

# Monitoreo de la contaminación acústica en la ciudad de Chiclayo con algoritmos de procesamiento digital de señales

Mg. Oscar Uchelly Romero Cortez, Mg. Martín Augusto Nombera Lossio  
Profesores Asociados al Dpto. de Computación y Electrónica UNPRG.

## Resumen

*El presente trabajo de investigación consiste en la propuesta de implementación de un equipo electrónico, que permita medir los niveles de ruido y mostrar dicha información a través de mensajes de alerta en las principales calles de la ciudad de Chiclayo donde se produce la contaminación sonora. Para su implementación previamente se realizó un análisis de las señales capturadas en diversos puntos de la ciudad de Chiclayo, dichas señales fueron procesadas a través del software MATLAB, dando como resultado curvas de diversas atenuaciones, así como el cálculo de los niveles de ruido que han sido comparados con la ordenanza municipal de la ciudad de Chiclayo.*

*La investigación apunta a prevenir y proteger a la población, que se encuentra expuesta al ruido diariamente, donde los problemas, daños o enfermedades no se dan conocer de inmediato, si no tardan años en ser adquiridos. A través de esta propuesta se pretende concientizar a la población que genera dicho ruido y además así lograr que dicho equipo electrónico, se instale en diversas ciudades del Perú.*

**Palabras clave:** Ruido, MATLAB .

## Abstract

*The present research work consists of the proposal to implement electronic equipment, which allows to measure the noise levels and to show this information through alert messages in the main streets of the city of Chiclayo where the noise pollution occurs. For its previous implementation an analysis of the signals captured in different points of the city of Chiclayo was carried out, which to these signals were processed through MATLAB software, resulting in curves of different attenuations, as well as the calculation of the levels of Noise that have been compared with the municipal ordinance of the city of Chiclayo.*

*The research aims to prevent and protect the population, which is exposed to noise daily, where problems, damages or diseases are not immediately known, if they take years to be acquired. Through this proposal is intended to raise awareness of the population that generates such noise and also to ensure that said electronic equipment is installed in various cities of Peru.*

**Keywords:** Noise, MATLAB.

## Introducción

En las dos últimas décadas, la contaminación ambiental ha sufrido una serie de cambios los cuales nos han llevado a la gran preocupación de la población mundial ante este problema que cada día se agrava más. Por ello la contaminación acústica es también una de las más importantes a tratar ya que con la cual se han venido presentando problemas en los órganos de audición en muchas personas.

En la mayoría de países se ha planteado la idea de concientizar a la población para la disminución del ruido en las ciudades, mediante letreros y mucha más información sobre este tema, el cual nos lleva a la investigación para resolver este problema social.

Como profesionales debemos sumarnos a esta campaña mundial para resolver este tipo de problemas en nuestro país, por ende, cada profesional en su campo debe de investigar y desarrollar proyectos que abarquen la solución a esta contaminación ambiental. Hoy en día, se han desarrollado instrumentos para medir la cantidad y el nivel de ruido existente en el ambiente, es el caso del sonómetro, que nos ayuda a calcular la cantidad de presión sonora que existe en nuestro alrededor.

López (2009). Esta investigación evaluó la intensidad de sonido a la cual se exponen los maestros de una escuela de la región central de Puerto Rico y determino la percepción de estos sobre su ambiente acústico laboral. En el monitoreo de ruido encontramos niveles sobre los recomendados por la OMS entre otras agencias relacionadas. Como medida a largo plazo, proponemos hacer de esta una escuela modelo al crear e implantar un programa piloto de control de ruido con el auspicio del gobierno municipal.

Gutiérrez (2010). Los problemas ambientales que se evidencian en la actualidad, básicamente son consecuencia de una inadecuada política de desarrollo de la humanidad con una larga historia en donde, la industrialización marco un punto de quiebre en la salud ambiental del planeta, nuestro hogar, hoy amenazada por diversas situaciones que la tornan un tanto vulnerable y proclive al daño ecológico en donde el ser humano sufriría las peores consecuencias.

Escobar P., Melquisedec - Rodríguez C., Salomón (2007). El presente trabajo es el resultado de un monitoreo de ruido realizado en principales avenidas de la ciudad Capital. Explicando las consideraciones que se tomaron en cuenta para el monitoreo, como lo son los periodos de medición, la colocación del sonómetro y las ponderaciones utilizadas. El área especificada fueron intersecciones de las Avenidas Simón Bolívar (Transistmica), Avenida Ricardo J. Alfaro (Tumba Muerto), Vía España, Vía Tocumen, Vía Cincuentenario, Vía Israel, Avenida Balboa avenida Domingo Díaz.

## Material y Métodos

### El Ruido

El ruido tiene carácter eminentemente subjetivo, debido al hecho de que la distinción entre sonido y ruido se basa fundamentalmente en el aspecto desagradable de este último.

Una misma música puede resultar agradable a aquellos que la escuchan pero absolutamente insoportable para las personas que se ven expuestas a ella en forma involuntaria. Lo que prevalece en estos casos no es la intensidad sonora, sino, la sensación de tener que soportar ruidos no escogidos.

Según refieren varios autores, el ruido es un contaminante y la causa principal de la contaminación acústica es la actividad humana: el transporte, la construcción de edificios y obras públicas, la industria, entre otras.

A través del ruido se puede ejercer violencia acústica, entendiéndose por tal a la fuerza ejercida a

través del sonido más allá de toda razón y justicia.

El ruido está presente en todos los ámbitos de la vida: laboral, social y educativo. En el ámbito educativo frecuentemente los sonidos proceden del exterior y su propagación depende de la ubicación de la fuente de sonido, del número de puertas y ventanas, de las características acústicas del aula, y de la distribución de los alumnos en su interior.

### **Tipos de Ruido**

#### **1. Según el tiempo (CTE, DB HR-C, 2009):**

- **Ruido estacionario:** Ruido cuyo nivel de presión sonora permanece constante a lo largo del tiempo.
- **Ruido fluctuante:** Ruido cuyo nivel de presión sonora varía en función del tiempo. Las fluctuaciones pueden ser periódicas o aleatorias (no periódicas). Se puede escoger un límite fluctuación para intentar separar lo que es un ruido estacionario, de uno fluctuante, que suele estar en torno a 6 dB(A).
- **Ruido intermitente:** Ruido que aparece solamente en determinados instantes.
- **Ruido impulsivo:** Ruido cuyo nivel de presión sonora aumenta de manera muy acusada por encima del ruido de fondo en instantes muy cortos de tiempo (impulsos). Los impulsos pueden presentarse de manera aleatoria o repetitiva. Suele ser bastante más molesto que el ruido continuo.

#### **2. Según la frecuencia:**

- **Ruido Blanco:** Es un tipo de ruido con espectro plano, es decir, tiene la misma energía en todas las frecuencias. Si se representa esta energía en bandas de frecuencia el nivel aumenta 3dB por octava.
- **Ruido Rosa:** Es un tipo de ruido que no tiene respuesta uniforme en todo el ancho de banda, sino que el nivel de energía decrece a razón de 3dB por octava. Si se representa esta energía en bandas de frecuencia vemos que el nivel permanece constante.
- **Ruido Tonal:** Este tipo de ruido presenta en su espectro una marcada componente tonal y puede oírse claramente el tono puro.
- **Ruido de Baja Frecuencia:** Consideraremos valores de baja frecuencia todo ruido que se encuentre entre 20 y 125 Hz. Algunas fuentes que generan componentes de baja frecuencia se encuentran dentro del grupo de maquinaria industrial, principalmente motores, así como transformadores.

### **El Sonido**

El sonido es un cambio de presión del aire, que se mueve como una ola circular a partir de la fuente, parecido a las ondas que se forman cuando tiramos una piedra en el agua. Estos cambios de presión entran en el canal auditivo, se transmiten del aire al tímpano del oído, que a su vez mueve los huesecillos del oído medio. Los huesecillos funcionan como un amplificador mecánico y pasan los movimientos al caracol, donde hacen moverse el líquido linfático que contiene este, al moverse estimula las células ciliadas que a su vez reaccionan generando impulsos nerviosos que se envían al cerebro.

### **Propiedades del Sonido**

El estudio físico del sonido se plantea como una aplicación de la dinámica oscilatoria, basada en

la propagación por un medio de las ondas sonoras.

Cuando se origina un sonido, se produce un impacto en las moléculas del aire que empiezan a vibrar, variando la distancia entre sus átomos constituyentes mediante un movimiento oscilatorio.

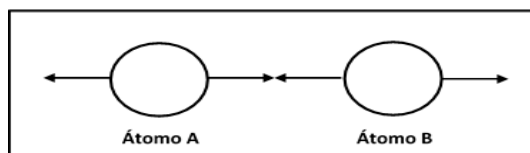


Figura 1: El movimiento oscilatorio de los dos átomos viene indicado por el sentido de las flechas.

Para constituir la base de las mediciones de los niveles de contaminación acústica, a continuación se definirá una serie de magnitudes físicas características de las ondas sonoras:

- Velocidad** Se define como la velocidad de desplazamiento de las ondas sonoras. El valor de la velocidad a la que se propaga el sonido de un medio elástico depende de las propiedades del medio y se puede calcular mediante fórmulas características. Por ejemplo para la propagación del sonido en el aire la fórmula es la siguiente:

$$C = \sqrt{\frac{1,4P_{atm}}{\rho}} \quad (1)$$

Donde:

- C = velocidad del sonido en el aire,  $m/s$
- $P_{atm}$  = presión atmosférica,  $Pa$
- $\rho$  = densidad del aire,  $Kg/m^3$

En condiciones normales de presión ( $1atm$ ) y de temperatura ( $20^{\circ}C$ ), la velocidad del sonido tiene un valor de  $344 m/s$  en el aire. Esta velocidad aumenta aproximadamente  $0.61 m/s$  por cada  $^{\circ}C$  que aumenta la temperatura.

Tabla 1: Velocidad del sonido para diferentes medios de propagación.

MEDIO DE PROPAGACION	VELOCIDAD(EN m/s)
Caucho	35
Corcho	500
Plomo	1.2
Agua (a 15 0c)	1.44
Cobre	3.8
Madera	De 1.000 a 4.000
Hierro	4.95
Vidrio	5.6

■ **Periodo**

Se define como el tiempo (en segundos) que tarda en producirse un ciclo completo de oscilación de la onda sonora. Se representa por T.

■ **Frecuencia**

Se define como el número de ciclos completos que se producción en un segundo. Es el inverso del periodo y se mide en Hz (ciclos por segundo).

$$f = \frac{1}{T} (Hz) \quad (2)$$

El oído capta frecuencia entre 20 y 20.000 Hz. Dentro de esta escala, Se entienden como sonidos graves los que poseen una frecuencia inferior a los 250 Hz, entre 500 y 1000 Hz los sonidos son medianos y más allá de 1000 Hz, los sonidos son agudos.

■ **Longitud de Onda ( $\lambda$ )**

Es la distancia recorrida por un frente de onda durante un periodo completo de tiempo. Este parámetro se expresa en metros y como puede verse, está relacionada con la frecuencia y la velocidad del sonido.

$$\lambda = \frac{c}{f} = c \cdot T \quad (3)$$

■ **Presión Sonora**

El concepto de presión sonora es básico para entender el significado de ruido, ya que lo que detecta el oído humano es la variación de la presión atmósfera originada por la traslación de una onda sonora. Se define como la fuerza por unidad de superficie que realizan las partículas de aire al vibrar. El valor mínimo de presión sonora asimilable por el sistema auditivo humano es de  $P_0 = 2 \times 10^{-5} Pa$ , que determina el umbral de audición. Más allá de los 20 Pa se provoca una sensación de dolor (umbral de dolor).

La presión sonora puede calcularse a partir de un cálculo integral de los valores de presión atmosférica en un periodo de tiempo.

$$P = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt} \quad (4)$$

Las unidades del sistema internacional ( $Pa = N/m^2$ ) no son cómodas de utilizar, por lo que se usa una escala logarítmica que acerca más los valores. Además, la respuesta del oído a un aumento de la presión sonora es logarítmica, no lineal, por lo que para interpretar un aumento geométrico de la presión sonora, la escala logarítmica lo traduce en un aumento aritmético.

$$\log\left(\frac{P}{P_0}\right) = 0 \rightarrow 6 \quad (5)$$

Donde:  $P_0 = 2 \times 10^{-5} Pa$

Este valor se multiplica por un factor 20 para obtener unidades más prácticas, los decibelios (dB), con lo que se obtiene el nivel de presión del sonido.

$$L_P = 10 \log\left(\frac{P^2}{P_0^2}\right) = 20 \log\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (6)$$

Donde:

$L_P$ : es el nivel de presión del sonido.

Al utilizar el concepto de nivel de presión del sonido ( $L_P$ ) en vez de presión sonora, la escala de valores queda entonces transformada de 0 a 120  $dB$ .

Tabla 2: Diferentes fuentes de ruidos en distintas escalas.

<b>FUENTES DE RUIDO</b>	<b><math>P</math>(en Pa)</b>	<b><math>L_p</math>(en dB)</b>
Umbral de audición	$2 \times 10^{-5}$	0
Cuchicheo	$6,3 \times 10^{-5}$	10
Ruido en el campo	$2 \times 10^{-4}$	20
Trafico en una calle tranquila	$6,3 \times 10^{-4}$	30
Romper una hoja de papel	$2 \times 10^{-3}$	40
Máquina de escribir	$6,3 \times 10^{-3}$	50
Conversación normal	$2 \times 10^{-2}$	60
Tráfico intenso	0,063	70
Paso de una motocicleta	0,2	80
Claxon de un automóvil	0,63	90
Orquesta	2	100
Despegue de un avión	20	120

#### ■ Intensidad Sonora

La intensidad sonora es la energía sonora que atraviesa perpendicular una unidad de superficie por unidad de tiempo. Si esta propagación se da en una sola dirección, se puede emplear la siguiente formula:

$$I = \frac{1}{2} \frac{P^2}{\rho c} \quad (7)$$

Donde:

$I$  = Intensidad sonora,  $W/m^2$   
 $\rho$  = Densidad del medio elástico,  $Kg/m^3$   
 $P$  = Presión sonora,  $Pa$

#### ■ Potencia Sonora

Se define como la intensidad sonora que atraviesa radialmente una esfera cuyo centro sea el punto emisor.

$$L_W = IA = I(4\pi r^2) \quad (8)$$

Donde:

$L_W$  = potencia sonora,  $W$   
 $A$  = Superficie de una esfera,  $m^2$

### ■ Propagación del sonido

La propagación del sonido en un campo libre de obstáculos o interferencias se produce mediante frentes de ondas esféricas desde el punto emisor, el cual pierden presión sonora con la distancia. Esta pérdida está sujeta a las condiciones meteorológicas existentes de presión atmosférica, temperatura, humedad relativa del aire y también por la frecuencia del sonido. Las ondas sonoras de frecuencias más altas son más susceptibles a la atenuación del aire.

Un ejemplo ilustrativo para observar la influencia que la temperatura ejerce en la propagación del sonido se puede encontrar en el fenómeno meteorológico de las inversiones térmicas, que tiene lugar sobre todo en invierno. La inversión térmica se produce a cierta altura de la superficie terrestre, cuando se forma allí una capa de aire más caliente que el de las capas inferiores. Este manto ejerce entonces una función apantalladora, devolviendo una parte de las ondas sonoras procedentes del suelo de nuevo a la superficie terrestre.

### Propiedades Físicas de la Propagación del Sonido

#### ■ Reflexión del Sonido

La reflexión de una onda se produce cuando esta, o una parte de esta, cambia la dirección o sentido de su propagación al chocar con un obstáculo, volviendo por el mismo medio de llegada. En la reflexión de las ondas no varía ni la frecuencia ni el módulo de la velocidad de propagación, ya que la onda se mueve constantemente por el mismo medio. Tampoco cambia el ángulo de reflexión con la normal respecto al de incidencia tal y como se ilustra en la figura (2).

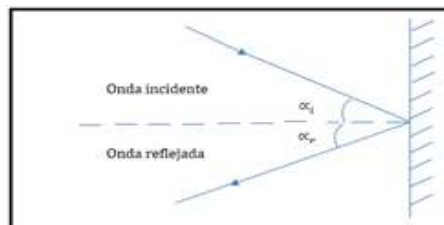


Figura 2: Reflexión de una onda sonora.

- Ángulo de incidencia.
- Coeficiente de absorción de la superficie.
- Longitud de onda incidente.
- Irregularidad de la superficie.
- Densidad y viscosidad del medio de propagación.

#### ■ Refracción del Sonido

Cuando una onda sonora atraviesa una superficie y se propaga por otro medio elástico, lo hace en un ángulo diferente el ángulo de incidencia respecto a la normal por variar su velocidad de propagación. Esta velocidad de propagación es proporcional a la densidad del

medio, de manera que cuando una onda sonora penetra en un medio más denso, aumenta su velocidad y, según la siguiente expresión, también lo hace su ángulo respecto a la normal.

$$\frac{Vel.Incidente}{Vel.Reflejada} = \frac{\text{sen}(\alpha_i)}{\text{sen}(\alpha_r)} \quad (9)$$

De esta manera, se pueden tener dos situaciones diferentes, tal y como se refleja en la siguiente figura (3)

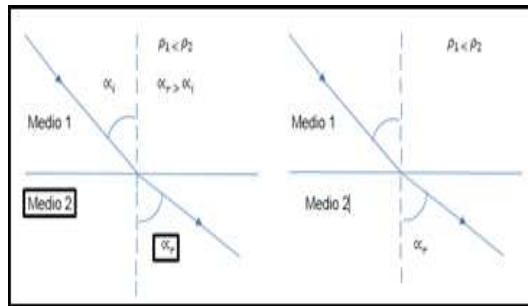


Figura 3: *Diferentes tipos de refracción  $\alpha_i$  es el ángulo incidente;  $\alpha_r$  es el ángulo refractado;  $\rho_1$  es la densidad del medio 1 y  $\rho_2$  es la densidad del medio 2*

#### ■ Difracción del Sonido

Es la propagación del sonido, de la misma forma que en la de cualquier tipo de onda, se produce el fenómeno de la difracción mediante el cual la onda sonora es capaz de propagarse por aberturas o rodear obstáculos. El grado de difracción depende de la longitud de onda del sonido ( $\lambda$ ), de manera que se pueda contemplar tres posibles situaciones dependiendo del diámetro de un orificio o la altura ( $h$ ) de un obstáculo:

- Para  $h < \lambda$  no se producen zonas de sombra en las que no lleguen las ondas sonoras.
- Para  $h = \lambda$  el ruido llega muy atenuado a determinadas zonas.
- Para  $h > \lambda$  hay zonas de sombra.

#### ■ Reverberación del Sonido

La reverberación de un sonido en un recinto cerrado es un tipo de reflexión en la que se escucha una prolongación en el tiempo del sonido una vez que ha desaparecido la fuente que lo ha generado. Esta persistencia sonora será tanto mayor cuanto más pequeño sea el coeficiente de absorción de las paredes del local, y viene definida por el tiempo o periodo de reverberación: tiempo necesario para que la intensidad original del sonido disminuya en 60 decibelios.

El fenómeno de la reverberación no debe confundirse con el eco, que se produce en espacios abiertos. El eco es la consecuencia de la reflexión del sonido en una única superficie y por lo tanto se desplaza en una sola dirección. Por eso su efecto no se observa inmediatamente después de que la fuente sonora haya cesado de emitir ondas, si no al cabo de unos segundos. Para que la presencia de dos sonidos diferentes (el emitido y el reflejado)



sea apreciable por el oído humano, debe haber una separación de tiempo de 0,1 segundos como mínimo entre ellos, de manera que el oyente tiene que estar a una distancia mínima de 17 metros de la pared reflectora.

#### ■ Absorción del Sonido

Cuando una onda sonora se desplaza por un medio elástico y entra en contacto con una superficie, parte de su energía sonora es absorbida. Todo material tiene un coeficiente de absorción ( $\alpha$ ) característico que se define como una relación entre la energía absorbida e incidente.

$$\alpha = \frac{E_{\text{absorbida}}}{E_{\text{incidente}}} \quad (10)$$

El coeficiente de absorción es un parámetro adimensional cuyo rango de valores oscila desde el cero, para un hipotético material que refleje todas las ondas sonoras, hasta la unidad, para aquellos materiales que absorben toda la energía acústica incidente (cualquier abertura de la superficie se considera con un coeficiente  $\alpha=1$ ).

## Resultados y Discusión

- Las señales adquiridas de las principales calles de la ciudad de Chiclayo fue la del cruce entre Av. José Leonardo Ortiz y la Av. Salaverry, para ello se ubicaron siete puntos de captura:

- Elektra (M1)
- Parque (M2)
- Banco de la Nación (M3)
- Inkafarma (M4)

En la siguiente figura (4) se señala dichos puntos de captura de las señales.



Figura 4: Ubicación de los puntos de captura en el cruce de la Av. JLO y Salaverry.

- Se utilizó un algoritmo realizado en MATLAB llamado “captura\_mensaje.m”, para la captura de las ondas sonoras de la ciudad de Chiclayo, por un intervalo de 20 segundos en cada punto de captura. En la siguiente figura (5) se muestra el algoritmo implementado.

```

clc; % borra los comandos pasados
clear all; % borra variables pasadas
close all; % cierra ventanas de graficas pasadas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Parámetros de Captura %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Fs = 44100; % frecuencia de muestreo (fs)
r = 16; % numero de bits
duracion = 20; % duración de la captura (20 s)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Capturar las Señales %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

pause; % presionar enter para capturar
x = wavrecord(duracion*Fs,Fs,'double'); % función para capturar

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Almacenar las señales en Disco Duro %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

xx = round(x*32767); % convertir las muestras a entero
fid = fopen('D:\elektra.dat','w'); % ruta para almacenar la señal
fwrite(fid,xx,'int16'); % guardando la señal en la ruta
fclose(fid); % cerrar el puntero de ruta

```

Figura 5: Algoritmo en MATLAB para la captura de las señales “captura\_mensaje.m”.

Luego para extraer las señales capturadas del disco duro, se utilizó un algoritmo realizado en MATLAB, llamado “leer\_mensaje.m”, el cual permitirá además graficar a las señales en el tiempo continuo y en el tiempo discreto de cada uno de los puntos de captura. En la siguiente figura (6) se muestra el algoritmo implementado.

```

clc; % borra los comandos pasados
clear all; % borra variables pasadas
close all; % cierra ventanas de graficas pasadas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Lectura del Mensaje %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

fid = fopen('D:\elektra.dat','r'); % ruta para leer la señal capturada
xx=fread(fid,'int16'); % señal extraida en el vector "xx"
fclose(fid); % cerrar el puntero de ruta
x = xx/32767; % convertir las muestras a decimal

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Graficar las Señales %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

figure(1)
subplot(2,1,1),plot(x),axis([0 160000 -1.2 1.2]),
title('SEÑAL EN EL TIEMPO CONTINUO - PUNTO DE CAPTURA ELEKTRA (M1)'),
xlabel('NÚMERO DE MUESTRAS'),ylabel('AMPLITUD');
subplot(2,1,2),stem(x),axis([0 160000 -1.2 1.2]),
title('SEÑAL EN EL TIEMPO DISCRETO - PUNTO DE CAPTURA ELEKTRA (M1)'),
xlabel('NÚMERO DE MUESTRAS'),ylabel('AMPLITUD');

figure(2)
subplot(2,1,1),plot(x),axis([60240 60500 -0.6 0.6]),
title('SEÑAL EN EL TIEMPO CONTINUO - PUNTO DE CAPTURA ELEKTRA (M1)'),
xlabel('NÚMERO DE MUESTRAS'),ylabel('AMPLITUD');
subplot(2,1,2),stem(x),axis([60240 60500 -0.6 0.6]),
title('SEÑAL EN EL TIEMPO DISCRETO - PUNTO DE CAPTURA ELEKTRA (M1)'),
xlabel('NÚMERO DE MUESTRAS'),ylabel('AMPLITUD');

```

Figura 6: Algoritmo en MATLAB para la lectura de las señales “leer\_mensaje.m”.

A través del algoritmo mostrado en la figura 5 se ha seleccionado siete archivos de grabación, es decir un archivo por cada punto de captura. Donde a continuación se graficará las señales en el tiempo continuo y discreto.

■ Punto de captura: Elektra (M1)

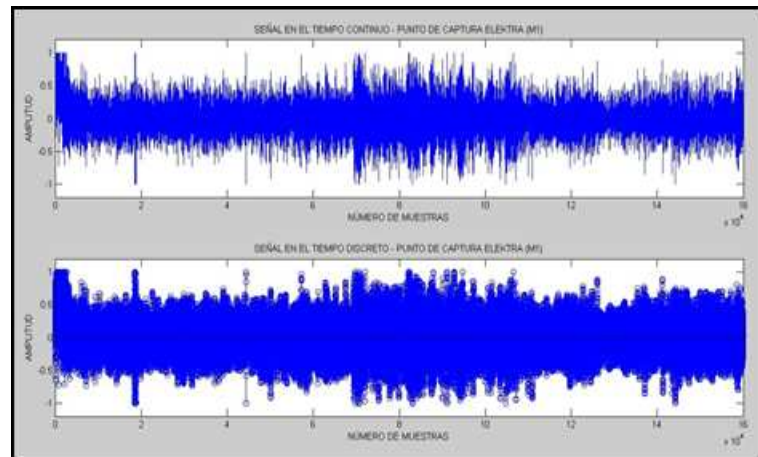


Figura 7: Gráfica de la señal capturada en el tiempo continuo y discreto del punto de captura ELEKTRA (M1)

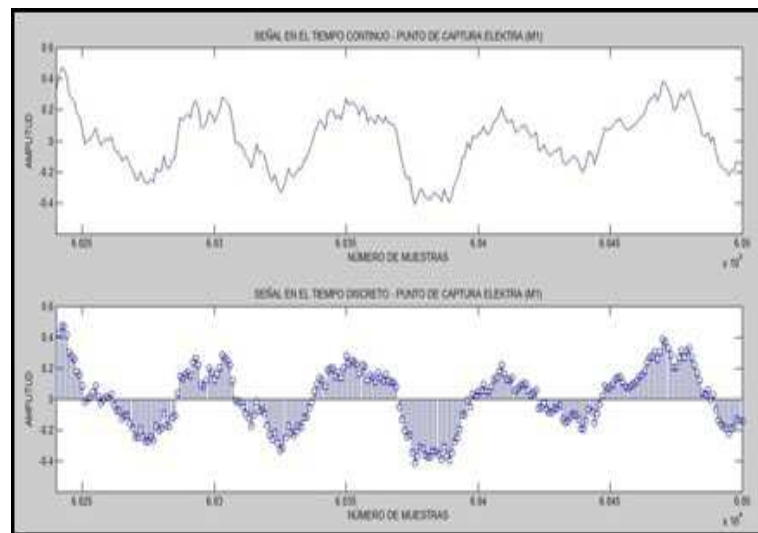


Figura 8: Gráfica de una parte de la señal capturada en el tiempo continuo y discreto del punto de captura ELEKTRA (M1)

- Punto de captura: PARQUE (M2)

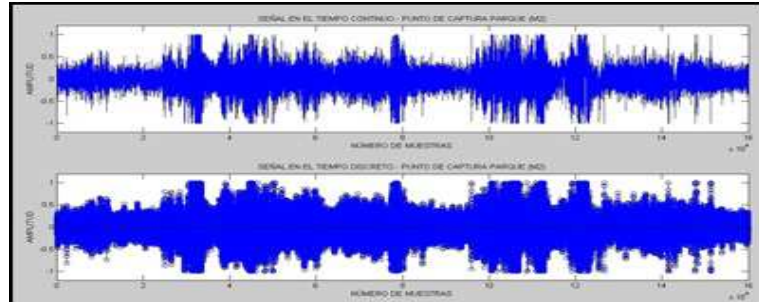


Figura 9: Gráfica de la señal capturada en el tiempo continuo y discreto del punto de captura PARQUE (M2)

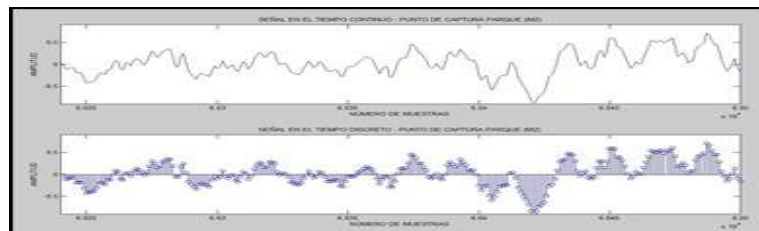


Figura 10: Gráfica de una parte de la señal capturada en el tiempo continuo y discreto del punto de captura PARQUE (M2)

- Punto de captura: BANCO DE LA NACIÓN (M3)

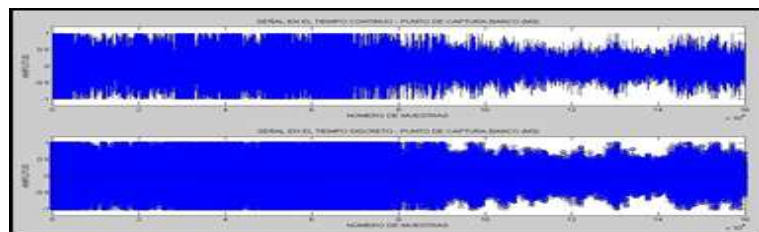


Figura 11: Gráfica de la señal capturada en el tiempo continuo y discreto del punto de captura BANCO (M3)

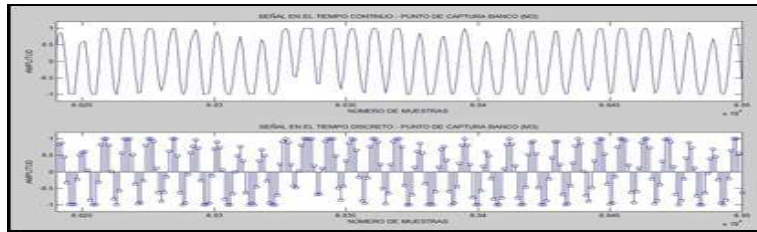


Figura 12: Gráfica de una parte de la señal capturada en el tiempo continuo y discreto del punto de captura BANCO (M3)

- Punto de captura: INKAFARMA (M4)

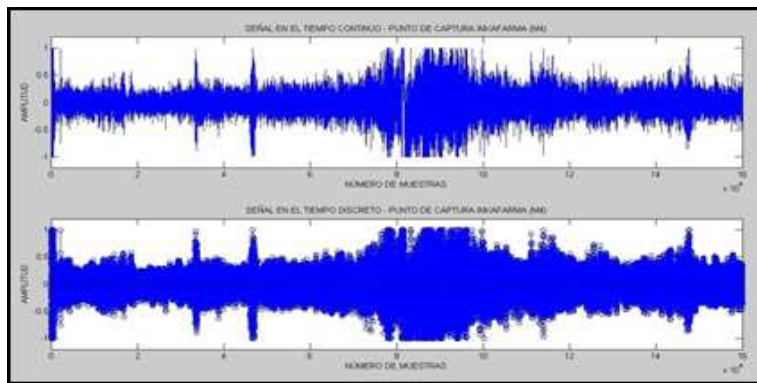


Figura 13: Gráfica de la señal capturada en el tiempo continuo y discreto del punto de captura INKAFARMA (M4)

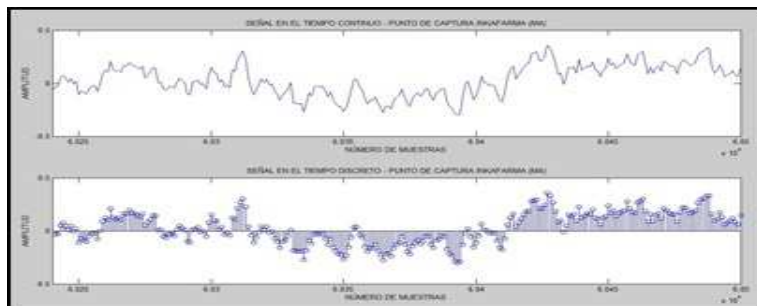


Figura 14: Gráfica de una parte de la señal capturada en el tiempo continuo y discreto del punto de captura INKAFARMA (M4)

## Conclusiones

1. Se realizó un análisis de las señales sonoras utilizando el software MATLAB, el cual permitió graficar las señales en el dominio del tiempo y la frecuencia, así como realizar el cálculo de parámetros para el cálculo de las atenuaciones, para conseguir el nivel de presión sonora en las personas que reciben dicho ruido.
2. Se realizó un prototipo de equipo electrónico de fácil entendimiento para los pobladores de la ciudad de Chiclayo.
3. El uso de sensores climáticos con una incertidumbre de  $\pm 2\%$  de precisión, permitió obtener lecturas representadas en notación decimal de los parámetros, que fueron utilizados para el cálculo del nivel de presión sonora con el software Arduino.
4. La utilización de la tecnología y conocimientos es importante en la innovación y creación de nuevos procesos, con la ayuda de técnicas que se brindan de manera libre para el desarrollo de proyectos tecnológicos que ayuden a solucionar los problemas de contaminación sonora entre otros.

## Referencias Bibliográficas

- [ 1 ] Bertillon, A. (1884). *Sistema Antropométrico*. Biblioteca nacional de medicina, Paris, Francia.
- [ 2 ] Barros, J. *Historia Biométrica*. Portugal, Braga.
- [ 3 ] García, V. (2010). *Sistema De Reconocimiento De Huellas Dactilares Para El Control De Acceso De Recintos*. México: Chihuahua.
- [ 4 ] Gómez, J. (2010). *Ingeniería Y Sistemas Biométricos (Inbiosys)*.
- [ 5 ] Rodríguez, R. (2010). *Sistema De Control De Personal Y Planillas De Pago*.
- [ 6 ] Santaella, J. (2010). *Sistema De Control De Asistencia Por Huella Dactilar*.