuesto de los sonidos de muchas fuentes en muchas direcciones, próximas y lejanas, que permanece en una posición determinada y una situación

---

<sup>8</sup> idem

concreta, cuando se eliminan, se hacen insignificantes o no se incluyen todas las fuentes discretas de sonido identificables.

**2.5.6 Ruido aleatorio** El ruido cuya magnitud no puede predecirse con precisión en un momento determinado. Las oscilaciones debidas a la agregación de un gran número de alteraciones elementales con ocurrencia al azar en el tiempo. (Un ruido aleatorio cuyas magnitudes instantáneas se producen de acuerdo con una distribución gaussiana se denomina ruido gaussiano aleatorio.)

**2.5.7 Ruido ambiental** El ruido envolvente asociado con un ambiente determinado en un momento específico, compuesto habitualmente del sonido de muchas fuentes en muchas direcciones, próximas y lejanas; ningún sonido en particular es dominante.

**2.5.8 Ruido blanco** Un sonido cuya densidad de potencia espectral es esencialmente independiente de la frecuencia. (El ruido blanco no tiene por qué ser ruido aleatorio.)

**2.5.9 Ruido de fondo** Ruido total de todas las fuentes distintas al sonido de interés (p. ej., otro que el sonido que se está midiendo u otra que el habla o la música que se está escuchando).

**2.5.10 Ruido de impacto** El ruido que se produce cuando colisionan dos masas.

### **3. EFECTOS DEL RUIDO**

#### **3.1 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN LA SALUD**

El efecto del ruido es similar al efecto del miedo y la tensión: aumento de pulsaciones, modificación del ritmo respiratorio, tensión muscular, presión arterial, resistencia de la piel, agudeza de visión y vasoconstricción periférica. Estos efectos no son permanentes, desaparecen al cesar el ruido, aunque pueden presentar estados de nerviosismo asociados y no hay constancia de que puedan afectar a la salud mental. La pérdida de audición inducida por el ruido es irreversible por la incapacidad de regeneración de las células ciliares de la audición.

La sordera, podría aparecer en casos de soportar de forma continuada niveles superiores a 90 dB. Además, el ruido puede causar efectos sobre el sistema cardiovascular, con alteraciones del ritmo cardíaco, riesgo coronario, hipertensión arterial y excitabilidad vascular por efectos de carácter neurovegetativo. Sobre las glándulas endocrinas, con alteraciones hipofisarias y aumento de la secreción de adrenalina. En el aparato digestivo puede generar un incremento de la enfermedad gastroduodenal por dificultar el descanso. En general puede ser negativo para otras afecciones, por incremento inductor de estrés, aumento de alteraciones mentales, tendencia a actitudes agresivas, dificultades de observación, concentración, rendimiento y facilita los accidentes.

Para entender estos factores es importante considerar las relaciones entre la comunicación hablada y el ruido. El esfuerzo vocal del hablante se ve afectado por el ruido ambiental; con niveles de ruido ambiental por encima de 50 dB(A), una persona con audición normal suele elevar la voz. De hecho, por cada 10 dB de aumento en el nivel sonoro por encima de 50 dB(A) el volumen de la voz aumenta 3 a 6<sup>9</sup> dB. Sin embargo, en una clase, es importante comprender todo lo que dice el hablante, el nivel de la voz puede elevarse hasta 10 dB por cada 10 dB de aumento en el nivel de ruido.

Las personas suelen mantener una relación habla-ruido de aproximadamente 5 a 8 dB cuando conversan fuera de casa, y de aproximadamente 9 a 14 dB cuando conversan en casa, donde generalmente los niveles de ruido son más bajos, cuando se está viendo (escuchando) la televisión en casa, se mantiene una proporción habla-ruido del orden de 15 dB.

**Tabla 1. Media de niveles sonoros del habla con ponderación A para distintos esfuerzos vocales**

<b>Esfuerzo vocal</b>	<b>Hombre, dB(A)</b>	<b>Mujer, dB(A)</b>
Casual	53	50
Normal	58	55
Elevado	65	62
Alto	75	71
A gritos	88	82

Fuente: HARRIS, Cyril M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. 3 ed. Madrid: Mc Graw-Hill Cáp. 16.4

<sup>9</sup> Commission of the European Communities, Health Protection.

### 3.2 TIPOS DE PÉRDIDA DE AUDICIÓN POR EXPOSICIÓN AL RUIDO

Los efectos del ruido sobre la audición pueden dividirse en tres categorías:

a) *Trauma acústico*: El trauma acústico (daño orgánico inmediato del oído por excesiva energía sonora) se restringe a los efectos de una exposición única o relativamente pocas exposiciones a niveles muy altos de presión sonora. El ruido extremadamente intenso que llega a las estructuras del oído interno puede sobrepasar los límites fisiológicos de éstas, produciendo la rotura completa y alteración del órgano de Corti. Por ejemplo, una explosión puede romper el tímpano, dañar la cadena de huesecillos y destruir las células sensoriales auditivas, por lo general, como resultado del trauma acústico suele producirse cierto grado de pérdida de audición permanente. El episodio causante del trauma es a menudo dramático, de forma que la persona implicada no suele tener dificultad en especificar el comienzo del problema auditivo resultante.

b) *Desplazamiento temporal del umbral inducido por el ruido (NITTS)*: El desplazamiento temporal del umbral (de audición) inducido por el ruido tiene como resultado una elevación de los niveles auditivos (una pérdida de la sensibilidad auditiva) después de la exposición al ruido. En este tipo de desplazamiento, la pérdida de audición es reversible.

c) *Desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido (NIPTS)*: En el desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido, la pérdida de audición no es reversible; permanece durante toda la vida de la persona afectada y

no existe posibilidad de recuperación. Este tipo de desplazamiento puede ser resultado de un trauma acústico o estar producido por el efecto acumulativo de las exposiciones repetidas al ruido durante períodos de tiempo de muchos años. La mayoría de las personas que experimentan pérdidas auditivas permanentes las mantienen debido a los largos períodos de exposición repetida al ruido.

### **3.3 MOLESTIAS<sup>10</sup> INDUCIDAS POR EL RUIDO EN INDIVIDUOS Y COMUNIDADES**

La molestia inducida por el ruido se escapa de una definición sucinta. Es una actitud: un proceso mental encubierto con determinantes tanto acústicos como no acústicos. La molestia inducida por el ruido no es una conducta, como podría serlo una queja (que puede o no estar motivada por la molestia); tampoco es una sensación simple e inmediata como la sonoridad, totalmente libre de influencias cognitivas y emocionales.

La definición de la molestia inducida por el ruido tiende a ser o bien muy amplia, o bien demasiado específica como para resultar útil. La molestia se describe a menudo como una actitud generalizada adversa hacia la exposición al ruido, o, si se define en términos de conducta, se dice que un ruido es molesto si la persona intenta evitarlo.

---

<sup>10</sup> Entiéndase molestia como la Perturbación del bienestar material del cuerpo o de la tranquilidad del ánimo, causada por una fatiga, daño, fastidio, ruido etc.

### **3.4 RENDIMIENTO HUMANO Y RUIDO**

Los efectos del ruido sobre el rendimiento de las personas son distintos de los efectos de la molestia o los fisiológicos; existe escasa concordancia entre las medidas de estas diferentes respuestas. Incluso una reacción violenta frente al ruido puede no acompañarse de la correspondiente pérdida de eficacia en el desarrollo de las actividades, en tanto que pueden producirse cambios en la eficacia aunque la persona considere que el entorno es aceptable. Del mismo modo, los cambios fisiológicos inducidos por el ruido no se reflejan necesariamente en el rendimiento, aunque podría observarse una reducción del rendimiento sin cambios fisiológicos detectables.

Este grado de independencia tiene importantes implicaciones para el estudio del ruido y el rendimiento, tanto para quienes creen que el ruido altera las funciones humanas, como para quienes creen que sus efectos son despreciables o sólo admiten los efectos derivados de la propiedad de «enmascaramiento» del ruido.

El ruido produce una serie de efectos positivos y negativos sobre el rendimiento; el efecto depende crucialmente del tipo de ruido y de las exigencias de la tarea. Por ello, factores como el nivel de familiaridad de la persona con el trabajo, el grado en que la ejecución depende del uso de palabras, la medida en que las distintas partes de la tarea planteen exigencias contradictorias sobre la atención, el tiempo que se ha estado ejecutando la tarea y algunos otros determinan el grado de alteración. Muy a menudo, la ineficacia es momentánea y no general, sobre todo si se requiere de la persona que responda continuamente. Otros agentes y factores que

determinan la reactividad de la persona o el nivel de activación (tales como la pérdida de sueño o el estado de ánimo) modifican la respuesta normal frente al ruido. Esto se manifiesta mediante la supresión del efecto habitual o haciendo que empeore el deterioro del rendimiento.

Los efectos del ruido pueden ser divididos según el plazo en el que se manifiesten.

### **3.5 EFECTOS A CORTO PLAZO**

La gama de efectos a corto plazo va desde aquellos que duran poco más que el estímulo (p. ej., un parpadeo producido por un sonido corto, explosivo), hasta aquellos que persisten durante minutos. Pueden producirse casos excepcionales en esta clasificación, por ejemplo, cuando efectos posteriores asociados tales como fatiga, dolor de cabeza u otros fenómenos residuales persisten, quizá durante horas. Por ello, un sistema de clasificación totalmente riguroso es imposible.

Los efectos fisiológicos del ruido a corto plazo pueden describirse adecuadamente en tres categorías de respuestas frente a ruido sin significado o no identificado: (1) *respuesta de sobresalto*, (2) *reflejo de orientación* y (3) *reflejo de defensa*. La respuesta de sobresalto es el resultado de un estímulo sonoro de suficiente intensidad y rapidez de aparición; el reflejo de orientación es la respuesta a un estímulo no familiar, que es por tanto evaluado como un daño potencial; y el reflejo defensivo está provocado por un

estímulo sonoro intenso que se interpreta como dañino. La activación y otros órganos sensoriales pueden emitir estas respuestas.

**3.5.1 Efectos sobre la actividad muscular** La investigación específica confirma la capacidad de los estímulos sonoros para generar actividad nerviosa que evoca una respuesta refleja. La respuesta puede ser un obvio (incluso violento) movimiento que implique varios grupos musculares, como en el caso de la respuesta de sobresalto.

**3.5.2 Respuestas de la pupila ocular** El sonido produce la dilatación de la pupila. Un ruido de banda ancha con un nivel de presión sonora de aproximadamente 75 dB es el nivel de ruido más bajo al que se observa la dilatación de la pupila, en tanto que con un nivel sonoro con ponderación B de 90 dB se describe una dilatación del diámetro pupilar del 5 por 100, durante estimulaciones de dos minutos de duración. Al cesar el ruido, se recupera rápidamente el diámetro pupilar. La dilatación varía con el nivel sonoro, pero el efecto disminuye durante la estimulación.

**3.5.3 Efectos vestibulares** Se ha observado que las tareas de equilibrio se ven alteradas por el ruido de banda ancha con niveles de presión sonora por encima de 100 dB (los oídos estaban protegidos y sometidos a niveles sonoros iguales). A niveles de presión sonora por debajo de 100 dB, estos descensos se producen sólo para exposiciones con niveles desiguales en los dos oídos. Se ha sugerido que

éstos son efectos directos del ruido de intensidad elevada sobre el sistema vestibular.

**3.5.4 Reacciones bioquímicas y endocrinológicas** La estimulación del nervio auditivo activa simultáneamente el sistema límbico a través del tronco cerebral y la formación reticular. Como cualquier otra carga estresante, esta activación se propaga desde el sistema hipotalámico-hipofiseal al sistema nervioso autónomo y a las glándulas endocrinas. Sin embargo, los estudios de laboratorio que cuantifican los efectos del ruido sobre las reacciones hormonales no han arrojado resultados inequívocos

### **3.6 EFECTOS DEL RUIDO A LARGO PLAZO**

Los efectos a largo plazo se miden en unidades de horas, días o mayores, aunque existe cierto solapamiento con la definición de los efectos a corto plazo. En la categoría a largo plazo están respuestas tales como la alteración en la tasa de secreción en la corriente sanguínea de sustancias (hormonas), de manera que modifiquen su concentración durante horas, días, o más prolongadamente, con varias consecuencias funcionales reales o postuladas. Algunos efectos a largo plazo han sido atribuidos a la estimulación repetida que produce respuestas a corto plazo, que se asume tienen efectos acumulativos.

La situación de los efectos a largo plazo está cargada de incertidumbre respecto a la especificidad del ruido que causa los efectos descritos y la importancia de los efectos realmente demostrados.

**3.6.1 Homeostasis y estrés** A veces se considera al estrés como la causa de los efectos fisiológicos del ruido. La tendencia a lograr la estabilidad, dentro de unos límites, de los distintos parámetros fisiológicos internos frente a las influencias, incluido el ambiente exterior, tendente a la producción de cambios, se denomina *homeostasis*. Estos mecanismos de control tienen que operar continuamente, incluso durante períodos de sueño y descanso. Sin embargo, también existen patrones adicionales de respuesta para enfrentarse con perturbaciones periódicas de las condiciones del descanso y la vigilia que pueden producirse en los mamíferos. En humanos, además de las respuestas elementales, los componentes emocionales pueden estar asociados con acontecimientos pasados, actuales o anticipados, quizá dando como resultado ansiedad, resentimiento u otros trastornos psicológicos. Puede decirse que cualquiera de estas condiciones aplica algún tipo de estrés a los sistemas fisiológicos.

### **3.7 EFECTOS SOBRE EL SUEÑO**

El sueño, la atención y la percepción del lenguaje hablado son las actividades más perjudicadas. El sueño se altera a partir de 45 dB (fondo sonoro de una calle residencial sin tráfico rodado, de día). Y quien sufre alteraciones del sueño puede

padecer efectos como la sensación de cansancio, el bajo rendimiento académico o profesional o los cambios de humor. De ahí la conveniencia que durante las horas de descanso nocturno disfrutemos de ese silencio que evita las interrupciones del sueño.

La exposición continuada a ruidos de niveles altos durante las horas diurnas tiene efectos posteriores sobre el sueño inalterado de la noche siguiente.

### **3.8 POSIBLES IMPLICACIONES PARA LA SALUD DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO**

En general, como factor de riesgo para enfermedades definidas, el ruido parece menos importante que fumar, la alimentación, el ejercicio físico y otros hábitos cotidianos. Todos estos factores pueden afectar a la salud después de varios años.

Respecto a los trastornos cardiovasculares, los resultados experimentales que han demostrado los efectos a largo plazo de la exposición al ruido sobre la vasoconstricción periférica pueden conectarse con los hallazgos sobre el estado de salud en relación con el ruido

### **3.9 DIRECTRICES SOBRE LOS EFECTOS DEL RUIDO**

Las siguientes directrices pueden emplearse para determinar el nivel del ruido al cual se verá afectado el rendimiento humano:

1. Ruidos inesperados y desconocidos tienen efectos perjudiciales de corta duración, habitualmente 2 o 3 segundos, aunque a veces pueden llegar a los 30 segundos.
2. Activar y desactivar el ruido tiene un efecto que es proporcional al cambio en el nivel del sonido del ruido, siendo el cambio en el nivel de estimulación el factor importante.
3. Los golpes de ruido deterioran la ejecución, sobre todo si coinciden con la adquisición de la información por parte de la persona, pero puede existir un pequeño efecto incluso cuando la información ya ha sido registrada y mantenida en la memoria.
4. A medida que los golpes de ruido se hacen frecuentes, pueden tener un efecto distractor inicialmente, pero cuando la persona lleva un rato trabajando, pueden tener un efecto alertador.
5. El grado en que la persona siente que controla el ruido marca la amplitud con que el rendimiento empeora y este empeoramiento aumenta una vez desactivado el ruido. Por ello, la actitud de la persona hacia el ruido así como el trabajo determinan su efecto sobre la ejecución.
6. Muchas tareas sencillas, que requieran discriminaciones relativamente fáciles, o decisiones sin presión de tiempo, o respuestas de tipo predecible o en momentos predecibles, son inmunes a los efectos del ruido continuo, incluso cuando los niveles de ruido exceden los 100 dB(C).
7. Cuando se detectan señales visuales inesperadas que son difíciles de discriminar, la persona se resiste a informar de acontecimientos a menos que

esté plenamente segura [los efectos del ruido sobre el rendimiento pueden encontrarse a niveles de sonido tan bajos como 85 dB(C) si la tarea contiene algún elemento de comparación y recuerdo de señales].

8. Cuando la persona tiene que responder continuamente, el rendimiento puede estar sometido a breves lapsos para niveles sonoros de 90 dB(C) o superiores. Esto resulta particularmente evidente si uno mismo marca la velocidad de trabajo, o sea, si el progreso de la tarea depende del ritmo de trabajo de la persona y no del ritmo impuesto por una máquina. El resultado habitual de la exposición al ruido son algunas respuestas muy lentas o errores.

9. Si hay que realizar más de una tarea simultáneamente, el ruido sesgará la atención del trabajador hacia la tarea más dominante. La eficacia de un elemento de la ejecución puede mejorar con el ruido, pero a costa del de menor prioridad, al que o no se responderá o se hará lentamente.

10. Si puede analizarse el mismo material en más de una forma, con ruido se adoptará la manera más dominante y evidente. Existen algunos métodos de respuesta que parecen adoptarse habitualmente durante el ruido: si la persona tiene que aprender una lista de elementos, se produce mayor tendencia a repetir las palabras una y otra vez.

11. El habla irrelevante afecta al rendimiento, incluso con niveles sonoros tan bajos como 55 dB(C), reduciendo la capacidad de procesamiento disponible para

la lectura. El significado del habla es importante, de forma que si no es comprensible, no habrá distracción.

12. El recuerdo de los elementos de una lista también se ve alterado con bajas intensidades de habla irrelevante, pero en este caso no resulta importante el significado del habla. El deterioro de la ejecución es intrínseco y es improbable que disminuya por la actitud o el estado de ánimo de la persona.

13. El estado general de activación del individuo configura el grado de alteración producido por el ruido continuo; la cantidad de pérdida de sueño contrarresta el efecto habitual, y el estado de ánimo de la persona puede tener efectos positivos o negativos, pero la vibración y el calor no modifican la acción del ruido. En general, hay que proceder con cautela al extrapolar el caso de los estresantes únicos a los múltiples.

14. En la industria, si los trabajadores están expuestos al ruido, podría reducirse la productividad y aumentar los accidentes, pero sólo con niveles sonoros por encima de 95 dB(C). Sin embargo, puede resultar difícil discriminar este efecto en cualquier estudio sobre rendimiento en el lugar de trabajo; otros factores asociados con el estado de ánimo y la motivación de los trabajadores podrían enmascarar cualquier efecto de disminución.

#### 4. GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL<sup>11</sup>

La actual situación ambiental mundial compromete a todas las instancias que conforman la comunidad global a actuar responsablemente frente a cada una de las actividades desarrolladas por sus miembros. Diferentes actores han venido aportando, desarrollando y aplicando métodos y estrategias para construir modelos acordes con la sostenibilidad del planeta.

Los centros educativos son llamados a liderar los procesos de formación ambiental. La Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) ha sido consciente de los retos que el mundo demanda, en particular aquellos relacionados con el medio ambiente y por esta razón, quiere fomentar y consolidar una verdadera educación ambiental, y reflejar en su quehacer institucional y organizacional, una postura dispuesta a proporcionar espacios, instrumentos y herramientas que generen hábitos y compromisos con el medio ambiente como un estilo de vida.

Por tal motivo, la PUJ, en su calidad de centro de investigación, enseñanza y formación, busca una postura responsable frente a este tema. Su Misión plantea soluciones a diferentes problemáticas, siendo una de ellas. *La irracionalidad en el manejo del medio ambiente y de los recursos naturales*". Claramente se puede observar, que existe un *Compromiso* por generar propuestas enmarcadas dentro

---

<sup>11</sup> Diseño del sistema de gestión ambiental para el campus de la PUJ IDEADE jun 2002.

de la *formación integral* de quienes la componen, involucrando sus funciones de *Docencia, Investigación y Servicio* para fortalecer su condición de universidad interdisciplinaria y dar respuestas apropiadas a las necesidades del país.

Partiendo de algunas de las experiencias positivas que ha venido desarrollando a lo largo de los últimos años la Universidad Javeriana en el área ambiental, con la consolidación de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, el Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo IDEADE, entre otros, y conscientes de los problemas ambientales que se generan día a día en el campus de la Universidad (manejo de residuos sólidos, movilidad, calidad del aire, uso del agua y de la energía, etc.), un grupo interdisciplinario de varias facultades, donde participan directivas, investigadores, profesores y estudiantes, detecta la necesidad de potenciar esas iniciativas positivas y dar solución a los impactos ambientales con acciones concretas. Por esta razón, nace la idea de formular, desarrollar e implementar una estrategia que permita construir, consolidar y mantener en el tiempo, una Universidad que contemple, aplique y dinamice las directrices que se fundamentan en el desarrollo sostenible y en el fortalecimiento de compromisos ambientales de la Comunidad Javeriana.

El Proyecto de Investigación tiene como objetivo el diseño de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) para la Pontificia Universidad Javeriana. El SGA se basa en: la Misión, las reflexiones sobre la Ecología de la comunidad jesuita con el Documento "Vivimos en un Mundo Roto", algunos esquemas voluntarios

internacionales como las Normas ISO 14000 e iniciativas y experiencias al interior de la PUJ. El proyecto posibilitará la consolidación de una "cultura ambiental Javeriana" y un mejor desempeño ambiental del campus, el cual, en primera instancia, permite hacer un diagnóstico de la situación ambiental de una institución e identifica los aspectos en los que debe potenciar acciones positivas y responder adecuadamente frente a los impactos negativos que generan las actividades propias de la Universidad.

También, facilita la construcción y consolidación de una Política Ambiental, la cual dará los lineamientos ambientales esenciales para poder llevar a la práctica los objetivos y metas ambientales planteadas por la Universidad.

La finalidad del sistema de gestión ambiental es ilustrar concreta y esquemáticamente cuál ha sido el proceso de investigación: desarrollo de los objetivos, propuesta de la estructura del Sistema de Gestión Ambiental, metodología para la Revisión Ambiental, propuesta de una Política Ambiental para la PUJ y descripción de los programas y proyectos ambientales pertinentes para el campus de la PUJ. Este proyecto está apoyado de la Vicerrectoría del Medio Universitario, Dirección Administrativa, Planta Física y Javegraf, en cuanto a información, recursos y divulgación para llevar a cabo esta investigación.

Para ampliar esta información remitirse al Anexo A

## 5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CAMPUS<sup>12</sup>

Después del reingreso de los jesuitas a Colombia en 1830, el Campus de la Universidad Javeriana se situó en el Antiguo Colegio Mayor de San Bartolomé, en el centro de Bogotá. Las instalaciones fueron incendiadas en los sucesos del 9 de Abril de 1948. Durante los años 50, la Compañía de Jesús decide trasladarlo hacia el sector de Chapinero, concretamente al barrio Cataluña, zona que se encontraba en proceso de potrerización avanzado e incluso como lugar de extracción de material de construcción.

El Campus en la actualidad se encuentra limitado por el norte con la calle 45, por el sur con el Parque Nacional, por el oriente por los cerros orientales desde la calle 40 hasta la calle 43 y por la carrera 4 desde la calle 43 a la 45; y por el occidente con la carrera séptima. En sus comienzos, el terreno de la Universidad se caracterizaba por la retícula formada por las calles 40, 41, 42 y 43, y las carreras 5a, 6a y 7a. Los primeros edificios que se construyeron en la Universidad son: el actual "Edificio Central", el edificio Emilio Arango, donde se alojaron las facultades de Medicina, Filosofía y Economía; y el edificio de Morfología.

---

<sup>12</sup> DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL CAMPUS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO IDEADE Jun 2002.

En 1965 el Arquitecto Aníbal Moreno, a cargo de la Oficina de Visión Arquitectónica, fue llamado para diseñar y construir un proyecto académico con implicaciones arquitectónicas y participar en un concurso que financiaba en un 60% el proyecto ganador. Es así como se plantea el edificio Pablo VI para la facultad de Enfermería. En esta época se consolidaron los edificios de las llamadas facultades femeninas colindantes con la calle 45, hoy los actuales edificios Félix Restrepo y Carlos Ortiz.

Con el proyecto del edificio Pablo VI, el Arq. Moreno ve la necesidad de crear un plan de desarrollo del Campus de la Universidad y se piensa que esta debe ser generadora de plusvalía de la zona. En ese momento se propuso prolongar el Campus hasta la carrera 13 y el Parque Nacional. La no creación de políticas en el momento impidieron la realización de éste proyecto.

La siguiente etapa de desarrollo del Campus se realiza durante la rectoría del Padre Borrero con el Arq. Álvaro Rivera como director de la Oficina de Planta Física, que reemplaza la oficina de Visión Arquitectónica, cerrada en 1965.

Durante esta época, se construye el edificio de la Biblioteca General de la Universidad, con el objetivo de constituirse como un elemento generador de un verdadero Campus. También se propone al Distrito, realizar un plan de peatonalización de las calles 41 y 43.

Terminado el periodo de Rectoría del Padre Borrero, la Universidad permanece 10 años sin políticas con respecto a la planeación del Campus. Durante la Rectoría del Padre Arango, crecen las facultades por el aumento del número de estudiantes. Por esta razón, se hace necesaria la construcción de nuevas infraestructuras físicas para la PUJ.

La siguiente etapa se realiza bajo la dirección del Arq. Armando Prieto. Se construye el edificio 53, inicialmente pensado para suplir la necesidad de espacios para laboratorios de investigación pero, dada la presión académica, se adapta para aulas de clase mientras se da una solución acorde a las necesidades.

En 1990, la Universidad legaliza sus predios ante el Distrito con la misma metodología o intención de la legalización para zonas urbanas normales. Se asignan funciones específicas a diferentes áreas de la Universidad y se legalizan las áreas públicas y privadas mediante resolución 878. Se sectoriza la Universidad en 9 zonas. Estas zonas, a su vez, y de acuerdo a la norma, presentan diferentes tipos de uso, entre los que se encuentran: conservación, adecuación, zonas de posible intervención según la norma, y las zonas públicas y privadas.

Dentro de este orden de ideas, la Universidad cede el área de la plaza de banderas y la zona verde al costado sur del edificio Pablo VI como zonas de carácter público y se ratifica el carácter público de la calle 42, se reconfirma la afectación de la calle 45, la afectación de la Avenida Circunvalar, de la calle 40 y la carrera 6. De esta

forma, se "mitiga" el fraccionamiento del Campus, generando una estructura con mayor continuidad.

En el año de 1996, el Arq. Octavio Moreno asume la dirección de Planta Física. La Rectoría plantea la necesidad de construir un edificio de aulas y un edificio de parqueaderos, dada la alta demanda de éstos servicios. La Dirección de Planta Física, con la visión de hilar el pasado arquitectónico de la Universidad, tiene en cuenta los siguientes tópicos: replantear la relación de la Universidad con el Parque Nacional y la Carrera Séptima; y utilizar las 18 Ha de Campus.

El siguiente acto en el plan consistió en consolidar el Campus, desplazando su eje de desarrollo hacia el oriente. La construcción del Edificio de Aulas Fernando Barón constituyó el primer eslabón para el desarrollo del Campus en esta dirección. Adicionalmente, este edificio es el primero en ser exclusivamente de aulas de clase y no estar asociado a una facultad. Su construcción aumentó sustancialmente el flujo de personas sobre la calle 40, renovando la utilización de dicha vía y permitió el inicio de una interacción de la Universidad con el Parque Nacional, tratando de articular y brindar un mejor ambiente alejado de la contaminación generada por la carrera séptima. El siguiente proyecto que se realiza es la construcción del edificio de parqueaderos, con cupo para 1200 automóviles.

A continuación, se lleva a cabo el segundo plan de peatonalización de la Universidad que comprende el frente del Hospital San Ignacio y la vía que de la entrada sur oriental conducía a odontología. Este plan es ejecutado por la Rectoría

del Padre Gerardo Remolina, abriendo el potencial del sector oriental y desmarginalizándolo.

En este momento las áreas para construcciones nuevas se copan. Esto hace necesario concertar con el Distrito el permiso de modificar las áreas de parqueo en la zona superior de la Universidad, creándose allí nuevos escenarios deportivos. La zona 9 (al costado oriental de la circunvalar) tiene como uso establecido el de reserva forestal.

Como últimos proyectos arquitectónicos realizados se encuentran el Centro Javeriano de Formación Deportiva, gestado por el Padre Uribe y ratificado por el Padre Remolina; y el Edificio de Teología. Estas construcciones aparecen como un elemento consolidante del desarrollo del sector oriental, desaglomerando el número de personas por área.

El carácter dinámico del Campus de la PUJ le ha permitido responder a las crecientes necesidades y demandas de aulas, auditorios y laboratorios para las labores académicas, estructurar un ambiente de bienestar que incluye escenarios deportivos, suficientes cafeterías (13), ampliación de los espacios para parqueo. Esta dinámica se proyecta hacia el futuro con planes como:

- La construcción del edificio de humanidades.
- Continuación de la dinamización del campus con el Parque Nacional.
- Generación de áreas sobre la calle 45.

- Mantenimiento de la filosofía de "campus abierto" como mensaje de convivencia de la Universidad con la Ciudad.
- Creación de un teatro o auditorio -Centro cultural
- Recuperación del perfil de la Universidad sobre la carrera séptima.
- Peatonalización de la calle 40.
- Elaboración de rutas peatonales para la comunidad del barrio El Paraíso.
- Construcción de una Galería Comercial y un edificio de servicios como reflejo de la intención de la Universidad con el comercio y la comunidad en general.
- Construcción de Bahías de ingreso en las zonas norte y sur.
- Construcción de sistemas de rampas para limitados físicos.
- Implementación de un sistema de manejo de desechos.

En la actualidad, la Universidad se encuentra dividida en tres zonas Norte, Centro y Sur, según lo definido por la Dirección General de Planta Física y por la Dirección General Administrativa.

La zona norte va desde la calle 45 hasta el camino peatonal del edificio Pablo VI al sur, (calle 42). La zona centro va desde los límites de la zona norte hasta el acceso peatonal que conduce de la séptima al edificio de parqueaderos y la

cancha de fútbol. Y la zona sur va desde los límites de la zona centro hasta los límites del parque nacional.

## **6. MARCO NORMATIVO**

Este estudio aplicó las siguientes normas técnicas y legales

### **6.1 NTC 3428**

Esta norma contempla todas las especificaciones que debe cumplir un sonómetro para ser utilizado en un estudio de este tipo. Define el tipo de sonómetros, la tolerancia, la ponderación de frecuencia, ponderación de tiempo y calibración.

### **6.2 NTC 3520**

Esta norma suministra métodos para obtener datos, con el fin de describir el ruido ambiental. Usando esta norma como fundamento, se puede establecer un sistema para seleccionar el uso apropiado en campo en lo que respecta a niveles de ruido, para un área específica y las fuentes de ruido. Contempla el empleo de instrumentos de medida, ubicación y cantidad de posiciones de medición, selección de intervalos de tiempo, información que se debe registrar y su representación.

### **6.3 NTC 3521**

Esta norma establece las directrices sobre como se deben especificar los límites de los ruidos, y describir los procedimientos que se deben usar para verificar el cumplimiento de tales límites. Define las ubicaciones, condiciones metereologicas, uso de instrumentos, posiciones de medida y presentación de resultados.

### **6.4 NTC 3522**

Esta norma describe las cantidades básicas que se usan para la descripción del ruido en ambientes de comunidad. Describe los procedimientos básicos para determinar estas cantidades. Define los instrumentos de medida, posiciones de medición, efectos metereologicos e información a registrar.

### **6.5 RESOLUCIÓN 8321 DE 1983 DE MINISTERIO DE SALUD**

Esta resolución dicta normas sobre protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas, incluye normatividad del ruido ambiental y sus métodos de medición.

**6.5.1 Niveles de Presión Sonora Máximos Permisibles** Según la resolución número 8321 de 1983 se entiende el periodo diurno de 7:01 a.m. a 9:00 p.m. y el periodo nocturno de 9:01 a 7:00 a.m.

## **6.6 DECRETO 948 DEL 5 DE JUNIO DE 1995 DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE**

Este decreto clasifica las áreas receptoras de ruido en 4 sectores así:

- 1.Sectores A. ( Tranquilidad y silencio) - áreas urbanas donde estén situados hospitales, guarderías, bibliotecas, sanatorios y hogares geriátricos.
- 2.Sectores B. (Tranquilidad y ruido moderado) - zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, parques en zonas urbanas, escuelas, *universidades* y colegios.
- 3.Sectores C. (Ruido intermedio restringido) - zonas con usos permitidos industriales y comerciales, oficinas, uso institucional y otros usos relacionados.
- 4.Sectores D. (Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado) – áreas rurales habitadas destinadas a la explotación agropecuaria, o zonas residenciales suburbanas y zonas de recreación y descanso.

El Ministerio no ha establecido nuevos estándares de ruido para las áreas antes descritas por esta razón se utilizan las normas de ruido contempladas en la resolución 8321 de Agosto de 1983 del Ministerio de Salud en el capítulo II artículo 17, donde se establecen los niveles sonoros máximos permisibles los cuales se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Niveles Sonoros Máximos Permisibles por Zona**

ZONAS RECEPTORAS	NIVEL DE PRESION SONORA EN dB (A)	
	Periodo diurno	Periodo Nocturno
1. ZONA RESIDENCIAL	65	45
2. ZONA COMERCIAL	70	60
3. ZONA INDUSTRIAL	75	75
4. ZONA DE TRANQUILIDAD	45	45

Fuente: Resolución 8321 de Agosto de 1983 del Ministerio de Salud.

### **6.7 COMPARACION CON NORMATIVIDAD INTERNACIONAL**

Al analizar la normatividad nacional con la legislación de otros países encontramos gran similitud dentro de su contenido. Se incluyen definiciones generales, métodos de medición generales, normas para fuentes emisoras, protección y conservación de la audición. Esto se debe gracias a la estandarización de normas a nivel internacional dada la globalización que se vive día a día. Por otra parte el ruido es un fenómeno que afecta a todos los seres humanos sin importar su nacionalidad.

Sin embargo algunos países, como Chile, España, Suiza y Estados Unidos entre otros han desarrollado normas mas elaboradas y especificas acerca de la medición y control de ruido ambiental.

Al analizar las normas de países desarrollados y al compararlas con las normas Colombianas se tiene que existen niveles permisibles muy parecidos.

## **6.8 (POT) PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá fue sancionado mediante el Decreto 619 del 28 de Julio de 2000, por parte del Alcalde Mayor Enrique Peñalosa Londoño, el objetivo del POT para Bogotá es reordenar su territorio, sus actividades, el uso que los ciudadanos le dan al suelo y su tratamiento.

El POT no ha establecido sectores Normativos asociados con la zona en la cual están las instalaciones de la Universidad, por ello se debe consultar el Acuerdo 6 de 1990.

La zona en la cual funciona la Universidad esta clasificada según el Acuerdo 6 de 1990 y el Decreto 635 de 1993 como una zona de actividad múltiple con código AM – 02<sup>13</sup>. Estas áreas AM – 02 son aquellas que por su localización estratégica dentro de la ciudad y por las características adquiridas a través del proceso de formación y consolidación de sus estructuras, constituyen sectores de atracción de la actividad citadina. Por lo tanto muestran tendencia a la mezcla de usos urbanos y a la intensificación de algunos de ellos, especialmente los comerciales.

Como elemento de la estructura urbana, estas áreas de actividad múltiple están conformadas por centros de generación de empleo y prestación de servicios y ciertos ejes viales que arrancan en estos centros y se prolongan como formas de expansión y desplazamiento de los centros.

## 7. ESTUDIO CUALITATIVO (ENCUESTA)

Las encuestas sobre ruido en exteriores suelen incluir descripciones de las variaciones espaciales y temporales de los niveles de ruido. Tales descripciones son relevantes para conocer los efectos del ruido sobre personas que se encuentran en el área.

El ruido del campus varía notablemente en magnitud y carácter entre distintas ubicaciones, desde las áreas silenciosas que bordean las partes altas a las calles y avenidas que rodean el campus, expuestas al estrépito del tráfico denso; el ruido suele cambiar con la hora del día, siendo relativamente silencioso durante la noche, cuando las actividades alcanzan un mínimo, y más alto durante la mañana y la tarde, durante los períodos pico del tráfico. Incluso dentro de un área pequeña, el ruido ambiental cambia significativamente en función de la posición seleccionada respecto de las fuentes de ruido local.

Gran parte del esfuerzo de planificación de estas encuestas sobre ruido comunitario está relacionado con el desarrollo de métodos para contemplar estas variaciones temporales y espaciales del nivel sonoro.

---

<sup>13</sup> [sinu.dapd.gov.co/website/acuerdo\\_6\\_sde\\_old/viewer.htm](http://sinu.dapd.gov.co/website/acuerdo_6_sde_old/viewer.htm)

## 7.1 TÉCNICAS DE MUESTREO

Dos tipos de muestras suelen resultar de interés: una muestra propositiva y una muestra al azar. Una muestra propositiva consiste en individuos elegidos deliberadamente para la entrevista sobre la base de algún criterio relacionado con los objetivos de la encuesta social. Una muestra al azar es aquella en que cada miembro de la población objetivo tiene igual probabilidad de contribuir a los datos (igual oportunidad de ser entrevistado). Una muestra al azar es preferible cuando se desea generalizar las conclusiones a poblaciones distintas de aquélla en la que fueron elegidos los encuestados. La principal ventaja de una muestra al azar es que puede emplearse la fuerza de la teoría estadística para determinar los errores máximos de las estimaciones.

Teniendo en cuenta que el número de personas que circulan a diario en la universidad son 25.000<sup>14</sup>, y con el fin de determinar el número de encuestas que debían realizarse se aplicó la fórmula.

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{E^2}$$

Donde:

n: Es el número de muestras a tomar.

p: La probabilidad de respuesta positiva.

q: La probabilidad de respuesta negativa.

Z: El nivel de confiabilidad.

---

<sup>14</sup> Información suministrada por la Dirección administrativa de la Universidad.

E: El margen de error.

Para este estudio estas variables tomaron los siguientes valores:

$Z = 1,96$  correspondiente a un nivel de confiabilidad del 95%

$p = 0,5$  dado que no se conoce que haya una inclinación previa de la respuesta.

$q = 0,5$  dado que no se conoce que haya una inclinación previa de la respuesta.

$E = 7,5\%$  por tratarse de una encuesta con fines cualitativos

Se tiene entonces que el número de encuestas es de 171, las cuales fueron realizadas al azar, en diferentes lugares del campus de Universidad a diferentes horas. Para lograr esta imparcialidad se buscó delegar al mayor número de personas, de diferentes ocupaciones para que elaboraran las encuestas según su criterio y disponibilidad de tiempo logrando así completa aleatoriedad en los resultados. Es así como se confirmó al tabular la información que las encuestas fueron aplicadas desde tempranas horas de la mañana hasta altas horas de la noche, durante las 3 primeras semanas del mes de septiembre del año en curso.

**FICHA TECNICA DE LA ENCUESTA.**

<b>REALIZADA POR:</b>	MIGUEL OSPINA DIEGO QUINTERO
<b>TIPO DE ENCUESTA:</b>	PRESENCIAL DIRECTA
<b>MODALIDAD:</b>	CARA A CARA
<b>SISTEMA DE ALETORIEDAD:</b>	AL AZAR
<b>PERIODO DE APLICACIÓN:</b>	Septiembre 2- Septiembre 20 de 2002
<b>NÚMERO DE PERSONAS ENCUESTADAS:</b>	171
<b>HERRAMIENTAS DE APOYO UTILIZADAS:</b>	FORMATO PREESTABLECIDO
<b>NIVEL DE CONFIABILIDAD:</b>	95%
<b>HORAS DE APLICACIÓN:</b>	7AM-9PM
<b>DIAS DE LA SEMANA:</b>	LUNES A VIERNES
<b>LUGAR:</b>	Campus Universidad Javeriana Bogotá

## 7.2 TÉCNICAS DE ENTREVISTA

La entrevista puede contemplarse como un ejercicio de economía en que el objetivo es comprar tanta información como sea posible de la mejor calidad a determinado precio. Así, existen varios estilos de entrevistar a los encuestados adecuados a los distintos objetivos y presupuestos. Para recoger información muy detallada y amplia de un número relativamente pequeño de encuestados, es preferible la entrevista cara a cara.

Cada técnica tiene, además de diferentes costos, ventajas y desventajas. Estas incluyen la tasa de respuesta, los sesgos de respuesta, los sesgos de muestreo, el grado de entrenamiento y supervisión del entrevistador y muchas otras; estas son lo suficientemente complejas como para que la selección de una técnica de entrevista deba realizarse sobre la base de cada caso individualmente, de acuerdo con los objetivos y presupuestos específicos.

Para poder extraer el máximo de información útil y fiable fue necesario diseñar cuidadosamente un formato de encuesta que fuera claro, directo, concreto, y que permitiera al encuestado exponer sus apreciaciones libremente. Para asegurar que este objetivo se cumpliera se realizó una prueba piloto, en la cual se interrogó a un pequeño grupo de personas para que hicieran sus críticas sobre el formato y sobre la claridad de este, con estos comentarios se busco hacer las mejoras del caso asegurando el posterior éxito de las encuestas. Ver Anexo B.

La primera sección del formato busca recolectar información básica del encuestado a través de preguntas como nombre, edad, sexo, zona en la que se realizo la encuesta (norte, centro, sur), ubicación específica en la que se hizo la

encuesta, también se pregunta al encuestado si utiliza walkman (radio con audífonos) o no y también el tipo de música que escucha, esto con la finalidad de determinar los hábitos auditivos de la persona y poder analizar que tanto puede afectarle el ruido según estos hábitos.

Dentro de esta primera sección también se indaga sobre la razón por la cual se encuentra en la universidad, es decir cual es motivo por el que se encuentra dentro del campus, esta pregunta va ligada con el tiempo promedio en que se encuentra diariamente dentro del campus.

En la segunda sección se determina el lugar en el que mayor ruido percibe dentro del campus correlacionándolo con las horas en que este es más elevado. Dentro del formato se determinaron periodos de tiempo no constantes debido a que las horas de flujo de personas varia a lo largo del día, según la facultad a la que pertenezca y a la ocupación que tenga. Es por ello que se busco abarcar desde las 7 AM hasta las 9 PM, periodo en el que la universidad tiene un flujo considerable de personas.

Posteriormente se busca que el encuestado evalúe la molestia que este ruido le produce y manifieste las consecuencias que este ruido le puede ocasionar. Por ultimo se pregunta si hay un segundo lugar en el que perciba altos niveles de ruido.

Se termina la encuesta en este punto ya que si la persona señala un segundo punto es preferible llenar un nuevo formato, esto debido a que si en un solo formato se hace esta segunda tanda de preguntas muy seguramente el

encuestado tendrá la percepción de una encuesta demasiado larga y los efectos de esto pueden ser negativos para los resultados finales de la tabulación.

### **7.3 ANÁLISIS DE DATOS**

Terminada la encuesta y tabulados los datos se tienen las siguientes cifras:

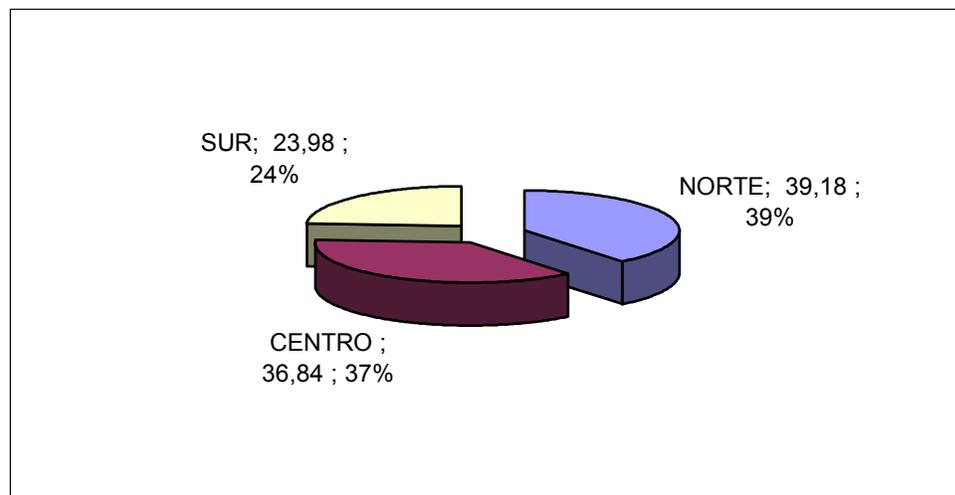
En cuanto al sexo 53,80% (92) de los encuestados son mujeres y el 46,20% (79) son hombres. Cuando se diseñó la encuesta se buscó ser totalmente imparcial en este factor. Las edades están distribuidas en un 14,62% (25) para los menores de 20 años, 78,95% (135) para personas entre 21 y 40 años y el 6,43% (11) para los mayores de 41 años. Podemos notar que el mayor porcentaje de encuestados está entre 20 y 40 años, esto es un dato obtenido al azar que nos determina las edades de las personas que circulan por la universidad. También podemos extraer de este dato que las personas encuestadas son en su mayoría personas promedio, las cuales a la hora de observar las molestias causadas por el ruido son imparciales, es decir que no son personas propensas a sufrir sordera por causa de la edad (Ver efectos del ruido), esto nos asegura confiabilidad en la información.

El 39,18% (67), 36,84% (63) y 23,98% (41) de las encuestas se elaboraron en las zonas Norte, Centro y Sur, respectivamente. La Universidad se encuentra dividida en tres zonas Norte, Centro y Sur, según lo definido por la Dirección General de Planta Física y por la Dirección General Administrativa.

La zona norte va desde la calle 45 hasta el camino peatonal del edificio Pablo VI al sur, (calle 42). La zona centro va desde los límites de la zona norte hasta el acceso peatonal que conduce de la séptima al edificio de parqueaderos y la

cancha de fútbol. Y la zona sur va desde los límites de la zona centro hasta los límites del parque nacional. Aunque se busco desarrollar estas encuestas de una forma equivalente a lo largo de todo el campus, se puede observar que ahí una ligera disminución porcentual en la zona sur, esto se debe a que en esta zona la concentración poblacional es inferior, ya que esta es una zona con menor número de construcciones.

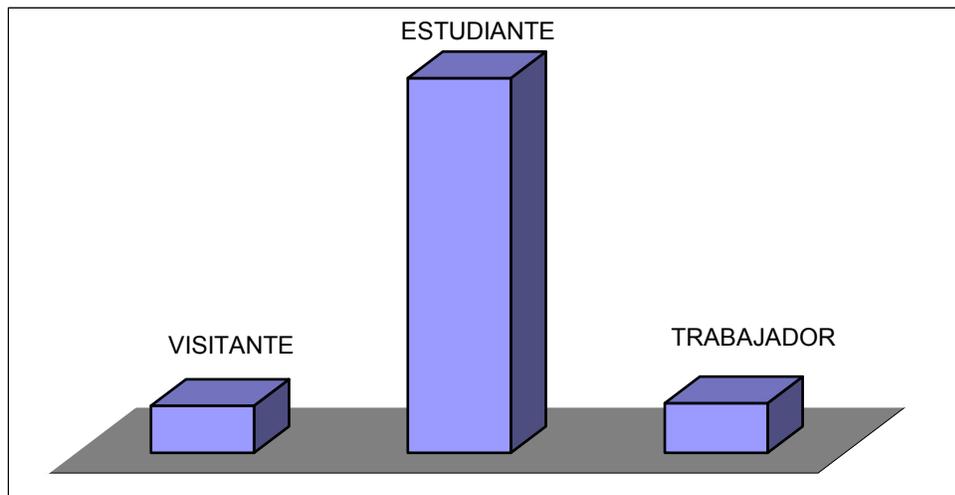
**Figura 2. Zonas de Aplicación de encuestas.**



El 25,73% (44) de los encuestados utilizan walkman y el restante 74,27% (127) no utiliza walkman. Este dato informa acerca de los hábitos auditivos de la población encuestada, usualmente una persona que utiliza walkman es una persona que no presta suficiente atención al ruido exterior (Ver efectos del ruido), es por ello que es un factor positivo que la mayoría de personas encuestadas no utilicen walkman. Del 100% de los encuestados el 9,94% (17) son visitantes de la Universidad, el 79,53% (136) son estudiantes de la Universidad y el 10,53% (18) trabajan en la

Universidad. Con respecto a esta información se puede comprobar la aleatoriedad de la encuesta ya que se revela claramente la relación que existe entre el número de estudiantes que frecuentan diariamente la universidad con el número de trabajadores y visitantes. Esta es de 18.000 a 7.000 respectivamente<sup>15</sup>.

**Figura 3. Ocupación de los encuestados**



En cuanto a las horas en que mas ruido percibe 10,53% (18) respondió que era entre 7 y 10 de la mañana, el 30,99% (53) entre las 10 de la mañana y la una de la tarde, el 30,41% (52) entre la 1 y las 4 de la tarde, el 19,30% (33) entre las 4 y las 6 de la tarde, el 10,53% (18) entre las 6 y las nueve de la noche y el 20,47% (35) perciben el ruido de manera permanente durante todo el tiempo. Con esta información se puede determinar que las horas críticas de ruido están presentes entre las 10 AM y 4 PM, momento en el cual disminuye la percepción del ruido de forma constante, gracias a la disminución de personas dentro del campus.

---

<sup>15</sup> Información suministrada por la Dirección Administrativa PUJ.

Este es un dato sumamente importante para el estudio ya que muestra los momentos críticos sobre los cuales deben ser tomadas las mediciones.

En cuanto a las horas en que menor ruido percibe 39,18 % (67) respondió que era entre 7 y 10 de la mañana, el 9,94 % (17) entre las 10 de la mañana y la una de la tarde, el 5,85% (10) entre la 1 y las 4 de la tarde, el 3,51% (6) entre las 4 y las 6 de la tarde, el 38,60% (66) entre las 6 y las nueve de la noche.

Con estos datos se corrobora y soporta la información anterior, en la cual se aprecia que las horas críticas de ruido son entre las 10 a.m. y las 4 p.m. Por otra parte se observa que las horas de la mañana son las de menor ruido.

El nivel de ruido percibido está distribuido en un 19,68% (34) para un nivel muy alto, 52,05% (89) para un nivel alto, 26,32% (45) para un nivel normal, 1,75% (3) para un nivel bajo y nadie percibe el nivel de ruido como muy bajo. La población encuestada muestra que el ruido presente en el campus es alto.

Complementando la información anterior, tenemos que al 48,54% (83), 46,78% (80) y 4,68% (8) de los encuestados les molesta el ruido mucho, poco y nada, respectivamente. Se aprecia que la presencia del ruido dentro del campus presenta molestias dentro de la población.

El 15,79% (27) de los encuestados considera que el ruido le ha ocasionado algún problema físico o mental y el restante 83,04% (142) no. Para determinar los problemas que se producen por causa del ruido es necesario determinar el nivel de decibeles que se están percibiendo y relacionarlos con el tiempo de exposición que se tiene a él. (Ver capítulo 3. Efectos del ruido).

Del 100% de los encuestados el 54,97% (94) ha experimentado dificultad para comunicarse o frecuentes distracciones por causa del ruido y el 43,86% (75) no lo ha experimentado.

**Tabla 3. Sitios con mayores niveles de ruido según encuesta**

	1era opción	Peso/opción	2da opción	Peso/opción	SUMATORIA
AFUERA CAFETERIA CENTRAL	48	0,384	7	0,014	0,398
SOBRE LA CRA 7	43	0,344	10	0,02	0,364
PLAYITA DE BÁSICAS	23	0,184	8	0,016	0,2
PLAYITA DEL ED 3	10	0,08	10	0,02	0,1
CERCANIAS ED CENTRAL	13	0,104	1	0,002	0,106
TUNEL EDIFICIO 27	10	0,08	2	0,004	0,084
CERCANIAS DEL TUNEL	10	0,08	0	0	0,08
MAQUINARIA DEL HOSPITAL	4	0,032	6	0,012	0,044
EDIFICIO DE PARQUEADEROS	0	0	7	0,014	0,014
ENTRADA DEL ED 67	2	0,016	2	0,004	0,02
PLAYITA DE ARQUITECTURA	2	0,016	2	0,004	0,02
CERCA DEL COLISEO	0	0	6	0,012	0,012
ENTRADA DEL HOSPITAL	2	0,016	0	0	0,016
KIOSKO DE INGENIERÍA	2	0,016	0	0	0,016
NINGUNO	2	0,016	0	0	0,016
AFUERA DEL ED 2	0	0	2	0,004	0,004
TOTALES	171		63		

Como se puede apreciar en la Tabla 3, los sectores con mayor ruido son aquellos que están en las cercanías a la carrera séptima y las playitas de las principales carreras, las cuales permanecen con un gran número de personas.

Estos lugares fueron tomados en cuenta para determinar los puntos en los cuales se efectuó la toma de muestras de los niveles de ruido. Se dió prelación a la primera opción con una relación de Pareto 80-20.

La tabulación y análisis de esta encuesta se encuentra en el Anexo C.

#### **7.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES GENERADORAS DE RUIDO**

Con los datos suministrados por la encuesta y la observación general del campus se encontró que las fuentes generadoras de ruido se encuentran especialmente ubicadas en las avenidas que rodean la universidad, estas son: la carrera séptima, la calle 45 y la avenida circunvalar.

En estos lugares hay gran cantidad de tráfico vehicular que producen altos niveles de ruido, los cuales inciden al interior del campus.

Otro factor generador de ruido es el elevado número de personas que transitan diariamente por las principales playitas de la universidad, no se puede decir que las playitas sean fuentes generadoras de ruido como tal pero si son un lugar de gran movimiento y reunión de personas, lo que produce el aumento de los niveles de ruido en las áreas no construidas del campus.

## 8. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

### 8.1 METODOLOGÍA

Para determinar los puntos de muestreo se tuvieron en cuenta los resultados de la encuesta, en la cual se identificaron las fuentes generadoras de ruido más importantes que son las avenidas que rodean a la universidad y los lugares de mayor concentración de personas.

La determinación del tamaño de la muestra se calcula a partir de:

$$n = \frac{p^*q}{\frac{E^2}{Z^2} + \frac{p^*q}{N}}$$

donde:

n: Tamaño de la muestra. No. de cuadrículas en donde se harán mediciones.

N: Número total de cuadrículas (universo).

p: Probabilidad que se presente el riesgo. Se toma generalmente el 0.5

q: Probabilidad que no se presente el riesgo. Generalmente se toma el 0.5

E: Error de muestreo. Se toma el 0.05

Z: Nivel de confianza expresado en valores estándares. Se toma 1.96

Para determinar N se realizó una cuadriculación del plano de las áreas a medir; no existe ninguna norma que especifique el tamaño de la cuadrícula para estudios en

áreas abiertas o cerradas, sin embargo para determinar este tamaño es importante tener en cuenta la topografía, obstáculos y el permitir unas características de medición uniforme, cada cuadrícula corresponde a un área de 20 m \* 20 m

El área total del campus es de 140.395 metros cuadrados y al restar las áreas construidas, se obtiene un área exterior total de 96268,25 metros cuadrados.

Según la norma NTC 3520 las medidas se deben tomar por lo menos a 3,5 m de cualquier estructura reflectante para minimizar la influencia de los reflejos. Por ello el área efectiva en la cual se pueden efectuar mediciones es de 79803,15 metros cuadrados. A partir de este valor el total de cuadrículas es de 199,51. Reemplazando estos valores en la ecuación se obtiene un número de muestras de 132.

Una vez calculada la muestra, los puntos de medición se seleccionan aleatoriamente mediante el uso de una tabla de números aleatorios. En el caso de que una cuadrícula esté parcial o totalmente ocupada se deberán adoptar criterios de muestreos previos o la reubicación aleatoria de ese punto.

Una muestra de 132 puntos es un número elevado para el área a estudiar ya que al ubicarlos en su totalidad se tendría muy poco espacio entre puntos, además representaría un periodo de medición muy extenso para el término de entrega de este estudio. Lo importante no es el tamaño de la muestra en relación con el de la población. La evidencia empírica indica que las muestras relativamente pequeñas

pero elegidas con cuidado reflejan con bastante precisión las características de la población.

Sobre el plano del campus se creó una nube de puntos distribuidos de manera uniforme, con el fin de cubrir la totalidad del terreno, para ello se tuvo en cuenta la identificación de los lugares críticos de la encuesta, para posteriormente cubrir la totalidad del campus. Para esta selección de puntos de muestreo es importante identificar las principales fuentes generadoras de ruido, además de las condiciones físicas, topográficas, de reverberación y reflexión de cada sitio de muestreo, para evitar interferencias con las mediciones. Se determinaron en total 70 puntos.

Para calcular el error de muestreo o cantidad de error de muestreo que el estudio está de acuerdo en aceptar se aplica la fórmula:

$$E = Z * \sqrt{\frac{p * q}{n} - \frac{p * q}{N}}$$

En donde:

E: Error de muestreo.

n: Tamaño de la muestra. Se toma 70

p: Probabilidad que se presente el riesgo. Se toma el 0.5

q: Probabilidad que no se presente el riesgo. Se toma el 0.5

Z: Nivel de confianza expresado en valores estándares.

N: Número total de cuadrículas (universo). Se toma 199,51

Reemplazando estos valores en la ecuación se obtiene un error de 9,44% con un nivel de confianza del 95% y de 7,92% con un nivel de confianza del 90%.

El periodo de monitoreo se estableció entre las 10:00 a.m. y las 4:00 p.m., por ser estas las horas en que mayor ruido es percibido por la comunidad. Se tomaron tres muestras en diferentes horas en cada punto, durante un periodo continuo de 15 minutos. El cronograma de la toma de estas muestras se encuentra en el Anexo D y el plano de puntos de muestreo se encuentra en el Anexo E.

## 9. OBTENCIÓN DE DATOS

Las mediciones se hicieron en el periodo diurno, ya que según los datos obtenidos en la encuesta, estas horas son las horas que representan mayor molestia para la comunidad universitaria.

Se tomaron mediciones de niveles de presión sonora en los setenta puntos del campus de la PUJ durante 10 días, comenzando el miércoles 16 de octubre en la mañana y terminando el 29 de octubre en la tarde, El periodo diario de monitoreo se estableció entre las 10:00 a.m. y las 4:00 p.m., por ser estas las horas en que mayor ruido es percibido por la comunidad. Se tomaron tres muestras en diferentes horas en cada punto, durante un periodo continuo de 15 minutos, durante estos días las condiciones metereologicas fueron estables, razón por la cual fue posible cumplir estrictamente con el cronograma propuesto.

El equipo de medición se colocó a 60 cm. de los investigadores que realizaron las mediciones para evitar interferencias del ruido reflejado por estos y a una altura de 1.5 m sobre el nivel del suelo en los setenta puntos de muestreo. Estas medidas para la toma de muestras son tomadas de la norma NTC 3522.

## **9.1 EQUIPOS UTILIZADOS**

Hay disponibles muchos tipos de aparatos distintos para medir los niveles sonoros. Entre ellos, el más utilizado es el sonómetro, este es un aparato para la medida del nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y en tiempo (a menudo abreviado como nivel sonoro). La mayoría de éstos son de tamaño pequeño, poco peso y funcionan con pilas. Este es una combinación de un micrófono, un amplificador con ponderación de tiempo.

**9.1.1 Selección del grado de precisión de los sonómetros<sup>16</sup>** Como instrumento de medición de niveles de presión sonora se empleó un sonómetro marca QUEST 2900, debidamente calibrado eléctrica y acústicamente, con el filtro de ponderación A y de respuesta rápida en forma continua.<sup>17</sup>

Este equipo cumple con los requerimientos del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), norma NTC 3428 de Acústica. Sonómetros (medidores de la intensidad del sonido).

## **9.2 MUESTREO Y MONITOREO**

**9.2.1 Selección de la ponderación de frecuencia** Como la medición se llevo a cabo cumpliendo una norma, hay que utilizar la ponderación de frecuencia

---

<sup>16</sup> HARRIS, Cyril M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. 3 ed. Madrid: Mc Graw-Hill

<sup>17</sup> Acorde a la Resolución 8321 de 1983 del Ministerio de Salud Publica.

especificada. El presente estudio se hizo con la ponderación de frecuencia A, ajustándose al Artículo 5 de la Resolución 8321 de 1983.

**9.2.1.1 Ponderación A** Las normas nacionales requieren que todos los aparatos que midan el nivel sonoro incorporen la ponderación de frecuencia designada mediante la letra A. Muchos años de estudio y experiencia práctica han demostrado que los niveles sonoros con ponderación A, ofrecen una correlación adecuada con varias respuestas humanas (de personas o grupos en una comunidad) para distintos tipos de fuentes de ruido. En consecuencia, es la ponderación de frecuencia más utilizada. La respuesta relativa con ponderación de frecuencia A decrece a frecuencias por debajo de 1000 Hz, de manera que las frecuencias medias y altas reciben mayor énfasis (son menos ponderadas). La característica de la ponderación A es que tiene en cuenta la sensibilidad reducida de la audición humana normal para frecuencias bajas, comparada con la respuesta frente a frecuencias altas.

La unidad del nivel sonoro con ponderación A es el decibelio, con el símbolo de unidad dB. Cuando se utiliza la ponderación A, la cantidad ha de describirse como nivel sonoro con ponderación A y hay que incluir la extensión del período temporal para que se promedia, el símbolo de la unidad dB va seguido de la letra A entre paréntesis para indicar que se ha utilizado la ponderación A; en este caso, es importante incluir el paréntesis y la A mayúscula.

**9.2.2 Selección de la ponderación temporal (promedio temporal)** Los sonómetros convencionales comercializados tienen disponibles dos ponderaciones exponenciales de tiempo: rápida (fast), que posee una constante de tiempo de 125 milisegundos para señales que aumentan o decrecen con el paso del tiempo, y lenta (slow), que tiene una constante exponencial de tiempo con un valor de 1000 milisegundos para señales que aumentan o decrecen al aumentar el tiempo. La ponderación de tiempo lenta (slow) es útil cuando se estima el nivel medio de un sonido que fluctúa rápidamente. La normatividad nacional especifica la ponderación temporal rápida (fast), la cual fue la aplicada en este estudio.

### **9.3 NIVELES SONOROS Y SU MEDIDA**

Las diferencias entre los muchos niveles sonoros utilizados para caracterizar las fuentes de ruido son sobre todo el resultado de las diferencias en: (1) los procesos de cálculo del promedio temporal de la señal de presión sonora cuadrática, (2) la duración del intervalo de tiempo de promedio y (3) la ponderación de frecuencia utilizada.

### **9.4 DATOS OBTENIDOS**

Los datos registrados por el sonómetro están incluidos en el Anexo F. Para calcular el nivel sonoro continuo equivalente se aplicó la fórmula:

$$LEQ = 10 * \text{LOG}_{10} [1/3 * (10^{LEQ1} + 10^{LEQ2} + 10^{LEQ3})]$$

Donde:

LEQ es el nivel sonoro equivalente total

LEQn es el nivel sonoro equivalente n

Se obtuvo la siguiente relación de valores en cada uno de los puntos de medición.

**Tabla 4. Datos ponderados obtenidos**

<b>NUMERO</b>	<b>LEQ1</b>	<b>LEQ2</b>	<b>LEQ3</b>	<b>LEQ</b>
1	84,3	85,1	82,5	<b>84,1</b>
2	78,8	79,6	77	<b>78,6</b>
3	74,4	75,2	72,6	<b>74,2</b>
4	66,3	67,1	64,5	<b>66,1</b>
5	71,1	71,9	69,3	<b>70,9</b>
6	81,8	82,6	80	<b>81,6</b>
7	62,5	63,3	60,7	<b>62,3</b>
8	58,5	59,3	56,7	<b>58,3</b>
9	61,2	62	59,4	<b>61,0</b>
10	58,5	59,3	56,7	<b>58,3</b>
11	69,1	69,9	67,3	<b>68,9</b>
12	59,6	60,4	57,8	<b>59,4</b>
13	65,5	66,3	63,7	<b>65,3</b>
14	68,2	69	66,4	<b>68,0</b>
15	78,6	79,4	76,8	<b>78,4</b>
16	69,3	70,1	67,5	<b>69,1</b>
17	76	76,8	74,2	<b>75,8</b>
18	65,6	66,4	63,8	<b>65,4</b>
19	65,1	65,9	63,3	<b>64,9</b>
20	64,4	65,2	62,6	<b>64,2</b>
21	57,6	58,4	55,8	<b>57,4</b>
22	62,5	63,3	60,7	<b>62,3</b>
23	76,3	77,1	74,5	<b>76,1</b>
24	70,6	71,4	68,8	<b>70,4</b>
25	72,6	73,4	70,8	<b>72,4</b>
26	77,3	78,1	75,5	<b>77,1</b>
27	77,3	78,1	75,5	<b>77,1</b>
28	66	66,8	64,2	<b>65,8</b>
29	64,2	65	62,4	<b>64,0</b>
30	68,4	69,2	66,6	<b>68,2</b>
31	65,9	66,7	64,1	<b>65,7</b>

32	63,1	63,9	61,3	<b>62,9</b>
33	64,4	65,2	62,6	<b>64,2</b>
34	66,1	66,9	64,3	<b>65,9</b>
35	63,5	64,3	61,7	<b>63,3</b>
36	65,5	66,3	63,7	<b>65,3</b>
37	79,5	80,3	77,7	<b>79,3</b>
38	65,3	66,1	63,5	<b>65,1</b>
39	60,3	61,1	58,5	<b>60,1</b>
40	64,6	65,4	62,8	<b>64,4</b>
41	71,3	72,1	69,5	<b>71,1</b>
42	76,2	77	74,4	<b>76,0</b>
43	77,2	78	75,4	<b>77,0</b>
44	71,8	72,6	70	<b>71,6</b>
45	59,1	59,9	57,3	<b>58,9</b>
46	62,2	63	60,4	<b>62,0</b>
47	71,1	71,9	69,3	<b>70,9</b>
48	64,7	65,5	62,9	<b>64,5</b>
49	58,2	59	56,4	<b>58,0</b>
50	59	59,8	57,2	<b>58,8</b>
51	60,8	61,6	59	<b>60,6</b>
52	65,8	66,6	64	<b>65,6</b>
53	63	63,8	61,2	<b>62,8</b>
54	64,3	65,1	62,5	<b>64,1</b>
55	59,1	59,9	57,3	<b>58,9</b>
56	60,8	61,6	59	<b>60,6</b>
57	61,9	62,7	60,1	<b>61,7</b>
58	68,5	69,3	66,7	<b>68,3</b>
59	68	68,8	66,2	<b>67,8</b>
60	62,8	63,6	61	<b>62,6</b>
61	62,8	63,6	61	<b>62,6</b>
62	59,9	60,7	58,1	<b>59,7</b>
63	58,4	59,2	56,6	<b>58,2</b>
64	68,1	68,9	66,3	<b>67,9</b>
65	77,4	78,2	75,6	<b>77,2</b>
66	81,1	81,9	79,3	<b>80,9</b>
67	65,2	66	63,4	<b>65,0</b>
68	66,6	67,4	64,8	<b>66,4</b>
69	60	60,8	58,2	<b>59,8</b>
70	63,4	64,2	61,6	<b>63,2</b>

## **9.5 CREACIÓN DE CURVAS ISOFONAS**

El plano de curvas isófonas fue elaborado con la colaboración del Instituto Georeferenciado de la Universidad, se utilizó para este fin el software ARTVIEW SPATIAL ANALYST, Este software permite modelar, analizar, crear y consultar datos basados en rastreo de celdas para integrar un análisis de vectores.

Como se puede ver en el plano de curvas Isófonas es fácilmente observable la presencia de 3 zonas críticas, estas son:

Zona 1: Corresponde a la esquina de la avenida 45 con carrera séptima.

Zona 2: Corresponde al paso peatonal que se encuentra frente al edificio Pablo VI, el cual cubre desde la calle 42 hasta la calle 44, sobre la carrera séptima.

Zona 3: Corresponde a toda el área que limita con la avenida circunvalar, desde la calle 43 hasta el centro deportivo.

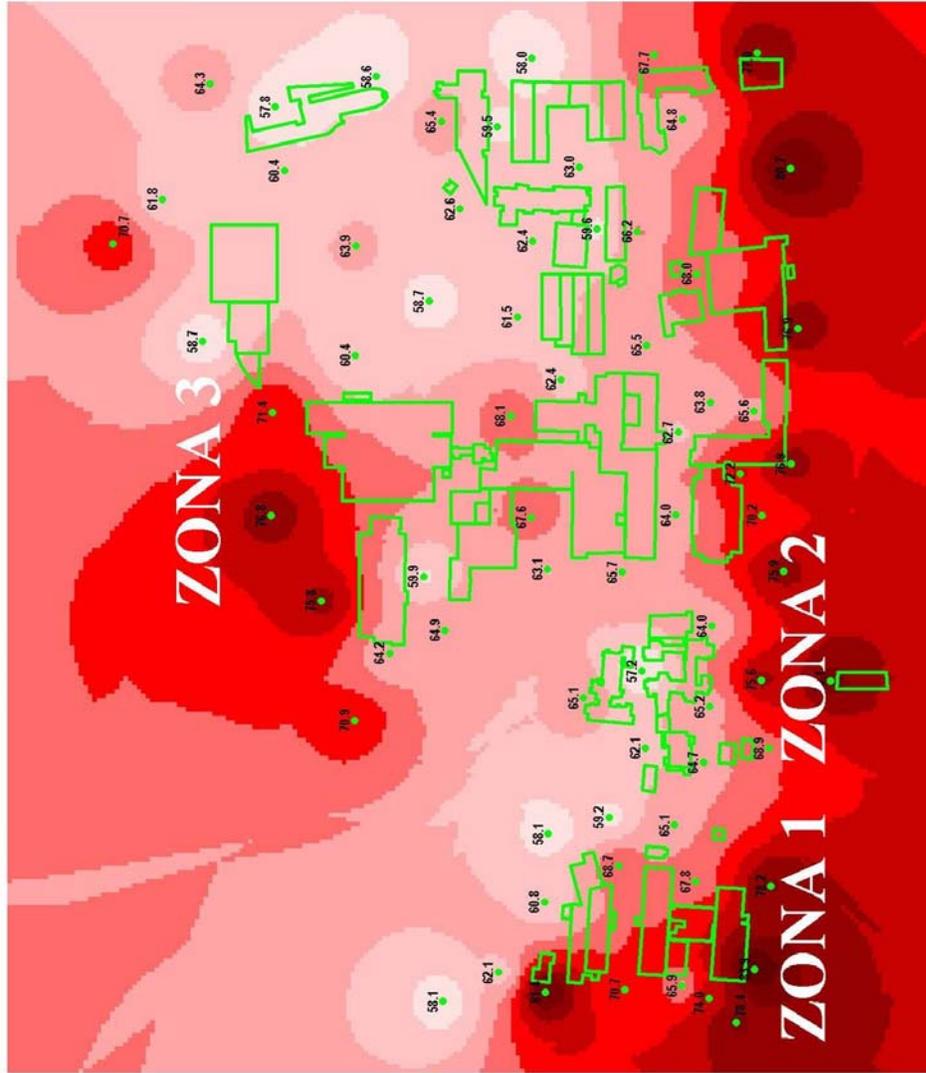
También se puede ver que el área frente a la biblioteca general, edificio central, edificio Barón, presentan altos niveles de ruido, debidos básicamente a su cercanía con la carrera séptima, sin embargo mas adelante se explicara que los controles que deben ser aplicados a esta zona están fuera del alcance de este estudio, razón por la cual no se zonificara.



Pontificia Universidad Javeriana  
Mapa de Ruido



Fuentes:  
Muestreo: Miguel Ospina  
Plano: Subdirección de Construcciones U.J.  
Superficie generada mediante interpolación por método de Distancia Inversa Ponderada  
Producido por:  
Centro de Investigaciones en Geoinformática  
CIIG  
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales  
Bogotá Octubre de 2002



## **10. COMPARACIÓN DE DATOS CON NORMAS AMBIENTALES<sup>18</sup>.**

La Universidad Javeriana se encuentra ubicada en la localidad de Chapinero. En la actualidad, la zona ha variado su tendencia de uso, a ser un epicentro comercial de la ciudad. La gran cantidad de locales con diversas actividades comerciales que operan en el sector es considerable. Las zonas residenciales han perdido sus características iniciales por cambios de uso de sus predios, convirtiéndose en sectores comerciales y residenciales sin orden.

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá fue sancionado mediante el Decreto 619 del 28 de Julio de 2000, por parte del Alcalde Mayor Enrique Peñalosa Londoño, el objetivo del POT para Bogotá es reordenar su territorio, sus actividades, el uso que los ciudadanos le dan al suelo y su tratamiento.

El POT no ha establecido sectores Normativos asociados con la zona en la cual están las instalaciones de la Universidad, por ello se debe consultar el Acuerdo 6 de 1990.

La zona en la cual funciona la Universidad esta clasificada según el Acuerdo 6 de 1990 y el Decreto 635 de 1993 como una zona de actividad múltiple con código AM – 02.<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> Resolución 8321 de 1983, Ministerio de Salud.

<sup>19</sup> [www.dapd.gov.co](http://www.dapd.gov.co)

Los datos obtenidos han sido comparados con el Artículo 17 de la Resolución 8321 de 1983 del Ministerio de Salud, el cual establece los niveles sonoros máximos permisibles para zona comercial en 70 dB para el periodo diurno.

En la Tabla 5, se presenta la comparación con la norma y en caso de exceder el límite permisible se consigna el porcentaje de excedencia.

**Tabla 5. Análisis de Datos vs. Cumplimiento Norma**

Punto	Valor Promedio	Cumple con la norma	Margen sobre la norma	% sobre la norma
1	84,0	NO	14,0	19,95%
2	78,5	NO	8,5	12,10%
3	74,1	NO	4,1	5,81%
4	66,0	SI	-	-
5	70,8	NO	0,8	1,10%
6	81,5	NO	11,5	16,38%
7	62,2	SI	-	-
8	58,2	SI	-	-
9	60,9	SI	-	-
10	58,2	SI	-	-
11	68,8	SI	-	-
12	59,3	SI	-	-
13	65,2	SI	-	-
14	67,9	SI	-	-
15	78,3	NO	8,3	11,81%
16	69,0	SI	-	-
17	75,7	NO	5,7	8,10%
18	65,3	SI	-	-
19	64,8	SI	-	-
20	64,1	SI	-	-
21	57,3	SI	-	-
22	62,2	SI	-	-
23	76,0	NO	6,0	8,52%
24	70,3	NO	0,3	0,38%
25	72,3	NO	2,3	3,24%
26	77,0	NO	7,0	9,95%
27	77,0	NO	7,0	9,95%
28	65,7	SI	-	-
29	63,9	SI	-	-
30	68,1	SI	-	-

31	65,6	SI	-	-
32	62,8	SI	-	-
33	64,1	SI	-	-
34	65,8	SI	-	-
35	63,2	SI	-	-
36	65,2	SI	-	-
37	79,2	NO	9,2	13,10%
38	65,0	SI	-	-
39	60,0	SI	-	-
40	64,3	SI	-	-
41	71,0	NO	1,0	1,38%
42	75,9	NO	5,9	8,38%
43	76,9	NO	6,9	9,81%
44	71,5	NO	1,5	2,10%
45	58,8	SI	-	-
46	61,9	SI	-	-
47	70,8	NO	0,8	1,10%
48	64,4	SI	-	-
49	57,9	SI	-	-
50	58,7	SI	-	-
51	60,5	SI	-	-
52	65,5	SI	-	-
53	62,7	SI	-	-
54	64,0	SI	-	-
55	58,8	SI	-	-
56	60,5	SI	-	-
57	61,6	SI	-	-
58	68,2	SI	-	-
59	67,7	SI	-	-
60	62,5	SI	-	-
61	62,5	SI	-	-
62	59,6	SI	-	-
63	58,1	SI	-	-
64	67,8	SI	-	-
65	77,1	NO	7,1	10,10%
66	80,8	NO	10,8	15,38%
67	64,9	SI	-	-
68	66,3	SI	-	-
69	59,7	SI	-	-
70	63,1	SI	-	-

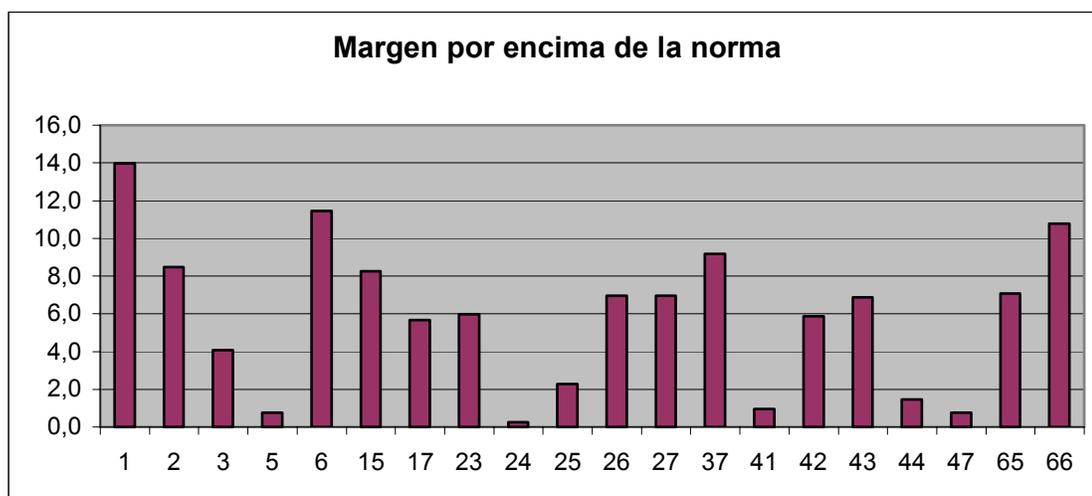
De los 70 puntos, 20 no cumplen con la norma, estos representan el 29% de puntos de medición.

Tomando este 29% de valores que se encuentran por encima de la norma, se promediaron entre si encontrando un promedio de 5,6 dB. Lo que nos muestra un excedente muy cercano al valor establecido por la norma.

La tabla 6, muestra la fuente identificada como la causante de los altos niveles de ruido en los puntos que no cumplen la norma.

**TABLA 6. Fuentes de altos niveles de ruido**

<b>Punto</b>	<b>Valor (dBA)</b>	<b>Fuentes identificadas</b>
1	84,0	Trafico carrera 7
2	78,5	Trafico calle 45 y carrera 7
3	74,1	Trafico calle 45 y carrera 7
5	70,8	Área en obra, descargue materiales
6	81,5	Perreras de vigilancia (ladridos)
15	78,3	Trafico carrera 7
17	75,7	Trafico carrera 7, voces de la comunidad
23	76,0	Trafico carrera 7, voces de la comunidad
24	70,3	Trafico carrera 7, voces de la comunidad
25	72,3	Trafico carrera 7, voces de la comunidad
26	77,0	Trafico carrera 7, voces de la comunidad
27	77,0	Trafico carrera 7, voces de la comunidad
37	79,2	Trafico carrera 7
41	71,0	Trafico avenida circunvalar
42	75,9	Trafico avenida circunvalar
43	76,9	Trafico avenida circunvalar
44	71,5	Trafico avenida circunvalar
47	70,8	Trafico avenida circunvalar
65	77,1	Trafico carrera 7
66	80,8	Trafico carrera 7



Como se puede apreciar, las instalaciones de la Universidad no puede ser considerada como una fuente de ruido. Sin embargo las avenidas con las cuales colinda el campus son las principales fuentes de ruido que se puede experimentar en ella. Los controles a recomendar estarán enfocados a minimizar los efectos del ruido hacia producido por estas fuentes, hacia el campus. De acuerdo con lo anterior, los controles se centran a realizarse en el medio de transmisión.

## **11. CONTROLES RECOMENDADOS**

Los controles sugeridos se hacen únicamente para mitigar los niveles de ruido provenientes de las avenidas que rodean la universidad, siendo estas, las fuentes que ocasionan niveles de ruido que sobrepasan los límites legales.

Estos controles recomendados deben proporcionar un alivio a las áreas abiertas del campus expuestas a altos niveles, así mismo se busca que estén acordes con la estética y no afecten el paisaje arquitectónico del campus.

### **11.1 CONTROL EN LA FUENTE**

En general se puede controlar el nivel de ruido de tres formas. La mejor, y casi siempre la más difícil, es reducir el nivel de ruido en su fuente. No obstante, implica una gran dificultad controlar el ruido ocasionado por el tráfico permitiendo que el nivel de ruido quede dentro de los intervalos de tolerancia.

El control en la fuente, siendo esta el parque automotor que transita a diario por las avenidas que rodean la PUJ, es responsabilidad del gobierno. Esta normatividad esta incluida en la Resolución 8321 de 1983, la cual indica:

“Artículo 36.-Ninguna persona ocasionará o permitirá la operación de vehículos de motor, motocicletas o cualquier otro similar, en las vías públicas y en cualquier momento, de tal forma que los niveles de presión de sonido emitidos por tales

vehículos excedan los niveles máximos permisibles establecidos en la siguiente tabla:

Niveles máximos permisibles para vehículos

**Tabla 7 Nivel sonoro permitido, según tipo de vehículo**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Nivel sonoro dB (A)</b>
Menos de 2 toneladas	83
De 2 a 5 toneladas	85
Más de 5 toneladas	92
Motocicletas	86

Fuente: Resolución 8321 de 1983 Minsalud

Para determinar los niveles de presión sonora que se establecen en este artículo, se emplearán las técnicas y normas de medición que se indican a continuación:

- a) Los niveles sonoros máximos permisibles que se indican en la Tabla número 2, se aplican a vehículos estacionados o en movimiento a una velocidad de 50 kilómetros por hora.
- b) El sitio de medición se localizará en una zona a campo abierto, libre de superficies reflectantes (edificios, vehículos estacionados, avisos vallas), por lo menos dentro de un área de 20 metros de radio desde el micrófono y vehículo bajo prueba.

c) Los niveles sonoros se obtendrán con un medidor de nivel sonoro calibrado, en respuesta rápida con filtro de ponderación A y con el micrófono colocado a 1,2 metros de altura sobre el nivel del piso y a una distancia de 7,5 metros del vehículo.

d) La trayectoria por donde transite el vehículo en prueba debe ser uniforme, construida preferiblemente en concreto o asfalto.

Artículo 37.-Ninguna persona operará o permitirá la operación de un vehículo de motor o motocicleta en la vía pública sin que esté equipado por un sistema, aparato o artefacto amortiguador de ruido que opere eficientemente.

Artículo 38.-Todo vehículo que se fabrique, importe o ensamble en el país debe cumplir con las normas del nivel sonoro permitido señaladas en el artículo 36 de esta resolución.

Artículo 39.-Para la construcción y ubicación de estaciones, terminales de vehículos de servicio público para el transporte de pasajeros y de carga, se tendrá en cuenta lo dispuesto en el respectivo plan de zonificación de la ciudad y se establecerán las medidas de control que eviten y reduzcan al mínimo la emisión de ruido molesto o peligroso para el personal de trabajadores y para la población en general.

Artículo 40.- Se prohíbe retirar de todo vehículo a motor los silenciadores que atenúen el ruido generado por los gases de escape de la combustión, lo mismo

que colocar en los conductos de escape cualquier dispositivo que produzca ruido.”

Además de la normatividad expuesta anteriormente, también es importante tener en cuenta que la reducción de ruido es posible a través del uso de camiones de bajo ruido, estos son camiones diseñados para transitar en ciudades sin producir altos niveles de ruido. Alemania y Austria son naciones que promueven el uso de estos camiones a través de incentivos económicos, les es permitido el tránsito nocturno por algunas vías que están prohibidas para camiones corrientes, además obtienen descuentos en impuestos.

La principal fuente de ruido causado por el tráfico es el ruido ocasionado por el roce de las llantas contra el asfalto, esto puede ser controlado mediante el uso de asfalto poroso, “asfalto drenado” o el uso de llantas silenciosas. También es importante reforzar el control de los límites de velocidad. Por ejemplo al reducir la velocidad de un camión que circule por una vía corriente de 90 a 60 km/h se reducirá en 5 dB el ruido provocado por este camión.

Otra forma para reducir los niveles de ruido es organizando el tráfico de manera que este sea fluido, evitando arrancar, frenar y usar el pito constantemente. El uso innecesario de pitos en las ciudades debería ser prohibido, especialmente en las horas nocturnas, estas reglas deben ser reafirmadas.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Organización Mundial de la Salud

## **11.2 CONTROL EN EL MEDIO**

Si no se puede controlar el ruido en su fuente, entonces se debe investigar la posibilidad de aislar el equipo responsable del ruido; es decir, de controlar el ruido que emana de una máquina encerrando todo o una parte de la instalación con algún material aislante. Con frecuencia ésta ha sido la solución respecto a las prensas de potencia que tiene alimentadoras automáticas. Para este caso concreto se tiene que muchas veces es posible reducir el ruido ambiental aislando la fuente de ruido del resto de la estructura; esto evita el efecto de repetición o eco del ruido y se puede lograr si se monta la instalación en algún tipo de elastómero para amortiguar el ruido intermitente.

Si no se puede reducir el ruido en la fuente y si la fuente de ruido no se puede aislar en cuanto a la acústica, entonces tal vez la absorción de acústica proporcione resultados benéficos. El propósito de instalar materiales acústicos en las paredes, techos y pisos es reducir la reverberación.

Es importante diferenciar entre absorción y atenuación del ruido. La absorción es ideal para reducir el ruido dentro de un espacio. Un material absorbente debe tener una estructura porosa en la cual las ondas del sonido se puedan propagar y perder su energía. Estos materiales son livianos y carecen de propiedades para ser utilizados como una estructura. La atenuación es utilizada para evitar que traspase una barrera. Un material que atenué no es poroso, es denso, pesado y tiene propiedades estructurales, lo que produce que haga eco hacia el exterior.

**11.2.1 Pérdida por Inserción de Barreras** La medida mas utilizada de eficiencia acústica de cualquier tipo de barrera es la perdida por inserción. La perdida 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 antes y después de la construcción de la barrera.

$$IL_{\text{barrera}} = L_{\text{antes}} - L_{\text{después}} \text{ (dB)}$$

IL=Pérdida por inserción de la barrera.

$L_{\text{antes}}$ =Nivel de ruido en decibeles antes de la inserción.

$L_{\text{despues}}$ =Nivel de ruido en decibeles después de la inserción.

La pérdida por inserción de barreras varia según la frecuencia del sonido, especialmente las frecuencias altas son las más atenuadas.

Para calcular la perdida por inserción de barrera para un sonido con longitud de onda se determina en primer lugar el numero Fresnel mediante la siguiente ecuación

$$N = 2/\lambda (d_1+d_2-d)$$

N=Número de Fresnel

$\lambda$ = Longitud de onda

$d_1$ =distancia barrera-fuente

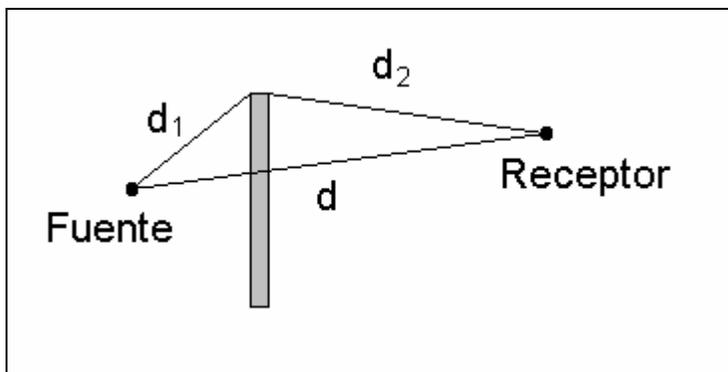
$d_2$ =distancia barrera-receptor

$d$ =distancia fuente-receptor

Entonces se calcula la pérdida por inserción para el número Fresnel a partir de

$$I_{\text{barrera}} = 10 \log_{10} ( 3 + 10 \cdot \text{Número de fresnel} ) - \text{Altura sobre el suelo}$$

**Figura 4. Distancias fundamentales para calcular la pérdida por inserción**



Siguiendo esta metodología se calculo la pérdida por inserción, se obtuvieron los siguientes datos.

Para cada uno de los puntos de la zona afectada se calcula la eficiencia que se obtendría en estos puntos, mediante la formula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}}$$

Para la zona 1 se calculo la atenuación que tendría una barrera de 6 metros de altura, ubicada a 2 metros del limite de la universidad, en el ultimo piso (tercer piso) del edificio Félix Restrepo, ya que este es el punto critico (protegiendo este punto se protegen los pisos inferiores) en el cual se podría localizar un receptor. Considerando que este punto se considera que cumple para los demás puntos de esta zona. Esta barrera esta formada por un dique en tierra de 2 metros de altura y una barrera de árboles de más de 4 metros de altura.

**Tabla 8. Calculo perdida por inserción de barrera en zona 1**

<b>h = 6 m</b>					
<b>Frecuencias (Hz)</b>	<b>Longitud de onda (m)</b>	<b>Número de Fresnel</b>	<b>A suelo (dB)</b>	<b>IL (dB)</b>	
125	2,720	0,06	0,1	5,4	
250	1,360	0,12	4,5	1,7	
500	0,680	0,24	-2,5	9,8	
1000	0,340	0,47	-2,5	11,4	
2000	0,170	0,94	-2,5	13,4	
4000	0,085	1,88	-2,5	15,9	
				<b>IL Combinado</b>	<b>19,4</b>

La pérdida global de ruido por inserción de la barrera es de 19,4 dB.

**Tabla 9. Eficiencia de la perdida por inserción de barrera en la zona 1**

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Valor inicial (dB)</b>	<b>Valor final (dB)</b>	<b>Eficiencia</b>
1	84,0	64,6	23,10%
2	78,5	59,1	24,71%
3	74,1	54,7	26,18%

Luego el promedio de la eficiencia de la perdida por inserción de barrera para la zona 1 es de 24,66%

Para la zona 2 se realizaron cálculos de atenuación con barreras 2, 3, 4 y 5 metros de altura (h), ubicadas a 2 metros del límite de la universidad y a una distancia de 5 m hasta el receptor más próximo. Esto con el fin de determinar la altura óptima que debe tener la barrera.

**Tabla 10. Calculo perdida por inserción de barrera con altura 2 m, en zona 2**

Para h = 2 m					
Frecuencias (Hz)	Longitud de onda (m)	Número de Fresnel	A suelo (dB)	IL (dB)	
125	2,720	0,74	0,1	10,1	
250	1,360	1,49	4,5	8,0	
500	0,680	2,97	-2,5	17,6	
1000	0,340	5,94	-2,5	20,5	
2000	0,170	11,88	-2,5	23,4	
4000	0,085	23,76	-2,5	26,3	
				<b>IL Combinado</b>	<b>29,1</b>

La pérdida por inserción de barrera de 29,1 dB, combinando los valores de cada frecuencia.

**Tabla 11. Calculo perdida por inserción de barrera con altura 3 m, en zona 2**

h = 3 m					
Frecuencias (Hz)	Longitud de onda (m)	Número de Fresnel	A suelo (dB)	IL (dB)	
125	2,720	1,47	0,1	12,4	
250	1,360	2,94	4,5	10,6	
500	0,680	5,88	-2,5	20,4	
1000	0,340	11,76	-2,5	23,3	
2000	0,170	23,53	-2,5	26,3	
4000	0,085	47,06	-2,5	29,3	
				<b>IL Combinado</b>	<b>32,1</b>

La pérdida por inserción de barrera de 32,1 dB, combinando los valores de cada frecuencia.

**Tabla 12. Calculo pérdida por inserción de barrera con altura 4 m, en zona 2**

<b>h = 4 m</b>					
<b>Frecuencias (Hz)</b>	<b>Longitud de onda (m)</b>	<b>Número de Fresnel</b>	<b>A suelo (dB)</b>	<b>IL (dB)</b>	
125	2,720	2,31	0,1	14,1	
250	1,360	4,62	4,5	12,4	
500	0,680	9,24	-2,5	22,3	
1000	0,340	18,47	-2,5	25,2	
2000	0,170	36,94	-2,5	28,2	
4000	0,085	73,88	-2,5	31,2	
				<b>IL Combinado</b>	<b>34,0</b>

La pérdida por inserción de barrera de 34,0 dB, combinando los valores de cada frecuencia.

**Tabla 13. Calculo pérdida por inserción de barrera con altura 5 m, en zona 2**

<b>h = 5 m</b>					
<b>Frecuencias (Hz)</b>	<b>Longitud de onda (m)</b>	<b>Número de Fresnel</b>	<b>A suelo (dB)</b>	<b>IL (dB)</b>	
125	2,720	3,32	0,1	15,5	
250	1,360	6,63	4,5	13,9	
500	0,680	13,26	-2,5	23,8	
1000	0,340	26,53	-2,5	26,8	
2000	0,170	53,06	-2,5	29,8	
4000	0,085	106,12	-2,5	32,8	
				<b>IL Combinado</b>	<b>35,6</b>

La pérdida por inserción de barrera de 35,6 dB, combinando los valores de cada frecuencia

De acuerdo con los resultados e las tablas anteriores se puede deducir que la pérdida por inserción para una barrera de 2 m seria suficiente para atenuar el ruido presente en la zona, según la ubicación de los receptores potencialmente afectados por el ruido.

**Tabla 14. Eficiencia de la pérdida por inserción de barrera en la zona 2**

Punto de muestreo	Valor inicial (dB)	Valor final (dB)	Eficiencia
16	69,0	39,9	42,17%
17	75,7	46,6	38,44%

La eficiencia promedio de la pérdida por inserción de barrera para la zona 2 es de 40,31%

La zona 3 esta por debajo de la altura a la cual se encuentra la fuente. La dirección en la cual incide el ruido en los receptores no es directa. No es necesario determinar una altura para controlar el ruido. Razón por la cual el control que se aplique en esta zona puede ser de tipo visual, como una barrera viva.

**11.2.2 Barrera Artificial** La medida de reducción del ruido del tráfico más frecuentemente utilizada son las barreras acústicas. Además del diseño acústico, de localización, altura, longitud y características absorbentes del sonido de la barrera, es importante considerar el tipo de material, su costo, el diseño estructural y los requisitos de construcción, necesidades de mantenimiento a corto y largo plazo, y factores visuales, como la apariencia.

Los materiales más frecuentemente utilizados para las barreras contra el ruido son bloques de mampostería, paneles de hormigón prefabricados, postes y tablas de madera, paneles de madera, diques de tierra y paneles de metal. Algunas barreras son combinaciones de dos o más de estos tipos de materiales. Las barreras absorbentes del sonido pueden construirse de:

- Tableros compuestos de virutas de madera cementosa con un respaldo de hormigón.
- Paneles de acero con un frente perforado y en su interior listones o una plancha de fibra de vidrio, lana mineral o lana de roca.
- Paneles de plástico parecidos a los paneles de acero anteriores.
- Hormigón poroso que cubre la superficie de un panel de hormigón convencional.

El valor mínimo del coeficiente de reducción del ruido (NRC)<sup>21</sup>, según sus siglas en inglés, para una barrera absorbente del sonido en una autopista es 0,65, aunque es muy deseable un valor entre 0,80 y 0,85.

**11.2.2.1 Consideraciones de diseño estructural** Las especificaciones para el diseño estructural de las barreras cubren tipos de material, diseño de los cimientos y los distintos tipos de carga que deben considerarse (como peso propio, carga de viento y carga sísmica); también incluyen especificaciones de los detalles de construcción para las paredes de bloques de mampostería.

Los detalles estructurales importantes para impedir que el diseño acústico se vea afectado son:

- Eliminación de huecos de aire entre los paneles de la barrera o entre los postes y los paneles; las técnicas típicas incluyen el uso de paneles con ensambladura de ranura y lengüeta y el uso de juntas selladas.

---

<sup>21</sup> NCR Noise Coefficient Reduction

- Provisión para el mantenimiento al acceso de la toma de agua para incendios detrás del muro; los métodos típicos incluyen el uso de puertas peatonales con juntas, secciones de barrera solapadas y escotillas para las mangueras de incendios.
- Provisión para que el agua de drenaje pase la barrera; los métodos típicos incluyen el uso de rejillas para el agua de lluvia con cañerías bajo la barrera, el uso de una sub-base de gravilla a lo largo de la parte baja del muro y el uso de barreras acústicas pequeñas detrás de las aberturas para drenaje.

**11.2.2.2 Consideraciones de mantenimiento** Una vez que la barrera se ha instalado, ésta y el área que le rodea precisarán mantenimiento. En algunas regiones, los graffitis sobre su superficie son un problema. Hay disponibles coberturas que permiten retirar la pintura con disolventes. Las superficies no tratadas tendrán que volver a pintarse o recibir chorros de arena. De ser así, la superficie podría dañarse y el color original sería difícil de igualar.

A menudo se usan técnicas de paisaje para mejorar la apariencia de la barrera. Las plantas deben ser adecuadas para el ambiente de autopista, donde prevalecen la suciedad de la carretera, los escapes de los vehículos, en tanto que el aporte de agua o la financiación para el mantenimiento y siega pueden ser escasos.

**11.2.2.3 Apariencia visual** A menudo, la apariencia de una pared tiene mucho que ver con su aceptación por la comunidad y la percepción de su efectividad. Hay que considerar tanto la vista desde la carretera como desde la comunidad.

Las barreras a lo largo del borde de la carretera no siempre tienen que acabar abruptamente, sino que pueden escalonarse en altura a lo largo de la longitud de dos o tres paneles. Los extremos del muro pueden esconderse enterrándolos en un montículo de tierra o un rasgo natural del terreno. Curvar los extremos de la barrera, alejándolos de la carretera, suaviza el impacto visual, a la vez que habitualmente reduce el ruido generado al pasar el final de la barrera.

A menudo, el enfoque más efectivo para considerar adecuadamente todos estos problemas es establecer un equipo de personas, cada una de ellas especialista en un tema determinado.

#### **11.2.2.4 Análisis de la Barrera Artificial**

Este control es el más efectivo, pero tiene en contra sus altos costos que están representado en los materiales de construcción (hormigón) y mano de obra. La altura necesaria para obtener una pérdida por inserción de barrera, puede llegar a representar un peligro ya que esta barrera podría desplomarse. Adicional a estos factores la barrera artificial no es acorde a los objetivos medioambientales y paisajísticos que busca el Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad

La determinación de la altura y perdida por inserción de barrera se efectúa como se describe en el numeral 11.2.4

**11.2.3 Barrera Natural Arborizada** Otro tipo de barrera acústica utilizada es la barrera natural, formada por filas de árboles o arbustos los cuales deben estar sembrados a una distancia suficientemente corta para permitir reflejar las ondas mecánicas portadoras del ruido.

**11.2.3.1 Especies recomendadas** Las especies mas recomendadas<sup>22</sup> para ejercer este tipo de controles son Chicalá, Alcaparro Grande, Calistenio, Arrayán, Cípres, Buxus. La altura recomendada de la barrera es de 4 a 6 m<sup>23</sup>.

Para conocer las características de cada una de las especies ver Anexo G

**11.2.3.2 Recomendaciones para plantar las especies expuestas** Para plantar cualquiera de las especies abra un hoyo de 1 metro<sup>2</sup> de superficie por un metro de profundidad Así el árbol podrá desarrollar sus raíces y garantizar su adaptación y crecimiento. Mezcle la tierra que extrae del suelo con tierra fértil abonada. Al momento de plantar retire con cuidado la bolsa, empaque o matera que contiene el arbolito, procurando no dañar el bloque donde se encuentra toda la masa de raíces. Coloque

---

<sup>22</sup> Jardín Botánico de Bogotá. José Celestino Mutis.

la planta sobre el hoyo construido, de tal manera que el cuello o zona donde comienza la raíz quede a ras del suelo. Agregue tierra alrededor, ajustándolo moderadamente en capas hasta llegar a la superficie, una vez nivelado y retirada la tierra sobrante, riéguelo hasta que el suelo quede bien saturado.

**11.2.3.3 Mantenimiento** Para el mantenimiento como cualquier ser viviente, el árbol necesita agua y alimento para vivir. Provéalo de agua mínimo cada tercer día y de abono cada 3 meses. Protéjalo del vandalismo o los accidentes.

Como las plantas respiran por las raíces se aconseja remover la tierra y la superficie de su entorno de vez en cuando.

**11.2.3.4 Especificaciones para crear una barrera natural** El éxito de una barrera natural esta dado por el entrelazamiento de las ramas de los árboles que la forman, esto se obtiene sembrando los árboles a una distancia máxima de 4 metros entre sí. Dando un espacio de envergadura de 2 m en los cuales será posible darle la forma que se busca al árbol. Es ideal que la barrera tenga una altura entre 5 y 6 metros para asegurar su efectividad. También se debe tener en cuenta la forma que se le dé a las copas de los árboles, ya que estas deben ser en forma inclinada, permitiendo desviar la onda sonora. Igualmente es importante

---

<sup>23</sup> Información suministrada por el jardín botánico de Bogotá, José Celestino Mutis.

podar el árbol de manera que su follaje permanezca cerca del nivel del suelo para evitar que las ondas de sonido atraviesen la barrera.

Las barreras naturales tienen una ventaja sobre las barreras artificiales, ya que las naturales adornan y crean un ambiente agradable, además de disminuir la contaminación visual y del aire, evitando la polución y oxigenando el aire. Sin embargo los efectos o reducción del ruido no es tan considerable como con otros controles. Además no existen estudios de la mitigación en decibeles por especies.

Al determinar la especie que se plantara para crear la barrera natural, es importante tener en cuenta que la especie sea preferiblemente nativa, esto con el fin de incentivar los proyectos de arborización y culturización de la comunidad acerca de las especies colombianas.

**11.2.3.5 Análisis Económico de la Barrera Natural Arborizada** Los costos están divididos en los costos fijos de siembra, costos variables de siembra y costos de mantenimiento.

**11.2.3.5.1 Costo fijo de siembra** Este costo aplicara para cualquiera de las especies que se seleccione.

El abono recomendado es abono triple 15 o en su defecto humus de lombriz. Para ser consecuentes con la visión ambiental de este trabajo se recomienda el uso de

abono tipo humus de lombriz, el cual es 100% natural. Cada árbol necesita medio kilo de abono.

El agua necesaria para sembrar cada árbol es de 20 l.

El costo de la mano de obra es calculado para dos trabajadores, sobre el salario mínimo legal vigente. La universidad dispone del personal para realizar este tipo de labores.

**Tabla 15. Costos fijos de siembra**

Descripción	Unidades	Valor unitario	Valor total
Abono (bulto)	3	100.000	300.000
Agua (m <sup>3</sup> )	5,3	1.909	10.118
Mano de obra (HH)	8	20.600	164.800
		<b>TOTAL</b>	<b>474.918</b>

**11.2.3.5.2 Costo variable de siembra** Este costo depende de la especie que sea seleccionada. Para poder satisfacer el objetivo que se busca, esta barrera debe abarcar la totalidad de los linderos que presentan niveles de ruido elevados.

Son tres los sitios que presentan niveles de ruido elevado, la distancia a cubrir por la barrera viene discriminada así:

**Tabla 16. Relación sitios críticos vs. longitud**

<b>Zona</b>	<b>Área a cubrir</b>	<b>Distancia (m)</b>
1	Esquina calle 45 carrera 7	107
2	Carrera 7 zona central	112
3	Limites con la avenida circunvalar	840

En la zona con referencia 1 debe cubrirse una longitud de 107 m, sembrando árboles cada cuatro metros, luego se necesitan 27 árboles.

**Tabla 17. Costo variable de las especies para la zona 1**

<b>Especie</b>	<b>Presentación (m)</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Calistemo	1,5	12.000	324.000
Arrayán	1,5	12.000	324.000
Alcaparro grande	1,0	8.000	216.000
Chicalá	1,2	20.000	540.000
Boj (Buxus)	0,2	8.000	216.000
Cipres	1,0	3.000	81.000

Fuente: Jardín Botánico de Bogotá. José Celestino Mutis

En la zona con referencia 2 debe cubrirse una longitud de 112 m, sembrando árboles cada cuatro metros, luego se necesitan 28 árboles.

**Tabla 18. Costo variable de las especies para la zona 2**

<b>Especie</b>	<b>Presentación (m)</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Calistemo	1,5	12.000	336.000
Arrayán	1,5	12.000	336.000
Alcaparro grande	1,0	8.000	224.000
Chicalá	1,2	20.000	560.000
Boj (Buxus)	0,2	8.000	224.000
Cipres	1,0	3.000	84.000

Fuente: Jardín Botánico de Bogotá. José Celestino Mutis

En la zona con referencia 3 debe cubrirse una longitud de 840 m, sembrando árboles cada cuatro metros, luego se necesitan 210 árboles.

**Tabla 19. Costo variable de las especies para la zona 3**

<b>Especie</b>	<b>Presentación (m)</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Calistemo	1,5	12.000	2.520.000
Arrayán	1,5	12.000	2.520.000
Alcaparro grande	1,0	8.000	1.680.000
Chicalá	1,2	20.000	4.200.000
Boj (Buxus)	0,2	8.000	1.680.000
Ciprés	1,0	3.000	630.000

Fuente: Jardín Botánico de Bogotá. José Celestino Mutis

**Tabla 20. Costo variable de las especies para todas las zonas**

<b>Especie</b>	<b>Presentación (m)</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Calistemo	1,5	12.000	3.180.000
Arrayán	1,5	12.000	3.180.000
Alcaparro grande	1,0	8.000	2.120.000
Chicalá	1,2	20.000	5.300.000
Boj (Buxus)	0,2	8.000	2.120.000
Ciprés	1,0	3.000	795.000

Fuente: Jardín Botánico de Bogotá. José Celestino Mutis

**11.2.3.5.3 Costos de mantenimiento** Los costos de mantenimiento de los árboles que se siembren son analizados para un periodo anual, el abono debe ser aplicado cada 3 meses, la poda de debe efectuar cada mes y el riego debe realizarse cada tercer DIA.

En la zona con referencia 1 debe realizarse mantenimiento a 27 árboles.

**Tabla 21. Costo de mantenimiento para las especies en la zona 1**

<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>No. de veces</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Abono (k)	6,75	4	2.000	54.000
Riego (m <sup>3</sup> )	0,135	121	1.909	31.183

Fuente: Jardín Botánico de Bogotá. José Celestino Mutis

En la zona con referencia 2 debe realizarse mantenimiento a 28 árboles.

**Tabla 22. Costo de mantenimiento para las especies en la zona 2**

<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>No. de veces</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Abono (bulto)	7	4	2.000	56.000
Riego (m <sup>3</sup> )	0,14	121	1.909	32.338

Fuente: Jardín Botánico de Bogotá. José Celestino Mutis

En la zona con referencia 3 debe realizarse mantenimiento a 210 árboles.

**Tabla 23. Costo de mantenimiento para las especies en la zona 3**

<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>No. de veces</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Abono (bulto)	52,5	4	2.000	420.000
Riego (m <sup>3</sup> )	1,05	121	1909	242.538

Fuente: Jardín Botánico de Bogotá. José Celestino Mutis

En la totalidad de las zonas debe hacerse mantenimiento a 265 árboles

**Tabla 24. Costo de mantenimiento para las especies en todas las zonas**

<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>No. de veces</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Abono (bulto)	66,25	4	2.000	530.000
Riego (m <sup>3</sup> )	1,325	121	1909	306.059
			<b>TOTAL</b>	<b>836.059</b>

Fuente: Jardín Botánico de Bogotá. José Celestino Mutis

Para cubrir la mano de obra correspondiente a la poda de los árboles se recomienda contratar a un jardinero que se dedique exclusivamente al cuidado de estos.

**11.2.3.6 Selección de la especie** El siguiente cuadro tiene en cuenta estos ítems considerando que las especies enunciadas cumplen con las características necesarias para cumplir con la función de una barrera de sonido. El costo de siembra y mantenimiento es igual para todas las especies, no representa un factor para definir la especie. Un factor determinante para seleccionar la especie de la barrera natural es si es o no una especie apta recomendada por el Programa de Arborización Urbana del Jardín Botánico José Celestino Mutis.

**Tabla 25. Comparación de Especies**

<b>Especie</b>	<b>Origen</b>	<b>Presentación</b>	<b>Crecimiento anual</b>	<b>Valor total</b>
Calistemo	Exótica	1,5 m	1,5 m	3.180.000
Arrayán	Nativa	1,5 m	1,5 m	3.180.000
Alcaparro grande	Nativa	1,0 m	1,0 m	2.120.000
Chicalá	Nativa	1,2 m	1,2 m	5.300.000
Boj (Buxus)	Exótica	0,2 m	0,1 m	2.120.000
Ciprés	Exótica	1,0 m	1,0 m	795.000

El ciprés no es una especie nativa ni tampoco esta recomendada en el Programa de Arborización Urbana del Distrito Capital, aunque es la opción más económica debe ser descartada.

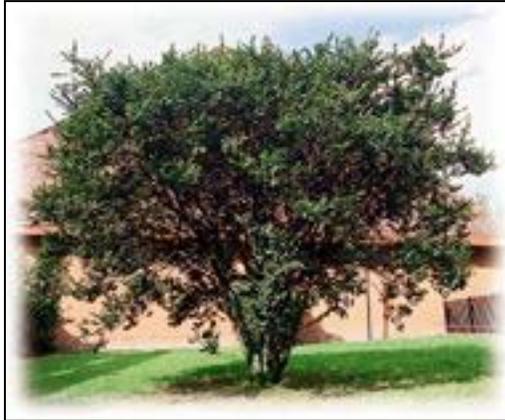
En cuanto al Boj esta especie tiene una presentación y crecimiento bastante pobre comparada con las otras especies, lo cual presentaría un inconveniente a la hora de cumplir con la función de barrera acústica, al no tener la altura adecuada en el corto plazo.

El Chicala es la especie más costosa dentro de esta selección, y sus propiedades son similares a otras especies de menor valor.

La especie Calistemo cumple con todos los requisitos, sin embargo es una especie exótica originaria de Australia y al ser seleccionada no se apoyaría la siembra de las especies nativas.

El Alcaparro grande y el arrayán son las especies mas adecuadas, cumplen con los requisitos necesarios para ser utilizadas como barrera acústica. Aunque el alcaparro grande representa un menor costo, el Arrayán se caracteriza por tener mayor follaje y a una menor distancia del suelo. Por esta razón la especie mas indicada es el Arrayán.

**Figura 5. Especie seleccionada: Arrayán**



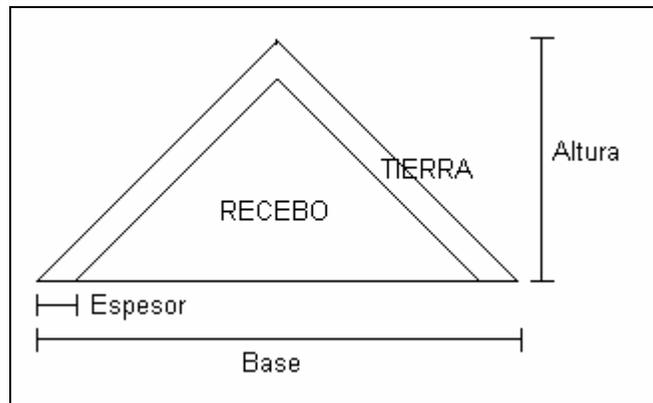
Fuente: [www.jbb.gov.co](http://www.jbb.gov.co)

#### **11.2.4 Barrera Natural Pantalla de Tierra**

Esta alternativa consiste en la creación de montículos elaborados con tierra negra cubiertos de pasto. Estos montículos deben ir a lo largo de las áreas afectadas por los altos niveles de ruido.

La barrera tiene un sección transversal de 4 m de ancho por 2 m de altura, en forma triangular.

**Figura 6. Diseño Pantalla de Tierra**



#### 11.2.4.1 Análisis Económico Pantalla de Tierra

**11.2.4.1.1 Costos de construcción de la pantalla de tierra** Los costos están representados en los materiales y mano de obra utilizada en la construcción de la barrera. En la zona 1 se cubrirá una distancia de 107 m. La pantalla estará formada solo por tierra negra, para poder sembrar árboles en ella y alcanzar una altura de 6 m.

**Tabla 26. Costos de la barrera pantalla de tierra en la zona 1**

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tierra (m <sup>3</sup> )	428	N/A	N/A
Gramas (m <sup>2</sup> )	177	2.000	354.000
Mano de obra (HH)	3	206.000	624.000
		TOTAL	978.000

Fuente: Cotizaciones en canteras, viveros y personas del gremio de la construcción.

En la zona 2 se cubrirá una distancia de 112 m. La pantalla será construida con un centro de recebo y en la parte superior una capa de tierra negra cubierta por pasto

**Tabla 27. Costos de la barrera pantalla de tierra en la zona 2**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Recebo (m <sup>3</sup> )	362	6.000	2.172.000
Tierra (m <sup>3</sup> )	66	N/A	N/A
Gramma (m <sup>2</sup> )	181	2.000	362.000
Mano de obra (HH)	3	206.000	624.000
		TOTAL	3.158.000

Fuente: Cotizaciones en canteras, viveros y personas del gremio de la construcción.

En la zona 3 se cubrirá una distancia de 840 m.

**Tabla 28. Costos de la barrera pantalla de tierra en la zona 3**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Recebo (m <sup>3</sup> )	2.715	6.000	16.290.000
Tierra (m <sup>3</sup> )	495	N/A	N/A
Gramma (m <sup>2</sup> )	1.389	2.000	2.778.000
Mano de obra (HH)	24	206.000	6.180.000
		TOTAL	25.268.000

Fuente: Cotizaciones en canteras, viveros y personas del gremio de la construcción.

En las tres zonas se cubrirá una distancia de 1059 m

**Tabla 29. Costos de la barrera pantalla de tierra en las tres zonas**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Recebo (m <sup>3</sup> )	12.202	6.000	73.212.000
Tierra (m <sup>3</sup> )	1038	N/A	N/A
Grama (m <sup>2</sup> )	4.386	2.000	8.772.000
Mano de obra (HH)	30	206.000	6.180.000
		TOTAL	88.164.000

Fuente: Cotizaciones en canteras, viveros y personas del gremio de la construcción.

El recebo es el material de relleno más económico que se encuentra en el mercado. Se obtiene de las canteras. El costo que se indica en las tablas incluye el costo del transporte.

El costo de la tierra no se puede determinar. La tierra a utilizar se puede obtener de la excavación de una obra de ingeniería. El costo que representa esta tierra es variable ya que depende de la negociación a la que se llegue con el encargado de la obra o obras que puedan proveer la tierra.

La grama a utilizar será tomada en parte de la misma área en que se construyan los montículos.

El costo de la mano de obra es calculado para veinte trabajadores, sobre el salario mínimo legal vigente. La universidad dispone del personal para realizar este tipo de labores.

**11.2.4.1.2 Costos de mantenimiento** El costo de cortar el pasto es el rubro más representativo dentro del mantenimiento de esta clase de barreras. La universidad cuenta con el personal para este tipo de labores, por lo cual no incurrirá en nuevos costos.

### **11. 3 CONTROL CULTURAL**

Hay que potenciar campañas de educación medio ambiental, para que todos contribuyan y exijan la disminución de los niveles de ruido.

Para evitar el ruido del tráfico, es conveniente realizar un buen mantenimiento del vehículo, con especial hincapié en el silenciador. Además, una presión correcta en las ruedas evita ruidos y vibraciones. Cuanto más rápido se vaya, más ruido se produce; en calles estrechas, el ruido se multiplica. Evitando acelerones y frenazos bruscos, utilizando el pito sólo cuando sea necesario, deteniendo el motor en trancones o paradas, y usando los transportes públicos siempre que se pueda, se ayuda a disminuir los niveles de ruido.

### **11.4 CONTROLES EN EDIFICACIONES**

Los siguientes controles son una descripción superficial de los productos que se encuentran en el mercado para mitigar los niveles de ruido al interior de las edificaciones. El objetivo de este estudio no busca dar solución a este tipo de

problemas, pero abre la posibilidad a una futura investigación acerca de esta problemática.

Para ampliar información sobre las características de los materiales utilizados ver Anexo H.

**11.4.1 Aislamiento del sonido transmitido por el aire** Cuando las ondas sonoras chocan con uno de éstos elementos (paredes, suelos, cubiertas, ventanas y puertas), las presiones sonoras variables que actúan sobre ella hacen que vibre. Una parte de la energía vibratoria transportada por las ondas sonoras es transmitida al elemento, cuya vibración pone en movimiento el aire situado del otro lado, generando sonido. En cubiertas o cielo rasos constituidas por capas de materiales y cámaras de aire, parte de la energía de las ondas sonoras se disipa dentro de los elementos, reduciendo la energía sonora irradiada por el lado posterior.

La reducción de ruido entre dos espacios es la diferencia entre el nivel medio de presión sonora en un espacio que contiene una fuente de sonido y el correspondiente medio en el espacio adyacente. Depende de la pérdida por transmisión del elemento común, el área del elemento y la absorción del sonido en el espacio que lo recibe; cuanto mayor es la cantidad de absorción, menor es el nivel sonoro en el espacio adyacente y mayor la reducción del ruido. Por el

contrario contra, la pérdida por transmisión de un elemento es independiente de su área y de la cantidad de absorción del sonido.

**11.4.2 Aislamiento acústico de paneles homogéneos sólidos** Este tipo de paneles incluye el yeso, machimbres en madera, cristal, acrílico, mampostería y concreto. La pérdida por transmisión de éste tipo de paneles dependen sobre todo de su masa por unidad de área, su rigidez y el amortiguamiento intrínseco en el material o en sus bordes.

Se espera un aumento en la pérdida por transmisión al aumentar la masa, ya que cuanto más pesado es el panel menos vibra en respuesta a las ondas sooras y, por tanto , menos energía sonora irradia hacia el otro lado .

La ley de masa predice que la pérdida por transmisión aumentará en 6 dB por cada duplicación de la masa de la superficie o la frecuencia. Puede lograrse un aumento de la masa aumentando el grosor del material o seleccionando materiales más densos.

**11.4.2.1 Paredes huecas** Una sola capa de hormigón de 15 cm de espesor tiene un STC de 55 y un peso de 345 Kg/m<sup>2</sup> .Si se precisa un STC<sup>24</sup> más alto o si se

---

<sup>24</sup> **Clase de Transmisión de Sonido (STC):** Clasificación numérica en decibeles basada en las medidas de pérdida de transmisión de una división entre salones encerrados adyacentes.

requiere una construcción de menos peso, que suele ser de paredes huecas dobles o múltiples.

La transmisión del sonido depende del acoplamiento mecánico, sus masas, la profundidad de la cámara de aire y la fibra de vidrio a instalar.

#### **11.4.2.2 Profundidad de la cámara de aire y resonancia masa-aire masa**

Cuanto mayor sea el espacio entre dos elementos ya sea en paredes o cubiertas, mayor es la pérdida por transmisión. Sin embargo, el aire atrapado en la cámara actúa como un muelle, transfiriendo energía vibratoria de un espacio a otro. Esta interacción produce una bajada en la curva de pérdida por transmisión. Cuanto mayor es el espacio o más pesados los materiales, menor es la frecuencia a la que se produce la resonancia.

Una vez conocidos los productos disponibles en el mercado para la reducción del ruido al interior de construcciones es necesario determinar las características de la construcción, ya que cada caso tiene un manejo particular y dependiente del uso al que este destinado.

## 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las fuentes de ruido que incidieron en esta evaluación son el tráfico vehicular de la carrera séptima, la calle 45 y la avenida circunvalar.
- Los niveles de ruido ambiental generados por el campus de la PUJ no son elevados en relación con la normatividad evaluada y no representan un factor de riesgo para la salud física y mental de la comunidad que convive allí, sin embargo esto debe ser visto desde una perspectiva de higiene industrial.
- La Universidad Javeriana debe ser conciente que aunque no es generadora directa de ruido, si es causante de gran parte del movimiento que se da en toda la zona en la que esta ubicada, y por esto debe tener una visión de su responsabilidad no solo con un adecuado sistema de gestión ambiental como el que se esta llevando a cabo sino que además debe adelantar un sistema de Higiene industrial en todos sus ámbitos.
- Los niveles de ruido provenientes de las avenidas séptima, circunvalar y de la calle 45 con las cuales colinda el campus de la PUJ son elevados ya que superan los 70 dB dados por la normatividad Colombiana, por ello se deben tomar medidas para mitigar el ruido que influencia las zonas del

campus contiguas a dichas avenidas. La universidad deberá tener en cuenta dentro de sus planes de construcción de nuevas edificaciones el ruido presente en estas zonas. Esta información fue soportada a través de las curvas isófonas y de la encuesta realizada a la comunidad.

- Las barreras artificiales representan costos elevados, en comparación con los costos que representarían las barreras naturales, y siendo consecuentes con el propósito del SGA y este estudio, el control recomendado para reducir los niveles de ruido provenientes del exterior para la zona 1 es una pantalla de tierra de 2 metros de altura por 4 metros de base, combinada con una barrera de árboles de la especie arrayán. Con los cuales se logrará una altura total de 6 metros; esto para contribuir en la reducción de los niveles de ruido que llegan al edificio 50 el cual se encuentra a una corta distancia de la carrera 7 y la calle 45. En este tipo de barreras las raíces de los árboles penetran la montaña creando espacios que incrementan la eficiencia de la barrera, al absorber en mayor la energía proveniente de las ondas mecánicas del ruido. Por otra parte esta combinación brinda mayor armonía visual a este sector.
- La eficiencia de la barrera recomendada para la zona 1 es 24,66% valor con el cual se cumpliría con la normatividad establecida.
- El costo de implementar esta solución combinada es de \$1.362.387 mas el costo que tenga la tierra negra en el momento de negociarla (este valor no

es posible determinarlo ya que varia según la obra u obras con las cuales se haga la negociación para adquirir la tierra). Los costos de mantenimiento anual son de \$85.183.

- En la zona 2 la opción a seguir es la construcción de la pantalla de tierra. Esta zona esta a mayor altura de la fuente de ruido y por ello al calcular la altura necesaria en esta zona se concluye que la barrera debe tener 2 m, (el resto de elevación ya esta dada por la conformación del terreno), altura que se puede conseguir con la pantalla de tierra. Esta es una zona arborizada que en conjunto con la pantalla creara un ambiente natural.
- Para la aplicación de este control en la zona 2 es necesario previamente hacer un estudio de suelo determinando la estabilidad del terreno y hacer un drenaje adecuado de aguas lluvias ya que esta zona esta ubicada en una pendiente y con el movimiento del suelo y el paso del agua puede presentar problemas posteriores.
- La eficiencia de la barrera recomendada para la zona es de 40,31% valor con el cual se cumpliría con las normas establecidas.
- Los costos de implementación ascienden a \$3.158.000 y al igual que la solución recomendada para la zona 1 se debe agregar el costo que tenga la tierra negra en el momento de negociarla (este valor no es posible determinarlo ya que varia según la obra u obras con las cuales se haga la negociación para adquirir la tierra).

- La zona 3 es una zona que esta por debajo de la fuente de ruido. Los niveles de ruido presentes en esta zona pueden ser mitigados por una barrera de arbustos que dentro de las opciones es la más económica. La eficiencia por este tipo de barreras no ha sido estudiada por lo cual no se conocen datos. Para determinar su eficiencia es necesario medir los niveles después de implantarse la solución y compararlos con los datos de este estudio.
- Los costos relacionados a la implantación de este control son de \$2.899.519 y su mantenimiento es de \$662.538 anuales.
- Se recomienda contratar a una persona que este dedicada de tiempo completo al cuidado y mantenimiento de los árboles y montículos.
- En las otras zonas aledañas a la carrera 7 que presentan niveles de ruido elevado, los controles de ruido ambiental propuestos y que conciernen a este estudio no son aplicables ya que no se cuenta con un espacio suficiente para ser implementados. Los controles recomendados para estos lugares se harían directamente en las edificaciones.
- Dentro de la identificación de fuentes generadoras de ruido, se encontraron lugares dentro del campus que aunque se encuentran dentro de los niveles permitidos, podría mitigarse aun más el efecto del ruido. Este es el caso del acceso vehicular a los parqueaderos, el cual tiene dos puentes metálicos que producen ruido. Para ello se recomienda implantar un control de

velocidad de los vehículos salida y acceso, y en el caso de futuras construcciones tener en cuenta dentro de los diseños los materiales que minimicen o causen el menor impacto posible.

- Se recomienda realizar un barrido de frecuencias cuando las mediciones superen los 82 dB, esto con el fin de determinar las fuentes y efectos que puedan relacionarse con este ruido.
- Aunque los niveles de ruido detectados en las cercanías del hospital están por debajo de la norma, es claramente observable que son causados básicamente por la maquinaria que se encuentra en el área del túnel del edificio 27. Se recomienda hacer aislamientos acústicos de estas máquinas siguiendo los comentarios y utilizando los materiales descritos en este trabajo para el control del ruido en edificaciones. (Ver materiales utilizados en construcciones, Cáp. 11)
- Se concluyó que en el área frente de la biblioteca y el túnel subterráneo que atraviesa la carrera séptima, no es posible aplicar controles en el medio, esto debido a que es un área abierta símbolo de la universidad que se vería seriamente cambiada al aplicar cualquier clase de control, rompiendo con la imagen de universidad abierta.

A nivel general se recomienda:

- Zonificar (ordenar) el campus de forma tal para que las edificaciones que requieran ser silenciosas queden lejos de las avenidas de alto tráfico.

- Especificar aislamientos suficientes entre las edificaciones y las vías para reducir al máximo los efectos del ruido gracias a la distancia.
- Establecer y hacer cumplir los niveles máximos de ruidos permitidos por zonas.
- Obligar a implementar barreras de sonido y zonas verdes junto a generadores de ruido.
- Los recintos que requieran mayor aislamiento , se deben ubicar lo más lejos posible de las fuentes sonoras internas y externas.
- Agrupar los recintos ruidosos en zonas aledañas.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ARIZA Clara Inés y FADUL, Oscar. Ingeniería ambiental: el ruido en Bogotá. Bogotá: Universidad Javeriana, 1983.
- BEHAR, Alberto. El ruido y su control. México: Trillas, 1994.
- BERLAND, Theodore. Ecología y ruido. Buenos Aires: Marymar, 1973.
- ESPAÑA MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE. Condiciones acústicas en los edificios. Madrid: Ministerio, 1994.
- HARRIS, Cyril M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. 3 ed. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana, 1995.
- MEJÍA CORREA, Martha E. y TORRES OROZCO, Piedad. Información y actitudes hacia el ruido automotor en conductores bogotanos. Bogotá: Universidad Javeriana, 1976.
- MIYARA, Federico. Pautas para una ordenanza sobre ruido urbano.  
<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/biblio/ordenan1.htm> consultado el 13 de noviembre de 2001.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Oficina Sanitaria Panamericana. Criterios de salud ambiental 12: el ruido. Washington: Organización Mundial de la Salud OMS, 1983.
- OWEN, Stephanie; PETERS, R.J. y SMITH, Brian John. Acoustics and noise control. London: Longman, 1982.
- PAYA, Miguel. Aislamiento térmico y acústico. 10ª edición. Barcelona: CEAC, 1980.
- RANDALL, Robert H. Introduction to acoustic. Massachussets: Addison Wesley, 1951.
- NIEBEL, Benjamín. Ingeniería Industrial. Alfa Omega. 9ª Edición. 2000.
- LARRY, W. Canter. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. McGraw Hill.
- SANDERS, Mark. Human factors in engineering and design. McGraw Hill. 7ª Edition. New York. 1993.
- COLMENA. Sistema de Vigilancia Epidemiológica: Daño auditivo inducido por ruido de origen ocupacional.
- MARROQUIN, Omayra. Los sonidos del campus de la Pontificia Universidad Javeriana. 2002.
- SGA – PUJ, Diseño del sistema de gestión ambiental para la Pontificia Universidad Javeriana. Jun 2002

### ***Recursos en Internet***

[www.javeriana.edu.co/facultades/fear/ideade/inicio.htm](http://www.javeriana.edu.co/facultades/fear/ideade/inicio.htm)

[www.iso14000.com](http://www.iso14000.com)

[www.google.com](http://www.google.com)

[www.upc.es](http://www.upc.es)

[www.lhh.org/noise/nadpr.htm](http://www.lhh.org/noise/nadpr.htm)

[interact.uoregon.edu/mediaLit/CASE/noiseday.html](http://interact.uoregon.edu/mediaLit/CASE/noiseday.html)

[www.prevencionintegral.com](http://www.prevencionintegral.com)

[www.jbb.com.co](http://www.jbb.com.co)

[www.dama.gov.co](http://www.dama.gov.co)

[www.fiberglasscolombia.com](http://www.fiberglasscolombia.com)

## CONTENIDO

	<b>PAG</b>	
0.	INTRODUCCIÓN	1
1.	OBJETIVOS	4
1.1	Objetivo general	4
1.2	Objetivos específicos	4
2	GENERALIDADES SOBRE EL SONIDO	6
2.1	El sonido	6
2.2	Propiedades del sonido	7
2.2.1	Velocidad del sonido	7
2.2.2	Propiedades de las ondas sonoras	7
2.2.2.1	Ondas planas y ondas esféricas	7
2.2.2.2	Frecuencia	8
2.2.2.3	Longitud de onda	8
2.2.2.4	Movimiento armónico simple: tonos puros.	9
2.2.2.5	Presión sonora	9
2.2.2.6	Armónicos	10
2.2.2.7	Amplitud de raíz cuadrática media (rms)	10
2.2.2.8	Ondas complejas	10
2.2.2.9	Difracción del sonido	11
2.2.2.10	Potencia sonora	11
2.3	Niveles	11
2.3.1	Nivel y decibelio	11
2.3.2	Nivel de presión sonora	12
2.4	Equipos de medición del sonido	12
2.4.1	Niveles sonoros ponderados; sonómetros	14
2.4.1.1	Ponderación A	15
2.4.1.2	Ponderación B	16
2.4.1.3	Ponderación C	16
2.4.2	Ponderación temporal; respuesta rápida y lenta	16
2.4.3	Nivel de banda de octava	17
2.5	Definición de clases de sonido y ruido	18
2.5.1	Sonido ambiental	18
2.5.2	Sonido audible	18

2.5.3	Sonido directo	18
2.5.4	Sonido reflejado	18
2.5.5	Sonido residual	18
2.5.6	Ruido aleatorio	19
2.5.7	Ruido ambiental	19
2.5.8	Ruido blanco	19
2.5.9	Ruido de fondo	19
2.5.10	Ruido de impacto	20
3	EFECTOS DEL RUIDO	21
3.1	Efectos de la contaminación acústica en la salud	21
3.2	Tipos de pérdida de la audición por exposición al ruido	23
3.3	Molestias inducidas por el ruido en individuos y comunidades	24
3.4	Rendimiento humano y ruido	25
3.5	Efectos a corto plazo	26
3.5.1	Efectos sobre la actividad muscular	27
3.5.2	Respuestas de la pupila ocular	27
3.5.3	Efectos vestibulares	27
3.5.4	Reacciones bioquímicas y endocrinológicas	28
3.6	Efectos del ruido a largo plazo	28
3.6.1	Homeostasis y estrés	29
3.7	Efectos sobre el suelo	29
3.8	Posibles implicaciones para la salud de la exposición al ruido	30
3.9	Directrices sobre los efectos del ruido	30
4	Generalidades sobre el sistema de gestión ambiental	34
5	Descripción general del campus	37
6	Marco normativo	44
6.1	NTC 3428	44
6.2	NTC 3520	44
6.3	NTC 3521	45
6.4	NTC 3522	45
6.5	Resolución 8321 de 1983 del ministerio de salud	45
6.5.1	Niveles de presión sonora máximos permisibles	45
6.6	Decreto 948 del 5 de junio de 1995 min. Medio ambiente	46
6.7	Comparación con normatividad internacional	47
6.8	Pan de ordenamiento territorial (POT)	48
7	Estudio cualitativo (encuesta)	49

7.1	Técnicas de muestreo	50
7.2	Técnicas de entrevista	52
7.3	Análisis de datos	54
7.4	Identificación de las fuentes generadoras de ruido	59
8	Definición de puntos de muestreo	60
8.1	Metodología	60
9	Obtención de datos	64
9.1	Equipos utilizados	65
9.1.1	Selección del grado de precisión de los sonómetros	65
9.2	Muestreo y monitoreo	65
9.2.1	Selección de la ponderación de frecuencia	65
9.2.1.1	Ponderación A	66
9.2.2	Selección de la ponderación temporal (promedio temporal)	67
9.3	Niveles sonoros y su medida	67
9.4	Datos obtenidos	67
9.5	Creación de curvas isófonas	70
10	Comparación de datos con normas ambientales	72
11	Controles recomendados	77
11.1	Control en la fuente	77
11.2	Control en el medio	81
11.2.1	Perdida por inserción de barrera	82
11.2.2	Barrera artificial	87
11.2.2.1	Consideraciones de diseño estructural	88
11.2.2.2	Consideración de mantenimiento	89
11.2.2.3	Apariencia visual	90
11.2.2.4	Análisis de la barrera artificial	90
11.2.3	Barrera natural arborizada	91
11.2.3.1	Especies recomendadas	91
11.2.3.2	Recomendaciones para plantar las especies expuestas	91
11.2.3.3	Mantenimiento	92
11.2.3.4	Especificaciones para crear una barrera natural	92
11.2.3.5	Análisis económico de la barrera natural arborizada	93
11.2.3.5.1	Costos fijos de siembra	93
11.2.3.5.2	Costo variable de la siembra	94
11.2.3.5.3	Costos de mantenimiento	97
11.2.3.6	Selección de la especie	99

11.2.4	Barrera natural pantalla de tierra	101
11.2.4.1	Análisis económico pantalla de tierra	102
11.2.4.1.1	Costos de construcción de la pantalla de tierra	102
11.2.4.1.2	Costos de mantenimiento	105
11.3	Control cultural	105
11.4	Controles en edificaciones	105
11.4.1	Aislamiento del sonido transmitido por el aire	106
11.4.2	Aislamiento acústico de paneles homogéneos o sólidos	107
11.4.2.1	Paredes huecas	107
11.4.2.2	Profundidad de la cámara de aire y resonancia masa - aire – masa	108
12	Conclusiones y recomendaciones	109
	Bibliografía	
	Anexos	

## LISTA DE TABLAS

		<b>PAG</b>
Tabla 1.	Media de niveles sonoros del habla con ponderación A para distintos esfuerzos vocales	22
Tabla 2.	Niveles sonoros máximos permisibles por zona	47
Tabla 3.	Sitios con mayores niveles de ruido según encuesta	58
Tabla 4.	Datos ponderados obtenidos	68
Tabla 5.	Análisis de datos vs. Cumplimiento norma	73
Tabla 6.	Fuentes de altos niveles de ruido	75
Tabla 7.	Nivel sonoro permitido según tipo de vehículo	78
Tabla 8.	Calculo perdida por inserción de barrera en zona 1	84
Tabla 9.	Eficiencia de la perdida por inserción de barrera en la zona 1	84
Tabla 10.	Calculo perdida por inserción de barrera con altura 2 m en zona 2	85
Tabla 11.	Calculo perdida por inserción de barrera con altura 3 m en zona 2	85
Tabla 12.	Calculo perdida por inserción de barrera con altura 4 m en zona 2	86
Tabla 13.	Calculo perdida por inserción de barrera con altura 5 m en zona 2	86
Tabla 14.	Eficiencia de la perdida por inserción de barrera en la zona 2	87
Tabla 15.	Costos fijos de siembra	94
Tabla 16.	Relación sitios críticos vs. longitud	95
Tabla 17.	Costo variable de las especies para la zona 1	95
Tabla 18.	Costo variable de las especies para la zona 2	96
Tabla 19.	Costo variable de las especies para la zona 3	96
Tabla 20.	Costo variable de las especies para todas las zonas	97
Tabla 21.	Costo de mantenimiento para las especies en la zona 1	97
Tabla 22.	Costo de mantenimiento para las especies en la zona 2	98
Tabla 23.	Costo de mantenimiento para las especies en la zona 3	98
Tabla 24.	Costo de mantenimiento para las especies en todas las zonas	98
Tabla 25.	Comparación de especies	99
Tabla 26.	Costos de la barrera pantalla de tierra en la zona 1	102
Tabla 27.	Costos de la barrera pantalla de tierra en la zona 2	103
Tabla 28.	Costos de la barrera pantalla de tierra en la zona 3	103
Tabla 29.	Costos de la barrera pantalla de tierra en las tres zonas	104

## LISTA DE FIGURAS

		<b>PAG</b>
Figura 1.	Relación entre presión sonora en micropascales y nivel de presión sonora en decibelios	13
Figura 2.	Zonas de aplicación de encuestas	55
Figura 3.	Ocupación de los encuestados	56
Figura 4.	Distancias fundamentales para calcular la perdida por inserción de barrera	83
Figura 5.	Especie seleccionada: Arrayán	101
Figura 6.	Diseño pantalla de tierra	102

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Sistema de gestión ambiental PUJ
- Anexo B. Formato encuesta
- Anexo C. Tabulación datos encuesta
- Anexo D. Cronograma toma de muestras.
- Anexo E. Plano puntos muestreo
- Anexo F. Certificado calibración sonómetro
- Anexo G. Datos obtenidos sonómetro
- Anexo H. Características de las especies seleccionadas
- Anexo I. Materiales utilizados para construcciones