

## **Sistema opto-electrónico para la recuperación de una señal de vibración: Adquisición de datos por medio del sensor ADNS-3080**

**Roberto Yorisa Bejarano - Dr. Rosaura Kantun - Dr. Gildardo Pablo Lemus Alonso, IEEE**

### **Planteamiento del problema**

Hoy en día las industrias necesitan hacer estudios del análisis de vibraciones con el fin de establecer el estado de salud mecánica de las máquinas [1]. Esto ha propiciado a que se realicen diversas investigaciones en electrónica y computación, donde el objetivo es el desarrollo de técnicas de análisis de señales de pequeños movimientos [2]. El alto costo de instrumentos comerciales para el análisis de las vibraciones, así como su adquisición cerrada los ha llevado a la búsqueda de nuevas alternativas. En la universidad de Montemorelos se desarrolló un sistema óptico de bajo costo con la idea de medir las vibraciones producidas por las ondas de audio con el sensor de mouse óptico (A3050), los resultados indican que es posible utilizar este tipo de sensores para medir movimientos pequeños, sin embargo el sistema no es capaz de captar limpiamente la señal de audio ya que ésta limitado a una frecuencia de muestreo de 1000 fps (cuadros por segundo), con esta velocidad teórica se puede recuperar una frecuencia máxima de 500 Hz [3]. Para nuestra investigación proponemos usar el sensor de mouse ADNS3080 para la recuperación de señales con frecuencias temporales de 2 Hz hasta 2kHz. Específicamente en este proyecto se presenta el estudio del sensor ADNS-3080 y la creación de una interfaz en la plataforma LabVIEW para visualizar los datos adquiridos por el sensor.

### **Pregunta de investigación**

¿En qué condiciones un sistema basado en el sensor ADNS-3080 de mouse puede captar datos del movimiento del cono de una bocina en funcionamiento?

¿Cuál debe ser la configuración del sen-

sor para ser usado como una cámara de video?

### **Hipótesis**

Usando el sensor de mouse ADNS-3080 es posible recuperar una señal con una frecuencia temporal de hasta 2kHz, ya que este sensor tiene una velocidad de muestreo de hasta 6,400 fps (cuadros por segundo), la señal del movimiento de una bocina puede ser relacionada con una señal de audio.

Debe de tener un control para poder hacer la recuperación de vibraciones y también un sistema óptico de amplificación.

### **Justificación**

Las vibraciones están presentes en la naturaleza y en nuestra vida cotidiana, por eso es muy importante poder analizar estas vibraciones para ser usadas en aplicaciones industriales, médicas y de seguridad [4] entre otros, debido a que pueden afectar desde el cuerpo humano hasta los edificios [5]. Por ejemplo, en el área médica el estándar ISO 2631 "Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements". Define los valores numéricos para los límites de exposición de vibraciones a las que puede estar sometido el ser humano. Estos límites establecen los diferentes efectos de las vibraciones sobre el individuo. Entre las quejas más comunes en el área médica incluye el dolor vertebral genético, enfermedades de columna vertebral, fatiga, enfermedades de los músculos del esqueleto, etc [1].

Es por esto que se debe evaluar la vibración a la que se expone el individuo con

el fin de poder determinar si esta afecta la comodidad o afecta su salud. Mediante la evaluación se determina el grado de exposición que debe de tener el individuo [5].

Beiderman [4] nos muestra que se puede relacionar en el análisis de las vibraciones en la piel con latidos del corazón y también menciona que hay dos técnicas de medición: invasivos y no invasivos de esta forma de veros de presentar atención a los métodos no invasivos logrado de esta manera gas-tos médicos reducidos, ofreciendo comodidad a los pacientes y son adecuados para la clínica y la atención domiciliaria.

Con relación al área industrial los problemas más serios en las máquinas y estructuras es el riesgo de fallas catastróficas debido a la generación de grietas en ella [5]. A pesar de que las máquinas y las estructuras son cuidadosamente diseñadas e inspeccionadas durante sus operaciones, hay antecedentes de fallas en plantas debido a ejes y estructuras agrietadas, una de las técnicas para poder detectar estos problemas es el estudio de análisis de vibraciones [5]. Por otro lado, Davis [6] propone otras aplicaciones donde es posible convertir los objetos visibles en posibles micrófonos. De esta manera podemos recuperar el habla y la música en una sala de manera remota y será posible aplicar en la seguridad de las conversaciones.

Por esto este proyecto es importante poder seguir la idea planteada por estos autores, pudiendo tener varias aplicaciones como en la robótica, como un odómetro. También puede ser aplicado en la industria, reconocimiento de voz, un sistema de comunicación y otros más como nos lo plantea Y. Beiderman [4].

### Objetivos generales

Desarrollar una interfaz para la adquisición de datos de la cámara del sensor ADNS-3080 en tiempo real.

### Objetivos específicos

- Comunicación con el sensor ADNS-3080 por medio un micro controlador.
- Visualización de datos utilizando la plataforma de LabVIEW.
- Procesamiento de datos obtenidos por

el sensor (ADNS3080).

## Marco teórico

### Señales:

Una señal se define como cualquier magnitud física que varía en el tiempo, espacio o cualquier otro variable o variables independientes. Describimos matemáticamente una señal como una función de uno o más variables independientes. Señales discretas. Las señales discretas solo están definidas en determinados instantes específicos de tiempo. En la práctica de las señales discretas pueden generarse de dos formas:

1. Seleccionado los valores de una señal analógica en discretos instantes de tiempo, a este proceso se le conoce como muestreo. Todos los instrumentos de medida donde se realizan mediciones a intervalos de tiempo regulares se proporcionan señales discretas en el tiempo.

2. Acumulando una variable en un periodo de tiempo. Por ejemplo, el número de carros que pasa por una calle por un determinado de tiempo a esto se les da lugar a las señales discretas en el tiempo [7].

**Señales senoidales.** Una oscilación armónica simple se describe matemáticamente mediante la siguiente señal senoidal continua en el tiempo:

$$x_o(t) = A \cos(\Omega t + \theta), -\infty < t < \infty \quad (1)$$

El subíndice a utilizando con  $x(t)$  indica que es una señal analógica. Esta señal que da completamente caracterizada por medio de tres parámetros siguientes: A, muestra la amplitud de la sinusoidal,  $\Omega$  muestra la frecuencia en radianes por segundo (rad/s)  $\theta$ , es la fase en radianes. A menudo de utilizar F (medidas en ciclos por segundo o hercios (Hz)) en vez de utilizar  $\Omega$  (frecuencia rad/s).

$$\Omega = 2\pi F \quad (2)$$

$$x_o(t) = A \cos(2\pi F \Omega t + \theta), -\infty < t < \infty \quad (3)$$

Una señal sinusoidal discreta en el tiempo se expresa de la siguiente manera.

$$x(n) = A \cos(\omega n + \theta), -\infty < t < \infty \quad (4)$$

En esta ecuación  $n$  es una variable entera, donde muestra la cantidad de números muestra,  $A$  es la amplitud de la sinusoidal,  $\omega$  es la frecuencia en radianes por muestra y  $\theta$  es la fase en radianes [7].

### Conversión de una señal analógica-digital

En la mayoría de las señales con interés práctico, tales como las señales de voz, las señales biológicas, sísmicas, de radar, de sonar y las diversas señales de comunicación como las de audio y de video, son analógicas. Para poder procesar señales analógicas a través de medios digitales, principalmente es necesario convertirlas a forma digital. Este proceso se llama conversión analógica-digital (A/D). Para realizar esta conversión (A/D) consta de tres pasos [7].

1. **Muestreo:** En este proceso se realiza la conversión de una señal continua en el tiempo en una señal discreta en el tiempo obtenida mediante la muestra de las señales continuas en el tiempo en instantes discretos de tiempo.

2. **Cuantificación:** Se realiza la conversión de una señal de valores continuos tomados en instantes de discretos en el tiempo en una señal de valores discretos es decir en una señal digital.

3. **Codificación:** El proceso de codificar cada valor discreto y se representa mediante una secuencia binarias de bits.

### Muestreo

Para que las señales continuas puedan digitalizarse primeramente se debe de muestrear. Para esto el teorema de muestreo nos indica que todas las señales de banda limitada a  $f_m$  Hz es determinada en forma única por sus valores únicos que corresponden a intervalos de regulares de duración  $1/2f_m$  segundos o menos. Esto quiere decir que si se tiene una transformada de Fourier de  $f(t)$  su valor es cero por encima de la

frecuencia  $\omega_m = 2\pi f_m$ , entonces la información de la  $f(t)$  que da contenida en la muestra uniformemente espaciada por la cantidad de  $1/2f_m$  segundos o menos [8].

Trasformada de Fourier

La transformada de Fourier es una de las herramientas matemáticas que resulta útil en el análisis y diseño de sistemas. Otra de ellas es la serie de Fourier. Desde estas señales implican básicamente la descomposición de las señales en función de sinusoidales. Cuando se trabaja con señales periódicas, esta descomposición se le conoce como serie de Fourier. En otro caso como señales de energía finita se le conoce transformada de Fourier [6].

$$\tau \left( \frac{n}{NT} \right) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} m(kT) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \quad (5)$$

Donde 'N' es el número de muestra de las ventanas que se va analizar, 'T' es el periodo de muestreo que denominaremos 'T', 'n' es el índice de la frecuencia cuyo valor queremos obtener y 'm(kT)' indica la muestra tomada en el instante 'k' (muestra Késima) de la ventana [9].

El análisis de Fourier establece que cualquier señal que no es sinusoidal periódica se puede expresar como la suma de números infinitos o finitos de funciones sinusoidales [10].

### El mouse óptico

El movimiento del mouse se traduce en el movimiento de un puntero en una pantalla, permitiendo así un control de una interfaz gráfica del usuario. Los mouses de hoy en día vienen de diferentes formas, con un amplio rango de características, tamaños y precios. Las dos principales tecnologías que impulsan estos nuevos dispositivos es el sistema óptico y el mecánico. En 1980 la tecnología óptica llegó al mouse, pero no tuvo mucha tracción sino hasta el 2000. La función del mouse ha crecido tanto que los usuarios piden más velocidad y una mejor respuesta [6]. El mouse es una pequeña cámara de video de alta velocidad como lo podemos ver en la imagen 2 un diodo emisor de luz (LED) ilumina la superficie de abajo del mouse. La luz que es reflejada por el led al microscopio es recogida por una lente de plástico donde este reflejo de luz crea una imagen en el sensor. El sensor sigue capturando imágenes secuencialmente a como se va moviendo en la superficie a una velocidad de 2000 a 1600 fps (Cuadros por segundo) estos fps pueden variar con el tipo de sen-

sor de mouse que se utilice.

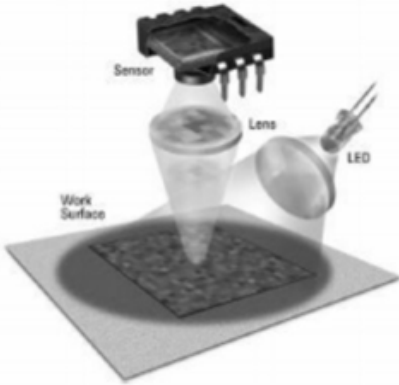


Figura 1. Los mouses ópticos iluminan una parte de la superficie de trabajo con un led, para poder así hacer su propio patrón de sombras y reflejos.

### Funcionamiento de la bocina

El sistema de una bocina se divide en dos, un es de la excitación y el otro el acústico. El sistema de excitación, también conocido como el motor de la bocina, esta conformado por un imán permanente que genera un gran campo magnético, dentro de este campo magnético encontramos una bocina, que pertenece a la parte del sistema acústico. El principio básico de este sistema es que, al circular una corriente eléctrica por la bocina, genera un campo magnético que crea una polaridad [11]. La finalidad de un sistema acústico es transmitir un movimiento al aire que lo rodea, este movimiento que se genera por el campo magnético es ideal para que el sonido se transforme en una señal eléctrica entregada al altavoz por el sistema de amplificación. La señal eléctrica hace que provoque un desplazamiento la bocina y esta mueve el cono. La bocina consta con un armazón metálico y en los bordes exteriores un elemento flexible, el cono posee un dispositivo (centrado) donde el propósito de este dispositivo es mantener la bocina en el centro magnético [11].

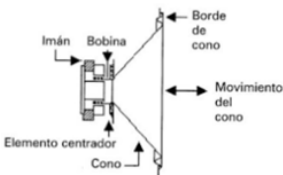


Figura 2. Altavoz dinámico de imán permanente [12].

### Respuesta en frecuencia

Se presenta mediante una curva característica y nos informa de la respuesta de un altavoz a las diferentes frecuencias de espectro acústico. Para poder contar este parámetro es necesario colocar en el eje de las abscisas las distintas frecuencias reproducibles y en el eje de ordenadas, la intensidad sonora en decibelios.

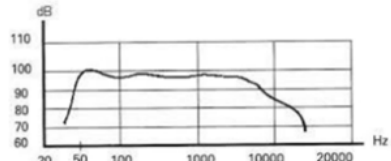


Figura 3. Gráfica de frecuencia de un altavoz.

### La curva polar

La curva polar es un parámetro muy importante al realizar una sonorización estereofónica. Teniendo en cuenta que, al aumentar la frecuencia, la longitud de las ondas sonoras disminuye por el cono del altavoz hace que disminuya, no pudiendo realizar la reproducción en todas las frecuencias de la misma manera, esto se debe a que el cono concentra las frecuencias más altas en su eje de las mismas maneras en sus ambos lados figura 5.

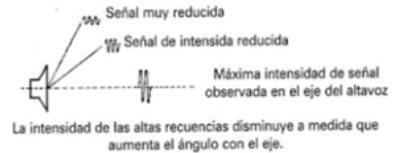


Figura 4

### Método de medición

Actualmente existen diversas maneras de medir las vibraciones, una de ellas es el método por triangulación láser, donde autores ya han utilizado este método nos explica como Beiderman [4], Silva [13] y su equipo. Teniendo mouses de PC que tienen un diodo láser y un sensor óptico. Para la medición de las vibraciones utilizo un láser iluminando el área del objeto para producir así una mancha cerca de la gran arteria de sangre (en la muñeca del cuerpo humano). La iluminación del láser esta siendo reflejada en el sensor del mouse pudiendo así captar una señal de vibraciones física de la piel en un cierto periodo, el resultado de correlación es pasado a un

pc donde los datos que salen del mouse corresponden las coordenadas x e y. Las coordenadas son proporciones del cuadro que se puede ver en la pantalla. Al ver las graficas que se generan por medio de las coordenadas que el sensor obtiene las podemos representar como pulsos y esto corresponde a las pulsaciones del corazón humano.

Santolaria [14]. Y su equipo utiliza el método de triangulación laser (LTS) para la digitalización de nubes de punto en pizas industriales. De esta forma al poner el laser proyecta un punto o una línea sobre la superficie del objeto que se desea analizar. Se coloca un lente para poder enfocar la imagen y así determinar las coordenadas de los puntos sobre la imagen. Silva [13] y su equipo realizaron varios escenarios de medición como se mostrará en las figuras a continuación. La figura 5 se puede observar el método de desplazamiento local de una barra de madera. Con el objetivo de controlar el movimiento traslacional de una del punto centro de la barra hasta llegar a una ruptura de la madera. En la figura 6 encontramos el siguiente método de medición de un ojo artificial utilizando una esfera de acero colocándola en el centro de un goniómetro, el mouse se coloca a una distancia predeterminada al punto ventral de la esfera y una láser iluminado la superficie de la esfera. En la figura 7 se muestra otro método donde está relacionado con el movimiento de la piel debido al cambio de una arteria radial del brazo causado por los latidos del corazón.

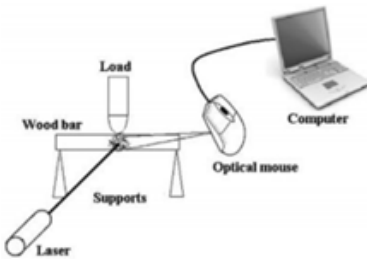


Figura 5. Método experimental de un desplazamiento de una barra de madera causada por una carga [13].

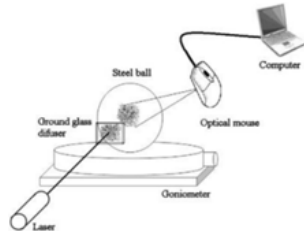


Figura 6. Método experimental sobre el movimiento artificial de un ojo causado por una rotación horizontal de un goniómetro [13].

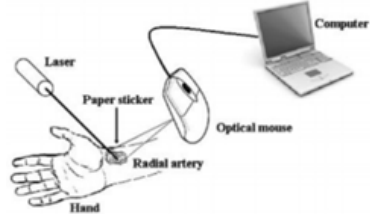


Figura 7. Método experimental de con relación al desplazamiento de la piel causado por el latido del corazón [13].

### Sensor ADNS-3080

El sensor cuenta con una velocidad programable hasta de más de 6400 cuadros por segundos y también sabemos que tiene un marco de 30x30 pixeles. Todos los sensores tienen una identificación única asignada al sensor, en nuestro caso no es una excepción ya que nuestro sensor cuenta con el Producto ID 0x17 este registro puede ser usado para la verificación de la comunicación funciona. El registro 0x02 nos permite determinar si se ha producido movimiento desde la última vez que fue leído. Si fue así, entonces de vemos dirigirnos a los registros 0x03 y 0x04 para obtener el movimiento adecuado.

Access Road		Reset Value: 0x02							
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
Field	MOT	Reserved	Reserved	OVF	Reserved	Reserved	Reserved	RES	

Data Type: Bit field

USAGE: Register 0x02 allows the user to determine if motion has occurred since the last time it was read. If so, then the user should read registers 0x03 and 0x04 to get the accumulated motion. It also tells if the motion buffers have overflowed, and the current resolution setting.

Field Name	Description
MOT	Motion since last report or PD 0 = No motion 1 = Motion occurred, data ready for reading in Delta_X and Delta_Y registers
Reserved	Reserved
Reserved	Reserved
OVF	Motion overflow, Delta_X and/or Delta_Y buffer has overflowed since last report 0 = no overflow 1 = Overflow has occurred
Reserved	Reserved
Reserved	Reserved
Reserved	Reserved
RES	Resolution in counts per inch 0 = 400 1 = 1600

Figura 8. Registro 0x02 movimiento [15].

## Metodología

### Desarrollo de proyecto

Para poder controlar el sensor ADNS3080 por medio de un Arduino se tuvo que realizar una prueba de comunicación, para esto fue necesario conectar el sensor al Arduino una vez conectado se cargó una programación donde le pedíamos al mouse su ID de producto, para poder saber si teníamos comunicación con nuestro sensor en la interface de serial tenía que mandar un 17 ya que es el ID de nuestro sensor ADNS-3080.

Después de tener la certeza que la comunicación del sensor ADNS-3080 podemos obtener más información del sensor, para esto se manipulo una programación que esta hecha para el sensor que ya mencionamos anteriormente, en la configuración de Arduino le pedimos que nos diera los valores de X e Y por medio de la interface del serial. Al hacer vibrar la bocina para poder captar movimiento no tamos que, si arrojaba datos en X e Y, pero el detalle fue que cuando se a pagaba la bocina el sensor seguía leyendo movimiento y esto nos dio problemas ya que no sabíamos que es lo que el sensor estaba viendo.

Para la comunicación y lectura de datos se tuvo que cargar un programa en Arduino para hacer la comunicación, con la ayuda del programa de Elliot Williams [16] ya que el también realizo un proyecto utilizando el sensor ADNS-3080. Se realizaron diferentes modificaciones para poder utilizar la programación en la interfaz de LabVIEW. Una de las modificaciones que se le hicieron al programa fue cambiar la sección de captura de los fotogramas ya que mandaba las capturas en formato ASCII (es un código de caracteres basado en el alfabeto latino) a al formato de numero donde se colocó (frame [k]) donde se pide el valor de los números en el serial como lo muestra la figura 12. una ves que los valores se mostraban en la pantalla podíamos ver como variaban al acercarse a un objeto.

```
87 129 (0,-2)
89 1 (0,0)
99 129 (1,1)
99 1 (0,0)
94 129 (0,-1)
101 129 (5,0)
93 129 (6,5)
93 129 (2,0)
100 1 (0,0)
98 1 (0,0)
89 129 (0,1)
95 1 (0,0)
99 129 (0,-3)
96 1 (0,0)
89 129 (0,3)
```

Figura 9. Datos de X e Y.

Para solucionar el problema de si el sensor estaba viendo un punto específico que a nosotros nos gustaría que estuvieran enfocado optamos por hacer un programa en LabVIEW y por medio de esta interface poder ver lo que el sensor ve por medio de su lente del sensor. Para esto se realizó una modificación en la programación de Arduino para que mande una matriz de 30x30 por medio de la interface del serial de Arduino y así el programa de LabVIEW lo pueda leer y generar una imagen.



Figura 10. Imagen de un punto en la bocina.

Las vibraciones que genera la bocina al sonar no podían ser captadas tan fácilmente por el sensor y se realizó un cambio de velocidad de transmisión de datos (38400 velocidad de transición). Una ves configurada la velocidad se pudo mejorar la visualización del movimiento de la vibración de la bocina.



Figura 11. Programación para dar la Matriz ADNS-3080.

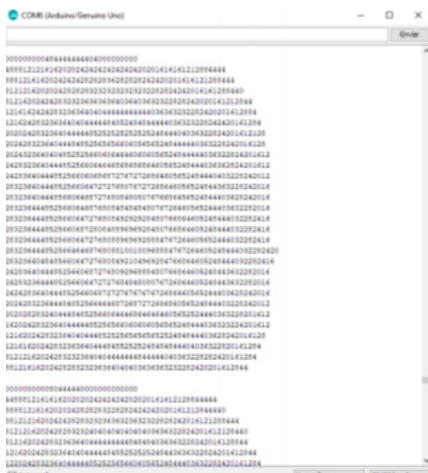


Figura 12. Datos de matriz (frame[k]).

En nuestra configuración de bloque en LabVIEW se necesita primero que nada el bloque de la comunicación del puerto serial. El Configure Serial Port obtiene los datos que se envían al puerto serial del Arduino. Este bloque pide por qué puerto será la comunicación, la velocidad de transmisión de datos y una línea de detección de errores.

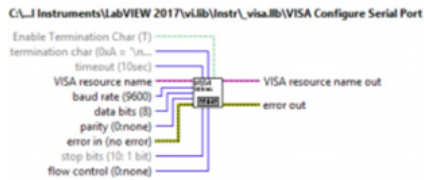


Figura 13. El Configure Serial Port.

También tenemos los bloques de donde se reciben los valores que fueron enviados por el Serial Port. Una vez que los valores fueron leídos por el Visa Read se genera un indicador donde se le asignan los valores que va recibir cada ciclo Visa Read. En el read buffer se leen los valores que salen de Visa Read pasando así a una conversión de una cadena string a un arreglo separando cada valor de la matriz por una ','. Reshape array hace el arreglo de la matriz solo hay que de clarar los valores de la matriz que quieres formar como por ejemplo nuestra matriz que es de 30x30. De esta manera se llega a nuestra gráfica de intensidad donde se puede ver las imágenes del sensor ADNS-3080.

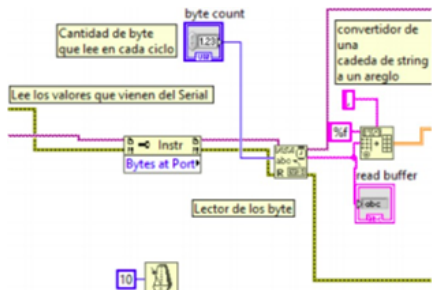


Figura 14. Asignación de lecturas.

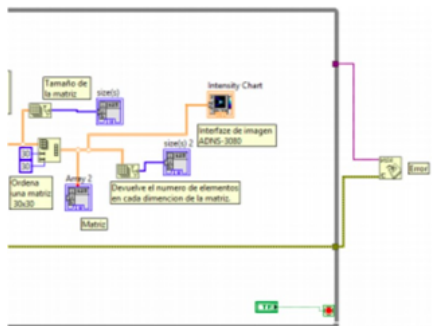


Figura 15. Arreglo de matriz para la gráfica.



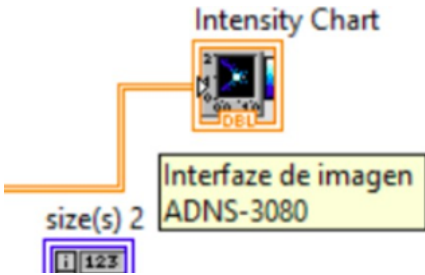


Figura 16. Bloque para graficar los valores de nuestros pixeles del sensor.

Una vez que llega nuestro valor a nuestro graficador podemos observar los objetos que se encuentran frente a nuestro sensor como lo muestra las figuras a continuación.

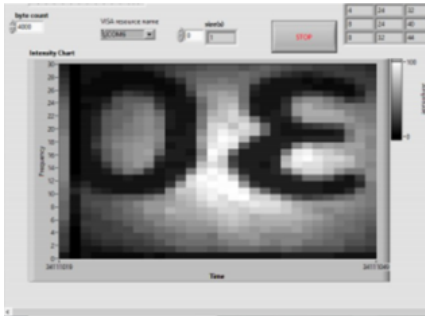


Figura 17. Numero escrito en una hoja blanca.

### Conclusiones

Después de privar el programa encontramos que, si podemos ver la imagen moviéndose, pero el problema es que al querer ver los valores de dx y dy no se guardan en los registros. Trabajo a continuación es aplicar algoritmos para amplificar la imagen de video del movimiento.

### Referencias

- [1] P. N. Saavedra, LA MEDICION Y ANALISIS DE LAS VIBRACIONES COMO TECNICA DE INSPECCION DE EQUIPOS Y COMPONENTES, APLICACIONES.
- [2] C. Liu, A. Torralba, W. T. Freeman, D. Edward, H. A. Computer, and E. H. Adelson, "Motion Magnification," Small, 2002.
- [3] G. G. Hernández, R. K. Montiel, G. Pablo, L. Alonso, and R. Rodríguez, "Sistema óptico para la recuperación de una señal de audio," pp. 1-13.
- [4] Y. Beiderman, R. Talyosef, D. Yeori, J. Garcia, V. Mico, and Z. Zalevsky, "Use of PC mouse components for continuous measuring of human heartbeat.," Appl. Opt., vol. 51, no. 16, pp. 3323-8, 2012.
- [5] N. Osoreo, "Investigación de la vibración de cuerpo entero en una planta industrial: Una comparación acerca de la comodidad y la salud," Universidad Federal Do Rio Grande Do Sul, 2017.
- [6] A. Davis, M. Rubinstein, N. Wadhwa, G. J. Mysore, F. Durand, and W. T. Freeman, "The Visual Microphone : Passive Recovery of Sound from Video," Siggraph 2014, pp. 1-10, 2014.
- [7] J. G. Proakis, D. S. G. . coaut. Manolakis, V. tr.Santalla del Río, and J. L. Alba Castro, Tratamiento digital de señales /. 1998.
- [8] E. Herrera Pérez, Comunicaciones I : señales, modulación y transmisión : una introducción a la teoría de la comunicación eléctrica moderna. Limusa, 2001.
- [9] J. Bobadilla, P. Gómez, and J. Bernal, "La transformada de Fourier. Una visión pedagógica.," Estud. fonética Exp., vol. 10, pp. 41-74, 1999.
- [10] E. Herrera Perez, Introduccion a las telecomunicaciones modernas. Limusa/ Noriega Editores, 1999.
- [11] I. E. S. Los Viveros, "tema 3 Altavoces." [Online]. Available: <http://www.ieslosviveros.es/alumnos/asig8/carpeta729/3altavocesPDF.pdf>. [Accessed: 02-May-



2019].

- [12] J. P.-A. y M. Delgado, "PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ALTAVOZ," pp. 1-10, 2005.
- [13] M. Melo et al., "Optical mouse acting as biospeckle sensor," vol. 284, pp. 1798-1802, 2011.
- [14] S. Mazo et al., "Digitalización Rápida De Modelos : Métodos, Instrumentos , Estrategias De Digitalización Y Análisis De La Precisión Obtenida Mediante Un Sensor Láser Por Triangulación .," Xvi Congr. Int. Ing. Gráfica, no. 11111, p. 10.
- [15] "Description Theory of Operation ADNS-3080 High- Performance Optical Mouse Sensor."
- [16] Elliot Williams, "Mouse Brains Plus Line Laser Equals Rangefinder | Hackaday," 2016. [Online]. Available: <https://hackaday.com/2016/06/17/mouse-brains-plus-line-laser-equals-rangefinder/>. [Accessed: 25-Sep-2017].