

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**EVALUACIÓN DE IMPACTO SONORO EN LA PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:

**William Baca Berrío  
Saúl Seminario Castro**

**ASESORA: Ing. Victoria Ramírez**

**Lima, Abril del 2012**

## Resumen

El creciente desarrollo económico y demográfico del Perú, experimentado en las últimas décadas, tiene implicancias favorables en aspectos macroeconómicos quedando pendiente la evaluación que estos causan en el ambiente. Es recientemente en los últimos años donde se ha tomado en cuenta esta afectación y se han adoptado diferentes medidas de mitigación.

La presente tesis trata de enfocar uno de los muchos impactos ambientales que se experimenta en la actualidad: La contaminación sonora, y se limitará a analizar los exteriores dentro del campus universitario en la Pontificia Universidad Católica del Perú (P.U.C.P.). La temática que se enfoca consiste en realizar un registro de los niveles de presión sonora en estos lugares mediante el uso de dispositivos de medición acústica (sonómetros); con estos se estiman los niveles de ruido respecto a las recomendaciones propuestas por la Organización Mundial de la salud (OMS) y las indicadas en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (Decreto Supremo N° 85-2003-PCM publicada el 30/10/2003).

Los resultados obtenidos permitirán dar los parámetros necesarios para evaluar el impacto acústico en la P.U.C.P. Para ello previamente se delimitó sectores de medición y se procedió a asociar a cada uno de estos los valores reales medidos in situ. El mapa de ruido resultante con los valores medidos de los diferentes niveles de presión sonora, representado mediante códigos de colores, fue elaborado empleando un software que permite graficar la información recolectada; los resultados obtenidos muestran que la zona perimetral de la P.U.C.P. presenta elevados niveles de presión sonora, el cual afecta inclusive algunos pabellones dentro del campus universitario; por lo que se propuso la utilización de elementos acústicos como medida de mitigación.



## Abstract

The growing economic and demographic development of Peru experienced in recent decades, has favorable macroeconomic implications pending the assessment they cause in the environment. It recently in recent years which has taken account of this involvement and have adopted different mitigation measures.

This thesis seeks to address one of the many environmental impacts that are currently experiencing: Noise pollution, and is limited to analyzing the outside university campus in the Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). The thematic focus is to make a record of sound pressure levels at these locations by using acoustic measurement devices (sound meters), with these we estimate the noise levels on the recommendations proposed by the World Health Organization (WHO) and those indicated in the Rules of National Environmental Quality Standards for Noise (Supreme Decree No. 85-2003-PCM issued on 30.10.2003).

The results obtained allow to get the necessary parameters to evaluate the noise impact for the PUCP. In order to do this previously measuring sectors were delimited, measured results in situ were associated to this zone. The resulting noise map of the sound pressure level distribution are indistinted by colors coding, the levels are plotted by a software that allows you to plot the information collected, the results show that the peripheral zone of the PUCP has high sound pressure levels, which affects even some pavilions inside the university campus, for what is proposed using acoustic elements as a mitigation measure.



## Dedicatorias

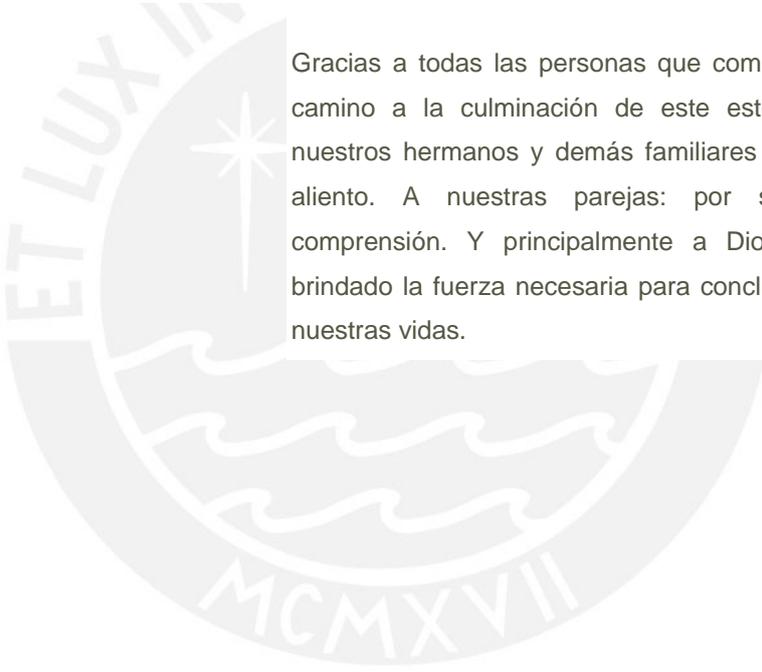
*“A mis padres: Nilda Berrío Córdova y Williams Baca Béjar, por darme las herramientas necesarias para ser un profesional, espero corresponder considerablemente la confianza depositada en mi persona y brindarles los frutos de su enorme esfuerzo”*

**William Baca Berrío**

*“Dedico mi tesis a mis padres y hermanos que siempre estuvieron siempre inculcándome los valores necesarios para culminar mi carrera, a mi esposa que siempre estuvo apoyándome y a Dios por habernos cuidado y otorgarnos esta oportunidad para poder culminar esta etapa satisfactoriamente.”*

**Saúl Seminario Castro**

## Agradecimientos



Gracias a todas las personas que compartieron nuestro camino a la culminación de este este documento. A nuestros hermanos y demás familiares por el constante aliento. A nuestras parejas: por su paciencia y comprensión. Y principalmente a Dios por habernos brindado la fuerza necesaria para concluir esta etapa en nuestras vidas.

## INDICE

<b>Resumen .....</b>	<b>1</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>6</b>
1.1    Título descriptivo del proyecto: .....	6
1.2    Formulación del Problema. ....	6
1.3    Normativa Vigente .....	7
<b>2. MARCO TEORICO.....</b>	<b>10</b>
2.1    Fundamentos teóricos.....	10
2.2    Antecedentes del problema. ....	13
2.3    Estado del Arte .....	14
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>18</b>
3.1    Hipótesis.....	18
3.2    Variables.....	18
3.3    Indicadores y su normativa. ....	19
3.4    Técnicas de Medición.....	24
3.5    Metodología de medición .....	24
3.6    Objetivos:.....	27
<b>4. Evaluación de Impacto Producido por ruido .....</b>	<b>28</b>
4.1    El mapa de ruidos.....	28
<b>5. Discusion de resultados.....</b>	<b>38</b>
5.1    Percepción:.....	46
5.2    Medidas de Mitigación:.....	50
5.3    Análisis de Costos .....	67
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>7. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>73</b>

## 1. INTRODUCCION.

### 1.1 Título descriptivo del proyecto:

**EVALUACIÓN DE IMPACTO SONORO EN LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.**

### 1.2 Formulación del Problema.

Las actividades que se realizan en el campus universitario suponen una alteración del ambiente, al generar diferentes impactos en la población universitaria. Al respecto, debe considerarse que *“Durante las últimas décadas, la humanidad ha experimentado que el aumento considerable en la producción, en el consumo de objetos y productos, en particular de residuos, constituyen una grave amenaza al equilibrio ecológico del ambiente. El ruido es alguno de esos residuos que, por suerte desaparece en el mismo momento en que se suprime su emisión. Éste carácter lo distingue de otros desechos, como son los productos químicos o los residuos radioactivos, que pueden subsistir durante años, o tal vez siglos, luego que su producción ha cesado”* (Nicola, M. , Ruani, A, 2000).

Lima no escapa a esta coyuntura, el incremento de las actividades humanas asociadas al progreso trajo consigo un aumento considerable y una redistribución de los niveles de ruido urbano. El ruido es parte importante del ambiente pues ejerce una acción importante sobre los seres vivos, constituyendo un peligro directo a las personas, porque sus efectos pueden ser irremediables.

La presente tesis pone de manifiesto cuál es la situación actual de la Pontificia Universidad Católica del Perú (P.U.C.P), los posibles efectos en la población universitaria y las medidas de mitigación que se podrían considerar. Para analizar todos estos aspectos, en la presente tesis se ha planteado registrar los niveles de presión sonora en el campus universitario con lo cual se elaboró un mapa de ruidos; con esto se contrastarán los valores respecto a diferentes estándares internacionales, así como con otros tipos de evaluación que serán detallados en los siguientes capítulos, de tal forma que se pueda brindar una información más detallada del tema de estudio.

### 1.3 Normativa Vigente

Todo mecanismo de control hace referencia a una norma o código, el cual plantea lineamientos a seguir. Los niveles máximos permisibles de ruido en un determinado lugar tendrán distintos valores en función del código empleado. Es por ello que en la tesis presentada se hace referencia a la Norma Local y a ciertos estándares internacionales, como se detallará líneas abajo.

Diversos especialistas señalan que *“Los niveles de ruido producidos en las actividades cotidianas, son un factor influyente en el medio ya que puede llegar a alterar la normal convivencia social, lo que origina la necesidad imperiosa de establecer parámetros reguladores. Hoy en día constituye una preocupación la contaminación sonora y protección de las personas expuestas a sus efectos; profesionales dedicados a la seguridad laboral, higiene industrial, medicina laboral y otras especialidades afines, han realizado estudios donde evalúan las intensidades de los ruidos, riesgos y repercusión auditiva”* (Londoño JL, Restrepo H, Corrales AM, Mendoza F, Ortíz J, 1997).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que en el ambiente laboral no existe riesgo evidente de pérdidas auditivas para una exposición en que los niveles sonoros equivalentes se mantengan por debajo de los 75 dB con ponderación “A” para una jornada laboral de 8 horas. Además señala que la American National Standards Institute establece dicho límite a 80 dB con ponderación “A”. No obstante a las consideraciones hechas por éstos autores, está vigente el riesgo de padecer otros efectos perjudiciales por exposición al ruido industrial y ambiental, incluso para niveles inferiores a los antes citados (García, A, 2001).

En el Reglamento de Estándares Nacionales de calidad Ambiental para ruido DS N° 085-2003-PCM, en su capítulo 1, artículo 4 que corresponde a los Estándares Primarios de Calidad Ambiental (ECA), donde se establece que los niveles máximos de ruido, en el ambiente, no deben excederse para proteger la salud humana. Dichos ECA's consideran como parámetro el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación A ( $L_{Aeq,T}$ ) y toman en cuenta las zonas de aplicación y horarios, que se establecen en el Anexo N° 1 de la citada norma.

Asimismo la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI en su norma **NTP-ISO 1996-1:2007 (ACÚSTICA. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Índices básicos y procedimiento de evaluación)** define los índices básicos a ser utilizados para describir el ruido en los ambientes comunitarios y describe los procedimientos de evaluación básicos. También especifica los métodos para evaluar el ruido ambiental y proporciona orientación en la predicción. Esta comisión en su norma **NTP ISO 1996-2 2008 (ACÚSTICA. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental. 1a Edición)** describe cómo los niveles de presión sonora pueden ser determinados. Esta parte de la NTP/ISO 1996 puede ser usada para medir con cualquier ponderación en frecuencia o en cualquier banda de frecuencia.

Cabe resaltar que en el Reglamento de Estandares Nacionales de calidad Ambiental para ruido DS N° 085-2003-PCM no se contempla de manera significativa las implicancias de las vibraciones en las edificaciones. En INDECOPI solo se puede encontrar la **UNE-CEN/TR 15172-2:2010 IN** que son directrices para la reducción de los riesgos por vibraciones y medidas de gestión en el lugar de trabajo. El estudio de las vibraciones son un factor importante porque puede causar trastornos en la salud de las personas o en un grado mayor algún tipo de impacto en el sistema estructural. Este aspecto no ha sido considerado como parte del presente estudio dejando la posibilidad de ser complementado en posteriores investigaciones.



## 2. MARCO TEORICO.

### 2.1 Fundamentos teóricos.

#### A. Acústica:

La Acústica estudia el sonido; el sonido se produce cuando en un medio elástico y denso (puede ser gaseoso, líquido o sólido) se propaga una perturbación que origina variaciones de presión o desplazamiento de las partículas del medio (Presión sonora), las cuales pueden ser detectadas por instrumentos de medición acústica así como por el nervio auditivo, experimentándose la sensación de sonido. La perturbación que origina el sonido se denomina onda y se propaga transportando energía mas no materia, para mayor detalle ver los anexos. El oído humano es capaz de percibir niveles de presión sonora muy amplios que van del orden de  $20 \mu\text{Pa}$  ( $2 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ , a esta pequeñísima presión sonora se la denomina “umbral de audición”) hasta los  $20 \text{ Pa}$  (Umbral del dolor). Este es un amplio rango de valores por lo que es conveniente usar una escala logarítmica.

#### B. Decibel (dB):

El decibel (dB) es la razón de energía, potencia o intensidad definida por:

$$\text{Log}(R) = \frac{1}{10} \quad (2.1)$$

Para expresar una relación en decibeles (dB) de energía, potencia o intensidad, se debe escoger un valor de referencia y luego aplicar la definición.

$$\text{Nivel en dB} = 10 \log \left( \frac{\text{Cantidad}}{\text{Cantidad de referencia}} \right) \quad (2.2)$$

La potencia acústica se define como:

$$L_w = 10 \log \left( \frac{W}{W_{\text{ref}}} \right) \quad (2.3)$$

Siendo  $W_{\text{ref}} = 10^{-12}$  watts

#### B. Nivel de Presión sonora ( $L_p$ )

La relación entre la máxima y la mínima presión sonora que el oído puede percibir, es de 1'000000 de veces. (20 Pascal/2 x 10<sup>-6</sup>Pascal) es por ello que resulta conveniente emplear la escala logarítmica pues permite no manejar números muy pequeños o excesivamente grandes.

$$\text{Nivel de presión sonora } (L_p) \text{ [en dB]} = 10 \log \frac{P_{\text{rms}}^2}{P_0^2} \quad (2.4)$$

Donde la presión de referencia ( $P_0$ ) es 20  $\mu$ Pa,  $P_{\text{rms}}$  es la presión sonora.

#### C. Parámetros usados en la evaluación de Ruido

##### Ponderación A :

Es un filtro electrónico incluido en el sonómetro que corresponde aproximadamente en la curva de 40 fones invertida del conjunto de curvas de igual sonoridad. Las ponderaciones normadas en frecuencia son la ponderación A y C como lo especifica la IEC61672-1 recogida en la NTP-ISO 1996-1:2007. Cuando tal ponderación es usado, el nivel de presión sonora se denota por  $L_{pA}$  y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Nivel de presión sonora con ponderación A } (L_{pA}) \text{ [en dB]} = 10 \log \frac{P_A^2}{P_0^2} \quad (2.4)$$

Donde la presión de referencia ( $P_0$ ) es  $20 \mu\text{Pa}$ ,  $P_A$  es la presión sonora con ponderación A.

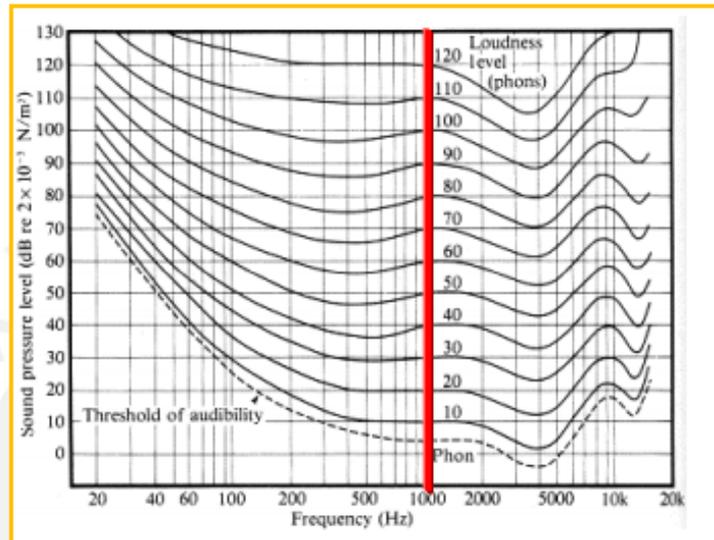


Fig. 2.1 Curvas Isofónicas  
Fuente: Artículos de Niveles sonoros  
Disponible en : <http://www.fceia.unr.edu.ar>  
Elaboracion: Federico Miyara

### Nivel de presión sonora continuo equivalente ( $L_{eq,T}$ ):

Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el cuadrado de la presión sonora cuadrática media durante un intervalo de tiempo determinado y la presión sonora de referencia, donde la presión sonora se obtiene con una ponderación en frecuencia normalizada.

El nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A es:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_T P_A^2(t) / P_0^2 dt \right] \text{ en dB} \quad (2.3)$$

Donde :

$P_A(t)$  es la presión sonora instantánea ponderada A, a lo largo del tiempo variable t.

$P_0$  es la presión sonora referencial (igual a  $20 \mu\text{Pa}$ )

## 2.2 Antecedentes del problema.

La contaminación acústica es considerada por la mayoría de la población de las grandes ciudades como un factor ambiental muy importante, que incide de forma principal en su calidad de vida. La contaminación ambiental urbana o ruido ambiental es una consecuencia directa no deseada de las propias actividades que se desarrollan en estas urbes.

El término contaminación acústica hace referencia al ruido cuando éste se considera como un contaminante, es decir, un sonido molesto que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos nocivos para una persona o grupo de personas. La causa principal de la contaminación acústica es la actividad humana; el transporte, la construcción de edificios y obras públicas, la industria, entre otras.

Los efectos producidos por el ruido pueden ser fisiológicos, como la pérdida de audición, y psicológicos, como la irritabilidad exagerada. Un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), considera los 50 dB como el límite superior deseable (Flores-Domínguez, E, 2005).

Por definición, el ruido es un sonido no deseado. Puede definirse también como el sonido, generalmente de naturaleza aleatoria, cuyo espectro no exhibe componentes de frecuencias diferenciables. Para comprender mejor el significado del concepto ruido se consideró los aportes de las distintas disciplinas, una de ellas es la Ciencia de la Comunicación que agrupa bajo el nombre de ruido a todas las molestias y obstáculos a la comunicación de origen exterior (ruido de fondo, interferencias, etc.). (Rondal, J, 1991).

Si consideramos al ruido como integrante de la problemática ambiental sus características pueden causar daños o molestias a las personas. Los sonidos están relacionados con toda actividad humana. No todos son molestos o perjudiciales, sin embargo, la sumatoria de todos ellos si puede serlo. En las ciudades el mayor aporte corresponde a “fuentes móviles”, es decir, los autos, ómnibus, motos, camiones, etc. Esto es lo que se define como **Ruido Urbano**. (Fgas N, y Ruani, A , 2000).

La contaminación acústica perturba las distintas actividades comunitarias, interfiriendo la comunicación hablada, base de la convivencia humana, perturbando el sueño, el descanso y la relajación, impidiendo la concentración y el aprendizaje, y lo que es más grave, creando estados de cansancio y tensión que pueden degenerar en enfermedades de tipo nervioso y cardiovascular.

A partir del siglo pasado, como consecuencia de la Revolución Industrial, del desarrollo de nuevos medios de transporte y del crecimiento de las ciudades comienza a aparecer realmente el problema de la contaminación acústica urbana (Flores-Domínguez, E , 2005). Las causas fundamentales son, entre otras, el aumento significativo del parque automovilístico en los últimos años y el hecho particular de que las ciudades no habían sido concebidas para soportar los medios de transporte, con calles angostas y firmes poco adecuados.

Además de estas fuentes de ruido, en las ciudades aparece una gran variedad de otras fuentes sonoras, como son las actividades industriales, las obras públicas, las de construcción, los servicios de limpieza y recojo de basuras, sirenas y alarmas, así como las actividades lúdicas y recreativas, entre otras, que en su conjunto llegan a originar lo que se conoce como contaminación acústica urbana.

### 2.3 Estado del Arte

El estado del arte es indicar cuánto se ha avanzado el proceso de investigación en nuestro campo y compararlo con otros similares en condiciones muy parecidas, donde se usen las mismas herramientas o que determinen niveles comparables al nuestro.

El estado del arte se construye desde las bases de datos, a partir de un marco conceptual. “El estado del arte es la traducción literal de “state of the art”, (Luis A. Ortiz López, M , 2005) ante esto lo adecuado es referirse a estado de la cuestión o fundamentación teórica. Estos términos hacen referencia a la recopilación crítica de las investigaciones fundamentales existentes en torno a una temática o disciplina. El objetivo de la

fundamentación teórica es describir el nivel de desarrollo que se ha alcanzado hasta la actualidad.

### **Calidad Sonora (Sound Quality- SQ)**

“Existen algunos temas relacionados al ruido como son los criterios de calidad asociado al confort” (Mondelo,P,2001), El confort es una función dinámica multidimensional de varias variables independientes, el cual no es único, sino que es afectado por percepciones, puntos de vista y costumbres subjetivas.

Muchos factores entran en juego en el proceso de evaluación de la calidad de sonido. Tradicionales métodos objetivos de medición y análisis, como el análisis ponderado de presión sonora entre otros, no son suficientes para analizar el sonido del producto. Expectativas de los clientes y las pruebas del jurado son también factores importantes para determinar la calidad de sonido aceptable, ya que, al final, sólo el oído humano puede decirle al diseñador si el producto tiene el sonido correcto (Bksv, 2011). En el plano meramente constructivo, los protocolos de calidad acústicos no son del todo aplicados durante la ejecución de numerosas edificaciones realizadas en nuestra capital, pues no hay una norma que obligue la ejecución de estos, salvo obras de gran envergadura como hospitales o talleres especializados.

El término Sound Quality (SQ) de un producto es de creciente importancia en la evaluación de la calidad total de cualquier producto. Estos conceptos son aplicados desde automóviles hasta las herramientas de mano, en los cuales no sólo el nivel, sino también la calidad del ruido que hace en parte lo que atrae o repele al cliente, por esto se deduce que el sonido adecuado puede llevar a aumentar las ventas.

Trabajar con SQ es el resultado de un proceso iterativo a veces se empieza con prototipos de un producto el cual tiene que ser optimizado para que tenga un SQ aceptable. Generalmente se hacen grabaciones de los distintos productos y el jurado puede ser desde los mismos consumidores hasta

especialistas en los productos, luego de esto se llega a la conclusión de que producto obtiene mejor performance en la prueba de Sound Quality.

Primero:

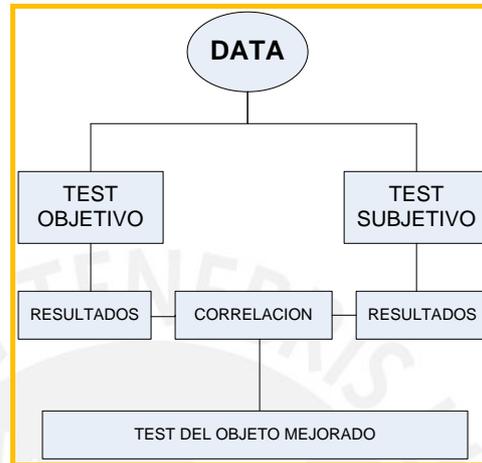


Fig. 2.2 Test Objetivo vs Test Subjetivo  
Fuente: <http://www.Bksv.com>  
Elaboracion:Propia

Después:

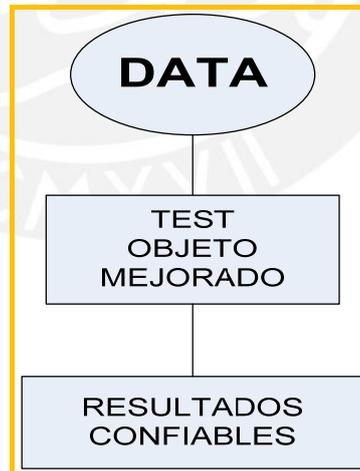


Fig. 2.3 Test objeto en Data  
Fuente: <http://www.Bksv.com>  
Elaboracion:Propia

Sound Quality es un muy importante parámetro para los productos y está sujeto también al Control de calidad de los mismos. La optimización del Sound Quality requiere de grabación de sonido preciso y de evaluación subjetiva fiable. Existen herramientas eficaces disponibles para editar muestras de sonido que simulan el efecto de las mejoras; mediciones más precisas ayudan a disminuir el tiempo del proceso de diseño sonoro.

Actualmente se cuenta con una gama completa de herramientas para la solución de problemas y la ingeniería necesaria para aplicar la calidad de sonido deseada. SQ como parámetro del producto es más desarrollado en USA, Europa y Japón que en otras ciudades y es esperado para crecer rápidamente puesto que los productos podrían volverse no vendibles a menos que los parámetros de SQ sean atendidos.

Como producto sonoro esta directamente comunicándose con los sentidos de los usuarios, el conocimiento de cómo percibimos el sonido ha crecido en interés, esta disciplina se llama Psico acústica y es importante en dar las pautas para el diseño y desarrollo de la ingeniería.

### 3. METODOLOGIA.

#### 3.1 Hipótesis.

##### **Hipótesis de primer grado:**

Los niveles sonoros producidos por fuentes móviles pueden interferir en las actividades de comunicación y concentración; el porcentaje de personas afectadas para tal situación es mayor en las cercanías de las avenidas principales que en las zonas interiores del campus universitario.

##### **Hipótesis de segundo grado:**

Los Impactos acústicos en los exteriores dentro del campus universitario no han sido ponderados y son recogidos en los mapas de ruido.

#### 3.2 Variables

##### A. Variable independiente

Ruido urbano

Tiempo de exposición.

## B. Variable dependiente

Permanencia (Tiempo al que la persona se expone a la fuente sonora)

Grado de molestia (Nada, muy poco, regular y bastante).

Lugar según el ruido (silencioso, poco ruidosos, ruidoso, muy ruidoso)

Nivel de concentración (Nada, muy poco, regular y bastante).

### 3.3 Indicadores y su normativa.

Existen diversos tipos de sonómetros los cuales deben verificar las siguientes normas:

1. IEC 61672
2. Normas ISO 1996

Los sonómetros son de 2 Clases:

#### 1. **Sonómetros generales:**

Muestran el nivel de presión sonora instantáneo en decibeles (dB), lo que normalmente se conoce como presión sonora ( $L_p$ ). Estos instrumentos son útiles para monitorear el ambiente sonoro, y poder ahorrar tiempo reservando los sonómetros de gamas superiores para las medidas que necesiten mayor precisión.

#### 2. **Sonómetros integradores-promediadores:**

Estos sonómetros tienen la capacidad de poder calcular el nivel de presión sonora continuo equivalente  $Leq,t$ . Algunos incorporan funciones para la transmisión de datos, cálculo de percentiles, y algunos análisis en frecuencia. A su vez los sonómetros pueden dividirse en dos clases: De acuerdo con el estándar internacional IEC 651, reformado por la IEC 61672, en el 2003 con la actual norma IEC 61672 Parte 1 (especificaciones) y Parte 2 (evaluación del modelo), después de lo cual se añadió la parte 3 (pruebas periódicas), en 2006. Esta norma sustituyó a la original de cuatro clases de sonómetros tan sólo dos: Clase 1 y Clase 2, el primero más preciso (tolerancias más pequeñas) y el otro menos preciso.

De la misma forma los calibradores se dividen en los mismos tipos dependiendo de su nivel de precisión y su capacidad de mantener un nivel

estable, de forma que las medidas hechas con el sonómetro no queden desvirtuadas por unacalibración imprecisa. En conclusión los tipos o clases de sonómetros son una especificación de precisión, regulados por los estándares internacionales IEC. Básicamente y a grandes rasgos, el tipo 1 significa una precisión de aproximadamente de  $\pm 1\text{dB}$  y el Tipo 2 significa una precisión de aproximadamente  $\pm 2\text{dB}$ .

**Para la calibración los sonómetros deben cumplir las siguientes normas:**

1. IEC 61672 (UNE-EN 61672).

Asimismo en el Perú los sonómetros deben cumplir de manera obligatoria la norma NMP 011 de INDECOPI la cual describe los procedimientos para los ensayos periódicos de sonómetros convencionales, sonómetros integradores-promediadores y sonómetros integradores que cumplen con los requisitos de la clase 1 y la clase 2 de IEC 61672-1:2002. El objetivo de esta norma es asegurar que los ensayos sean realizados de manera coherente por todos los laboratorios de ensayos.

**Para el caso particular de la tesis se utilizaron instrumentos adquiridos por la facultad de Ingeniería. El sonómetro empleado en la medición de los cuadrantes seleccionados fue el medidor digital de nivel de sonido Modelo 407736 de la marca EXTECHinstruments; el cual esta de acuerdo a la norma IEC 651y no a la IEC 61672 como sería lo recomendable, pero no es un factor que quite validez a los resultados obtenidos.**



Fig 3.1 Sonómetro Modelo 407736  
Fuente: EXTECH Instruments  
Disponible en: <http://extech.com>

En esta tesis se utilizó el nivel de presión sonora con ponderación A ( $L_{pA}$ ) en dB. Asimismo en función de su orden de precisión de  $\pm 2$  dB, el sonómetro es uno de tipo 2 y las mediciones fueron puntuales y no de larga duración, por lo que las medidas se realizaron durante 10 minutos por toma buscando una lectura estable en ese tiempo de medición.

#### Equipamiento adicional:

Existen diversos equipos que complementan al sonómetro, como es el caso de analizadores de frecuencia en tiempo real, analizadores de ruido, calibradores, etc (Para mayor detalle ver anexos). **Para el caso particular de la investigación no se empleó calibradores acústicos, por lo que los resultados de las lecturas tendrán solamente la precisión electrónica mas no acústica.**

#### Normativa considerada para toma de medidas y calibración de equipos:

Las distintas normas son aplicadas para las evaluaciones de ruido ambiental, la que se tomó en consideración para las mediciones fue la dictada en el **Decreto Supremo N°085-2003-PCM**, Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. Esta se basa a su vez en normativas internacionales como las mencionadas en la siguiente lista, para tener mayor alcance ver anexos:

1. **NTP - ISO 1996** Sobre descripción y medida de ruido ambiental.

NTP ISO 1996-1-2007: Explica magnitudes y procedimientos fundamentales, tiempos de medida, ruidos, etc. Asimismo sobre la instrumentación y calibración, posiciones en función del objetivo y del entorno, efectos de las condiciones meteorológicas, procedimientos recomendados para determinar LAeq,T y como se registra la información (técnica de medida, datos cualitativos, etc.).

NTP ISO 1996-2 - 2008: Explica la adquisición de datos relativos al uso del suelo, datos acústicos, ajustes meteorológicos, nivel sonoro promediado sobre largos periodos temporales, nivel de determinación (correc. en tonos e impulsiv.) sobre largos periodos temporales, determinación del nivel sonoro promedio y nivel de determinación sobre largos periodos temporales, predicción niveles sonoros así como la representación de resultados de la zona de ruido.

La cual se basa en las siguientes mencionadas:

1.1. **IEC 61672**. (Electroacustics – sound level meters -part 1: specifications) Norma que sustituye a la IEC 651 e IEC 804. Norma internacional de sonómetros aceptada por la mayoría de países del mundo (a excepción de EEUU donde usan la norma ANSI). Sus especificaciones son más rigurosas: ( Desaparece el sonómetro Tipo 3, mejora las pruebas y calidad de los instrumentos, Nueva terminología, los nuevos instrumentos se referirán a esta norma y mejora la precisión ).

1.2. **IEC 60942**. (Electroacustics – sound calibrations) Especifica los requisitos de rendimiento para las tres clases de calibrador de sonido: estándar de laboratorio (de clase LS), clase 1 y clase 2. Los límites de tolerancia son los más pequeños de la clase LS y mayor para los instrumentos de clase 2.

1.3. **IEC 61260.** (Electroacustics – Octave Band and fractional – octave band filters) Proporciona los requisitos de rendimiento y métodos para probar el rendimiento analógico de la muestra de datos e implementaciones digitales de filtros de banda que conforman un conjunto de filtros o analizador de espectro. Esta publicación sustituye a la norma IEC 60225.

#### **Selección del punto de medición**

Las mediciones realizadas en la presente tesis se realizaron en espacios abiertos, fuera de las aulas de las distintas facultades. El micrófono se situó lo más cercano del punto central en el cuadrante de medición y en los vértices del mismo, esto resulto complicado en algunos puntos del campus universitario por las diversas estructuras que se encontraban en el ambiente de estudio, lo cual puede causar efecto de apantallamiento en ciertas lecturas (Este aspecto no se considero en las mediciones registradas porque implica otro tipo de lecturas y mediciones).

**Debido a una ausencia de calibradores acústicos en la toma de datos solo se calibró digitalmente el sonómetro en un ambiente cerrado;** la estabilidad de los parámetros del sonómetro varían de acuerdo a las condiciones de uso y almacenamiento del mismo. El calibrador acústico utiliza una frecuencia y un nivel sonoro para calibrar al sonómetro y es necesario calibrar el sonómetro para asegurarnos de que el nivel entregado por éste realmente representa a la fuente sonora que se está midiendo y no sólo un ruido filtrado. **Es por ello que los datos obtenidos en la presente Tesis solo podrán dar un alcance del real impacto que se presenta en el campus universitario.**

#### **Medición de los diferentes tipos de ruidos**

De acuerdo al tipo de nivel de presión se puede dar ruidos estacionarios, no estacionarios e impulsivos (para mayor detalle ver anexos). El caso particular del estudio corresponden a ruidos no estacionarios. Este tipo de ruido presenta cambios de nivel a lo largo del tiempo.

Para la toma de medida de los puntos de interés se realizó cinco mediciones del nivel de presión sonora continuo de 10 minutos para cada uno de los 5 puntos referenciales por cuadrantes de medición, tiempo en el que se observaba un patrón regular en la medición, luego de esto se dirigía al siguiente punto para volver a realizar la medición.

### 3.4 Técnicas de Medición:

Para el presente trabajo se empleó el método de inspección (noise survey) donde solamente es necesario emplear un sonómetro convencional, (Para mayor detalle ver anexos). Asimismo para la medición del nivel de presión sonora se empleó el método de la retícula; el cual consiste en localizar puntos equivalentes en la planta del ambiente y en cada uno de ellos tomar la presión sonora y mediante interpolación se muestran los puntos de contorno que se desea trazar de modo que el contorno se trace lo más suave posible.

### 3.5 Metodología de medición:

Para cada punto de medición ubicado en el cuadrante seleccionado se respetó el siguiente procedimiento:

#### A. Antes de la medición:

1. Encender el sonómetro.
2. Esperar aproximadamente 2 minutos.
3. Calibración digital del equipo: El equipo empleado posee un potenciómetro para la calibración localizado en el panel frontal bajo el interruptor FUNCT. Se desplaza el interruptor FUNCT hacia la posición CAL 94dB y ajuste el tornillo con una pequeña herramienta para ajustar a una lectura exacta de 94dB.
4. Si el desvío es mayor a  $\pm 1$ dB no se considerará válido, para efectuar la medición, el sonómetro. Se deberá utilizar otro instrumento.
5. Verificar el valor del (posible) desvío.

6. Asentar el valor en la planilla de Reporte de Medición.
7. Apagar y retirar el calibrador.
8. Configurar el sistema en función del tipo de lectura que se requiera realizar. En el caso particular de la tesis se necesitaba el  $L_{AP}$  en dB por lo que se eligió la ponderación A entre las dos opciones que tiene el sonómetro (Compensación «A» y «C»). Se seleccionó la compensación «A» a través del interruptor FUNCT. La compensación «A» permite que el medidor responda como el oído humano con respecto a la respuesta de sonido (el oído humano aumenta y corta amplitud a través del espectro de sonido por lo que no responde en «plano»).



Fig 3.2 Botones de configuración de Sonómetro Modelo 407735  
Fuente: EXTECH Instruments  
Disponible en: <http://extech.com>

Luego se configura el tiempo de respuesta RÁPIDO/LENTO.

El modo de medición FAST tiene una respuesta en 125msec y SLOW una respuesta en 1 segundo, se eligió el modo lento. En la opción Range se puede ver los niveles de energía HI o Lo, asimismo la opción MAX HOLD permite actualizar el LCD cuando se detecta una lectura más alta que la que está en pantalla (Selecione MAX HOLD usando el interruptor RESPONSE. La LCD reflejará la función MAX HOLD. Presione la tecla RESET para reajustar la lectura MAX HOLD).

## B. Durante la medición:

Las mediciones se realizaron siempre en ambientes exteriores a 1.5 m sobre el nivel del suelo, por lo que se tuvo que emplear en todo momento el protector anti-viento, asimismo hay que tener en cuenta que no es recomendable realizar las mediciones de ruido con viento fuerte (No exceder los 5 m/s) porque los valores que indica el instrumento tienden a fluctuar y no permite tener una lectura clara.

También hay que considerar que no se debe realizar las mediciones en condiciones de lluvia o humedad extrema, por la sensibilidad del equipo. **Una vez elegido el punto a medir se debe tener en cuenta medir a una distancia prudente de las fachadas de los pabellones (a 2m mínimo para evitar el efecto pantalla).**

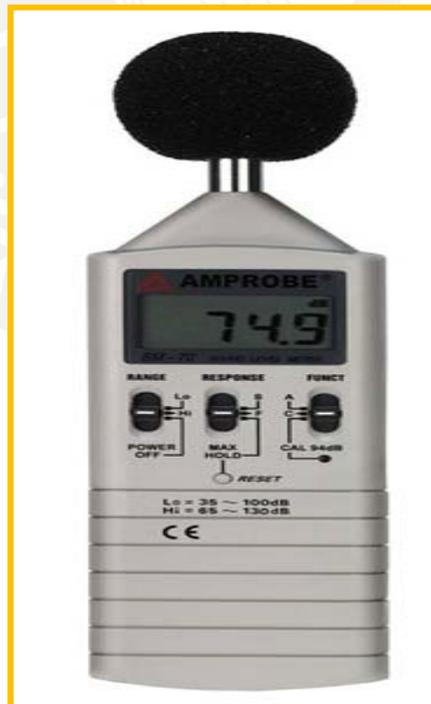


Fig 3.2 Sonómetro con pantalla antiviento  
Fuente: Acoustics Instruments

### 3.6 Objetivos:

El objetivo de esta tesis es analizar los niveles de ruido en el campus universitario y plasmarlos en un Mapa de ruidos.

#### A. Objetivos específicos.

1. Identificar las fuentes generadoras de ruidos y determinar sus niveles de emisión sonora.
2. Comparar los niveles sonoros con los valores límites establecidos en las regulaciones u ordenanzas correspondientes.
3. Confeccionar un mapa general del campus con los distintos niveles de ruido (Mapa de ruidos), para elaborar una zonificación acústica que permita evaluar estos niveles en función del uso de cada zona: orígenes, causas y tendencias futuras.
4. Proponer planes de manejo ambiental tendientes a minimizar los efectos negativos de la contaminación sonora, dejando las bases para la posible implementación de un sistema de gestión ambiental (SGA) incorporando el registro de la contaminación acústica por ruidos. Proveer así el marco para establecer y revisar los objetivos y las metas ambientales en la PUCP.

#### 4. Evaluación de Impacto Producido por ruido

La presente tesis busca brindar un alcance de la distribución de los niveles de presión sonora del campus de la P.U.C.P, debido a las fuentes de ruido identificadas las cuales inciden en las distintas áreas del campus. Esto se realizará mediante el procesamiento de la información recolectada en campo con los sonómetros, a fin de poder determinar que sectores del campus universitario presentan los mayores impactos sonoros.

##### 4.1 El mapa de ruidos

Un mapa de ruido permite evaluar de forma global la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes. También puede ser empleado para predecir el comportamiento de una zona analizada.

En los mapas de ruido se representan las **bandas de presión constante a intervalos de 5 dBA** debido a las distintas fuentes; en el presente trabajo los mapas de ruido se han realizado con datos medidos en campo pero otra alternativa podría ser generar valores en función de las tendencias producidas. Cabe resaltar que en la presente tesis **las mediciones fueron**

**realizados en ambientes externos** por lo que la presentación del mapa de ruidos no considera valores en el interior de las edificaciones del campus.

Para la elaboración de los mapas de ruido primero se midieron los valores de presión sonora medidos en decibeles dividiendo el campus universitario en cuadrantes de 50 x 50 m, éstos cuadrantes se pueden observar en la siguiente figura:



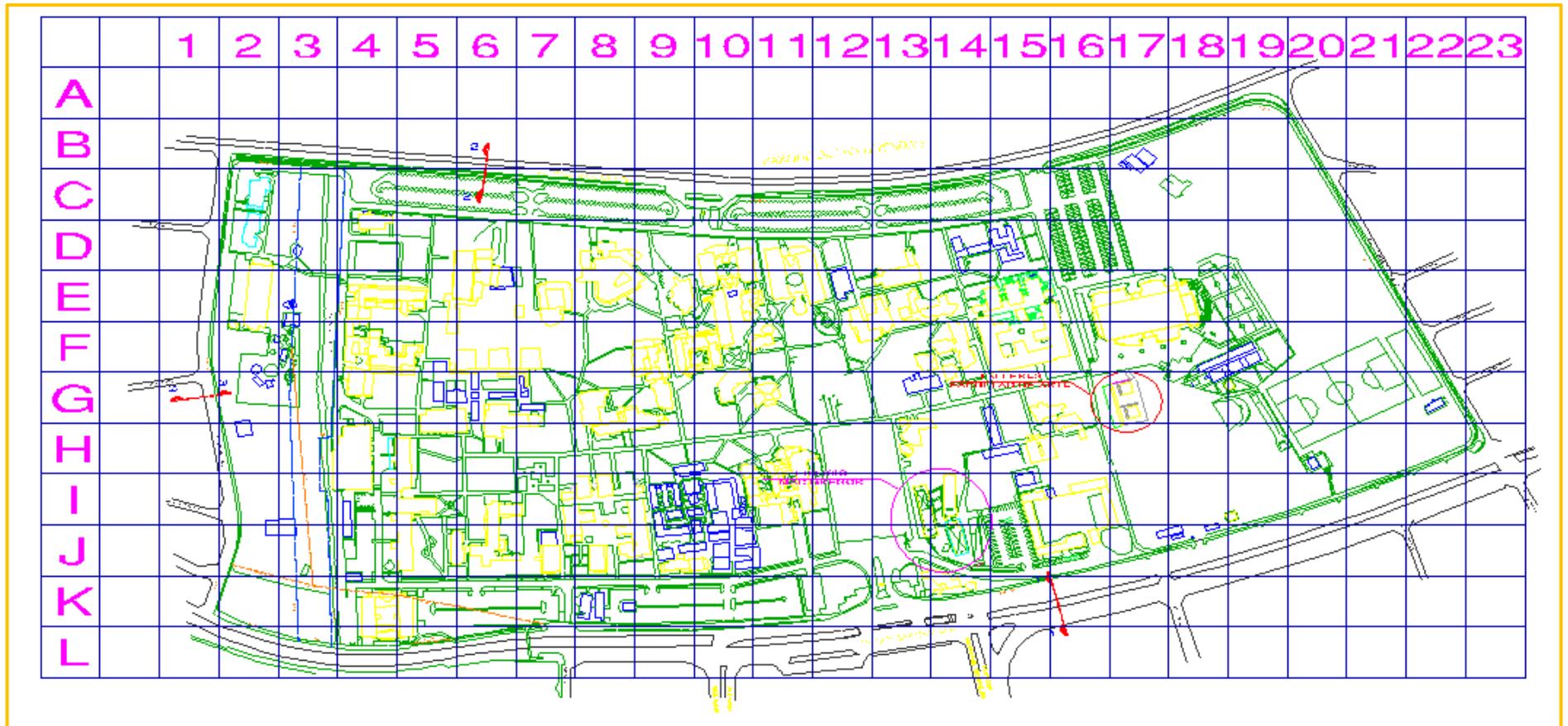


Fig 4.1 División por cuadrantes del campus universitario de la P.U.C.P  
Fuente: Elaboración propia

Siguiendo la referencia de la cuadrícula en la fig 4.1 se realizaron mediciones en cada cuadrante considerando 5 valores medidos en cada uno (uno central y los otros en los vértices); las mediciones se llevaron a cabo los días de mayor actividad en la semana (del Lunes al viernes) llegando a tener un espacio muestral de tres semanas medidas (Estas se denominaron Toma 1, 2 y 3, para cada semana respectivamente). Los 5 días de medición por cada toma (L a V) tienen datos medidos en la mañana (8 a 12 am) y en la tarde (2 a 7 pm) como se aprecia en la siguiente tabla correspondiente a la Toma 1, de igual manera se realizó para las tomas 2 y 3.

TOMA 1									
LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES	
MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE

Tabla 4.1 Distribución de tomas de medición  
Fuente: Elaboración Propia

Se tomaron 3 tomas y se verificó el comportamiento de las bandas de presión constante a intervalos de 5 dBA que se tendrían al procesar dicha información; para ello como primera etapa los datos medidos en campo se analizaron en el software microsoft excel, donde también se incluyeron mediante interpolación valores entre puntos para poder mejorar la resolución del mapa de ruidos.

Es así como se llegó a establecer el primer esbozo de mapa de ruidos como se aprecia en las siguientes tablas, los colores que se observan en la tabla 4.2 y 4.3 están acorde a la gama ISO 1996-2 del año 1987 de la tabla 4.4, y son los mismos empleados para la elaboración final del mapa de ruidos.

TOMA 1 -LUNES MAÑANA																																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23																						
A																																													
B																50.45	49.83	50.92	52.66	53.34	52.92	52.47	51.68	50.59	50.38	51.34																			
C	61.86	61.82	61.79	61.57	61.58	61.35	61.10	60.95	61.36	63.28	66.60	68.20	67.14	64.50	63.39	64.61	67.09	68.50	68.03	64.37	59.85	55.39	52.31	51.29	51.41	51.21	49.99	48.51	48.25	48.43	48.26	48.05	48.13	48.46	49.05	49.32	48.74	48.11	48.26	48.83	48.89				
D	60.50	61.80	59.97	61.34	59.83	61.37	59.09	60.39	58.89	61.89	63.37	70.86	65.22	62.98	62.91	63.35	65.87	70.39	66.65	65.23	58.21	54.02	50.86	50.15	50.08	52.23	49.21	47.30	47.77	49.10	45.45	42.11	43.73	43.72	45.69	47.54	46.64	46.23	47.23	49.35	48.68				
E	57.83	57.27	54.93	56.66	55.03	56.16	53.51	54.53	51.94	54.89	54.14	60.40	59.90	61.98	61.93	62.17	62.63	65.12	62.96	60.84	53.73	50.19	46.97	47.88	46.52	47.80	47.32	47.64	46.42	45.30	42.34	41.69	40.98	41.94	42.43	44.57	44.06	44.81	45.06	47.11	47.79				
F	56.51	54.52	55.25	55.34	55.66	54.72	54.34	52.29	52.12	51.58	53.67	56.69	58.76	63.10	60.78	60.76	61.71	64.50	62.27	61.42	53.38	46.05	46.65	47.89	46.50	45.14	48.24	49.50	47.18	43.34	42.32	41.33	41.26	40.63	42.59	44.23	44.34	43.89	45.38	46.23	46.62				
G	57.17	56.67	56.23	56.35	57.55	58.24	56.85	54.59	52.67	51.69	52.28	53.73	55.37	56.72	57.33	57.85	58.94	59.94	60.21	58.19	52.32	46.77	45.68	46.48	46.45	47.39	50.99	53.07	49.45	44.42	42.28	41.88	42.08	42.57	43.05	43.81	45.17	46.29	46.33	45.96	45.83				
H	58.05	58.75	57.28	56.29	59.15	63.84	58.95	56.54	53.19	50.25	51.17	50.60	52.38	51.07	54.31	54.38	56.93	56.11	58.67	58.80	51.53	43.02	44.66	45.78	46.33	46.98	53.27	62.33	51.25	42.63	42.28	41.82	42.57	44.54	43.33	42.80	45.64	49.78	46.75	45.43	45.49				
I	58.23	58.38	57.85	57.67	58.91	59.79	58.56	56.11	53.30	51.37	51.54	52.39	52.48	52.84	54.47	56.56	58.29	59.37	59.56	57.53	51.98	46.37	44.17	44.41	46.12	49.00	52.77	54.34	50.60	45.35	42.38	41.33	41.84	42.75	42.93	43.30	44.81	46.00	45.44	44.66	45.22	46.87	47.53		
J	58.06	58.70	57.67	57.65	57.20	57.85	56.42	56.02	52.79	50.38	52.22	54.93	54.24	53.32	56.50	59.11	60.38	63.54	61.01	59.77	53.12	46.31	44.40	41.58	46.38	50.12	51.10	51.65	48.38	45.78	42.52	39.29	41.47	41.71	42.88	42.67	44.14	43.98	44.40	42.57	45.77	47.96	49.38		
K	57.24	57.18	56.48	55.45	54.39	53.56	53.23	52.76	51.48	50.77	52.02	54.19	56.23	57.94	59.10	59.91	60.89	61.05	61.19	59.49	54.41	48.80	45.54	45.03	47.70	50.36	49.86	47.72	45.50	43.64	42.62	42.43	43.06	43.87	44.20	44.48	45.11	45.64	45.61	45.91	47.45	49.85	52.73	56.96	59.16
L	56.75	56.29	54.70	53.28	51.98	48.76	50.72	60.30	51.03	49.20	52.58	53.57	57.31	63.11	60.21	60.85	59.31	58.87	60.65	62.58	55.42	48.96	47.20	45.30	49.02	53.78	48.28	43.89	43.21	40.67	43.20	44.74	45.56	46.50	46.35	45.92	47.16	47.86	47.93	48.02	49.28	51.34	54.45	58.99	58.70
M	56.73	54.36	52.77	51.84	51.48	51.21	50.58	50.82	53.16	55.44	55.52	55.21	56.34	57.61	57.77	57.36	56.91	57.44	59.98	60.68	55.73	50.16	49.01	49.62	49.32	48.01	45.57	43.38	42.80	43.40	44.76	46.43	47.97	48.90	49.78	48.70	49.75	50.68	50.22	49.67	50.32	52.05	54.76	57.15	57.95
N	53.63	51.65	51.65	49.85	54.20	54.02	53.10	49.25	56.66	63.88	58.56	55.42	55.65	53.24	55.53	63.89	55.19	54.02	59.41	64.44	55.45	46.94	49.93	54.85	48.87	43.35	43.75	41.27	43.96	45.37	46.30	48.27	49.62	52.36	51.16	50.34	52.26	54.89	52.26	50.12	51.35	51.78	54.58	56.92	57.34
O	52.51	52.17	52.34	54.55	61.47	58.68	58.54	59.59	60.36	60.45	59.43	58.18	57.59	57.37	57.21	56.83	55.93	56.17	59.21	60.30	54.69	48.76	48.90	50.25	47.96	45.12	44.82	45.72	46.47	46.89	46.81	47.40	49.88	52.41	53.18	53.34	54.06	54.50	53.80	53.02	53.19	53.94	54.87	56.31	57.13
P						62.16	60.70	63.97	70.20	63.92	58.12	60.89	60.28	60.27	61.42	59.56	60.30	57.97	55.51	59.69	62.87	54.35	44.50	48.01	49.30	47.74	44.35	47.38	50.32	49.85	48.93	48.66	44.65	51.39	54.23	55.34	55.78	55.27	55.23	54.84	54.96	54.69	55.91	55.19	
Q						64.30	64.72	66.42	67.74	66.99	65.79	65.75	65.02	61.79	58.92	59.30	60.52	60.15	59.82	61.17	60.81	55.36	49.85	49.33	50.32	49.36	48.56	50.04	52.26	53.70	54.36	54.25	54.65	56.82	58.69	59.16	56.76	56.01	55.64	55.37	55.02	54.71	55.14	54.79	
R						67.12	67.45	67.92	67.34	69.98	72.30	71.30	72.28	63.97	53.16	59.82	62.33	62.84	62.44	63.71	63.85	58.46	50.20	53.88	53.30	53.49	50.50	52.45	54.97	57.49	60.56	60.24	62.86	62.74	65.54	60.92	57.10	57.03	55.93	55.79					
S						69.61	69.76	70.46	71.64	73.28	74.60	74.86	73.17	68.66	64.65	64.49	65.86	66.45	66.78	67.38	67.01	64.45	62.18	62.70	63.17	60.78	55.19	54.30	56.66	60.73	61.52	63.27	63.97	65.76	64.72	62.88	59.68	59.08	57.02	56.06					
T						70.89	71.54	73.00	75.49	76.20	77.97	77.12	76.88	73.44	72.31	69.88	70.16	69.83	70.86	70.88	72.35	70.35	71.40	71.25	75.90	70.88																			
U						71.51	72.52	74.50	76.02	78.06	78.26	78.76	77.19	75.93	73.60	72.57	71.52	71.84	71.88	72.94	72.83	73.21	73.20	74.98	75.62	75.97																			

Tabla 4.2Toma 1 – Lunes(Mañana) elaborado con Microsoft Excel  
Fuente: Elaboracion Propia



Zona de ruido dB	Color
Debajo de 35 dB	Verde claro
35 a 40	Verde
40 a 45	Verde oscuro
45 a 50	Amarillo
50 a 55	Ocre
55 a 60	Naranja
60 a 65	Cinabrio
65 a 70	Carmin
70 a 75	Rojo lila
75 a 80	Azul
80 a 85	Azul oscuro

Tabla 4.4 Gama de colores ISO 1996-2 : 1987  
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar que el Microsoft Excel puede dar un alcance rápido de como son las tendencias del mapa de ruido (Se puede ver la totalidad de las tomas en los anexos), pero aún no se podrá apreciar las curvas de igual presión sonora y tampoco su ubicación en el plano; **es así que se llevó la data al software Surfer v 10.00 sólo para efectos de ploteo y poder así ver los contornos sobre los planos de Autocad de manera más clara (este software no es útil para hacer predicciones de niveles sonoros).**

#### Generación de mapa de ruidos con el Surfer Ver. 10.00

Para llevar los datos al programa Surfer se debe colocar la data en coordenadas cartesianas(x,y,z), **en la coordenada Z es donde se ingresará los niveles de presión sonora medidos en campo y los valores interpolados.**

Se puede apreciar en la tabla 4.5 las coordenadas referentes a la primera columna que se ingresaron para todos los días de la toma 1, por ejemplo la coordenada (50,500,61.86) de dicha tabla correspondiente a los valores medidos el Lunes por la mañana y son coherentes con los resultados presentados para ese mismo día en la tabla 4.2 (Para mayor detalle del procedimiento seguido en el software y de la data total ingresada ver anexos).

		TOMA 1									
		LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES	
		MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE	MAÑANA	TARDE
50	550										
50	525										
50	500	61.86	61.29	61.96	61.08	62.51	61.16	62.63	61.48	63.04	61.28
50	475	60.50	59.40	60.68	59.11	61.29	59.19	61.33	59.65	61.73	59.39
50	450	57.83	55.68	58.19	55.23	58.92	55.31	58.80	56.06	59.17	55.67
50	425	56.51	53.83	56.95	53.31	57.74	53.38	57.54	54.27	57.90	53.82
50	400	57.17	50.76	58.05	49.88	58.89	49.96	58.48	50.89	58.90	50.56
50	375	58.05	49.34	59.20	48.25	60.04	48.32	59.52	49.23	59.99	49.00
50	350	58.23	49.57	59.27	48.62	59.87	48.56	59.60	49.55	59.85	49.57
50	325	58.06	50.21	58.93	49.42	59.38	49.27	59.30	50.32	59.39	50.47
50	300	57.24	48.18	58.03	47.86	57.95	47.70	58.03	48.62	58.20	48.59
50	275	56.75	46.62	57.54	46.55	57.17	46.41	57.28	47.23	57.56	47.04
50	250	56.73	46.06	57.51	46.12	57.00	45.99	57.12	46.76	57.46	46.49
50	225	53.63	49.02	54.99	48.90	54.39	46.90	54.53	49.43	54.53	48.98
50	200	52.51	50.93	54.16	50.72	53.52	47.78	53.66	51.20	53.50	50.65

Tabla 4.5 Coordenadas del excell ingresadas al Surfer  
Fuente: Elaboracion Propia

las tablas 4.6 y 4.7 (Elaboradas con el software Surfer V 10.00) muestran los resultados del ploteo para la toma 1, día Lunes (Mañana y Tarde), éstos valores corresponden a las tablas 4.2 y 4.3 (Elaboradas en Microsoft Excel) y se puede notar la similar tendencia en las curvas de igual presión sonora (La totalidad de mapas de ruido se pueden ver en anexos).

En el capítulo 5 se presentará con mayor detalle los comentarios sobre los resultados obtenidos.

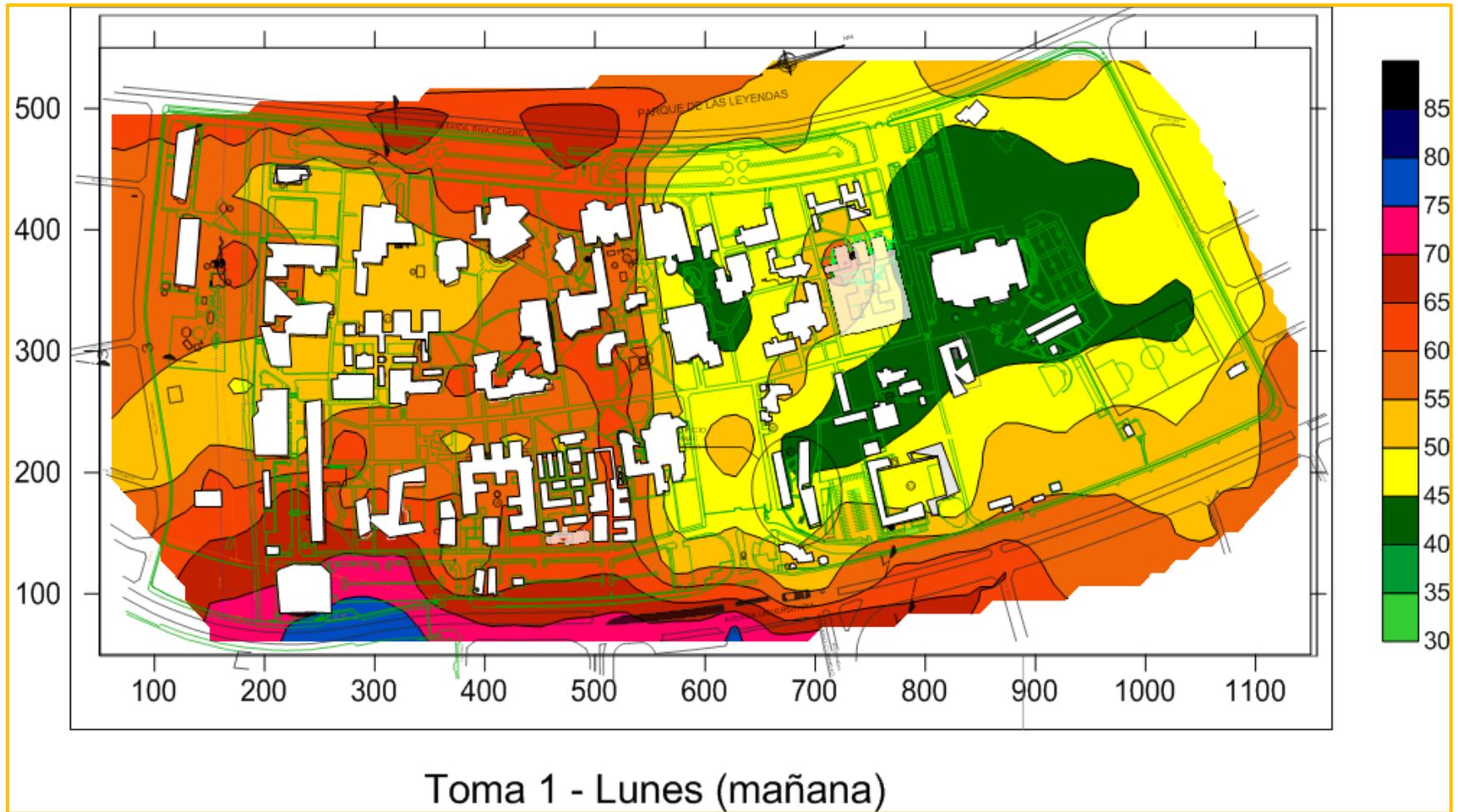


Figura 4.6 Mapa de ruidos plotado en el Surfer V. 10.00 (Toma 1 Lunes- Mañana)  
Fuente: Elaboracion Propia

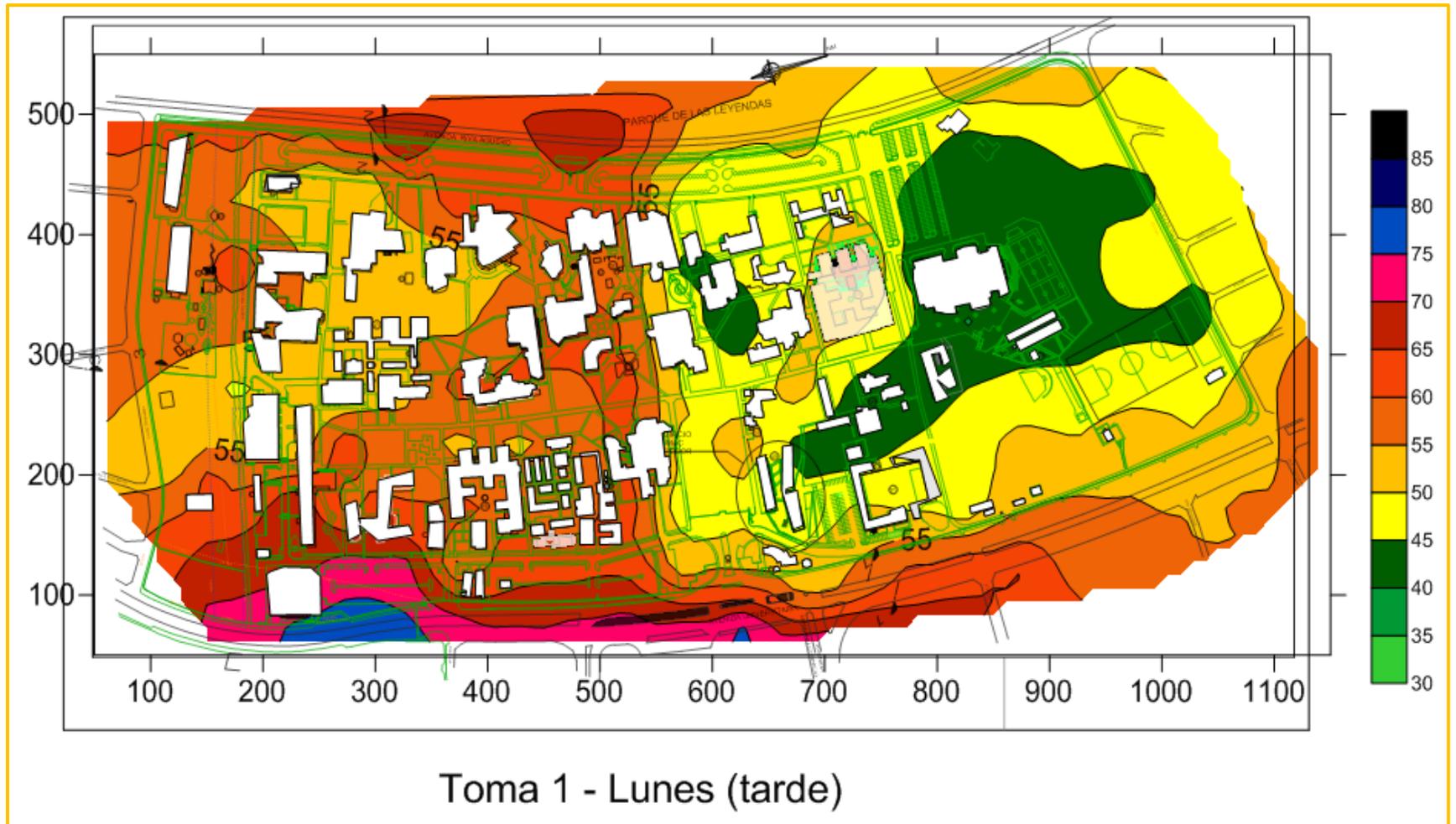


Figura 4.7 Mapa de ruidos plotado en el Surfer V. 10.00 (Toma 1 Lunes- Tarde)  
Fuente: Elaboración propia

## 5. Discusion de resultados.

Se realizó mediciones de los niveles de presión sonora en la mañana y en la tarde durante tres semanas consecutivas (de Lunes a Viernes), con estos datos se calculó un promedio semanal como se puede apreciar en las figuras del 5.1 al 5.10:

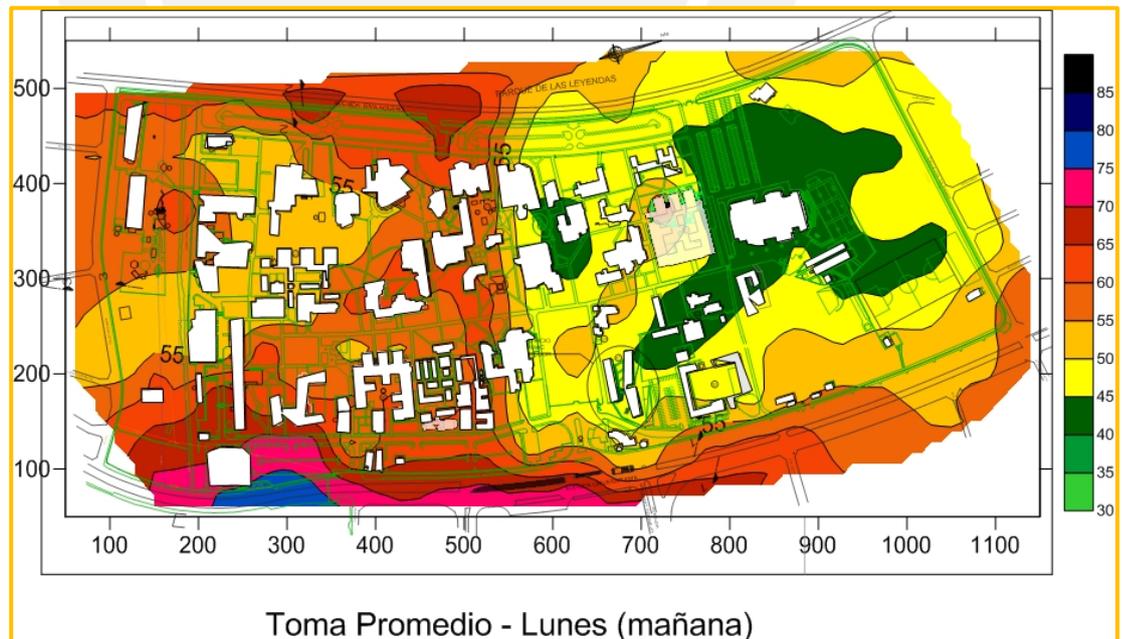


Figura5.1 Mapa de ruidos promedio (Lunes- Mañana)  
Fuente: Elaboración propia

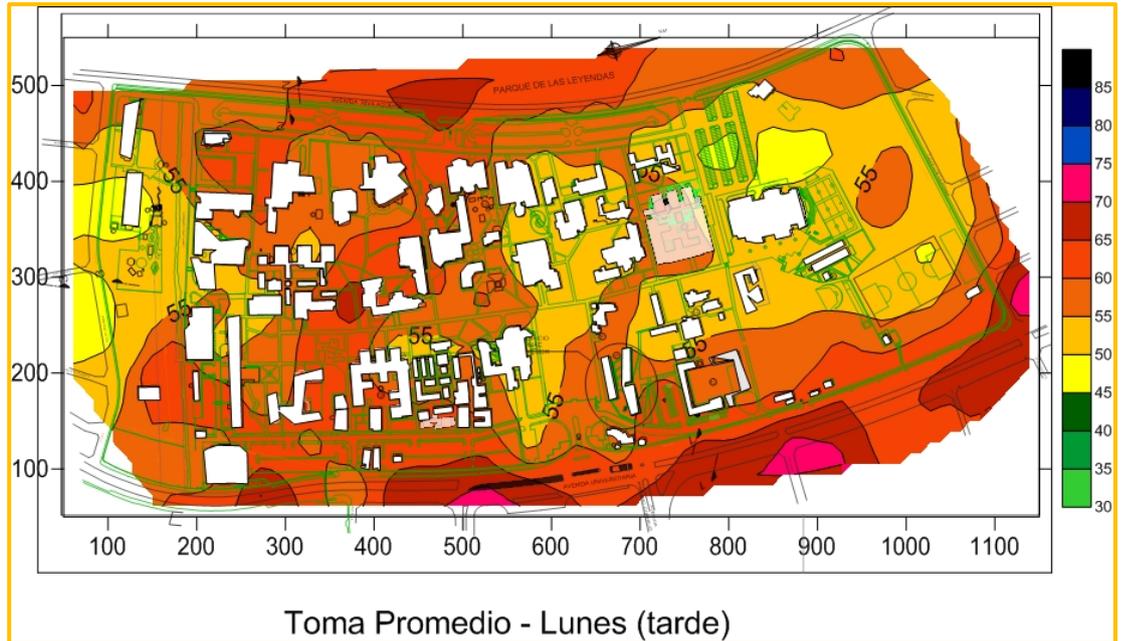


Figura 5.2 Mapa de ruidos promedio (Lunes- Tarde)  
Fuente: Elaboración propia

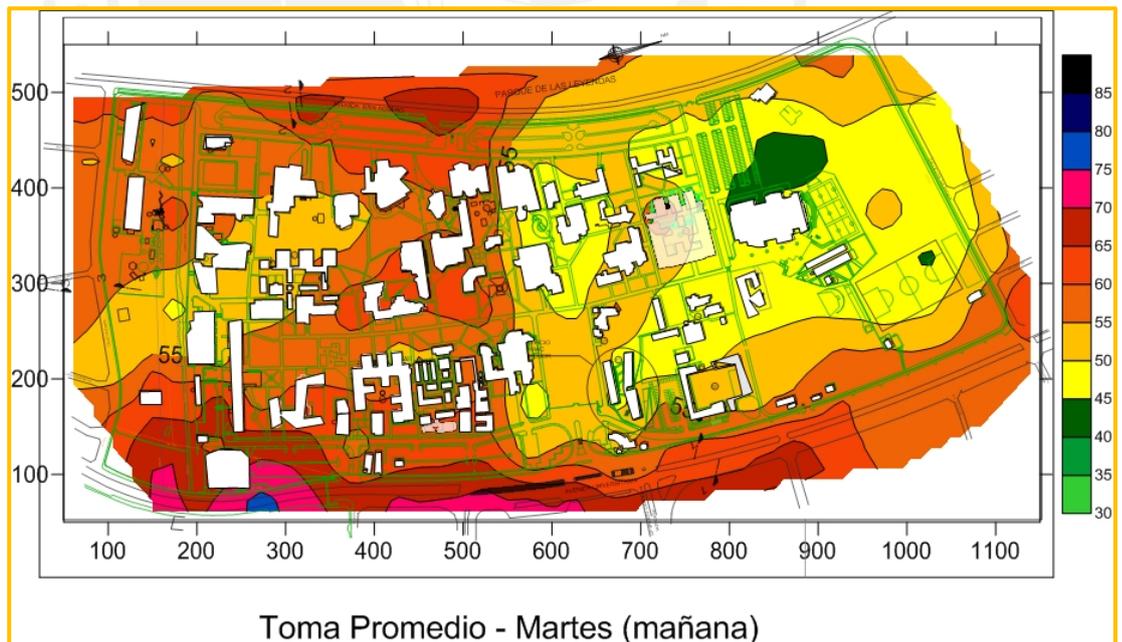


Figura 5.3 Mapa de ruidos promedio (Martes- Mañana)  
Fuente: Elaboración propia

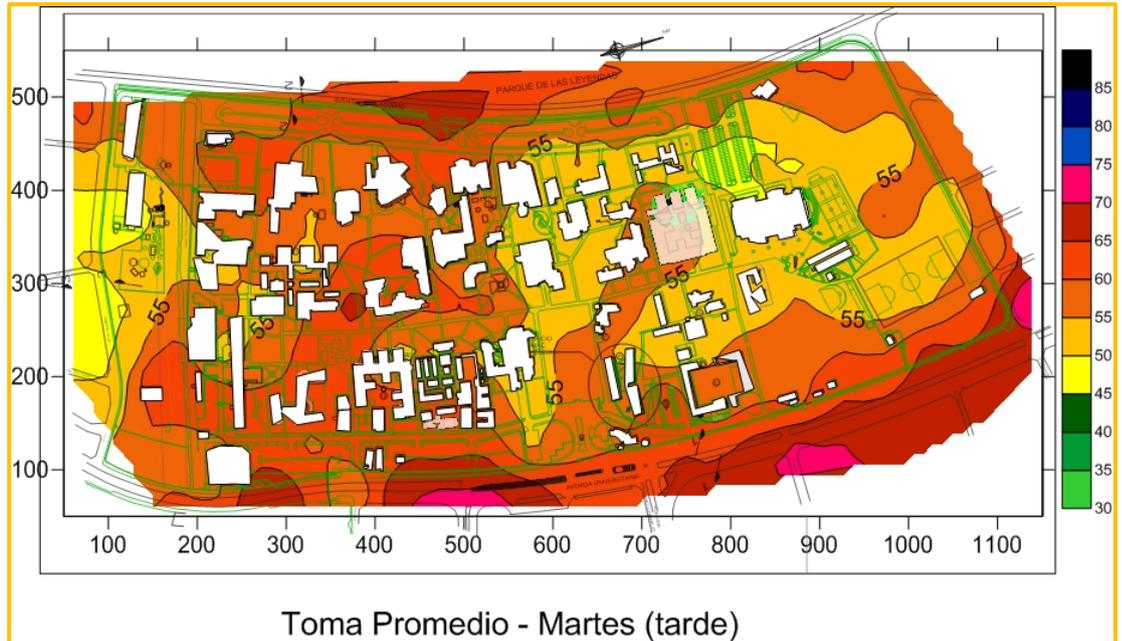


Figura 5.4 Mapa de ruidos promedio (Martes- Tarde)  
Fuente: Elaboración propia

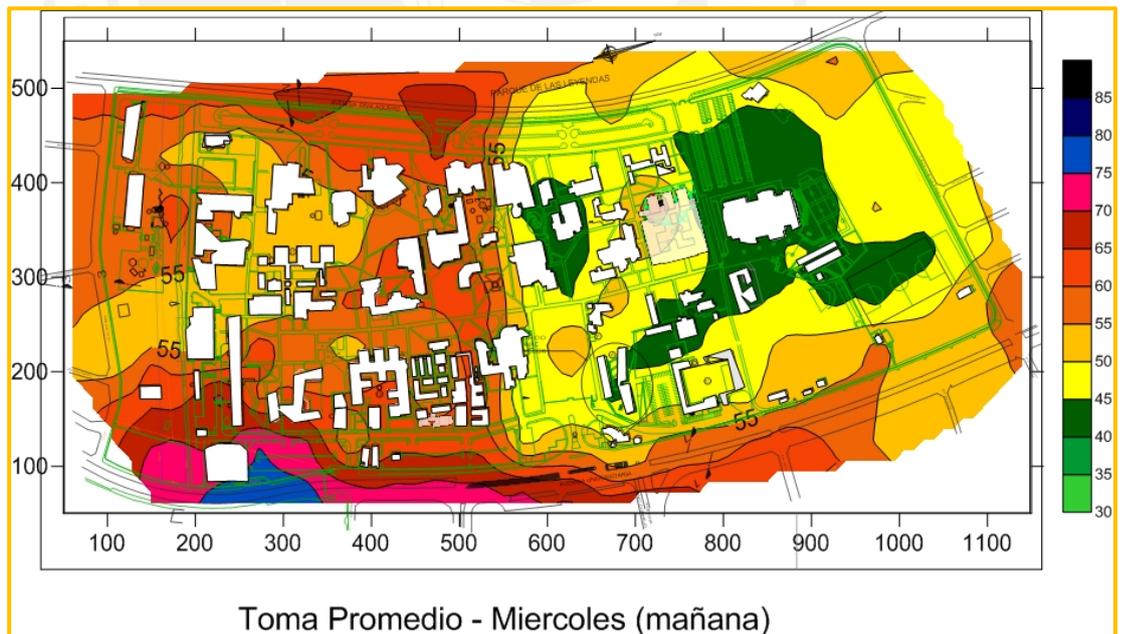


Figura 5.5 Mapa de ruidos promedio (Miercoles- Mañana)  
Fuente: Elaboración propia

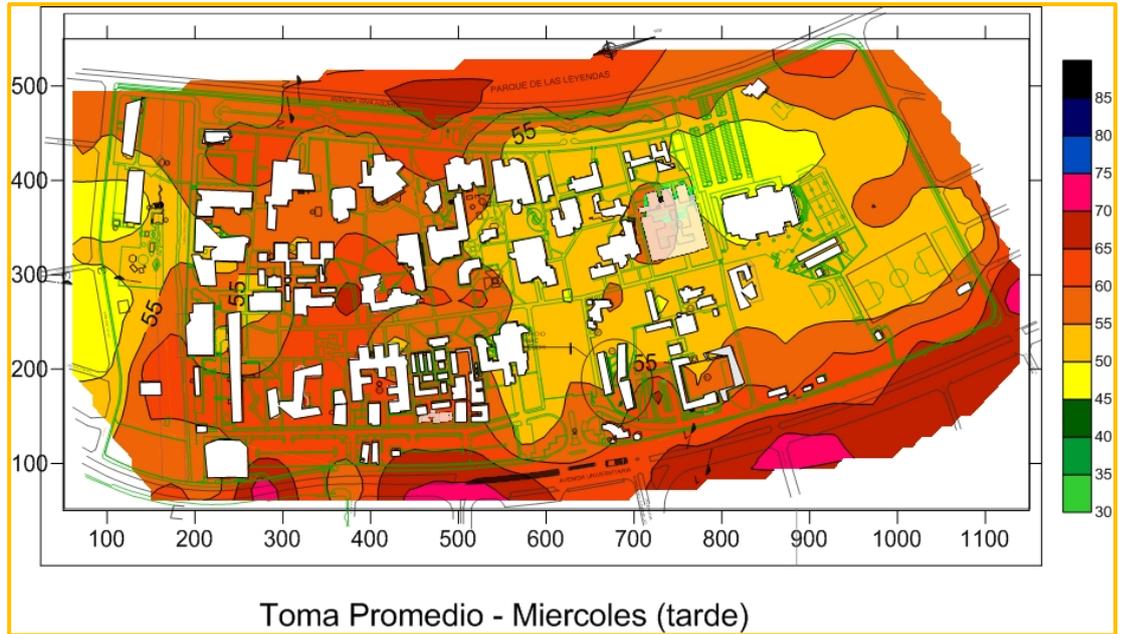


Figura5.6 Mapa de ruidos promedio (Miercoles- Tarde)  
Fuente: Elaboración propia

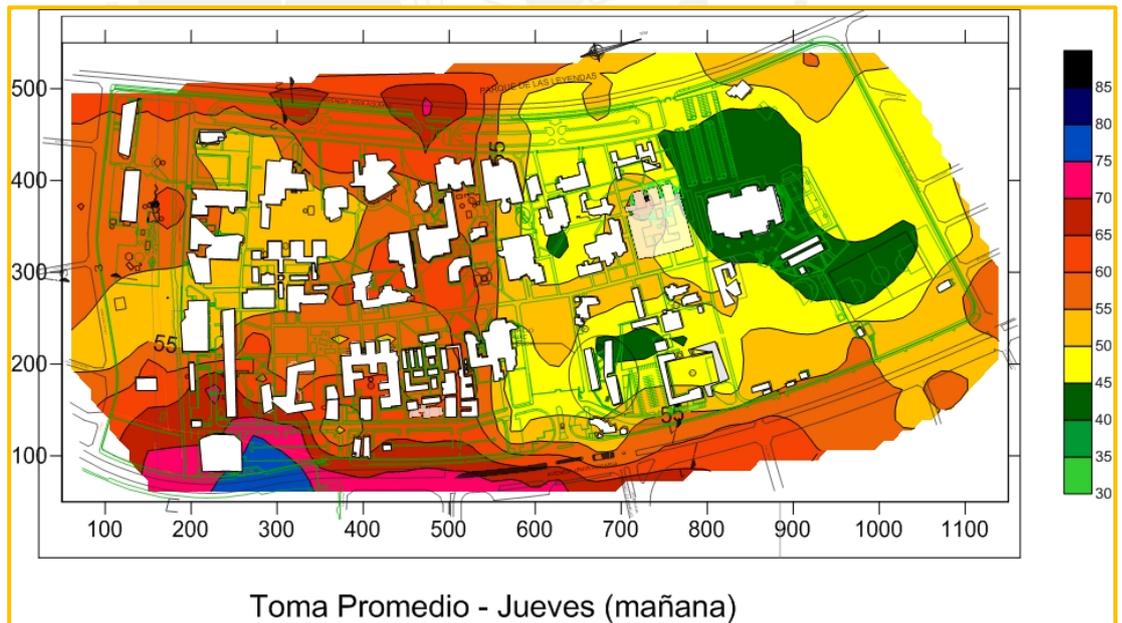


Figura5.7 Mapa de ruidos promedio (Jueves- Mañana)  
Fuente: Elaboración propia

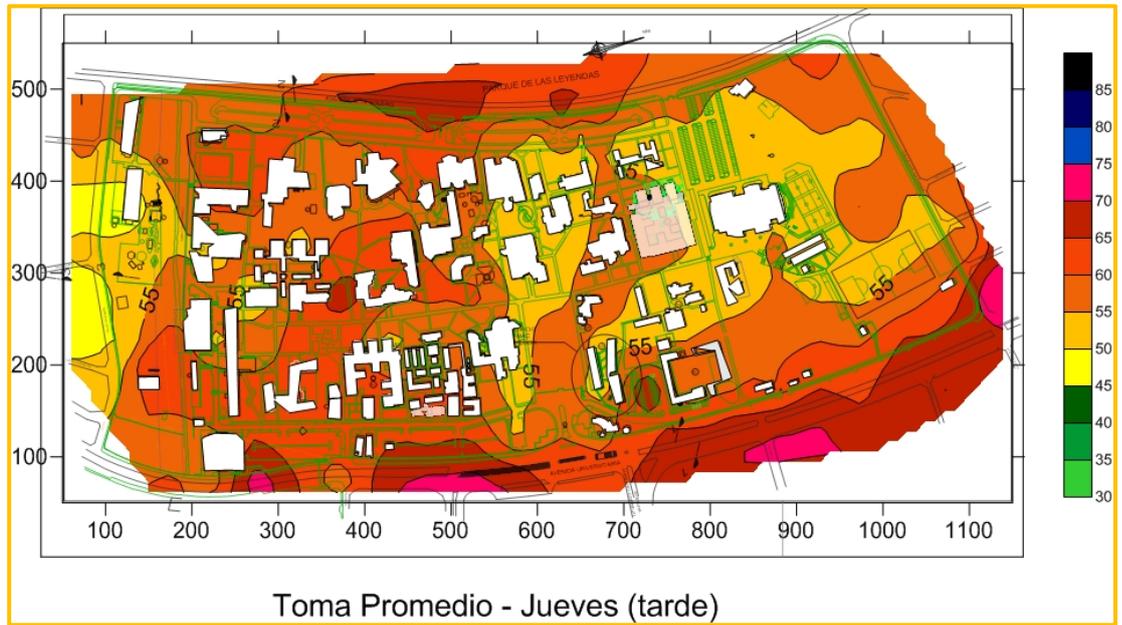


Figura 5.8 Mapa de ruidos promedio (Jueves- Tarde)  
Fuente: Elaboración propia

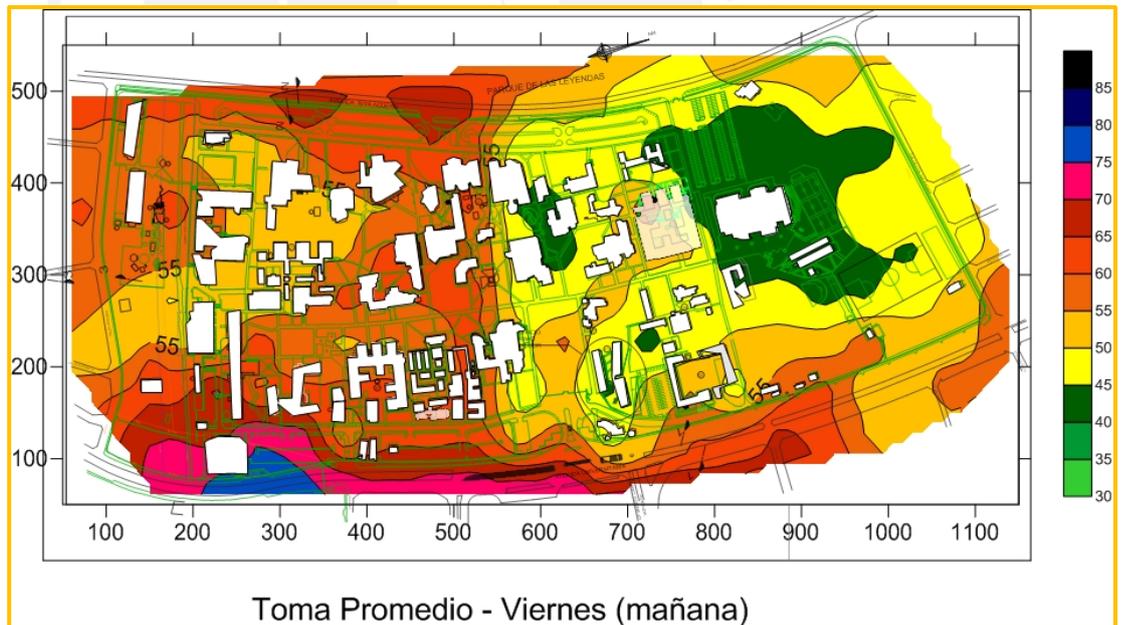


Figura 5.9 Mapa de ruidos promedio (Viernes- Mañana)  
Fuente: Elaboración propia

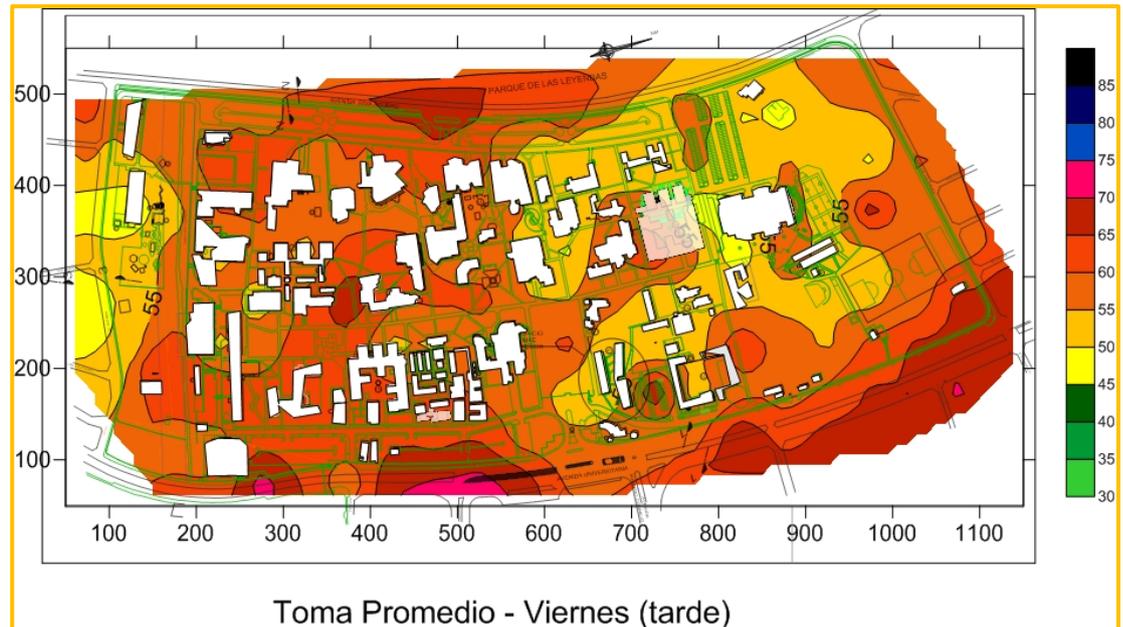


Figura5.10 Mapa de ruidos promedio (Viernes- Tarde)  
Fuente: Elaboración propia

Se pueden observar los diferentes niveles de presión sonora a intervalos de 5 dB según la gama de colores ISO 1996-2: 1987 con los edificios en color blanco.

Dentro de los diferentes figuras se encuentra que:

1. Hay una Similar tendencia para todos los días de la semana, con ligeras variaciones de nivel en algunos cuadrantes que no son determinantes.
2. Se observa un incremento general en las lecturas desde la mañana hasta la tarde en diferentes sectores, quedando en la tarde un predominio de los rangos de 45 a 50 dB (Color amarillo), de 50 a 55 dB (Color ocre) y de 55 a 60 dB (Color naranja).
3. Se nota claramente por la tarde un incremento en los niveles de presión sonora en la Av Riva Agüero donde se llegan a rangos de 60 a 65 dB (color Cinabrio) resaltándose el ingreso posterior de la universidad donde se alcanzan rangos de 65 a 70 dB (Color Carmin) lo cual resulta lógico al ser un acceso vehicular.

4. En el cuadrante K4 (CEPREPUCP) en la mañana se observa valores elevados de presión sonora llegando hasta los 80 dB como se aprecia en el rango de 75 a 80 dB (Color Azul), asimismo se puede notar que existe una franja de 65 a 70 dB (Color Carmin) y de 70 a 75 dB (Color Lila) de aproximadamente 700 m a lo largo de la Av Universitaria que involucran la CEPREPUCP, ingreso Facultad de Ciencias e Ingeniería y el ingreso principal. En la tarde estos valores bajan ligeramente hasta el rango de 55 a 60 dB (Color naranja) y algunos tramos 65 a 70 dB (Color Carmin).

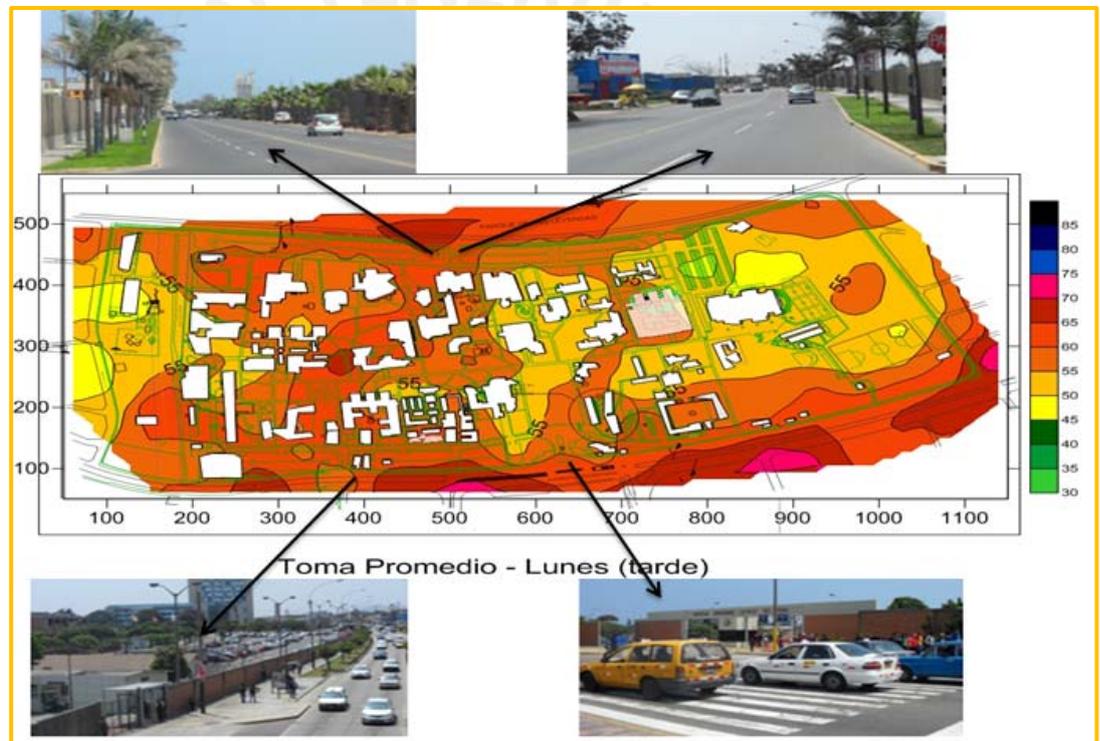


Figura 5.11 Niveles de presión sonora en accesos de la PUCP  
Fuente: Elaboración propia

5. Existen puntos internos de campus con valores de 60 a 65 dB (Color Cinabrio) y se puede ver que su fuente principal son los alumnos que circulan, estos son:

El cuadrante G8 (Espalda de Facultad de Ciencias Sociales)

El cuadrante G11 (Veredas entre CAPU y Biblioteca Central)

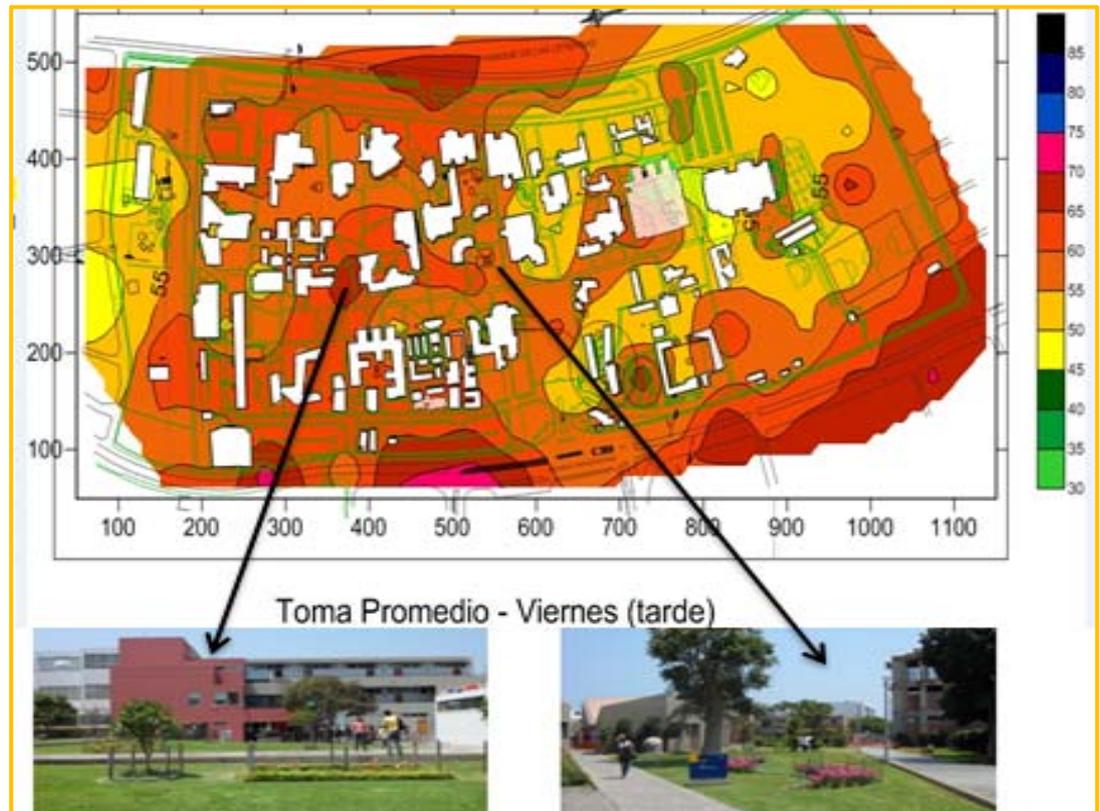


Figura 5.12 Niveles de presión sonora en exteriores dentro de la P.U.C.P.  
Fuente: Elaboración propia

Los altos índices de presión sonora dentro del campus universitario debido a los alumnos son esencialmente un factor cultural que se podría controlar con disposiciones administrativas. Se incluyó como parte de la investigación una encuesta de percepción de la comunidad universitaria sobre los sectores con mayores niveles de ruido, esto se puede apreciar en el siguiente acápite.

### 5.1 Percepción:

Diversos estudios de la Organización Mundial de la Salud señalan que el ruido puede provocar distintas clases de respuestas reflejas, que si se mantienen, generan en el sujeto patrones de inadaptación psicofisiológica con repercusiones neurosensoriales, endocrinas, vasculares y digestivas. También son causa de trastornos del equilibrio, sensación de malestar y fatiga psicofisiológica, que puede alterar los niveles de rendimiento. **(Berglund B, Lindvall T, Schwela DH. (eds), 1999).**

A fin de conocer la percepción que tienen los integrantes de la comunidad universitaria, se aplicó una encuesta, cuyos resultados permiten explorar la opinión que tienen los alumnos, docentes, servidores administrativos, entre otros, respecto a la exposición a los niveles de presión sonora que han sido expuestos como se mencionó en los acápite anteriores.

La encuesta permitió recoger información, de manera estratificada, por cuadrantes, a fin de explorar la percepción que tienen las personas sobre la presencia del ruido urbano por lugares que circundan, y brindó información acerca del impacto del ruido ambiental en un sector de la ciudad universitaria, información que proviene de cada una de las 13 zonas que se eligieron para realizar dicha encuesta:

1. Zona del polideportivo, losas deportivas aledañas, Facultad de EEGLL y estacionamiento de EEGLL.
2. Edificio Mac Gregor y alrededores (Maestranza y educación).
3. Ingreso Principal e ingreso a EEGCC (contiguo a Av. Universitaria), incluye el área de estacionamiento aledaña a dichos ingresos.
4. Cafetería central (Incluye facultad de derecho, Auditorio y Pabellón de Letras y ciencias humanas "H").
5. EEGCC, Facultad de Administrativas, Administración y economía, Facultad de química.
6. CEPREPUCP (Incluye zona de ingreso por Av. Universitaria) y Pabellón A.

7. Cafetería de Letras (Incluye zona posterior), Humanidades (Inc. alrededores).
8. Sala de lectura, Pabellón B, Cafetería y auditorio de ciencias, Facultad de Física, Facultad de arquitectura (Inc. Casetas contiguas).
9. Biblioteca Central y alrededores (CAPU).
10. Facultad de Informática, Electrónica, Minas y Civil.
11. Vereda Principal (“Tontodromo”) y alrededores.
12. Ingreso por Av. Riva Agüero, Pabellón Z, Corrosión y zonas de estacionamiento aledañas.
13. Zona del polideportivo, losas deportivas aledañas, Facultad de EEGLL y estacionamiento de EEGLL.

La elección aleatoria de las encuestas dio como resultado que el 62.30% de la muestra sean hombres y el restante mujeres. Con ello no se puede señalar o afirmar que la mayoría de personas del campus sean hombres, sólo indica que al momento de realizar la encuesta fueron las personas de sexo masculino que más accedieron a responder las preguntas como se puede observar en la figura 5.4.

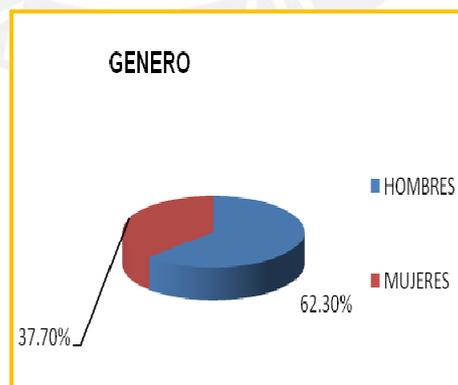


Fig. 5.13. Género de la muestra.  
Elaboración: Propia

El tiempo de permanencia en el campus de la mayoría de encuestados es mayor a 4 horas, lo cual indica que se tiene un grupo importante de

personas que al estar expuestas por varias horas pueden determinar que les afecte el ruido.

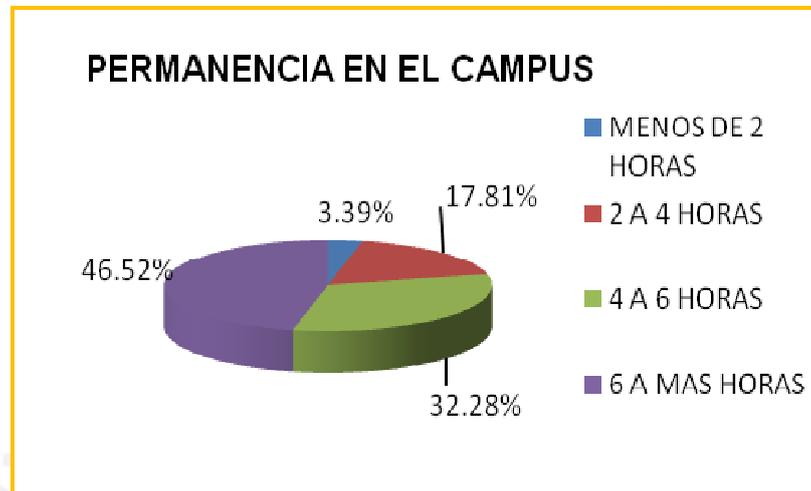


Fig. 5.14 Permanencia en el campus universitario.  
Elaboración: Propia

Las principales fuentes de ruido reportadas en la encuesta fueron: el tráfico de vehículos y, como segunda fuente significativa, las personas que transitan por el campus a diario. Para evaluar las fuentes de ruido en el campus, se les pidió a los encuestados que calificaran, en escala de uno a cuatro cada fuente escuchada (nada, poco regular y bastante), considerando cuatro (4) como el valor más alto.

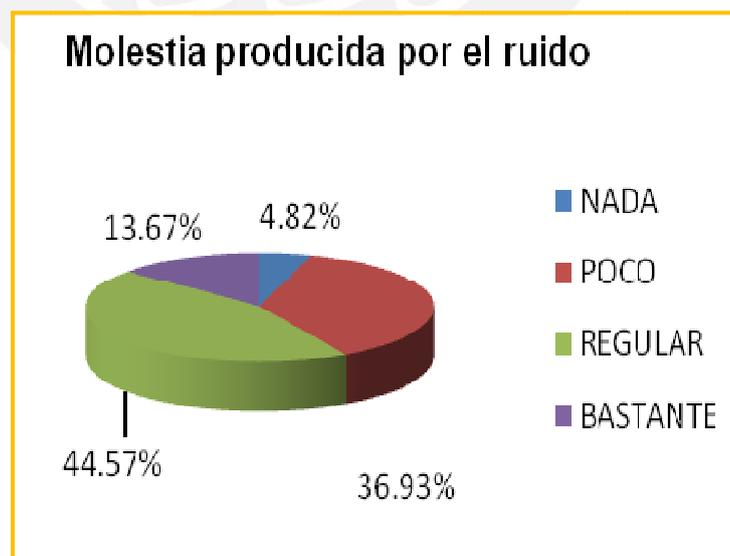


Fig. 5.15 Molestia por ruido.  
Elaboración: Propia

Para efectos de análisis, a los encuestados que mencionaron que le molestaba el ruido, se les pregunto por su nivel de molestia, resultados que se pueden observar en las figuras 5.15 y 5.16. De ese modo, se tienen que el 65% de la personas encuestadas reportaron sentir molestia por causa del ruido urbano escuchado. Para evaluar el grado de esta molestia, se asignó una calificación de uno (1) a cuatro (4), en la que uno (1) corresponde a la categoría de sin molestía, dos (2) poco, molestia, tres (3) molestia y cuatro (4) muy alta molestia.

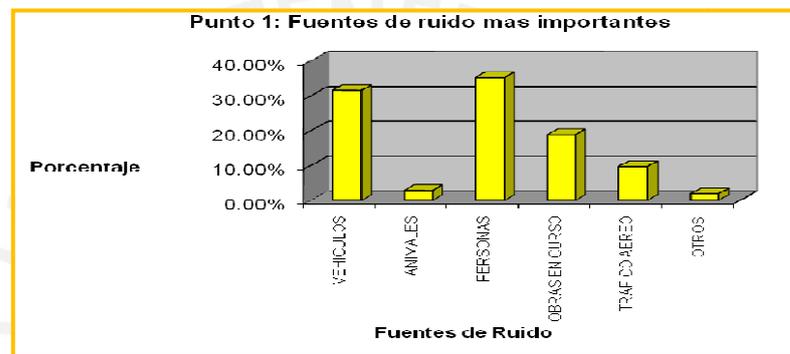


Fig. 5.16 Fuentes mas importantes (General).  
Elaboracion: Propia

Se observo que las personas que acuden frecuentemente al campus consideran que dentro de ella existen zonas de ruido.

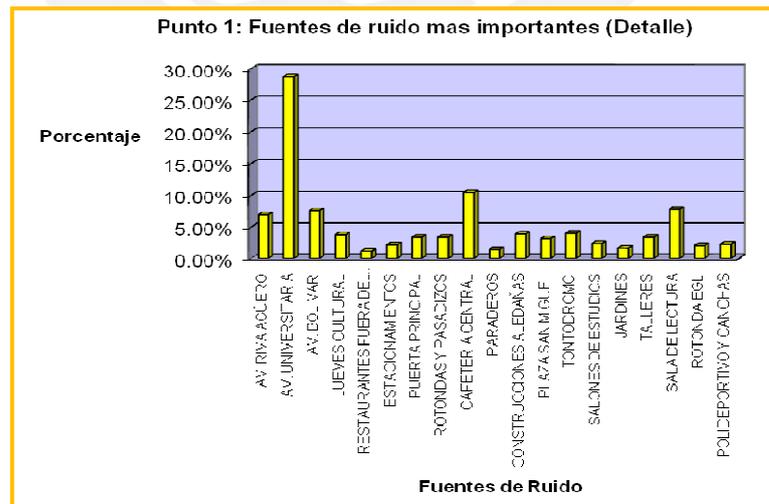


Fig. 5.17 Fuentes importantes (Detalle).  
Elaboracion: Propia

## 5.2 Medidas de Mitigación:

Según los resultados señalados en el acápite anterior, los mayores niveles de presión sonora con ponderación "A" se encuentran en las zonas perimetrales del campus universitario, estos niveles son provocados principalmente por el tráfico que circunda la P.U.C.P. como se puede apreciar en la siguiente figura:

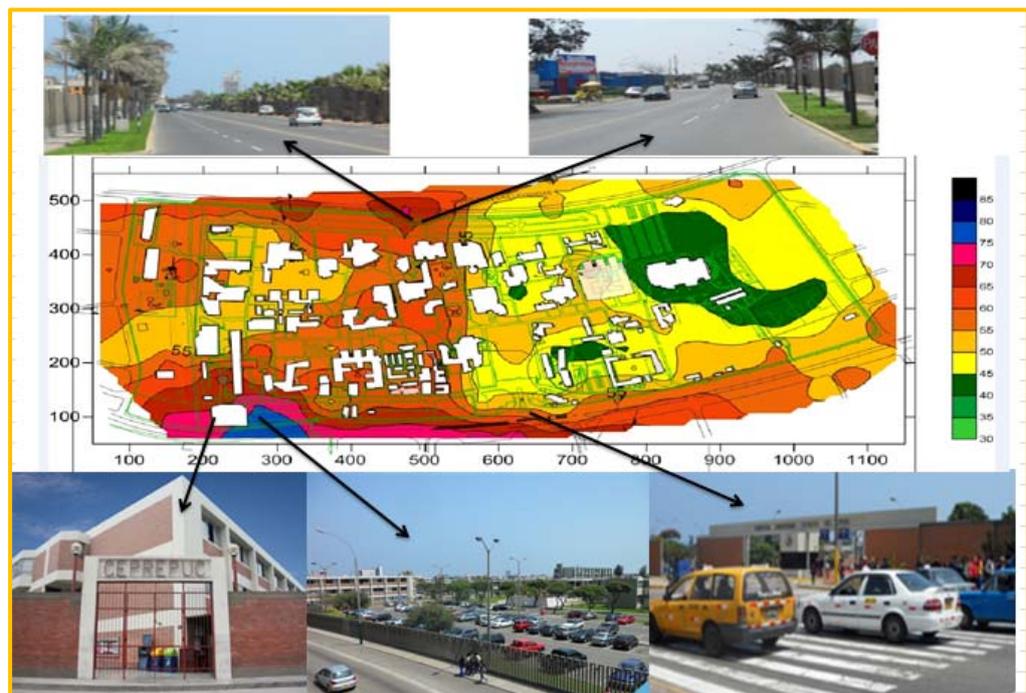


Fig. 5.18 Fuentes de ruido en Av. Riva Agüero y Universitaria  
Elaboración: Propia

Ante esta situación lo lógico sería colocar algún tipo de barrera acústica que impida el paso del ruido de las avenidas Riva Agüero y Universitaria, pero esta opción no sería una buena alternativa de mitigación pues las ondas sonoras se difractarían sobre la parte superior de la pantalla creando una zona de sombra detrás de la misma donde los niveles de ruido son débiles, pero las demás ondas seguirían hacia el interior del campus (ver fig 5.19). Esto solo mitigaría escasos metros tras la pantallas acústica y depende exclusivamente de la altura y propiedades de la pantalla.

Teniendo en consideración lo mencionado en el párrafo anterior, es evidente que el empleo de las pantallas acústicas no es una buena alternativa de mitigación. Asimismo se mencionó que la CEPREPUCP es la facultad con mayores niveles de presión sonora como se aprecia en la fig. 5.18, ante ello condicionar una pantalla acústica para disminuir el ruido solo protegería el 1er nivel de dicho pabellón y no los pisos superiores, por lo que no es una solución factible y rentable.

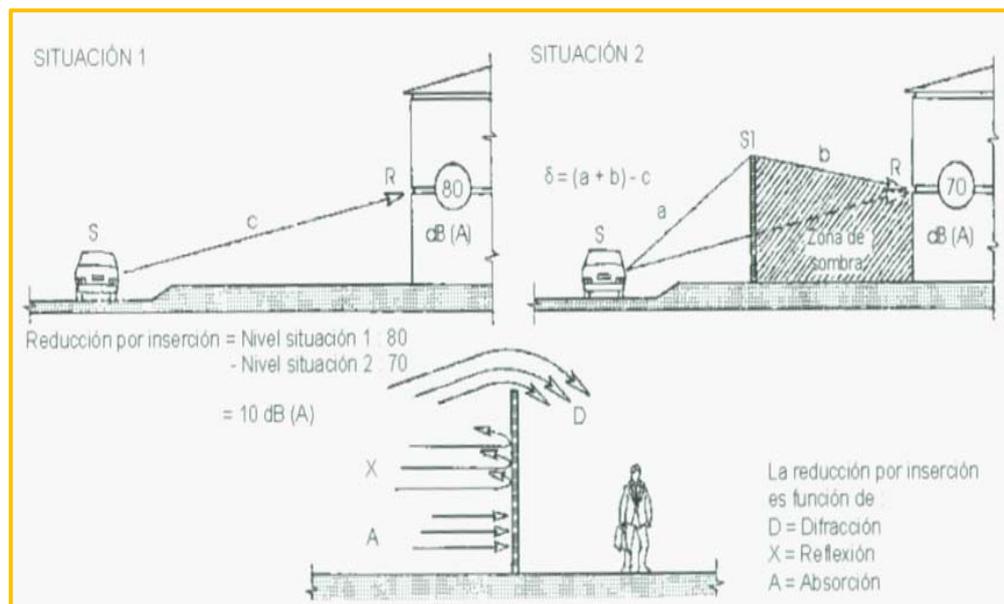


Fig. 5.19 Pérdida por inserción debida a una pantalla acústica  
Fuente: Reducción del ruido en el entorno de las carreteras  
Elaboración: OCDE

En la fig. 5.19 se puede observar la reducción del ruido debida a una pantalla (pérdida por inserción). Donde se muestra una situación 1 (impacto directo de la fuente al receptor), la situación 2 (Impacto de la fuente a través de una pantalla acústica). Asimismo se observa que la reducción por inserción es función de la difracción (distorsión de una onda ante un obstáculo), reflexión (Se refleja el ruido del lado de donde viene y no pasa a través de la pantalla) y absorción (Cuando se amortigua la onda sonora en terminos de frecuencia, gracias a las reflexiones, interferencias y otros fenómenos que se producen en la pantalla).

En la fig. 5.20 se puede apreciar los diferentes tipos de propagación que se presentan ante la colocación de una pantalla acústica. Es evidente que no convendría su utilización en la CEPREPUCP como se mencionó en la pagina anterior.



Fig. 5.20 Propagación del ruido vial en presencia de una pantalla acústica  
Fuente: Reducción del ruido en el entorno de las carreteras  
Elaboración: OCDE

Según lo comentado al inicio de este acápite, se encontraron elevados niveles de ruido en determinados sectores; siendo lo más resaltante el perímetro del campus universitario. Asimismo se observa que uno de los sectores más afectados por la presión sonora es la CEPREPUCP llegando a estar en un rango de 70 a 80 dB como se observa en el siguiente mapa de ruidos, estas elevadas bandas de presión constantes a intervalos de 5 dB atraviesan dicho pabellón y llegan con un rango de 65 a 70 dB al Pabellón A (Facultad de Ciencias e Ingeniería) y parte de la Facultad de Química.

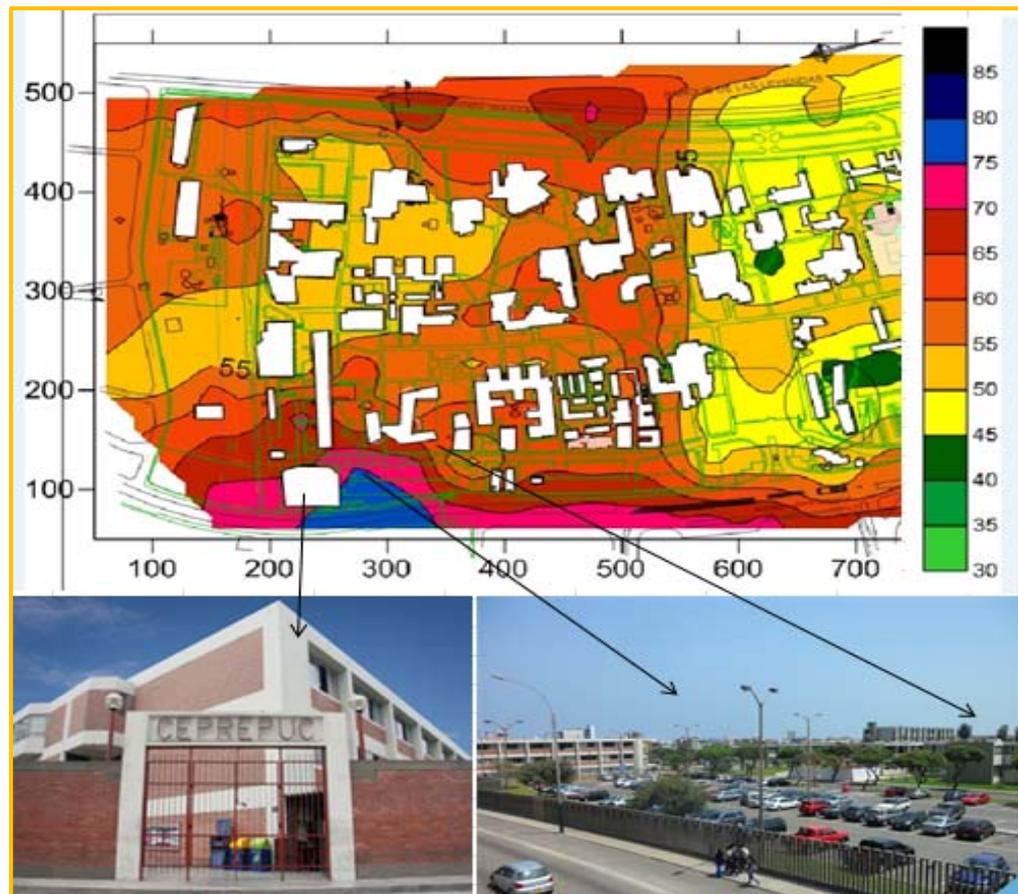


Fig. 5.21 Fuentes de ruido en CEPREPUCP , Pabellón A y Química  
Elaboración: Propia

Las bandas de presión constantes a intervalos de 5 dB son más intensas alrededor de la CEPREPUCP debido a su cercanía con la Av. Universitaria y también por la presencia de un acceso peatonal.

Un salón de clases sin alumnos debe estar alrededor de 35 a 40 dB según la OMS, a fin de garantizar el confort en el interior del aula, sin embargo observamos que en la CEPREPUCP los niveles fuera de las aulas oscilan los 80 dB, por lo que es necesario saber cuál es el nivel dentro del aula bajo sus actuales condiciones. Cada material presenta diferentes niveles de aislamiento acústico ( $R_w$ ) que están en función de sus características físicas y cómo interactúa las ondas sonoras al chocar con ellas (Difracción, reflexión y absorción), es por ello que para poder estudiar una fachada se debe analizarlo como un elemento compuesto por varios niveles de aislamiento acústico ( $R_{wi}$ ), que brindarán un efecto conjunto de mitigación.

A continuación se calcula el nivel de aislamiento acústico actual de una fachada en la CEPREPUCP, solo para tener un valor referencial y saber el nivel aproximado dentro de un aula de clases. Primero se hizo el cálculo de la fachada con las ventanas totalmente abiertas, para saber el nivel de atenuación presente, se consideró en el análisis una área abierta de 42 % del total del área de ventanas ( $A_{\text{total de ventanas}} = 169.65 \text{ m}^2$ ).



Fig. 5.22 Aislamiento acústico ( $R_w$ ) - fachada de CEPREPUCP considerando ventana abierta al 100%.

Elaboración: Propia

Asimismo se hizo un similar análisis considerando las ventanas cerradas al 50 % y las ventanas totalmente cerradas como se aprecia en la siguiente figura 5.23 y 5.24.

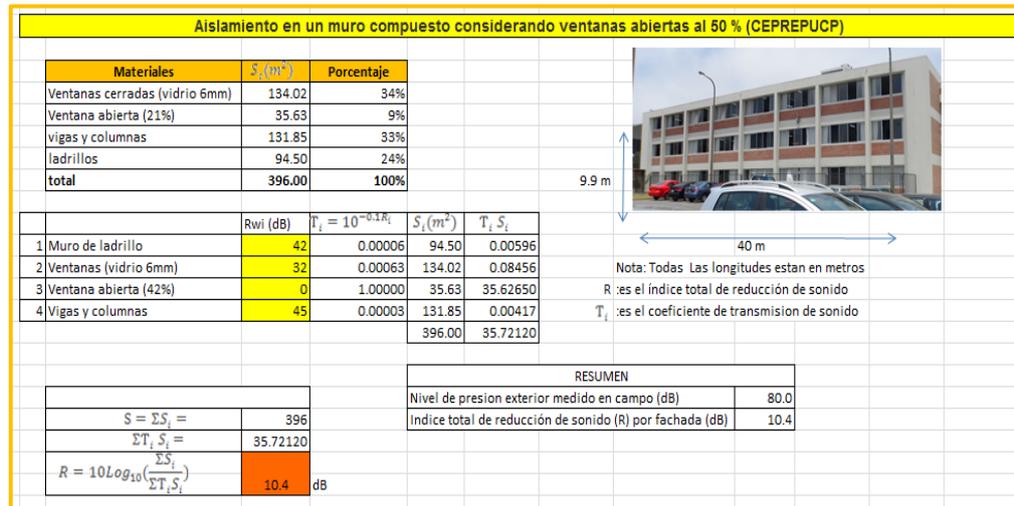


Fig. 5.23 Aislamiento acústico ( $R_w$ ) - fachada de CEPEPUCP considerando ventana abierta al 50%

Elaboración: Propia

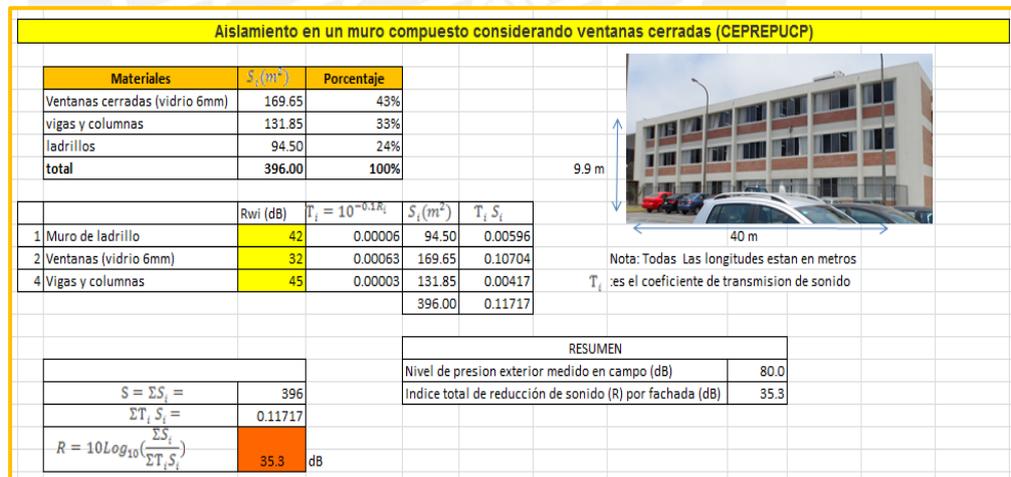


Fig. 5.24 Aislamiento acústico ( $R_w$ ) - fachada de CEPEPUCP considerando ventana totalmente cerradas

Elaboración: Propia

En las figuras 5.22, 5.23 y 5.24 el cálculo se realiza asumiendo toda la fachada en un plano (No se toma en cuenta que las placas están en un plano mas externo que el muro), asimismo se hizo un cálculo de áreas de los elemento representativos de la fachada: las ventanas, los muros de ladrillo y los elementos de concreto (vigas + columnas).

Cada material tiene su niveles de aislamiento acústico ( $R_{wi}$ ) con lo que se puede calcular el coeficiente de transmisión de sonido  $T_i$  y por ende el  $R_w$  de todo el conjunto como se aprecia en las ecuaciones de dicha figura.

En la Fig. 5.22 ( Considerando ventanas totalmente abiertas) el índice de reducción de sonido o aislamiento acústico ( $R_w$ ) es de apenas de 7.40 dB, Cerrando las ventanas al 50% se aprecia en la Fig. 5.23 que el índice de reducción de sonido o aislamiento acústico ( $R_w$ ) es de 10.4 dB. Se aprecia claramente que solamente cerrando las ventanas al 50 % se alcanza un mejoramiento en el aislamiento acústico de 3 dB; esto quiere decir que la potencia se incrementa al doble, evidenciando una mejora de  $R_w$ .

En la Fig. 5.24 (Ventanas totalmente cerradas) el índice de reducción de sonido o aislamiento acústico ( $R_w$ ) es de 35.3 dB, lo que demuestra que solamente controlando el nivel de abertura se llegan a aislamientos considerables. Asimismo tomando en cuenta el factor del vidrio se calculó el aislamiento acústico ( $R_w$ ) considerando ventanas con cristales insulados de espesores 6mm/12mm aire/6mm y 6mm/12mm aire/8mm como se aprecia en las figuras 5.25 y 5.26 (para mayor detalle del material consultar la norma técnica E040 del vidrio en anexos).

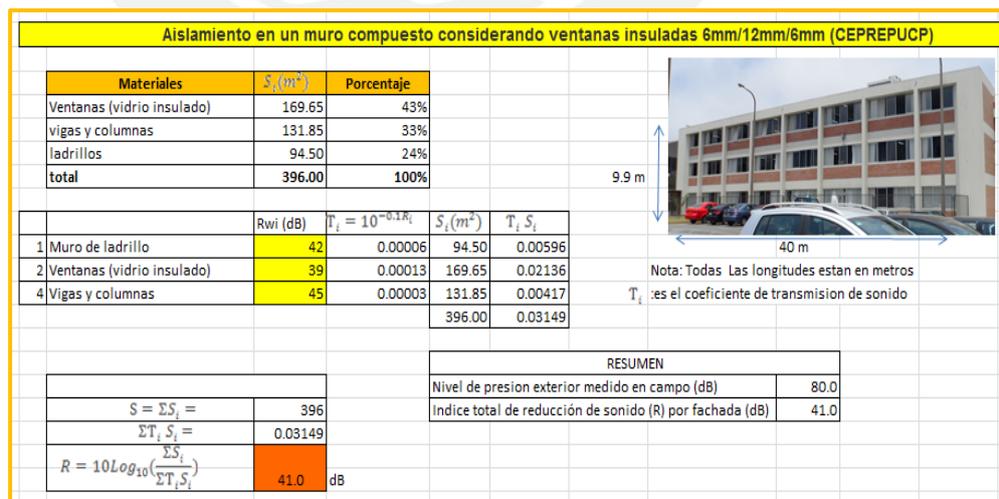


Fig. 5.25 Aislamiento acústico ( $R_w$ ) - fachada de CEPREPUCP considerando ventana de cristal insulados de 6mm/12mm/6mm.  
Elaboración: Propia

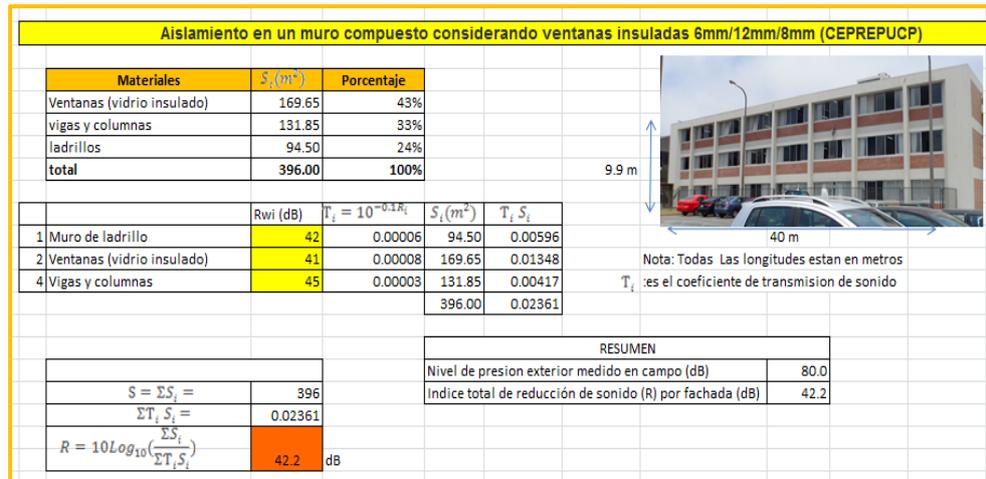


Fig. 5.26 Aislamiento acústico ( $R_w$ ) - fachada de CEPREPUCP considerando ventana de cristal insulados de 6mm/12mm/8mm.  
Elaboración: Propia

Mejorando el espesor del cristal mediante una capa de aire con, 12mm de espesor, se alcanzan valores de  $R_w = 41$  dB (para espesores de 6mm/12mm/6mm) y  $R_w = 42.2$  dB (para espesores de 6mm/12mm/8mm). Al usar dos espesores distintos de vidrio se busca minimizar los efectos producidos por la coincidencia, de lo contrario podría darse que a determinadas frecuencias se tenga una atenuación menor que la esperada (para una mayor referencia del efecto de coincidencia, consultar los anexos).

**Cabe resaltar que los vidrios insulados cumplirán su función acústica solamente al permanecer cerrados (Sino se daría un similar nivel de atenuación que las ventanas abiertas) por lo que se requerirá complementar estos elementos con un sistema de ventilación forzada a fin de garantizar el confort del alumnado.**

Ante estos datos obtenidos solo queda pendiente analizar cuanto es el nivel de presión sonora dentro del aula, para ello se debe conocer las condiciones que presenta esta y su tiempo de reverberación.

Para el análisis del nivel acústico en un ambiente cerrado se emplea un parámetro denominado Tiempo de Reverberación ( $T_{60}$ ): Es el tiempo necesario expresado en segundos, para que el nivel de presión sonora presente en un recinto, decaiga 60dB después de que la fuente ha cesado de emitir sonido (Para mayor referencia de Reverberación, consultar anexos).

Se empleará la fórmula de Sabine para calcular el  $T_{60}$

$$T_{60} = 0.161 \frac{V}{A} \quad (5.1)$$

Donde:

$T_{60}$  = Tiempo de reverberación

$$\frac{V}{A} = \frac{\text{Volumen del cuarto en m}^3}{\text{Absorción Total del cuarto en m}^2}$$

0.161 es una constante de proporcionalidad en el sistema MKS.

El modelo de Sabine, asume que la absorción de los materiales es independiente de la fuente, así como de la posición relativa entre la fuente de sonido y el resto de las superficies. Asimismo empleando la ecuación de transmisión de sonido de un ambiente exterior hacia uno interior se puede despejar el nivel de presión sonora dentro del aula ( $L_2$ ).

$$L_2 = L_0 - R_w + 6 - 10 \log_{10} \left( \frac{A}{F} \right) \quad (5.2)$$

Donde:

$L_2$  = Nivel de presión sonora dentro de un ambiente interior.

$L_0$  = Nivel de presión del exterior, para incidencia normal.

$R_w$  = Aislamiento acústico del muro que separa el ambiente exterior con el interior.

$F$  = Area del muro que separa el ambiente exterior con el interior.

$A$  = Absorción del ambiente interior.

Se calculó el  $T_{60}$  y el  $L_2$  para el caso donde se tiene Ventanas actualmente empleadas abiertas al 100% como se aprecia en la Fig. 5.27.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )														
Caso 1-1 : Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 100%(Sin Baldosa)														
	$L_0$	80.00												
	RW	7.40												
Banda de octava de frecuencia central (Hz)														
		Coeficiente de absorción ( $\alpha$ )						Absorción ( $A = S \cdot \alpha$ prom)						
Tipo de superficie	$S_i (m^2)$	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
Puerta de madera (2 unidades)	4.20	0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.63	0.42	0.25	0.34	0.42	0.42	
* Ventanas (vidrio 6mm)	2.58	0.10	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02	0.26	0.21	0.10	0.08	0.05	0.05	
** Ventanas (vidrio 6mm)ABIERTA 42%	1.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	
Muro interior pintado	94.55	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	3.78	3.78	3.78	4.73	5.67	2.84	
Elementos de concreto pintados (col y vigas)	13.25	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	0.53	0.53	0.53	0.66	0.80	0.40	
Cieloraso pintado	76.50	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	3.06	3.06	3.06	3.83	4.59	2.30	
Piso laminado	73.75	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	1.48	1.48	2.21	2.95	2.95	3.69	
Tarima de madera con cubierta laminada	7.00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.24	0.29	0.28	0.35	0.36	0.32	
Asientos de plástico	18.00	0.15	0.2	0.28	0.3	0.3	0.3	2.70	3.60	5.04	5.40	5.40	5.40	
Alumnos	18.00	0.20	0.25	0.33	0.40	0.40	0.40	3.60	4.50	5.94	7.20	7.20	7.20	
Mesa metalica cubierta con melamina	11.25	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.34	0.34	0.23	0.23	0.23	0.11	
Cortina de algodón	27.00	0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.35	1.08	1.35	2.97	4.86	8.10	9.45	
	347.95							19.56	21.42	26.26	32.48	37.64	34.04	
								$T_{60} (s)$	1.99	1.82	1.49	1.20	1.04	1.15
AREA DE MURO DE SALON de 9.5 X 3 m (F)	28.50							Proporcion a 500 Hz	1.34	1.23	1.00	0.81	0.70	0.77
								$\log_{10}(A/F)$	-1.63	-1.24	-0.35	0.57	1.21	0.77
								$L_2 = L_0 - R_w + 6 - 10 \log_{10}(A/F)$	80.23	79.84	78.95	78.03	77.39	77.83
								Atenuación del aula (dB)	-0.23	0.16	1.05	1.97	2.61	2.17

NOTA

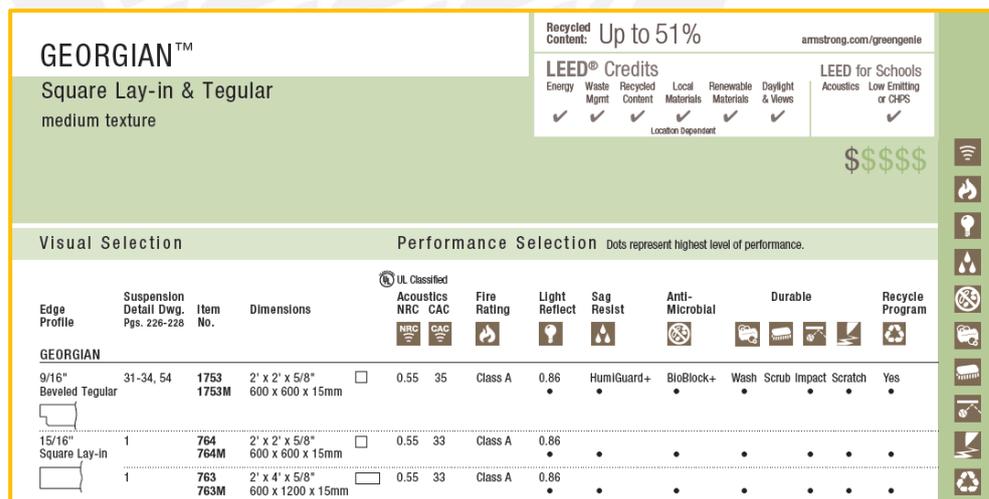
- \* Sola hay vidrio de 6mm en el 48 % del área total de vanos de la fachada de estudio
- \*\* El 42% del área de ventana representa el 100% que puede abrirse esta en la fachada de estudio

Fig. 5.27 TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )  
 Caso 1-1 : Aula en con salón completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 100%(Sin Baldosa)  
 Elaboración: Propia

En la Fig. 5.27. muestra que pese a tener un  $R_w$  de 7.40 dB, los niveles dentro del aula típica de 9.5 m x 8.5 m x 3 m. son prácticamente los mismos que en los exteriores (80 dB), esta situación es mas crítica a bajas frecuencias donde inclusive hay un ligero incremento a 125 Hz.

Para ofrecer una mejora en el confort acústico dentro de las aulas se analizará el efecto del baldosas acústicas en el interior de un aula. Para elegir una adecuada baldosa acústica se debe tener en cuenta las recomendaciones del fabricante y verificar los diferentes niveles de absorción acústica del material. Evidentemente los valores de absorción cercanos a 1 serán los más óptimos, y tendrán que ser sopesados con un adecuada evaluación económica y criterio del lugar donde son mas adecuadas su uso.

Para tener una idea del nivel de absorción de las baldosas acústicas, se calculó el  $T_{60}$  y el  $L_2$  para el mismo caso de la Fig. 5.27 (Ventanas totalmente abiertas), pero considerando además el empleo de una baldosa Armstrong tipo Georgian 764 recomendado para salones de clase (ver Fig. 5.28 y 5.29).



**GEORGIAN™**  
Square Lay-in & Tegular  
medium texture

Recycled Content: Up to 51% armstrong.com/groengente

LEED® Credits: Energy, Waste Mgmt, Recycled Content, Local Materials, Renewable Materials, Daylight & Views, LEED for Schools: Acoustics, Low Emitting or GFPs

Visual Selection | Performance Selection (Dots represent highest level of performance.)

Edge Profile	Suspension Detail Dwg. Pgs. 226-228	Item No.	Dimensions	UL Classified Acoustics NRC CAC	Fire Rating	Light Reflect	Sag Resist	Anti-Microbial	Durable	Recycle Program
9/16" Beveled Tegular	31-34, 54	1753 1753M	2' x 2' x 5/8" 600 x 600 x 15mm	0.55 35	Class A	0.86	HumiGuard+	BioBlock+	Wash Scrub Impact Scratch	Yes
15/16" Square Lay-in	1	764 764M	2' x 2' x 5/8" 600 x 600 x 15mm	0.55 33	Class A	0.86				
	1	763 763M	2' x 4' x 5/8" 600 x 1200 x 15mm	0.55 33	Class A	0.86				

Fig. 5.28 Baldosa Armstrong tipo Georgian 764  
Fuente: <http://www.armstrong.com>  
Elaboracion: Propia

TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )														
Caso 1-2 : Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 100%(Con Baldosa Armstrong Georgian 764)														
	$L_0$	80.00												
	RW	7.40												
		Banda de octava de frecuencia central (Hz)												
		Coeficiente de absorción (alfa)						Absorción ( $A= S*\alpha$ prom)						
Tipo de superficie	$S_i(m^2)$	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
Puerta de madera (2 unidades)	4.20	0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.63	0.42	0.25	0.34	0.42	0.42	
* Ventanas (vidrio 6mm)	2.58	0.10	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02	0.26	0.21	0.10	0.08	0.05	0.05	
** Ventanas (vidrio 6mm)ABIERTA 42%	1.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	
Muro interior pintado	94.55	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	3.78	3.78	3.78	4.73	5.67	2.84	
Elementos de concreto pintados (col y vigas)	13.25	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	0.53	0.53	0.53	0.66	0.80	0.40	
*** Cieloraso con Baldosa Armstrong	76.50	0.22	0.58	0.56	0.72	0.76	0.81	16.83	44.37	42.84	55.08	58.14	61.97	
Piso laminado	73.75	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	1.48	1.48	2.21	2.95	2.95	3.69	
Tarima de madera con cubierta laminada	7.00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.24	0.29	0.28	0.35	0.36	0.32	
Asientos de plástico	18.00	0.15	0.2	0.28	0.3	0.3	0.3	2.70	3.60	5.04	5.40	5.40	5.40	
Alumnos	18.00	0.20	0.25	0.33	0.40	0.40	0.40	3.60	4.50	5.94	7.20	7.20	7.20	
Mesa metalica cubierta con melamina	11.25	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.34	0.34	0.23	0.23	0.23	0.11	
Cortina de algodn	27.00	0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.35	1.08	1.35	2.97	4.86	8.10	9.45	
	347.95							33.33	62.73	66.04	83.74	91.19	93.71	
								$T_{60}$ (s)	1.17	0.62	0.59	0.47	0.43	0.42
AREA DE MURO DE SALON de 9.5 X 3 m (F)	28.50							Proporcion a 500 Hz	1.98	1.05	1.00	0.79	0.72	0.70
								$\log_{10}(A/F)$	0.68	3.43	3.65	4.68	5.05	5.17
								$L_2 = L_0 - RW + 6 - 10\log_{10}(A/F)$	77.92	75.17	74.95	73.92	73.55	73.43
								Atenuación del aula (dB)	2.08	4.83	5.05	6.08	6.45	6.57
NOTA														
* Sola hay vidrio de 6mm en el 48 % del área total de vanos de la fachada de estudio														
** El 42% del área de ventana representa el 100% que puede abrirse esta en la fachada de estudio														
*** Se emplea una baldosas Armstrong Georgian 764														

Fig. 5.29 TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )  
 Caso 1-2 : Aula en con salón completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 100%(Con Baldosa Armstrong Georgian 764).  
 Elaboración: Propia

Como se puede apreciar en la Fig. 5.29 a pesar de llegar de tener las ventanas totalmente abiertas, el hecho de emplear baldosas acústicas nos muestra que se pueden llegar a tener niveles aceptables de Tiempos de reverberación ( $T_{60}$ ) para ciertas frecuencias; Rango aceptable para aulas según la Tabla 5.1 es de 0.4 a 0.6 s .

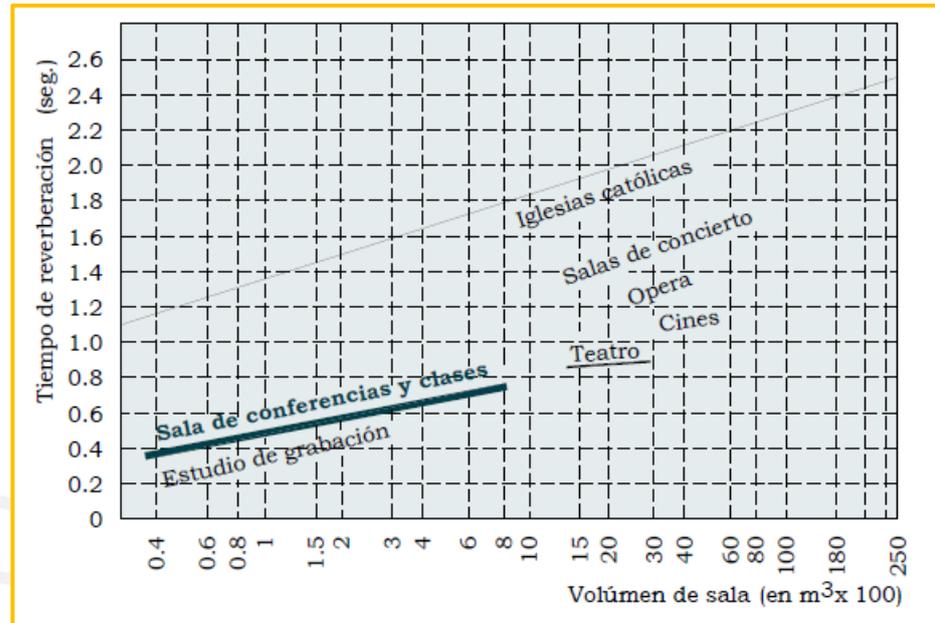


Tabla 5.1 Tiempos de reverberación ( $T_{60}$ ) considerados adecuados  
Elaboración: Propia

Se aprecia claramente en la tabla 5.3 el aumento del tiempo de reverberación en función de los metros cúbicos de la sala de estudio. Lo ideal será que en centros educativos no se excedan los 0.6 s para volúmenes de hasta 283 m<sup>3</sup>.

Sin embargo, el aula pese a llegar a mitigar alrededor de 5 dB que es un valor considerable de atenuación, sigue con valores encima de los recomendables por la Norma Técnica peruana E-040 (40 a 45 dB) que se aprecia en la Tabla 5.1.

DESTINO / ACTIVIDAD	NIVEL MÁXIMO DE RUIDO
Dormitorios	30 a 40 (dB)
Biblioteca Silenciosa	35 a 40( dB)
Sala Estar	40 a 45 (dB)
Oficinas Privadas	40 a 45 (dB)
Aula de Escuela	40 a 45 (dB)
Oficinas Generales	45 a 50 (dB)

Tabla 5.2 Niveles recomendados en ruido interior según NTP E-040  
Elaboración: Propia

Se hizo similar análisis de para los casos de ventanas totalmente cerradas (con y sin baldosa), ventanas insuladas (con y sin baldosa) como se aprecia en las figuras del 5.30 al 5.33.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )														
Caso 3-1 : Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas cerradas (Sin Baldosa)														
$L_0$	80.00													
RW	35.30													
Banda de octava de frecuencia central (Hz)														
Tipo de superficie	$S_i (m^2)$	Coeficiente de absorción ( $\alpha$ )						Absorción ( $A=S \cdot \alpha$ prom)						
		125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
Puerta de madera (2 unidades)	4.20	0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.63	0.42	0.25	0.34	0.42	0.42	
<b>• Ventanas (vidrio 6mm)</b>	4.45	0.10	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02	0.45	0.36	0.18	0.13	0.09	0.09	
Muro interior pintado	94.55	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	3.78	3.78	3.78	4.73	5.67	2.84	
Elementos de concreto pintados (col y vigas)	13.25	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	0.53	0.53	0.53	0.66	0.80	0.40	
Cieloraso pintado	76.50	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	3.06	3.06	3.06	3.83	4.59	2.30	
Piso laminado	73.75	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	1.48	1.48	2.21	2.95	2.95	3.69	
Tarima de madera con cubierta laminada	7.00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.24	0.29	0.28	0.35	0.36	0.32	0.32	
Asientos de plástico	18.00	0.15	0.2	0.28	0.3	0.3	0.3	2.70	3.60	5.04	5.40	5.40	5.40	
Alumnos	18.00	0.20	0.25	0.33	0.40	0.40	0.40	3.60	4.50	5.94	7.20	7.20	7.20	
Mesa metalica cubierta con melamina	11.25	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.34	0.34	0.23	0.23	0.23	0.11	
Cortina de algodón	27.00	0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.35	1.08	1.35	2.97	4.86	8.10	9.45	
	347.95							17.88	19.70	24.47	30.67	35.81	32.21	
AREA DE MURO DE SALON de 9.5 X 3 m (F)	28.50													
								$T_{60} (s)$	2.18	1.98	1.59	1.27	1.09	1.21
								Proporcion a 500 Hz	1.37	1.24	1.00	0.80	0.68	0.76
								$\log_{10}(A/S)$	-2.03	-1.60	-0.66	0.32	0.99	0.53
								$L_2 = L_0 - RW + 6 - 10 \log_{10}(A/S)$	52.73	52.30	51.36	50.38	49.71	50.17
								Atenuación del aula (dB)	27.27	27.70	28.64	29.62	30.29	29.83
NOTA														
• Sola hay vidrio de 6mm cerrados del área total de vanos en la fachada de estudio														

Fig. 5.30 TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )  
Caso 3-1: Aula en con salón completo (50 personas) y con las ventanas cerradas (Sin Baldosa)  
Elaboración: Propia

TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )														
Caso 3-2 : Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas cerradas (Con Baldosa Armstrong Georgian 764)														
$L_0$	80.00													
RW	35.30													
Banda de octava de frecuencia central (Hz)														
Tipo de superficie	$S_i (m^2)$	Coeficiente de absorción ( $\alpha$ )						Absorción ( $A=S \cdot \alpha$ prom)						
		125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
Puerta de madera (2 unidades)	4.20	0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.63	0.42	0.25	0.34	0.42	0.42	
<b>• Ventanas (vidrio 6mm)</b>	4.45	0.10	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02	0.45	0.36	0.18	0.13	0.09	0.09	
Muro interior pintado	94.55	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	3.78	3.78	3.78	4.73	5.67	2.84	
Elementos de concreto pintados (col y vigas)	13.25	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	0.53	0.53	0.53	0.66	0.80	0.40	
Cieloraso pintado	76.50	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	3.06	3.06	3.06	3.83	4.59	2.30	
<b>** Cieloraso con Baldosa Armstrong</b>	76.50	0.22	0.58	0.56	0.72	0.76	0.81	16.83	44.37	42.84	55.08	58.14	61.97	
Piso laminado	73.75	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	1.48	1.48	2.21	2.95	2.95	3.69	
Tarima de madera con cubierta laminada	7.00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.24	0.29	0.28	0.35	0.36	0.32	0.32	
Asientos de plástico	18.00	0.15	0.2	0.28	0.3	0.3	0.3	2.70	3.60	5.04	5.40	5.40	5.40	
Alumnos	18.00	0.20	0.25	0.33	0.40	0.40	0.40	3.60	4.50	5.94	7.20	7.20	7.20	
Mesa metalica cubierta con melamina	11.25	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.34	0.34	0.23	0.23	0.23	0.11	
Cortina de algodón	27.00	0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.35	1.08	1.35	2.97	4.86	8.10	9.45	
	424.45							34.71	64.07	67.31	85.75	93.95	94.18	
AREA DE MURO DE SALON de 9.5 X 3 m (F)	28.50													
								$T_{60} (s)$	1.12	0.61	0.58	0.45	0.42	0.41
								Proporcion a 500 Hz	1.94	1.05	1.00	0.78	0.72	0.71
								$\log_{10}(A/S)$	0.86	3.52	3.73	4.78	5.18	5.19
								$L_2 = L_0 - RW + 6 - 10 \log_{10}(A/S)$	49.84	47.18	46.97	45.92	45.52	45.51
								Atenuación del aula (dB)	30.16	32.82	33.03	34.08	34.48	34.49
NOTA														
• Sola hay vidrio de 6mm cerrados del área total de vanos en la fachada de estudio														
** Se emplea una baldosas Armstrong Georgian 764														

Fig. 5.31 TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )  
Caso 3-2 : Aula en con salón completo (50 personas) y con las ventanas cerradas (Con Baldosa Armstrong Georgian 764).  
Elaboración: Propia

TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )														
Caso 4-1 : Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/6mm (Sin Baldosa)														
$L_0$	80.00													
RW	41.00													
Banda de octava de frecuencia central (Hz)														
Tipo de superficie	$S_i (m^2)$	Coeficiente de absorción ( $\alpha$ )						Absorción ( $A = S \cdot \alpha$ prom)						
		125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
Puerta de madera (2 unidades)	4.20	0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.63	0.42	0.25	0.34	0.42	0.42	
• Ventanas (vidrio insulado)	4.45	0.25	0.1	0.07	0.06	0.04	0.02	1.11	0.45	0.31	0.27	0.18	0.09	
Muro interior pintado	94.55	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	3.78	3.78	3.78	4.73	5.67	2.84	
Elementos de concreto pintados (col y vigas)	13.25	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	0.53	0.53	0.53	0.66	0.80	0.40	
Cieloraso pintado	76.50	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	3.06	3.06	3.06	3.83	4.59	2.30	
Piso laminado	73.75	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	1.48	1.48	2.21	2.95	2.95	3.69	
Tarima de madera con cubierta laminada	7.00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.24	0.29	0.28	0.35	0.36	0.32	
Asientos de plástico	18.00	0.15	0.2	0.28	0.3	0.3	0.3	2.70	3.60	5.04	5.40	5.40	5.40	
Alumnos	18.00	0.20	0.25	0.33	0.40	0.40	0.40	3.60	4.50	5.94	7.20	7.20	7.20	
Mesa metalica cubierta con melamina	11.25	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.34	0.34	0.23	0.23	0.23	0.11	
Cortina de algodón	27.00	0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.35	1.08	1.35	2.97	4.86	8.10	9.45	
	347.95							18.55	19.79	24.60	30.80	35.90	32.21	
								$T_{60} (s)$	2.10	1.97	1.59	1.27	1.09	1.21
AREA DE MURO DE SALON de 9.5 X 3 m (F)	28.50							Proporcion a 500 Hz	1.33	1.24	1.00	0.80	0.69	0.76
								$\log_{10}(A/S)$	-1.87	-1.58	-0.64	0.34	1.00	0.53
								$L_2 = L_0 - RW + 6 - 10 \log_{10}(A/S)$	46.87	46.58	45.64	44.66	44.00	44.47
								Atenuación del aula (dB)	33.13	33.42	34.36	35.34	36.00	35.53

NOTA  
\* Sola hay vidrio insulado de 6mm/12mm/6mm en el área total de vanos en la fachada de estudio

Fig. 5.32 TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )  
Caso 4-1 : Aula en con salón completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/6mm (Sin Baldosa).  
Elaboración: Propia

TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )														
Caso 4-2 : Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/6mm (Con Baldosa Armstrong Georgian 764)														
$L_0$	80.00													
RW	41.00													
Banda de octava de frecuencia central (Hz)														
Tipo de superficie	$S_i (m^2)$	Coeficiente de absorción ( $\alpha$ )						Absorción ( $A = S \cdot \alpha$ prom)						
		125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
Puerta de madera (2 unidades)	4.20	0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.63	0.42	0.25	0.34	0.42	0.42	
• Ventanas (vidrio insulado)	4.45	0.25	0.1	0.07	0.06	0.04	0.02	1.11	0.45	0.31	0.27	0.18	0.09	
Muro interior pintado	94.55	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	3.78	3.78	3.78	4.73	5.67	2.84	
Elementos de concreto pintados (col y vigas)	13.25	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	0.53	0.53	0.53	0.66	0.80	0.40	
** Cieloraso con Baldosa Armstrong	76.50	0.22	0.58	0.56	0.72	0.76	0.81	16.83	44.37	42.84	55.08	58.14	61.97	
Piso laminado	73.75	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	1.48	1.48	2.21	2.95	2.95	3.69	
Tarima de madera con cubierta laminada	7.00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.24	0.29	0.28	0.35	0.36	0.32	
Asientos de plástico	18.00	0.15	0.2	0.28	0.3	0.3	0.3	2.70	3.60	5.04	5.40	5.40	5.40	
Alumnos	18.00	0.20	0.25	0.33	0.40	0.40	0.40	3.60	4.50	5.94	7.20	7.20	7.20	
Mesa metalica cubierta con melamina	11.25	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.34	0.34	0.23	0.23	0.23	0.11	
Cortina de algodón	27.00	0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.35	1.08	1.35	2.97	4.86	8.10	9.45	
	347.95							32.32	61.10	64.38	82.06	89.45	91.88	
								$T_{60} (s)$	1.21	0.64	0.61	0.48	0.44	0.42
AREA DE MURO DE SALON de 9.5 X 3 m (F)	28.50							Proporcion a 500 Hz	1.99	1.05	1.00	0.78	0.72	0.70
								$\log_{10}(A/S)$	0.55	3.31	3.54	4.59	4.97	5.08
								$L_2 = L_0 - RW + 6 - 10 \log_{10}(A/S)$	44.45	41.69	41.46	40.41	40.03	39.92
								Atenuación del aula (dB)	35.55	38.31	38.54	39.59	39.97	40.08

NOTA  
\* Sola hay vidrio insulado de 6mm/12mm/6mm en el área total de vanos en la fachada de estudio  
\*\* Se emplea una baldosas Armstrong Georgian 764

Fig. 5.33 TIEMPO DE REVERBERACIÓN ( $T_{60}$ ) Y NIVEL DE PRESION EN EL AULA ( $L_2$ )  
Caso 4-2: Aula en con salón completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/6mm (Con Baldosa Armstrong Georgian 764)  
Elaboración: Propia

A continuación se presenta un cuadro resumen de todos los casos analizados, para diferentes condiciones de abertura en ventanas y considerando diferentes tipos de baldosas acústicas (Ver tablas 5.3 y 5.4).

Tiempo de Reverberación en los distintos casos Analizados (s)						
Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Caso 1-1: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 100%(Sin Baldosa)	1.99	1.82	1.49	1.20	1.04	1.15
Caso 1-2: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 100%(Con Baldosa Armstrong Georgian 764)	1.17	0.62	0.59	0.47	0.43	0.42
Caso 1-3: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 100%(Con Baldosa OPTIMA board 25 mm)	0.71	0.47	0.39	0.38	0.36	0.36
Caso 2-1: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 50%(Sin Baldosa)	2.08	1.90	1.54	1.24	1.06	1.18
Caso 2-2: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 50%(Con Baldosa Armstrong Georgian 764)	1.20	0.63	0.60	0.47	0.43	0.42
Caso 2-3: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 50%(Con Baldosa Armstrong OPTIMA board 25 mm )	0.72	0.47	0.39	0.39	0.36	0.36
Caso 3-1: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas cerradas (Sin Baldosa)	2.18	1.98	1.59	1.27	1.09	1.21
Caso 3-2: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas cerradas (Con Baldosa Armstrong Georgian 764)	1.23	0.64	0.61	0.48	0.44	0.42
Caso 3-3: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas cerradas (Con Baldosa Armstrong -ÓPTIMA board 25 mm)	0.73	0.48	0.40	0.39	0.36	0.37
Caso 4-1: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/6mm (Sin baldosa)	2.10	1.97	1.59	1.27	1.09	1.21
Caso 4-2: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/6mm (Con Baldosa Armstrong Georgian 764)	1.21	0.64	0.61	0.48	0.44	0.42
Caso 4-3: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/6mm (Con Baldosa Armstrong -ÓPTIMA board 25 mm)	0.73	0.48	0.40	0.39	0.36	0.37
Caso 5-1: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/8mm (Sin baldosa)	2.10	1.97	1.59	1.27	1.09	1.21
Caso 5-2: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/8mm (Con Baldosa Armstrong Georgian 764)	1.21	0.64	0.61	0.48	0.44	0.42
Caso 5-3: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/8mm (Con Baldosa Armstrong -ÓPTIMA board 25 mm)	0.73	0.48	0.40	0.39	0.36	0.37

Tabla 5.3Tiempo de reverberación  $T_{60}$ para diferentes casos de abertura de ventana y empleo de baldosas.

Elaboración: Propia

Según la tabla 5.3 se puede decir que el hecho de emplear diferentes niveles de abertura en ventanas o usar los cristales insulados no representa un cambio significativo en los tiempos de reverberación (casos 1-1, 2-1, 3-1, 4-1, 5-1), pero se pueden llegar a tiempos aceptables empleando las baldosas acústicas (Casos1-2, 2-2, 3-2, 4-2, 5-2). Asimismo se empleó adicionalmente la baldosa ÓPTIMA con mayor coeficiente de absorción que el Armstrong

Georgian 764, que mejora aún más la el T60. Dado que los materialesduros, como el concreto son poco absorbentes del sonido, un ambiente con paredes de este tipo tendrá un tiempo de reverberación largo. Una sala cubierta con materiales absorbentes como cortinados, alfombras, etc., por el contrario,tendrá un tiempo de reverberación corto.

La tabla 5.4 muestra los niveles de presión sonora para los mismos casos analizados en la tabla 5.3.

Niveles de presión sonora a diferentes frecuencias (dB)						
Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Caso 1-1: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 100%(Sin Baldosa)	80.23	79.84	78.95	78.03	77.39	77.83
Caso 1-2: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 100%(Con Baldosa Armstrong Georgian	77.92	75.17	74.95	73.92	73.55	73.43
Caso 1-3: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 100%(Con Baldosa OPTIMA board 25 mm)	75.76	73.94	73.16	73.09	72.75	72.80
Caso 2-1: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 50%(Sin Baldosa)	77.43	77.02	76.11	75.15	74.50	74.95
Caso 2-2: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 50%(Con Baldosa Armstrong Georgian	75.03	72.23	72.01	70.97	70.59	70.47
Caso 2-3: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas abiertas al 50%(Con Baldosa Armstrong OPTIMA board 25 mm )	72.83	70.98	70.20	70.13	69.79	69.84
Caso 3-1: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas cerradas (Sin Baldosa)	52.73	52.30	51.36	50.38	49.71	50.17
Caso 3-2: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas cerradas (Con Baldosa Armstrong Georgian 764)	50.25	47.39	47.17	46.11	45.74	45.62
Caso 3-3: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas cerradas (Con Baldosa Armstrong -ÓPTIMA board 25 mm)	48.00	46.13	45.34	45.27	44.93	44.98
Caso 4-1: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/6mm (Sin baldosa)	46.87	46.58	45.64	44.66	44.00	44.47
Caso 4-2: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/6mm (Con Baldosa Armstrong Georgian 764)	44.45	41.69	41.46	40.41	40.03	39.92
Caso 4-3: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/6mm (Con Baldosa Armstrong -ÓPTIMA board 25 mm)	42.25	40.42	39.63	39.56	39.22	39.28
Caso 5-1: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/8mm (Sin baldosa)	45.67	45.38	44.44	43.46	42.80	43.27
Caso 5-2: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/8mm (Con Baldosa Armstrong Georgian 764)	43.25	40.49	40.26	39.21	38.83	38.72
Caso 5-3: Aula en con salon completo (50 personas) y con las ventanas insuladas 6mm/12mm/8mm (Con Baldosa Armstrong -ÓPTIMA board 25 mm)	41.05	39.22	38.43	38.36	38.02	38.08

Tabla 5.4 Nivel de atenuación del aula ( $L_2$ ) para diferentes casos de abertura de ventana y empleo de baldosas.  
Elaboración: Propia

Se observa claramente que cerrando las ventanas totalmente y empleando la baldosa Georgian 764 (caso 3-2) se llega a 2 dB por encima de lo recomendado por la norma E-040 (40 a 45 dB), y usando la baldosa Optima board 25 mm (Caso 3-3) el nivel de presión sonora se acerca ligeramente a los valores requeridos. Se alcanza el nivel recomendado por la norma empleando los cristales insulados junto a las baldosas acústicas (Casos 4-2,4-3 y 5-2, 5-3). **Se recalca que el hecho de emplear ventanas cerradas (para el cristal actualmente empleado y los vidrios insulados) conlleva a considerar el empleo de ventilación forzada.**

Asimismo se realizó los análisis de precios unitarios (A.P.U) de los vidrios insulados, así como de las baldosas acústicas, a manera de referencia y tener un valor por m<sup>2</sup> de dichas alternativas de mitigación como se puede apreciar en el acápite 5.3.

### 5.3 Análisis de Costos:

#### A. Baldosas Acústica(60 x 60 cm GEORGIAN 764 – Armstrong):

Falso cielo Raso con Baldosas Acústica 60 x 60 cm (GEORGIAN 764 – Armstrong)						
Rendimiento	m <sup>2</sup> /día	MO. 12.00	EQ. 12.00	Costo unitariodirecto por m <sup>2</sup>		S/. 92.81
	HH 1.4001		HM 0.667	Jornada		8.00
			UND	CUADRI	CANTIDAD	PRECIO S/.
						PARCIAL S/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ			HH	0.1000	0.0667	15.74 1.05
OPERARIO			HH	1.0000	0.6667	13.12 8.75
OFICIAL			HH	1.0000	0.6667	11.70 7.80
						S/. 17.60
<b>MATERIALES</b>						
Baldosas Acústica 60 x 60 cm GEORGIAN 764 - ARMSTRONG			m <sup>2</sup>		1.02	72.24 73.68
						S/. 73.68
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas Manuales			%MO		3.00	17.60 0.53
Andamio Metalico			HM	1	0.6667	1.5 1.00
						S/. 1.53

Fig. 5.34 Análisis de precios unitarios (A.P.U) de Baldosa acústica Armtrong Georgian 764  
Elaboración: Propia



**C. Cristal insulado de 8mm/ 12mm/ 6mm:**

Para el caso del cristal insulado se obtiene que para 1 cuadrilla conformada por 0.1 Capataz + 1 Operario + 0.5 Oficial se alcanza un rendimiento de 6 m<sup>2</sup>/día a un costo de s/.748.11 / m<sup>2</sup> (El precio incluye el empleo de andamio, mas no el flete).Asimismo el costo incluye los perfiles de aluminio rellenos con poliuretano y la fijación con silicona.

Partida		SUMINISTRO E INSTALACION DE VIDRIO INSULADO LAMINADO 8 X 12 X 6 MM					
Rendimiento: M2/DIA		MO.	Costo unitario directo por : Un		S/		748.11
	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Materiales</b>							
	PERFIL DE ALUMINIO P/CRISTAL INSULADO 2" X 1 1/2"	MI		1.5000	183.98	275.97	
	RELLENO POLIURETANO EXPANDIDO	Kg		0.2000	110.24	22.05	
	PINTURA ESMALTE SINTÉTICO	Gln		0.0500	39.07	1.95	
	SILICONA PARA VIDRIO C/APLICADOR	Und		1.0000	15.00	15.00	
	VIDRIO SEMIDOBLE IMPORTADO INC. COLOCACIÓN	M2		1.5000	266.11	399.17	
						<b>714.14</b>	
<b>Mano de Obra</b>							
	CAPATAZ	hh	0.10	0.1333	17.14	2.29	
	OPERARIO	hh	1.00	1.3333	15.22	20.29	
	OFICIAL	hh	0.50	0.6667	13.23	8.82	
						<b>31.40</b>	
<b>Equipo</b>							
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	31.40	1.57	
	Andamio Metalico	HM	1.00	0.6667	1.5000	1.00	
						<b>2.57</b>	

Fig. 5.36Análisis de precios unitarios (A.P.U) de cristal insulado  
Elaboración: Propia

Una comentario aparte merece el costo de los cristales insulados, los cuales estan muy por encima de los precios estándar en cuanto a cristales crudos y laminados los cuales oscilan entre 200 a 300 soles por m<sup>2</sup>, es por ello que estos tipos de materiales no son muy utilizados en la mayoría de proyectos; y su empleo está en función de la alta calidad que se quiera ofrecer en una determinada obra.

## 6. CONCLUSIONES

1. Los mapas de ruido muestran una tendencia cíclica; pues existe una similar tendencia en cuanto a los niveles de presión sonora en todos los días analizados (Similares valores y gama de colores).
2. Los niveles de ruido son superiores a los recomendados para las actividades dentro del campus según recomendaciones nacionales e internacionales. La fuente proviene principalmente de los vehículos que transitan la Av. Universitaria y Riva Agüero.
3. La facultad más afectada con el impacto acústico es el centro preuniversitario CEPREPUCP; donde se alcanzan valores alrededor de los 80 dB de nivel de presión sonora con ponderación "A". Asimismo se detectó que estos niveles de presión; producto del ruido vehicular; alcanza a los pabellones A (Ciencias) y Químicos niveles de presión sonora con ponderación "A" alrededor de los 60 a 70 dB.

4. Se encontró algunos sectores dentro del campus (Facultad de ciencias Sociales, CAPU, Biblioteca Central) con rangos elevados niveles de presión sonora con ponderación "A" (60 a 65 dB), esto se debe a la confluencia de alumnado que circula por esos sectores.
5. Es posible disminuir los niveles de presión sonora aumentando la absorción en el interior de las aulas, esto resulta importante si es que se quiere obviar el cierre de ventanas empleando vidrios insulados, lo que demandaría un alto costo no solo en el material a utilizarse, sino también por el empleo de ventilación forzada en las aulas.



## 7. RECOMENDACIONES

1. Semejoraría significativamente la calidad acústica si se incluye las baldosas en los corredores que circundan las aulas. Por limitaciones de costos se recomienda el empleo de baldosas acústicas en el interior de las aulas; también podría recubrirse con este mismo material áreas planas a una altura superior a 2 m.
2. Si se busca llegar a niveles de alta calidad , los cristales insulados de 8mm/ 12 mm aire/6 mm son una buena opción pues se comporta de mejor manera ante el efecto de coincidencia que cristales insulados de mismos espesores extremos, pero su costo es elevado y necesita adicionarse un sistema de ventilación forzada para que sea viable, por lo que se descartó como opción de mitigación acústica en este estudio.
3. Respecto a las zonas de tránsito peatonal dentro del campus, se recomienda la implementacion de políticas administrativas que permitan corregir los altos índices encontrados en los mapas de ruido.

## 8. BIBLIOGRAFIA

NICOLA, Marina y Anabel RUANI  
2000

*Evaluación de la exposición sonora y de su impacto sobre la salud y calidad de vida de la población residente en la Zona Oeste de la Ciudad de Córdoba. Caracterización de accesos principales a la Zona Central.* Biblioteca virtual de desarrollo sustentable y salud ambiental [Fecha de consulta: 12 Agosto de 2010] <[www.cepis.org.pe/bvsaia/e/fulltext/ruido/ruido.pdf](http://www.cepis.org.pe/bvsaia/e/fulltext/ruido/ruido.pdf)>

LONDOÑO Juan Luis y Hernando RESTREPO  
1997

*Hipoacusia neurosensorial por ruido industrial y solventes orgánicos en el Complejo Barrancabermeja 1977 - 1997.* Barrancabermeja: Revista Colombiana de Salud Pública Nacional Salud Pública 1997; número 15, pag 94-120.

GARCIA, Ana  
2001

*Salud Laboral : Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales.* Barcelona : Masson (Elsevier)

DIRECCION NACIONAL DE SALUD AMBIENTAL  
2005

*Manual de Salud Ocupacional - Ministerio de Salud.* Dirección General de Salud Ambiental. Dirección Ejecutiva de Salud Ocupacional. Lima: Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental 98 p.

QUINTANAR MEDINA, Luis  
2007

*Educación ambiental en la universidad: sonido.* La Revista Iberoamericana de Educación - publicación editada por la OEI N 42/3 [Fecha de consulta: 2009] <http://www.rieoei.org/experiencias147.htm>

BURBANO DE  
ERCILLA, Santiago y  
Carlos GRACIA MUÑOZ  
2003

Física General, Tebar, capítulo XVII

PARRONDO GAYO,  
Jorge Luis  
2006

*Acústica Ambiental.* Oviedo: Fondo editorial de la Universidad de Oviedo

GARRIDO BULLON, Angel  
1996

*Física del sonido.* Editorial Sanz y Torres

- HARRIS, Cyril  
1995 Manual de medidas acústicas y control del ruido. XI edición, Madrid: Mc
- RECUERO, Manuel  
1992 *Acústica Arquitectónica*. Soluciones Arquitectónicas, Madrid : pag 51
- WERNER, Antonio,  
Antonio MÉNDEZ y  
Estela SALAZAR  
1990 *El ruido y la Audición*. Primera edición, Editorial AD-HOC SRL.
- DE OLAZABAL, Tirso  
1998 *Acústica musical y organología* Editorial Melos (Ricordi Americana)
- FLORES -  
DOMINGUEZ, Rodiño  
2005 *Contaminación acústica*. [Fecha de Consulta: 10 de julio de 2010].  
<<http://contaminaciónacústica-monografías.com.html>>
- PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTROS  
2003 Decreto Supremo N°085-2003-PCM, Reglamento de Estándares M  
Calidad Ambiental para Ruido
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS  
1998 Guía Ambiental para el manejo de problemas de Ruido. Lima.
- NORMA TÉCNICA PERUANA
- NTP-ISO 1996-1:2007 Acústica – Descripción, medición y evaluación del ruido ambiente  
Magnitudes básicas y procedimientos de medición.
- NTP-ISO 1996-2:2008 Acústica – Descripción, evaluación y medición del ruido ambiente  
Determinación de los niveles de ruido ambiental
- INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION
- 2002 IEC 61672-1:2002, Electroacoustics – Sound Level Meters – Part 1: Spec
- 2003 IEC 61672-2:2003, Electroacoustics – Sound Level Meters – Part 2: Patter

tests.

RONDAL, JEAN  
1991

*Trastornos del Lenguaje I*. Ediciones Paidós. pág. 27

ORTIZ LOPEZ, Luis  
2005

Contacto y contextos lingüísticos El español en los Estados Unidos y en otras lenguas. Madrid

BERGLUND Birgitta-,  
LINDWALL Thomas  
1999

Guías para el ruido urbano, primera edición. Págs. 10-14

SERRANO PEREZ  
Martha- ABAD TORIBIO  
Laura y otros  
2009

Estudio de la tipologías de las pantallas Acústicas.

INFORME REALIZADO POR LA OCDE  
1995

Reducción del ruido en el entorno de carreteras.

MEISSER, MATHIAS  
1973

Acústica de los edificios. págs. 35-183

LORD, PETER-  
TEMPLANTON, DUNCAN  
1996

DETAILING FOR ACOUSTICS, tercera edición

MORENO, JORGE  
1990

Introducción al control de ruido. . págs. 56-65

MAEKAWA, Z  
1984

ENVIRONMENTAL AND ARCHITECTURAL ACOUSTICS  
págs. 160-164

