

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL



ARTÍCULO CIENTÍFICO PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA

CARACTERIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA
PARA EL CASCO CENTRAL DEL CANTÓN DE SAN JOSÉ

PROFESOR ASESOR:

ING. ANDRÉS ROBLES RAMÍREZ

REALIZADO POR:

JOSÉ MANUEL MOYA BONILLA

EVANDRY ALBERTO MONGE MONGE

I CUATRIMESTRE DE 2015

Caracterización de la distribución de los Niveles de Presión sonora para el Casco Central del Cantón de San José

Evandry Alberto Monge Monge

José Manuel Moya Bonilla

Resumen

El ruido es un sonido molesto o indeseado que causa daños a la salud y problemas ambientales que afecta tanto a las áreas rurales como urbanas. En años recientes, el medir, controlar y mitigar el ruido, se ha convertido en un tema importante ante el incremento del mismo ocasionado por diferentes fuentes. El objetivo de este artículo es realizar una caracterización de la distribución de los niveles de presión sonora para el casco central de la provincia de San José. Lo anterior tomando mediciones entre semana en tres franjas horarias, en doce puntos de la ciudad usando un sonómetro 3M SD-2000, además se realizaron observaciones con el fin de caracterizar las fuentes. Entre los resultados obtenidos se pudo observar que los promedios de niveles de presión sonora en los puntos de medición superaban los parámetros de la legislación local entre 2dB(A) y 5 dB(A) que la principal fuente emisora fue el ruido ocasionado por el tráfico. **Palabras claves:** ruido ambiente, rango horario, presión sonora, tráfico.

Summary

Noise is an unwanted and annoying sound that can cause damage to health and environmental problems that affects both rural and urban areas. In recent years, measuring, monitoring and mitigation of noise has become an important issue because of the increase thereof caused by different sources. The objective of this article is to characterize the distribution of sound pressure levels for San José down town. These taking measurements on laboral day in three different lapses, in twelve points of the city using a sound meter 3M SD-2000, besides observations were made to characterize the noise sources.

As main results, was observed that average sound pressure levels at the measuring points exceeded the parameters of local legislation from 2dB(A) to 5 dB(A) and that the largest source of noise was caused by traffic.

Key words: environmental noise, time range, sound pressure, traffic.

Introducción

La Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) ha definido el ruido como un sonido indeseado o molesto, el cual interfiere con actividades normales como el dormir, las conversaciones, el trabajo y que consecuentemente reduce la calidad de vida de la gente. Se ha convertido no sólo en un problema que genera consecuencias a la salud (la Agencia Ambiental Europea lo cita como una causa asociada de unas 10 000 muertes prematuras en su informe de 2014) (EEA, 2014); sino también una problemática ambiental que afecta además a las áreas urbanas y también las rurales, áreas boscosas y mares.

En años recientes, el medir, controlar y mitigar el ruido, se ha convertido en un tema importante, especialmente ante el incremento del mismo ocasionado por diferentes fuentes como el tráfico, las actividades diarias, la industria, entre otras.

A nivel internacional se han desarrollado estudios en el tema como es el caso de Argentina, en la ciudad de Buenos Aires, donde se realizó un mapa estratégico de ruido. En una primera etapa se tomó un área de unos 20Km donde la principal fuente de ruido identificada fue el tránsito. En este caso, se utilizó un

modelo mixto en donde además de las mediciones se utilizó un software que realizó predicciones a raíz de un sistema de ecuaciones matemáticas complejas. Entre los resultados obtenidos se determinó que de la totalidad de los puntos muestreados, ocho presentaban los valores más elevados (entre 75dB(A) y 80 dB(A)) (Gobierno de Buenos Aires, 2008). También en la ciudad de Bogotá, Colombia se hizo un estudio para caracterizar los niveles de contaminación sonora. En este caso, se tomaron ocho zonas de la ciudad y varios corredores viales como campo de estudio, seleccionadas de acuerdo a su categorización en la legislación. En todos los casos se obtuvo resultados que excedían los parámetros definidos en la legislación colombiana (Pacheco, J. 2009).

Costa Rica no escapa a este problema, por lo que determinar el nivel de ruido ambiental e identificar sus fuentes se convierte en una oportunidad de mejora para la calidad de vida, de manera esencial para las personas que habitan las principales ciudades del país como es el caso de San José. Especialmente en un país en donde la legislación nacional se ha vuelto tolerante con respecto a los niveles máximos permitidos de ruido ambiental permitiendo aumentos sin estudios que los justifiquen (Araya, J.

2002). En esta ciudad, se han realizado intentos por tener un panorama más claro sobre los niveles de presión sonora existente como el que realizó la Universidad de Costa Rica en el año 2002 y otros intentos realizados por la Municipalidad de San José en conjunto con la Universidad Nacional entre el 2009 y el 2010. En este último se efectuaron mediciones en 32 puntos del cantón y los resultados obtenidos indicaron que los niveles de presión sonora son muy superiores en zonas de tranquilidad (alrededores de hospitales y centros de estudio, 45dBA) y zonas comerciales (65dBA). La principal conclusión obtenida es que categoriza a San José como una ciudad ruidosa.

Tomando en cuenta lo anterior, se hace evidente la necesidad de realizar estudios en el tema, en este caso, un mapa de ruido para el casco central de San José, realizando muestreos en diferentes localidades con el fin de tener un panorama más claro. Además, tras la realización de un estudio similar en la provincia de Cartago, se quiere obtener información con el fin de validar y mejorar la metodología aplicada para la obtención de mejores resultados en las etapas venideras de este proyecto.

El presente estudio, tuvo como objetivo general el realizar una caracterización

de la distribución de los niveles de presión sonora para el caso central de la provincia de San José. Los objetivos específicos planteados fueron: 1. Caracterizar los niveles de presión sonora en el tiempo. 2. Caracterizar las fuentes de ruido ambiente desde el punto de vista de las fuentes de emisión (fija o móvil). 3. Construir un mapa de ruido para el casco central de la provincia de San José contemplando los puntos de medición elegidos. 4. Determinar la incertidumbre del estudio considerando los diferentes factores que influyen en la misma (Cuantificable y no cuantificable). 5. Determinar el cumplimiento de los resultados obtenidos en comparación con los parámetros establecidos en la legislación nacional e internacional aplicable.

El alcance de este proyecto es realizar una validación de la metodología a implementar pues la misma forma parte de un estudio con mayores alcances. Por este motivo, el análisis de los datos de niveles de presión sonora obtenidos se hizo en función de su comportamiento y dispersión, en este caso no se contempló el comportamiento del ruido en términos de energía o de exposición al mismo. Entre las principales limitaciones se pueden citar el tiempo para el desarrollo del mismo ya que solo se contaron con seis semanas para realizar el muestreo y

durante estas se dieron situaciones que impidieron realizar las mediciones como por ejemplo las lluvias o factores de seguridad pública especialmente en horarios de las 18 horas en adelante.

Metodología

Inicialmente se definieron a conveniencia doce puntos donde se realizaron las mediciones, para esto se tomó en cuenta la información suministrada por la Municipalidad de San José sobre las zonas más activas en cuanto a comercio, educación, salud, cultura y tránsito en el cantón central de la ciudad. Los puntos identificados fueron ubicados en un plano del casco central de San José con la ayuda del sistema de posicionamiento global (GPS). La cantidad de puntos elegidos se hizo a conveniencia pues no se contaba con más tiempo para poder hacer un recorrido con más lugares a la hora de muestrear. Los doce puntos elegidos son: Barrio la california, frente a la Universidad UAM, Estación del Ferrocarril al Atlántico, frente a la entrada principal de la Corte Suprema de Justicia, frente al costado sur del Museo Nacional, costado este del parque Morazán, costado noroeste de la Plaza de la Cultura, esquina sureste del teatro Melico Salazar, costado sur del mercado Borbón, costado norte del hospital San Juan de Dios, costado oeste del hospital

Blanco Cervantes, frente a la Municipalidad de San José, frente al Liceo Dobles Segreda (ver imagen 1).

La orientación del equipo (sonómetro marca 3M modelo SD200) para la recolección de datos se definió de acuerdo a la dirección de las fuentes generadoras de ruido, y el tipo de respuesta del equipo fue rápida, debido a la variación en los niveles de presión sonora que presentan las fuentes generadoras de ruido a través del tiempo y la altura exacta para la toma de datos fue de 1,25m. La siguiente etapa fue determinar el tamaño de muestra, para esto se realizó un muestreo previo durante dos semanas con el fin de tener información estadística que respaldara el cálculo de la misma (se hicieron tres mediciones, tres días por semana), pero debido a la variación de los datos, los tamaños de muestra obtenidos arrojaron cifras (siempre superiores a 13 000 datos a un 85% de confianza) que no se podían obtener en el plazo definido para la realización del estudio. En vista de lo anterior, se definió usar una muestra no representativa por lo que se realizó una medición cada veinte segundos durante un minuto en cada franja horaria y en cada uno de los doce puntos de medición. Se determinó además que el periodo de medición se desarrollaría desde la segunda semana

de febrero de 2015 hasta la tercera semana de marzo (incluyendo el muestreo previo), obteniendo así una muestra de 1276 datos en total.

Para las mediciones se definieron tres franjas horarias del día que corresponden a las horas pico, donde hay mayor movilización de personas y vehículos por la entrada y salida a los centros de trabajo, centros educativos y horas de almuerzo, estas son; en la mañana entre las siete y las nueve de la mañana, al medio día entre las doce y las catorce horas y al final de la tarde entre las diecisiete y diecinueve horas.

Para cumplir el objetivo de caracterizar las fuentes de ruido ambiente se realizó en campo la toma de datos cualitativos. Aquí fue necesaria una observación detallada de las fuentes para definir su clasificación dependiendo de las franjas horarias más importantes, el tipo de ruido que generan, las zonas o puntos de mayor contaminación según la información brindada por la municipalidad y según los datos obtenidos en la medición previa y también tomando en cuenta si son fuentes fijas o móviles. Para esto se utilizó una bitácora donde cada uno de los usuarios anotaba las características más importantes sobre los elementos que podían interferir en las mediciones

recolectadas y también sobre las características del ambiente en cada punto de medición.

Luego, se procesaron los datos cuantitativos obtenidos, esto se hizo mediante el cálculo de promedios de los niveles de presión sonora por período de observación para cada punto de medición con el fin de caracterizar los mismos, clasificándolos por color de acuerdo al resultado de estos datos con respecto a la reglamentación nacional (Reglamento para el control de la contaminación por ruido número 28718-S), de esta manera se representan de color verde si están por debajo del parámetro de la reglamentación, amarillo si están igual y rojo si están por encima de lo establecido, gráficamente se colocó un punto del color respectivo en el plano ya que no se pudo hacer cuadrícula debido a la distancia entre los puntos de medición. El cumplimiento de este objetivo requirió el uso de las siguientes herramientas; plano del cantón central de San José, un sistema de posicionamiento global (GPS), sonómetro, matriz para el registro de los datos de medición, software para cálculos estadísticos (Microsoft Excel y Minitab) y bitácora para la toma de observaciones.

Además se construyeron gráficos de cajas que facilitaron el análisis de los

datos ya que estos muestran el comportamiento de los resultados obtenidos en cada uno de los puntos de medición, por lo tanto, se creó un gráfico con los resultados de todos los puntos de medición y uno específico para cada punto de medición por rango horario.

Los resultados del estudio fueron expresados con un nivel de incertidumbre asociado, el cálculo de esta incertidumbre se realizó tomando en cuenta tres factores importantes, el primero de ellos es la incertidumbre del método, que se obtuvo con la desviación estándar de los datos, el siguiente factor es la incertidumbre del equipo, esta es proporcionada por las especificaciones del fabricante. El tercer factor es la incertidumbre asociada al usuario, la cual se obtuvo por medio del uso del calibrador acústico conocido también como pistófono. El método para obtener esta incertidumbre consistió en tomar siete mediciones con el pistófono durante dos días seguidos por parte de cada usuario, la desviación estándar de estas mediciones se promedió y se obtuvo así la incertidumbre para cada usuario. Las siete mediciones tomadas en cada

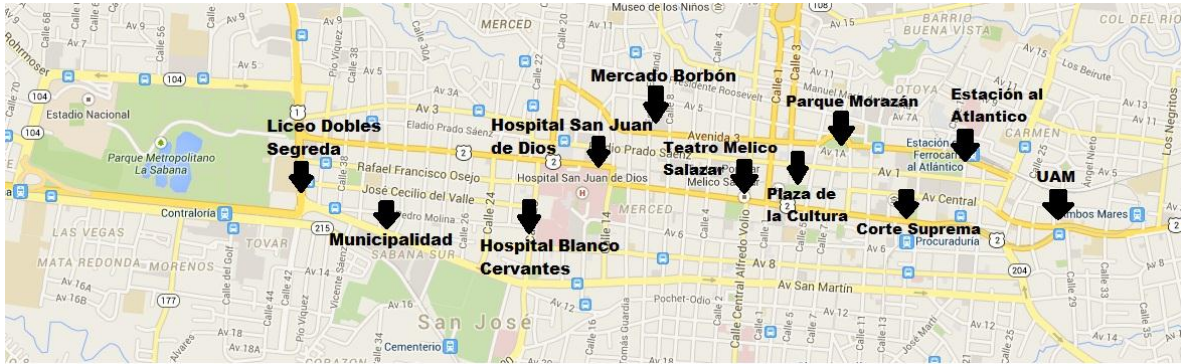
ejercicio se realizaron considerando estándares de calidad y repetitividad. Para obtener la incertidumbre total fue necesario que esas tres incertidumbres (μ) estuvieran expresadas en las mismas unidades que la magnitud que se mide y reporta (mesurando). Mediante la siguiente fórmula se obtuvo la incertidumbre final:

$$\mu = \sqrt{(\mu_1)^2 + (\mu_2)^2 + (\mu_3)^2 + \dots + (\mu_n)^2}$$

Otro factor es la incertidumbre asociada a las condiciones del ambiente, sin embargo es un elemento cualitativo que no se puede expresar numéricamente por lo que se hizo mención de la influencia de este factor sobre los datos recolectados.

Finalmente se comparó los resultados obtenidos con los parámetros establecidos en la legislación nacional (Reglamento para el control de la contaminación por ruido) e internacional (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos de América) aplicable y se concluyó con respecto al cumplimiento de estos parámetros para el casco central de la ciudad de San José.

Imagen 1: Ubicación de los puntos de medición en el casco central de San José.



Fuente: José Moya y Evandry Monge con base en mapas de Google.

Análisis y resultados

Después de la etapa de medición en los puntos citados anteriormente, se obtuvo 1276 datos de niveles de presión sonora, los cuales fueron ordenados por punto y por rango horario y los principales resultados obtenidos se observan en la tabla 1.

Con respecto a la tabla 1 es importante mencionar que no se puede observar ningún tipo de comportamiento en los diferentes puntos de medición y en los respectivos rangos horarios. El comportamiento de los datos de ruido registrados se puede afirmar que es aleatorio y esto obedece al tipo de fuentes emisoras que se identificaron durante el proceso de muestreo.

Con respecto a las fuentes de ruido que hicieron su aporte en los datos obtenidos se clasifican en fuentes móviles y fuentes fijas, siendo las primeras las que

mayormente contribuyeron a los niveles de presión sonora reportados. Entre las principales fuentes móviles que se observaron se encuentran: vehículos particulares, autobuses, motocicletas, trenes, vagonetas y otros camiones grandes que transportan contenedores, incluyendo sus respectivas bocinas, música que proyectan desde su interior y modificaciones en los sistemas de escape de gases.

Al ser las fuentes móviles las que mayor influencia tuvieron sobre las mediciones, es importante analizar las características de estas fuentes generadoras ya que producen ruido variable independientemente del rango horario en los que fueron medidos. Así por ejemplo, se observó que a bajas velocidades en el caso de los vehículos el mayor aporte de ruido lo da el motor, mientras que a mayores velocidades el ruido era más bajo, es decir con el cambio de los

semáforos a luz verde se reportaban niveles de presión sonora mayores. En el caso del tren, los niveles mayores fueron recolectados justo en los momentos en los que sonaba la pitoreta como se puede observar en la tabla 1 en el rango horario de la mañana para el caso del punto de medición de la Estación al Atlántico donde se muestra uno de los promedios más altos con 76,62 dB(A).

Se sabe además que todos los valores pico reportados son debidos al aporte de las fuentes móviles como motocicletas y autobuses. En el caso de las fuentes fijas de ruido se tiene que en su mayoría obedecen a actividades comerciales como ventas callejeras de lotería y tarjetas telefónicas, personas conversando, altoparlantes en tiendas de ropa, obras constructivas, ladridos de perros y actividades culturales para el caso de puntos de medición como la Plaza de la Cultura y el Parque Morazán. Cabe destacar que en el caso de la Plaza de la Cultura al contrario de los demás puntos de medición este aporte de fuentes fijas de ruido fue el principal para los niveles de presión sonora obtenidos. También se puede afirmar que una variable dentro las fuentes móviles es el volumen de vehículos que transitan por las diferentes rutas del casco central de la ciudad de San José, esto se nota por ejemplo en el caso de

las mediciones obtenidas en la Corte Suprema donde las mediciones son menores que en el caso del Museo Nacional, teatro Melico Salazar y Liceo Dobles Segreda (por citar algunos) por tratarse de una calle menos transitada y más angosta, es decir por donde circulan menos vehículos, esto se observa claramente en la tabla 1 donde se ven los promedios y valores máximos.

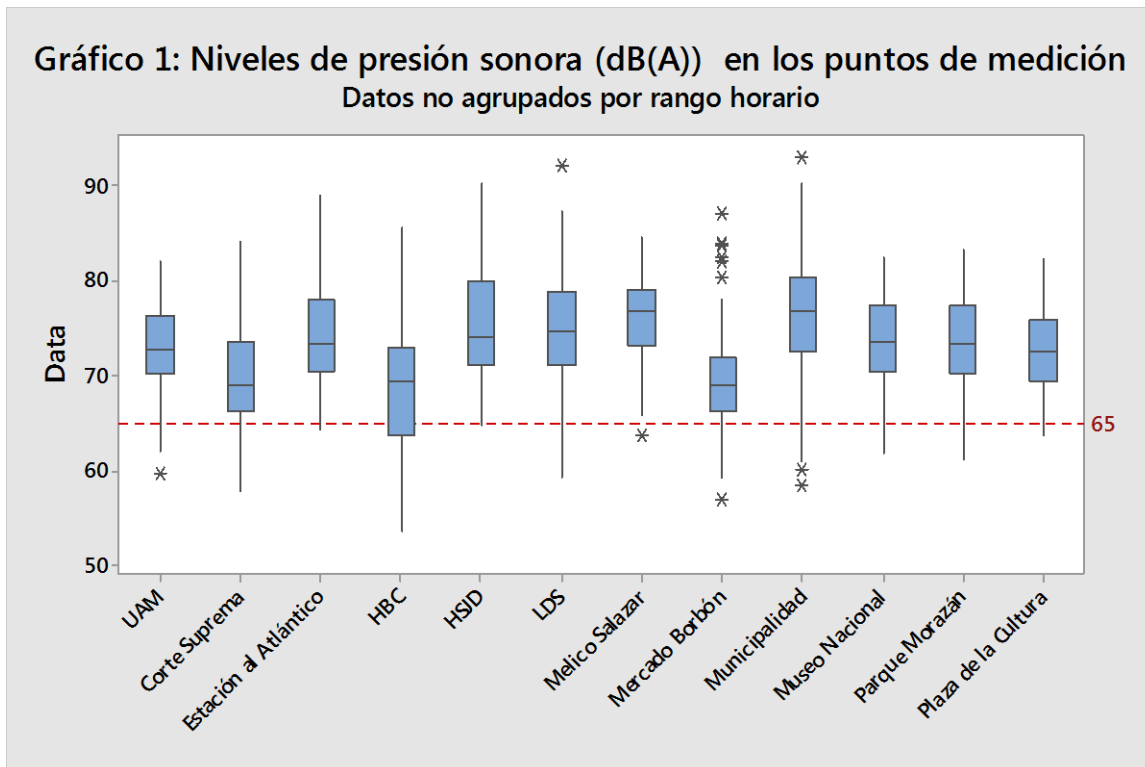
Analizando cada uno de los puntos de medición se puede observar que no existen grandes diferencias en los resultados obtenidos en los diferentes rangos horarios. Las variaciones más notables en los puntos de medición donde existía mayor diferencia entre un rango y otro no superaron los 5 dB(A), este fue el caso del punto de medición Mercado Borbón donde el promedio más alto se presentó en el rango de la mañana y el más bajo se obtuvo en el rango de entre las 17 y las 19 horas con una diferencia de 4,39 dB(A), situación similar a la del punto de medición Hospital Blanco Cervantes donde se presentó el mismo comportamiento pero con una diferencia de 4,80 dB(A) siendo la diferencia más amplia de todos los puntos.

Aunque ya se ha indicado que no hubo mayores diferencias en los resultados obtenidos en los diferentes rangos, se

Tabla 1: Promedios de los niveles de presión sonora obtenidos por rango horario y en general en los puntos de medición.

Lugar	Promedio por rango horario (dB(A) \pm 0,19)			Promedio General (dB(A) \pm 0,19)	Valor Mínimo (dB(A) \pm 0,19)	Valor Máximo (dB(A) \pm 0,19)	Desviación Estándar
	7:00- 9:00	12:00- 14:00	17:00- 19:00				
	UAM	73,18	71,09				
Estación al Atlántico	76,62	70,55	74,28	73,90	64,30	89,10	5,21
Corte Suprema	68,90	70,39	70,23	69,80	57,80	84,10	5,74
Museo Nacional	73,77	73,42	74,15	73,77	61,90	93,00	4,25
Parque Morazán	74,95	72,87	72,75	73,59	61,30	83,40	4,62
Plaza de la Cultura	70,69	73,84	73,85	72,69	63,80	82,20	4,12
Melico Salazar	76,73	75,81	75,85	76,16	63,70	84,60	4,15
Mercado Borbón	71,14	70,47	66,75	69,52	57,10	87,20	5,45
Hospital San Juan de Dios	76,18	73,68	75,78	75,17	64,90	90,20	5,83
Hospital Blanco Cervantes	70,56	69,40	65,76	68,60	53,70	85,60	6,82
Municipalidad de San José	76,60	75,33	76,79	76,22	58,40	93,00	6,54
Liceo Dobles Segreda	76,17	73,95	76,38	75,46	59,40	92,10	5,76

Fuente: Datos obtenidos entre el 16 de febrero y el 16 de marzo de 2015 con un sonómetro 3M modelo SD200 por E. Monge y JM. Moya.



Fuente: E. Monge y JM. Moya.

puede afirmar que los promedios mayores se dieron en los rangos de la mañana y la noche, habiendo únicamente una excepción en la Corte Suprema donde los promedios varían con una diferencia de 1,49 dB(A).

Analizando los promedios generales, el punto de medición más alto fue la Municipalidad de San José con 76,22 dB(A) y el más bajo fue el Hospital Blanco Cervantes 68,60 dB(A). Las mediciones más altas registradas fueron de 93,00 dB(A) en la Municipalidad de San José, la más baja fue de 53,70 en el Hospital Blanco Cervantes (ver gráfico 1).

En todos los puntos de muestreo se presentaron variaciones importantes en los datos obtenidos, aunque las diferencias no se pueden marcar por rangos horarios (ver apéndice 1), si se pudo observar que puntos específicos presentaron niveles de presión sonora inferiores como lo fue el caso de la Corte Suprema, el Hospital Blanco Cervantes y el Mercado Borbón.

Con base en los promedios obtenidos se comparó con los parámetros establecidos en el Reglamento 28718-S: Para el control de la contaminación por ruido, el mismo establece que cuando las fuentes emisoras se encuentran en zona

comercial el nivel de presión sonora máximo permitido será de: 65dB(A) para la zona comercial y de 50 dB(A) para las zonas de tranquilidad (Hospitales, clínicas, tribunales).

Analizando lo anterior se pudo determinar que en los puntos de medición, no se está cumpliendo ninguno de los parámetros del reglamento. Todos los sitios presentaron promedios superiores a los 65dB(A), incluso los puntos de medición que aplican como zonas de tranquilidad (Hospital San Juan de Dios, Blanco Cervantes y la Corte Suprema) están lejos de cumplir con los 55dB(A). El cumplimiento por punto se puede observar mejor en el mapa de ruido obtenido (ver imagen 2). También se hizo una comparación con el parámetro establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) el cual es de 70dB(A). En este caso, solamente la Corte Suprema, el Hospital Blanco Cervantes y el Mercado Borbón presentan promedios inferiores al estándar, los demás lo superaron con al menos 2,69 dB(A) de diferencia.

Para el presente estudio se obtuvo la incertidumbre del mismo, se consideró el aporte del conjunto de los datos (desviación estándar), la de los dos operarios y además la incertidumbre del

equipo. El resultado final de incertidumbre obtenido fue de $\pm 6,50$ dB(A). Para el cálculo de la incertidumbre de los operarios, los datos y las condiciones se registraron en las tablas 2, 3 y 4 del apéndice 2.

Finalmente, con respecto a la incertidumbre obtenida el mayor aporte fue dado por el conjunto de datos debido a que existe gran variación en los niveles de presión sonora por el tipo de fuentes de ruido en los diferentes puntos del casco central de la ciudad de San José, la incertidumbre aportada por los operarios y el equipo es prácticamente despreciable (ver apéndice 2) debido a que el equipo era prácticamente nuevo y tenía condiciones óptimas de calibración, lo cual a su vez generó que la incertidumbre de los usuarios fuera baja también.

Conclusiones

Tras la realización del estudio se puede concluir que para efectos exploratorios la muestra obtenida se considera apropiada porque mostró en términos generales el comportamiento del ruido en el casco central de San José.

De acuerdo al comportamiento de los datos, se concluye que no se observó ninguna tendencia del ruido en ninguno de los rangos horarios medidos,

Imagen 2: Mapa de ruido para el casco central de San José.



Fuente: Elaborado con los datos de la tabla 1 por E. Monge y JM. Moya..

por lo tanto se puede afirmar que el horario de medición, al menos para el casco central de San José es indiferente. Lo mismo sucede con los días de la semana, pues no se observó un comportamiento particular entre un día y otro (todas las mediciones se hicieron entre semana).

Lo anterior se debe a la naturaleza de las fuentes que se lograron identificar, donde el principal aporte se debió a las fuentes móviles como el tráfico. Esto genera que los datos tengan una variación tan amplia (desviación estándar siempre se encontró entre $\pm 5\text{dB(A)}$ y 6dB(A) en todos los puntos) pues estos van a depender del flujo vehicular.

El aporte de fuentes fijas como locales comerciales, industrias, música o ventas informales no fue determinante, solamente se pudo observar su influencia en un punto de medición como lo fue el caso de la Plaza de la Cultura.

Con respecto al cumplimiento de la normativa, en ninguno de los puntos de medición se cumplió con los 65dB(A) establecidos en el reglamento 28718-S para zonas comerciales y la situación se agrava para las zonas de tranquilidad. Si se compara con el parámetro de EPA solamente tres puntos de medición presentaron promedios inferiores al estándar. Lo anterior indica que hay una

problemática generalizada (problemas de la salud, afectaciones a la calidad de vida y al medio ambiente en general) en este centro urbano con respecto a la contaminación sonora ambiental.

La incertidumbre calculada para este estudio arrojó un valor prácticamente similar al de la desviación estándar general del conjunto de datos, lo que permite concluir que el aporte de los usuarios y el equipo es prácticamente despreciable en este caso específico, debido a la variación de los niveles de presión sonora reportados a lo largo del muestreo.

Recomendaciones

Con el fin de darle un mayor respaldo estadístico al proyecto, se recomienda calcular una muestra representativa. Esto se debe analizar en función de la desviación estándar de los datos.

Si bien es cierto, se hicieron mediciones en tres rangos horarios definidos, se recomienda realizar las mediciones aleatoriamente durante el transcurso del día para observar el comportamiento del ruido en los lapsos de tiempo no abarcados en este estudio.

Se recomienda utilizar la norma ISO 1996-2 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2:

Determinación de los niveles de ruido ambiental. En la misma se mencionan una serie de criterios para obtener con mayor precisión los niveles de ruido emitidos por las diferentes fuentes. También se mencionan parámetros adicionales a tomar en cuenta para el cálculo de la incertidumbre que en este estudio no fueron contemplados.

Con respecto a los puntos de muestreo se recomienda ampliar el campo de medición y establecer puntos más seguidos entre uno y otro para determinar el comportamiento de la onda sonora, con esto se pretende conocer los niveles de ruido en puntos que por razones logísticas no fueron abarcados.

Con respecto al equipo se recomienda utilizar equipos similares al que se utilizó en este estudio para el desarrollo de investigaciones similares en el futuro, esto porque el aporte del equipo al cálculo de la incertidumbre fue prácticamente despreciable y también debido al tipo de fuentes emisoras de ruido que se evaluaron.

Se recomienda a la Municipalidad de San José mantener un muestreo constante de los niveles de ruido en el casco central de la ciudad con el fin de monitorear el comportamiento del mismo e implementar controles que puedan

mitigar la emisión de ruido, esto en el largo plazo.

Si se requiere para efectos de otro tipo de análisis en función de la energía y de la exposición al ruido, los promedios se deben calcular de manera logarítmica y no aritmético.

Agradecimientos

Queremos agradecer a nuestras familias por el apoyo brindado durante esta etapa y al Ing. Andrés Robles por su asesoría y orientación en el proceso.

También agradecemos el apoyo de la Lic. Delia Guevara del departamento de Gestión Ambiental de la Municipalidad de San José por las facilidades brindadas.

Por otro lado debemos destacar el apoyo del Sr. Rafael Barboza, del Ing. Roberto Carballo y de la Ing. Zeidy Marín.

Bibliografía:

- Araya Pochet, J. (2002, January 1). Contaminación sónica y su control. Consultado 30 de Noviembre, 2014, en <http://acusticacr.com/wp-content/uploads/2009/11/Informe-CICIMA-02.pdf>
- Azofeifa, D. (Enero de 2010). Evaluación de Ruido ambiental en el cantón central de la provincia de San José. Consultado en febrero de 2015.
- Cattaneo, M., Vecchio, R., Lopez Sardi, M., Navilli, L., & Scrocchi, F. (n.d.). Estudio de la contaminación sonora en la ciudad de Buenos Aires. Consultado 29 de Noviembre, 2014, en http://www.palermo.edu/ingenieria/PDFs/GIIS/Trabajo_COINI_Cattaneo1.pdf
- Chepesiuk, R. (2005, January 3). Decibel Hell: The Effects of Living in a Noisy World. Tomado Noviembre 23, 2014, en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1253729/>
- Contaminación acústica de la Ciudad. (2008, January 1). Consultado 29 de Noviembre, 2014, en http://estatico.buenosaires.gov.ar/areas/med_ambiente/apra/institucional/archivos/pe_2da_parte.pdf?menu_id=32259
- Cueto Ancela, J. (2015, 01). Guía para la realización. Laboratorio de Ingeniería Acústica. Consultado 13 de enero de 2015, en <http://www.uhu.es/master/tga/descargas/>
- EPA, (2014). EPA Identifies Noise Levels Affecting Health and Welfare. Estados Unidos de América. Tomado el 22 de febrero, 2015 en <http://www2.epa.gov/aboutepa/epa-identifies-noise-levels-affecting-health-and-welfare>
- Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. (2003, 5 de diciembre). Consultado 28 de Noviembre, 2014, en <http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/best>
- Hammer, M., Neitzel, R., & Swinburn, T. (n.d.). Environmental Noise Pollution in the United States: Developing an Effective Public Health Response. Tomado Noviembre 23, 2014, en <http://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/122/2/ehp.1307272.pdf>

- Pacheco, J., Franco, J., & Behrentz, E. (2009, October 6). Caracterización de los niveles de contaminación auditiva en Bogotá: Estudio piloto. Consultado 29 de Noviembre, 2014, en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932009000200010
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. Reglamento

para el Control de Contaminación por Ruido No 28718-S. San José, Costa Rica. Tomado el 23 de marzo, 2015 en http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=45468&nValor3=91433&strTipM=TC

Apéndice 1: Gráficos de cajas por punto de medición por rango horario

Gráfico 2: Niveles de presión sonora en la Corte Suprema

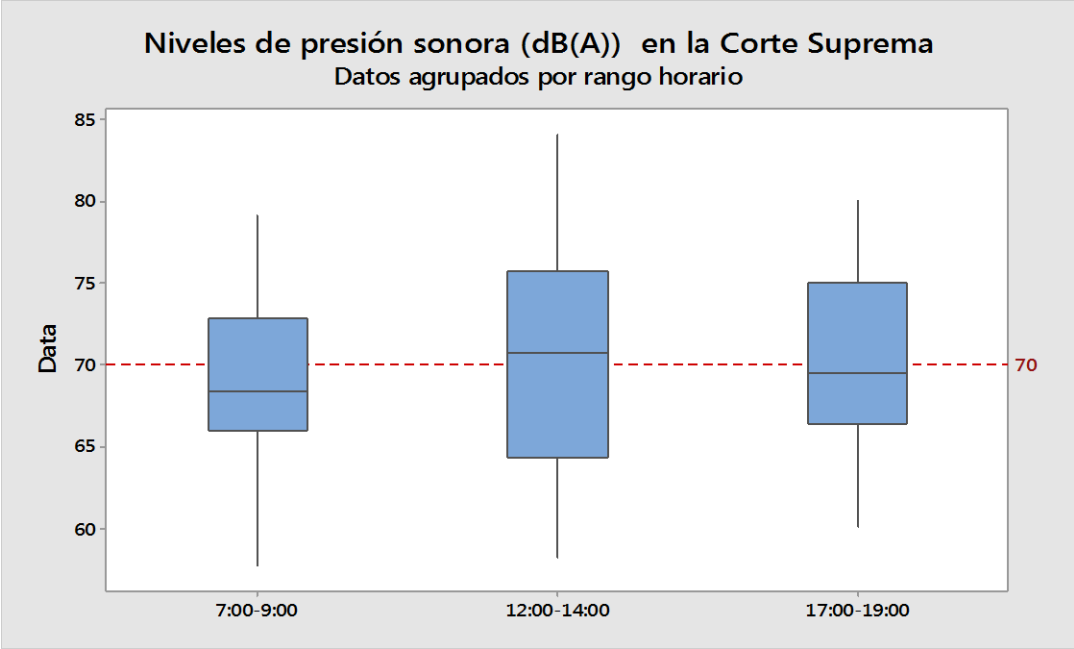


Gráfico 3: Niveles de presión sonora en la Estación al Atlántico

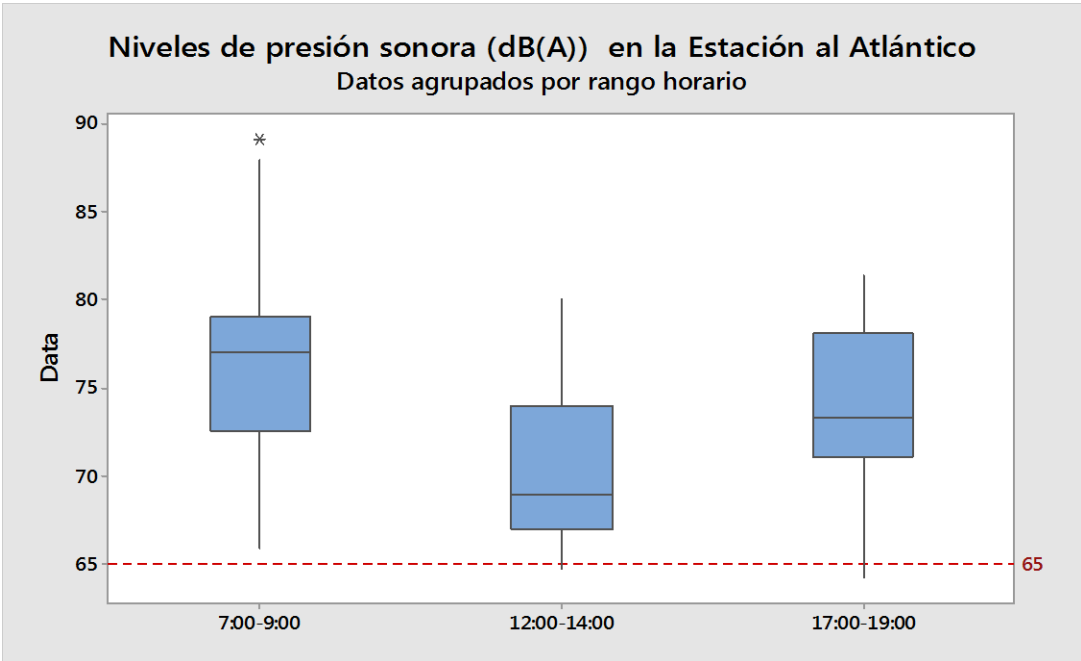


Grafico 4: Niveles de presión sonora en la UAM

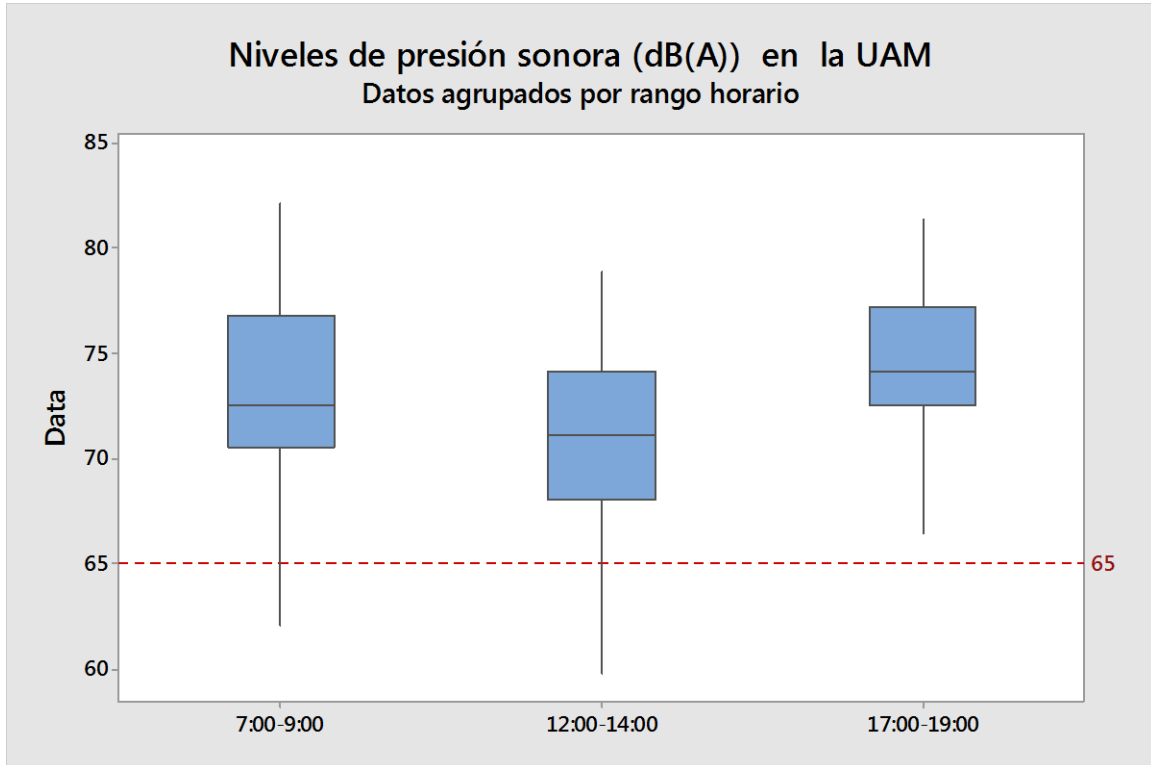


Grafico 5: Niveles de presión sonora en EL Museo Nacional

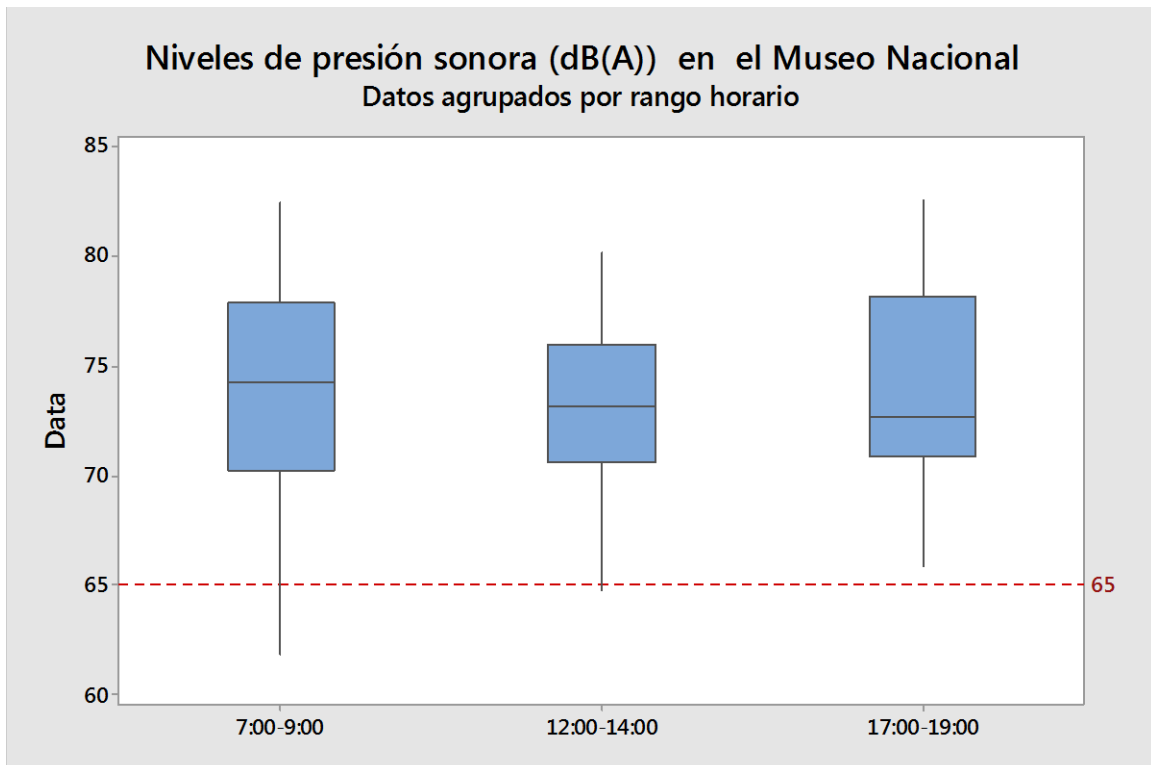


Grafico 6: Niveles de presión sonora en el Parque Morazán

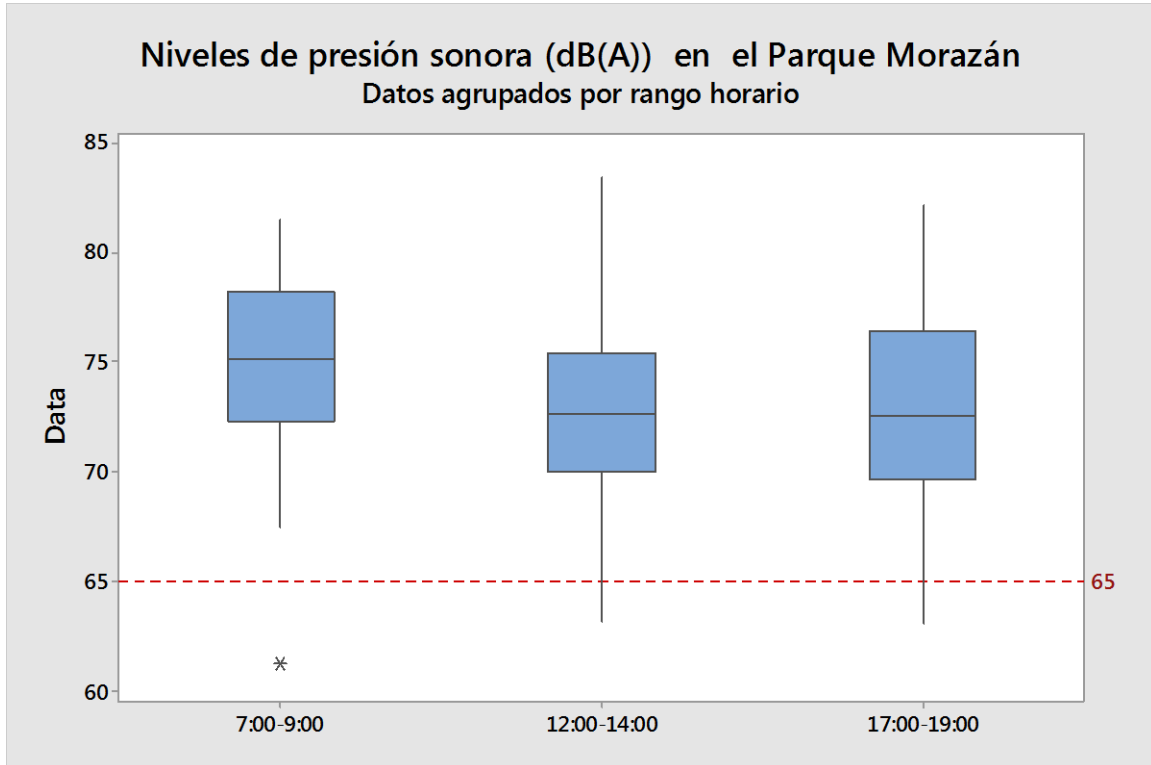


Grafico 7: Niveles de presión sonora en la Plaza de la Cultura

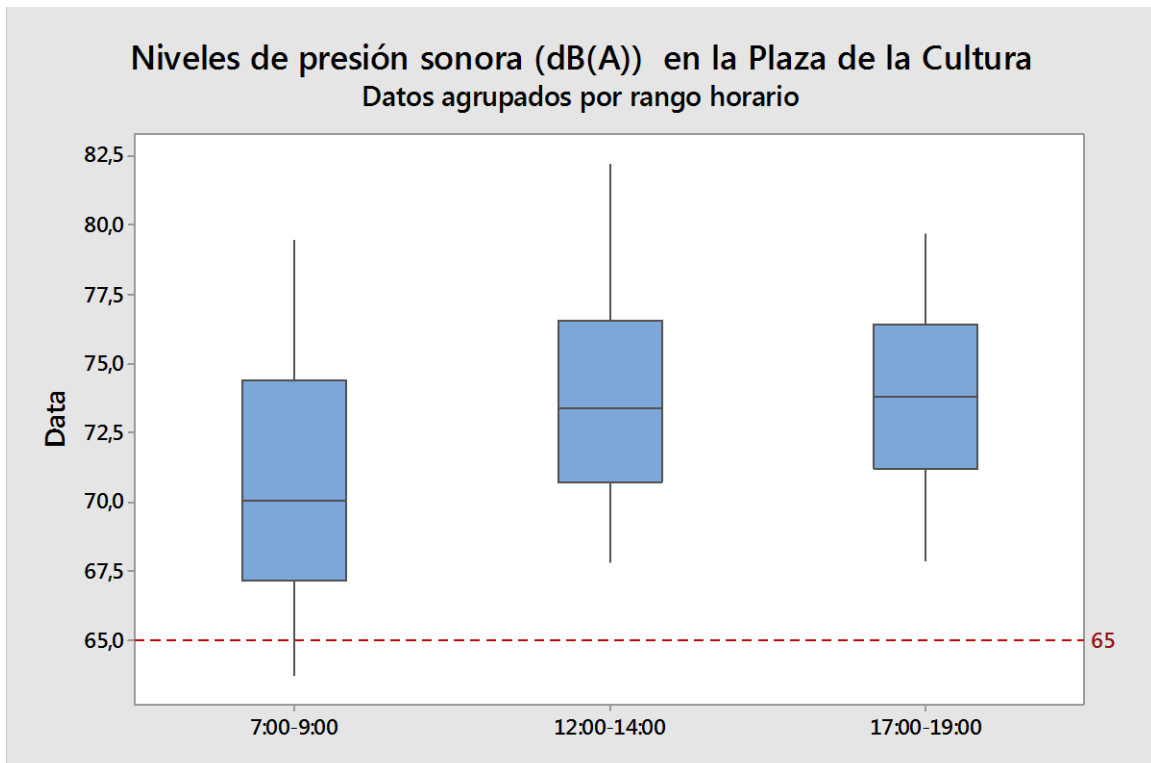


Grafico 8: Niveles de presión sonora en Teatro Melico Salazar

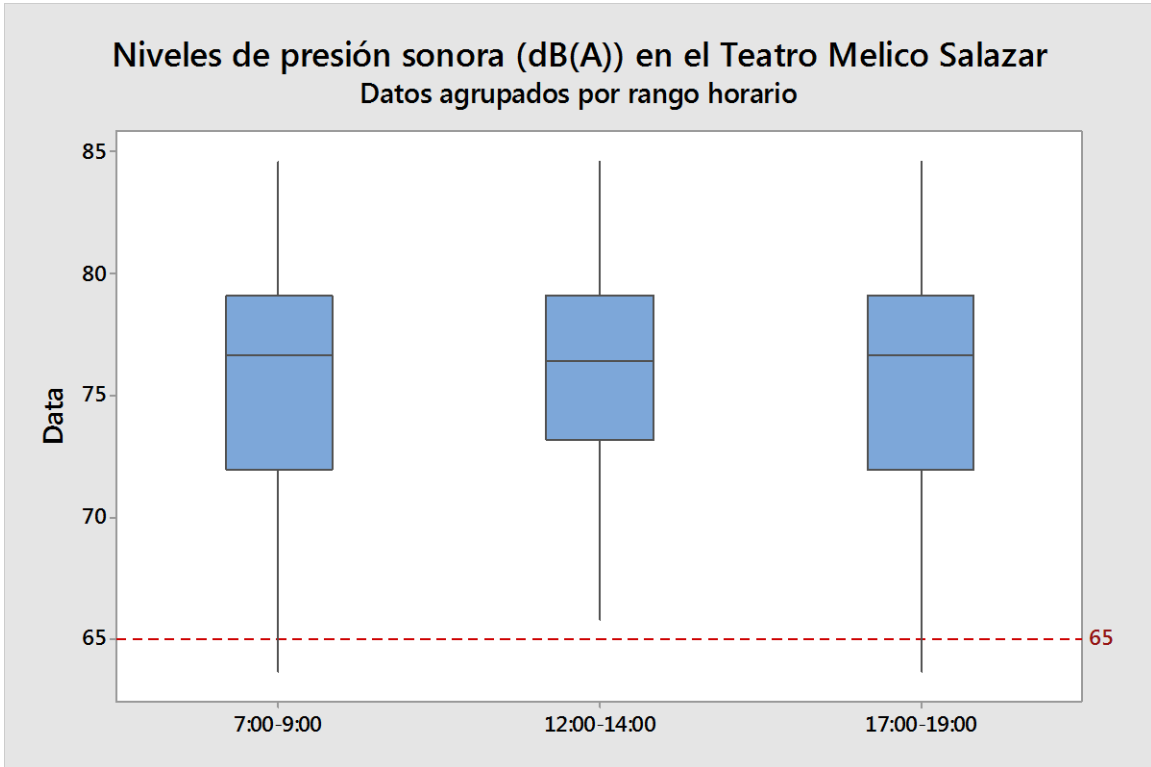


Grafico 9: Niveles de presión sonora en el Mercado Borbón

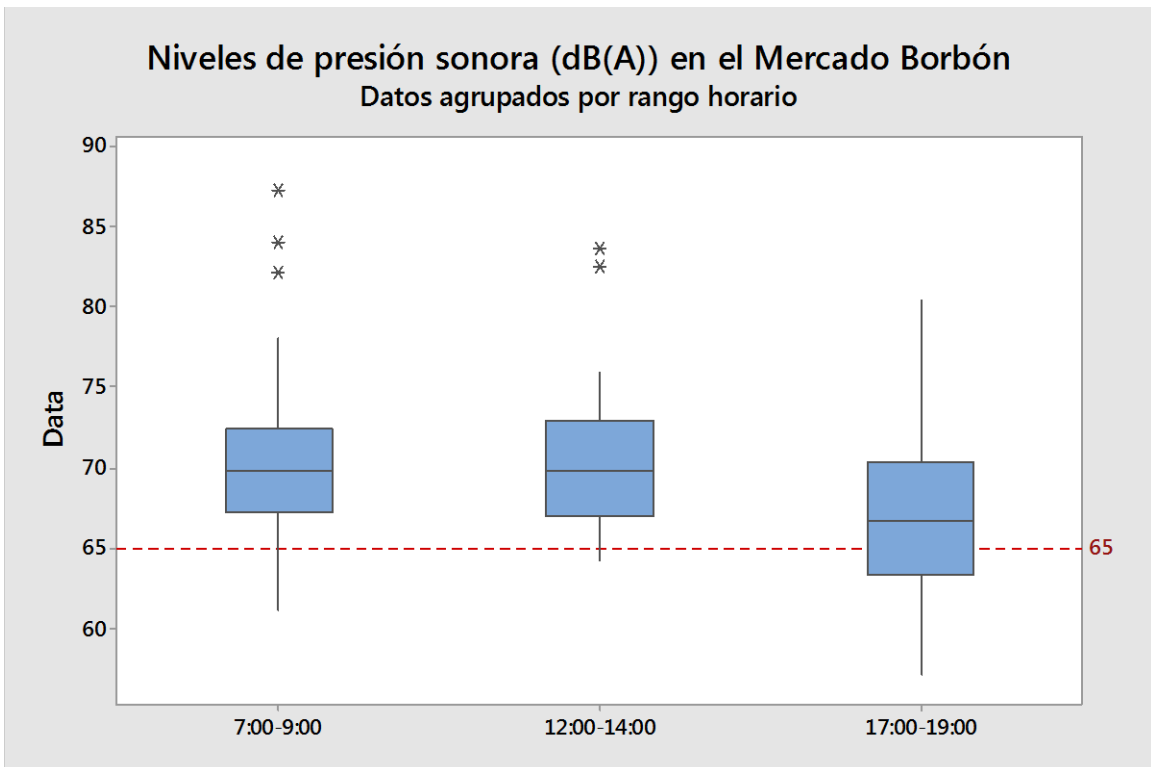


Grafico 10: Niveles de presión sonora en el Hospital San Juan de Dios

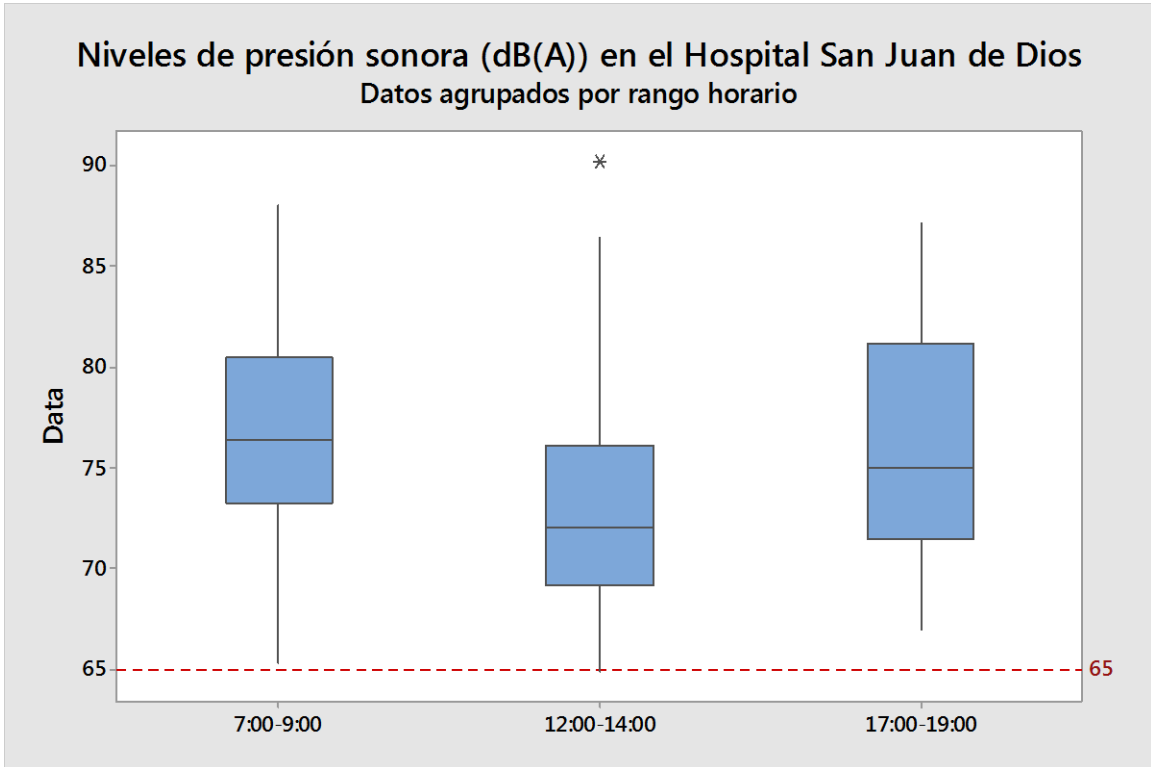


Grafico 11: Niveles de presión sonora en el Hospital Blanco Cervantes

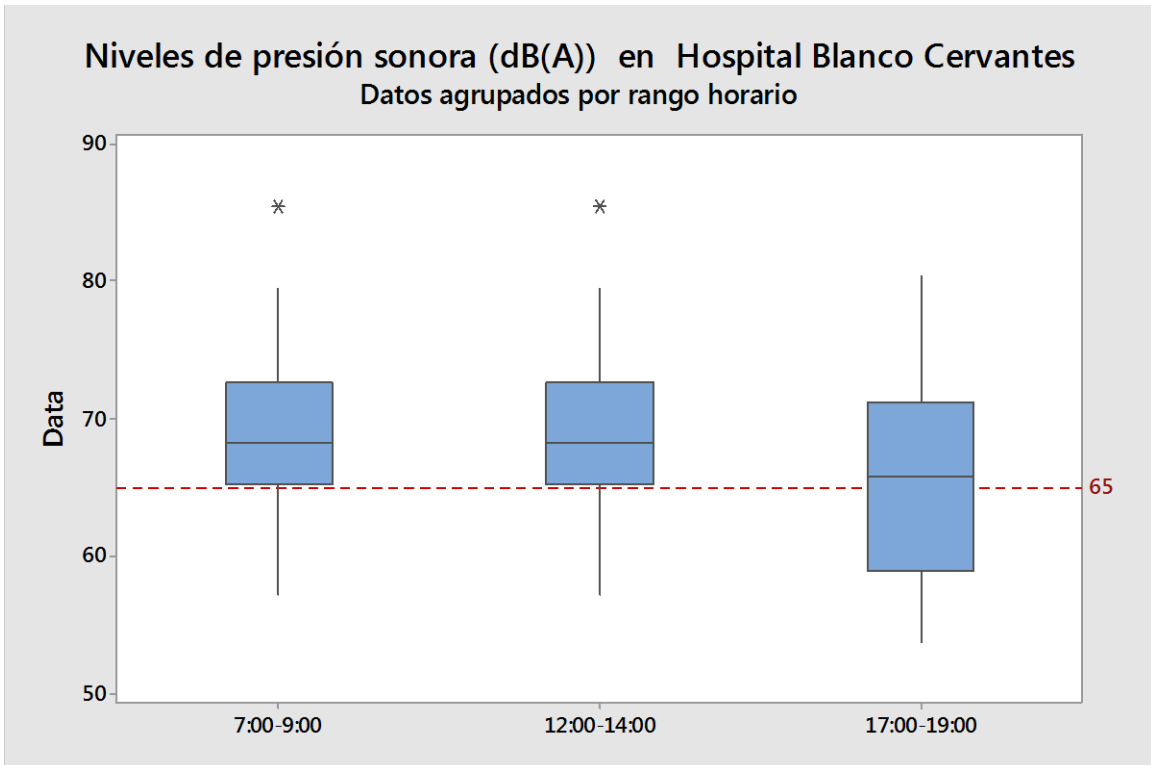


Grafico 12: Niveles de presión sonora en la Municipalidad de San José

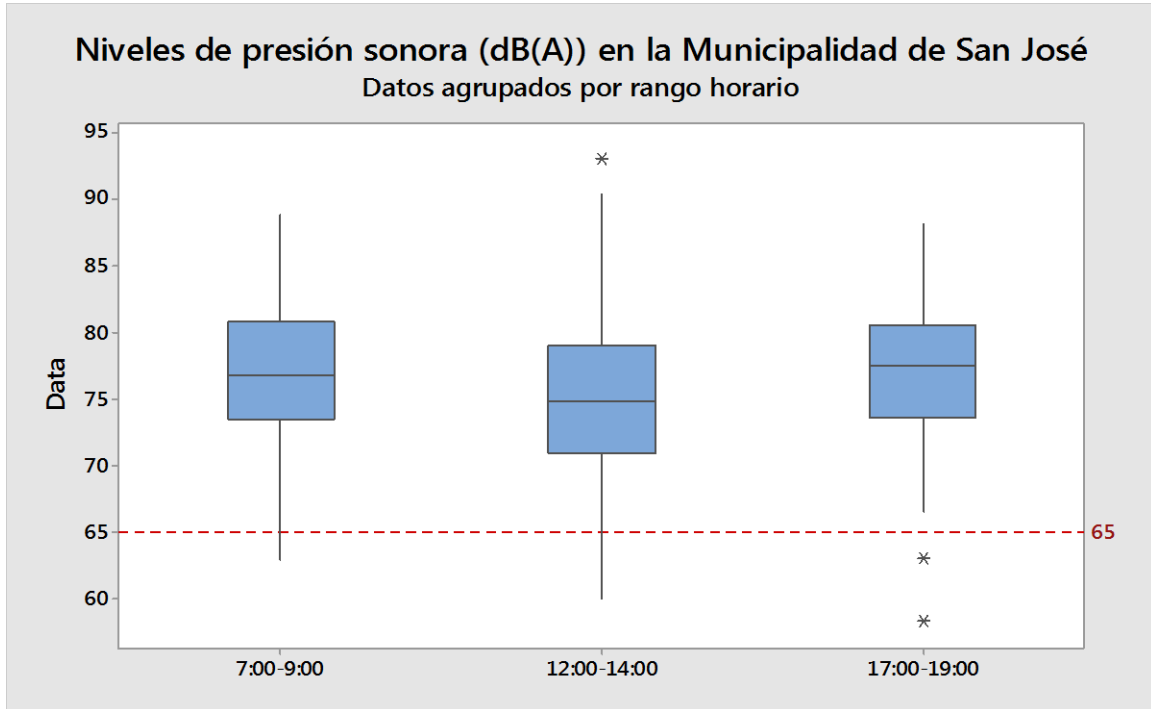
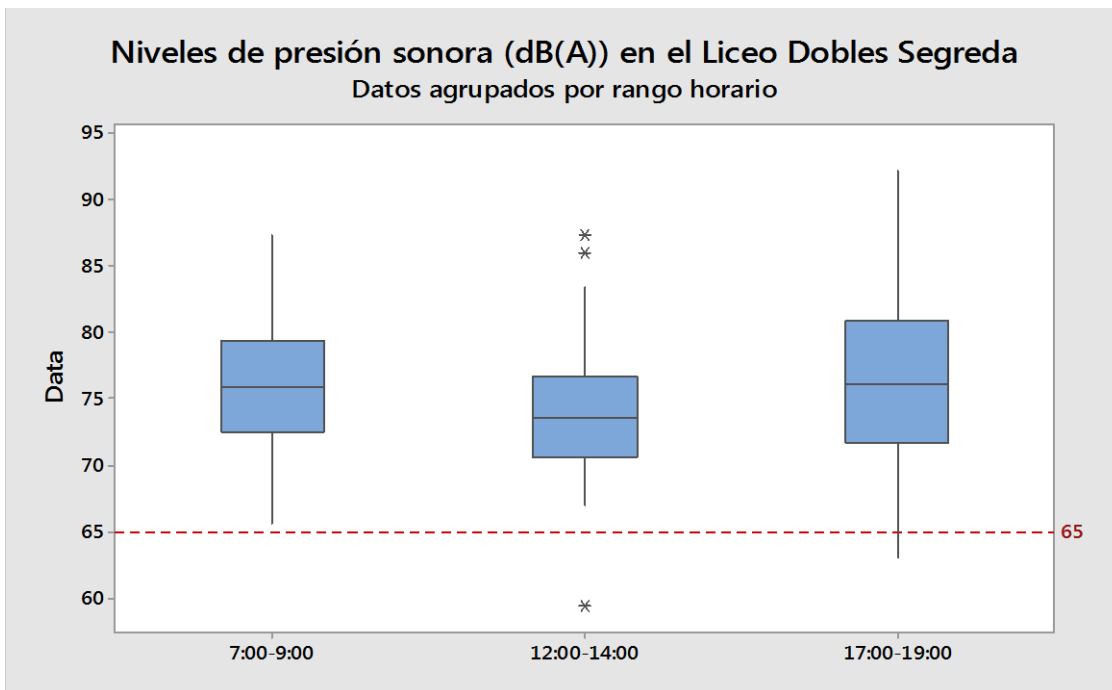


Grafico 13: Niveles de presión sonora en el Liceo Dobles Segreda



Fuente: Datos obtenidos en el muestreo realizado entre el 16 y 26 de marzo de 2015 por E. Monge y JM. Moya.

Apéndice 2: Datos para la obtención de la incertidumbre de los usuarios y cálculo de la incertidumbre total del estudio.

Tabla 2: Mediciones por operario usando el pistófono

Operador	Día	Mediciones (dB(A) \pm 0,19)							Promedio (dB(A) \pm 0,19)	Desviación estándar	Rango	Sesgo
		1	2	3	4	5	6	7				
1	A	113,7	113,6	113,6	113,7	113,6	113,6	113,6	113,63	0,045	0,1	0,37
	B	113,7	113,7	113,7	113,7	113,6	113,7	113,7	113,69	0,035	0,1	0,31
2	A	113,6	113,6	113,6	113,6	113,6	113,6	113,6	113,60	0,000	0	0,40
	B	113,8	113,8	113,8	113,8	113,8	113,8	113,9	113,81	0,035	0,1	0,19

Fuente: Datos tomados el 17 y 19 de marzo de 2015 con un sonómetro 3M modelo SD200 por E. Monge y JM. Moya..

Tabla 3: Condiciones ambientales para la toma de mediciones con el pistófono.

Parámetro	Día 1	Día 2
Temperatura ($^{\circ}\text{C}\pm 0,5$)	23,7	24,4
Porcentaje de humedad ($\%\pm 0,1$)	49,2	48,7
Ruido de fondo (db(A) $\pm 0,19$)	43,00	43,00

Fuente: Datos registrados el 17 y 19 de marzo con un sonómetro 3M SD200 y un termoanemómetro Extech modelo RH101 por E. Monge y JM. Moya.

Tabla 4: Medidas de tendencia central para las mediciones de los operarios para el cálculo de incertidumbre.

	Promedio	SD
Promedio operario 1	113,66	0,040
Promedio operario 2	113,71	0,017
Promedio de promedio de operarios	113,68	0,029

Fuente: Datos de la tabla 3.

Cálculo de la incertidumbre del estudio:

$$\mu = \sqrt{(\mu_{\text{Equipo}})^2 + (\mu_{\text{Operario 1}})^2 + (\mu_{\text{Operario 2}})^2 + (\mu_{\text{Conjunto de datos}})^2}$$

$$\mu = \sqrt{(0,19)^2 + (0,04)^2 + (0,02)^2 + (6,49)^2}$$

$$\mu = 6,50$$