



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR

COORDINACIÓN DE FÍSICA

Informe de Avance de Tesis de Maestría (abril – julio 2011)

Estudiante: Ing. Nicolás Veloz Savino

Tutor: Dr. Rafael Escalona.

En el presente trabajo se expondrán los avances obtenidos en el proyecto: “Control de vibraciones mecánicas en un sistema interferométrico”.

El objetivo principal de este proyecto es mejorar el contraste entre las franjas claras y oscuras de un interferograma, para incrementar la precisión de las medidas interferométricas [1-3], a través de la reducción del efecto producido por las vibraciones mecánicas en el sistema que son consecuencia de condiciones experimentales del laboratorio.

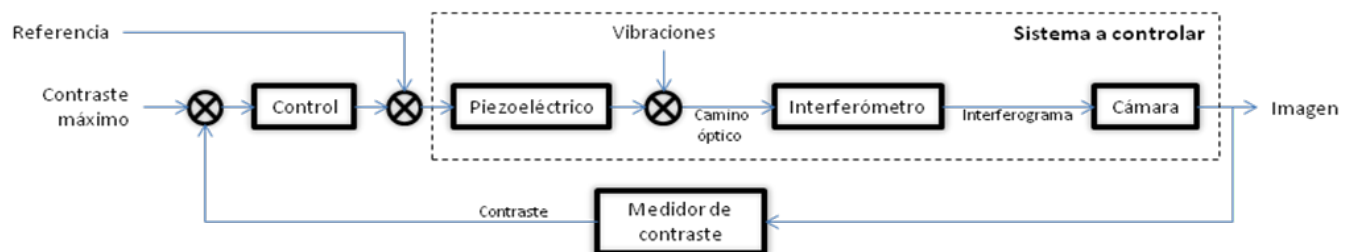


Figura 1: Esquema del sistema a controlar y del sistema de retro-alimentación

Durante los meses de abril a julio de 2011, se trabajó en el software de LabVIEW que permite el control de los diversos elementos que integran el sistema de control: la cámara PixeLINK PL-B776U, para la obtención de los interferogramas, la tarjeta de adquisición 6024E de National Instruments, para la generación de las señales de control y la tarjeta de sonido de la computadora para generar el offset necesario con el que se logra el ajuste fino del piezoeléctrico a través de un convertidor frecuencia-voltaje. También se diseñó un circuito de acondicionamiento que además de realizar el acople de impedancias y el filtrado, suma las señales provenientes del convertidor frecuencia-voltaje y la salida analógica de la tarjeta 6024E. Adicionalmente se realizaron pruebas tanto en los circuitos y software de LabVIEW así como en la integración de todas las partes en el montaje final.

Cámara

Debido a que el control de las vibraciones se realizará para lograr una mejora en el contraste de los interferogramas, es necesario obtener los mismos en escalas de tiempo que se adecúen al sistema de control y con una calidad que permita la determinación precisa del contraste establecido. Utilizando el API de PixeLINK [4]

se desarrollaron VIs de LabVIEW que controlan los parámetros de la cámara y permiten la obtención de las imágenes y el contraste. Los VIs desarrollados son los siguientes:

- **Camera-Device2Cluster.vi:** convierte las líneas del dispositivo (serial number, error y el apuntador a la cámara) en un clúster para reducir la cantidad de cables en los VIs principales.
- **Camera-Cluster2Device.vi:** convierte el clúster obtenido en el VI anterior en las líneas del dispositivo.
- **Camera-DeviceClear.vi:** se encarga de detener el dispositivo y limpiar los buffers y memorias asociados.
- **Camera-Events2Case.vi:** se encarga de establecer que controles de la cámara fueron modificados por el usuario y devuelve un arreglo con los controles modificados.
- **Camera-GetAndInitialize.vi:** obtiene la información de las cámaras conectadas e inicializa la primera que encuentra
- **Camera-GetImage.vi:** obtiene una imagen de la cámara y lo guarda como una imagen de IMAQ Vision
- **Camera-GetParams.vi:** obtiene los parámetros actuales de la cámara.
- **Camera-SetParams.vi:** establece los parámetros de la cámara según los controles que modifica el usuario.
- **Camera-StartStopStream.vi:** comienza o detiene la obtención de imágenes en la cámara.

Adicionalmente se hicieron VIs para el control del IMAQ Vision que transforma los datos obtenidos por la cámara en una imagen que puede ser reconocida y manipulada por LabVIEW. Los VIs desarrollados para trabajar con el IMAQ Vision fueron los siguientes:

- **IMAQ-Device2Cluster.vi:** este VI al igual que *Camera- Device2Cluster.vi* se utiliza para reducir el número de líneas en los VIs principales, convirtiendo las líneas de **image** y **error** de IMAQ en un clúster.
- **IMAQ- Cluster2Device.vi:** este VI convierte el clúster obtenido en el VI anterior a las líneas de image y error de IMAQ
- **IMAQ-Dispose.vi:** cierra la imagen IMAQ y elimina la memoria asociada con ésta.
- **IMAQ- Init.vi:** crea la imagen IMAQ.
- **IMAQ -GetContrast.vi:** obtiene el contraste general de una imagen IMAQ, para esto realiza una conversión del espacio de color RGB al espacio de color HSL [5, 6], lo cual permite evaluar la

luminosidad en cada punto, de esta forma, el contraste será igual a la máxima luminosidad menos la mínima luminosidad en la imagen.

Para probar los VIs desarrollados y el funcionamiento de la cámara se hizo un VI de prueba con el que se puede controlar los parámetros de la cámara y obtener las imágenes provenientes de la cámara (Figura 1 y Figura 2).

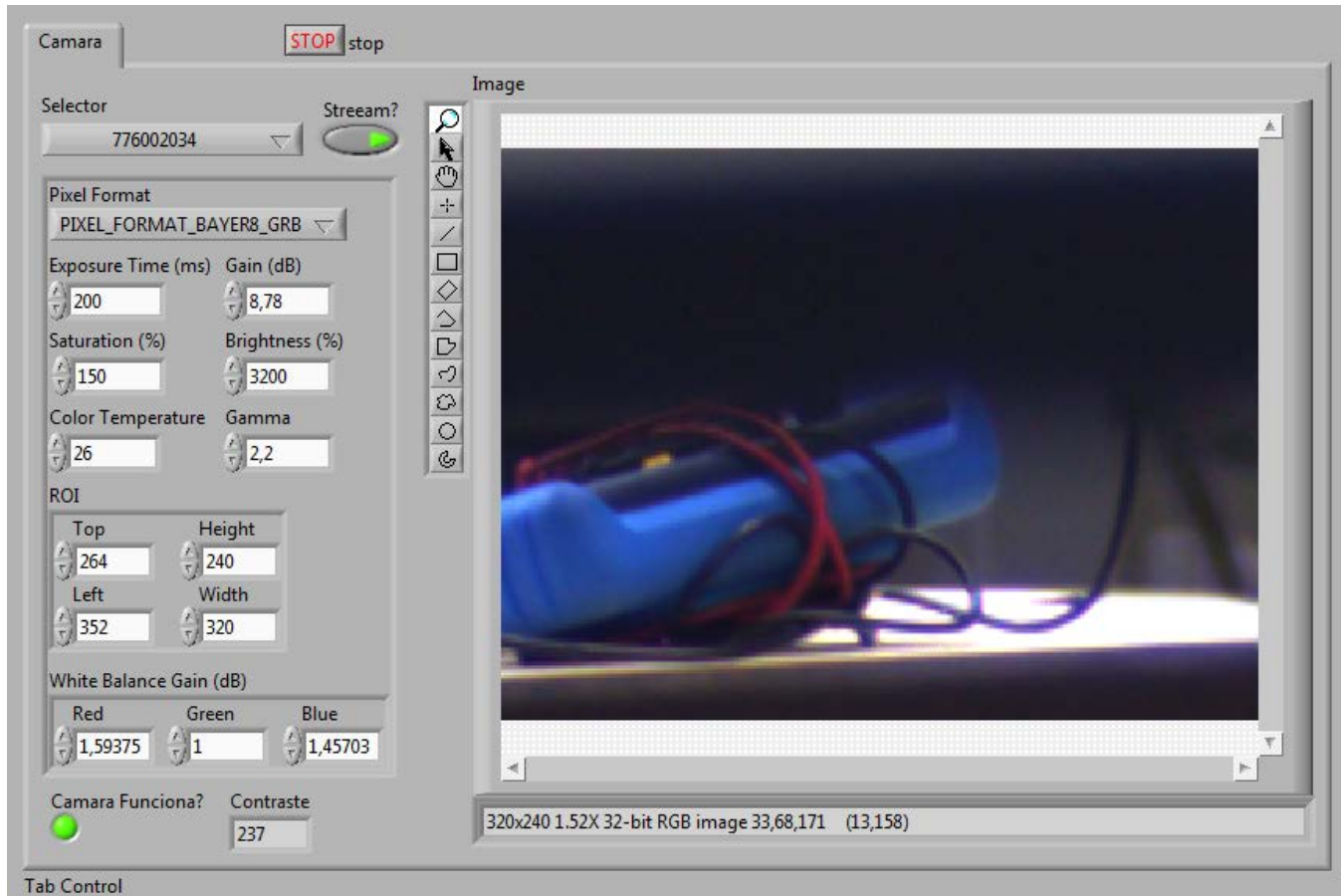


Figura 2: Panel Frontal del programa de prueba de control de la cámara

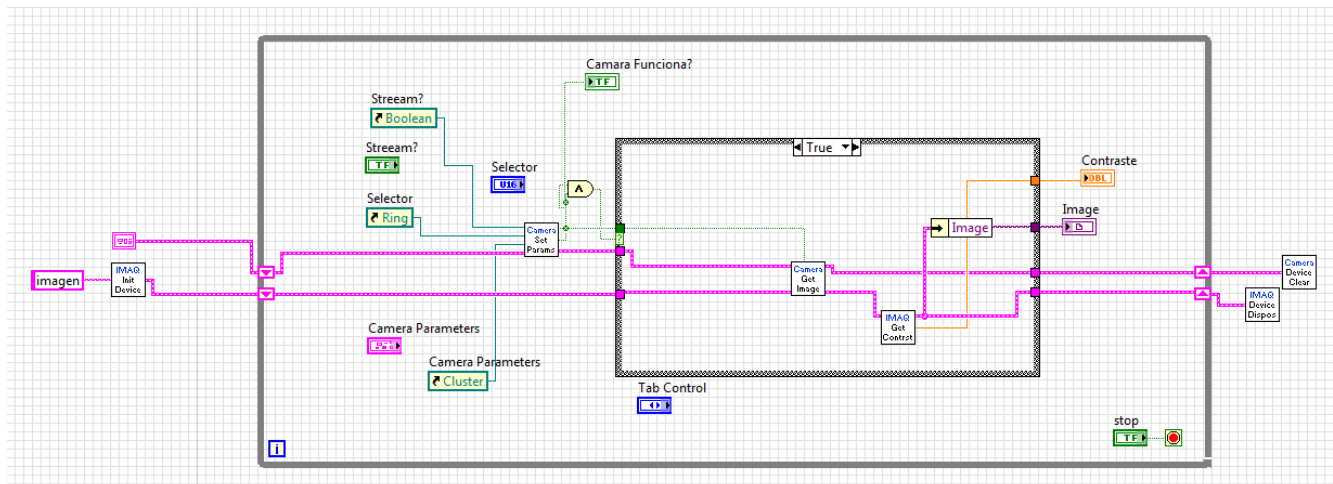


Figura 3: Diagrama del programa de prueba del control de la cámara

Con este VI de prueba se lograron controlar los principales parámetros de la cámara, tiempo de exposición, ganancias, saturación, gamma, formato de los píxeles y el área de interés, sin embargo el API no permite la modificación del brillo para esta cámara.

Tarjeta de Adquisición 6024E

Ya que utilizando la cámara a una resolución aceptable es imposible detectar el movimiento rápido de las vibraciones a través de la imagen, se sabe que si el contraste de la imagen es bajo, puede significar que en el tiempo en que la cámara está adquiriendo la imagen, las franjas se mueven, provocando que los puntos más intensos se promedien con puntos vecinos haciendo que el contraste total de la imagen se reduzca [1, 7, 8]. Según el esquema de control propuesto, la forma de reducir el efecto de las vibraciones mecánicas en el contraste de la imagen será al introducir señales de control muy pequeñas durante el período de integración de la cámara de modo que estas señales reduzcan la variación del camino óptico del interferómetro debido a las vibraciones, es decir, la señal introducida buscará estabilizar el movimiento de las franjas durante el tiempo de integración de la cámara.

Para poder generar la señal de control que será introducida al piezoeléctrico, a través de un circuito de acondicionamiento, se trabajó con la tarjeta de adquisición de National Instrument 6024E [9] y su control a través de NI-DAQmx [10] en LabVIEW. Para el manejo de la tarjeta se desarrollaron una serie de VIs que permiten generar señales a partir de un arreglo de datos. Los VIs desarrollados son los siguientes:

- **DAQ -InitDevice.vi:** inicializa la tarjeta y el canal analógico.
- **DAQ -ClearDevice.vi:** cierra el dispositivo y elimina toda la memoria asociada a este
- **DAQ -Events2Case.vi:** determina si algún control asociado a la tarjeta fue modificado por el usuario
- **DAQ -GetLimits:** obtiene los límites de operación según la amplitud de la señal que se desea generar
- **DAQ -GetTimeControlParameters:** devuelve de acuerdo al tiempo de la señal y la frecuencia de muestreo los parámetros de tiempo del dispositivo (número de muestras y tiempo de generación)

- **DAQ -SetParameters.vi:** establece los parámetros de la tarjeta
- **DAQ -AmpAdjust.vi:** ajusta la amplitud de la señal a generar.
- **DAQ -Calib.vi:** genera señales cuadradas, triangulares o sinusoidales a frecuencias seleccionables para la calibración del dispositivo.
- **DAQ -WriteArray.vi:** este VI es quien se encarga de generar la señal al escribir en el buffer de la tarjeta el arreglo que contiene la forma de onda de la señal a generar.

También se hizo un VI para probar el funcionamiento de la tarjeta por separado (Figura 3 y Figura 4).

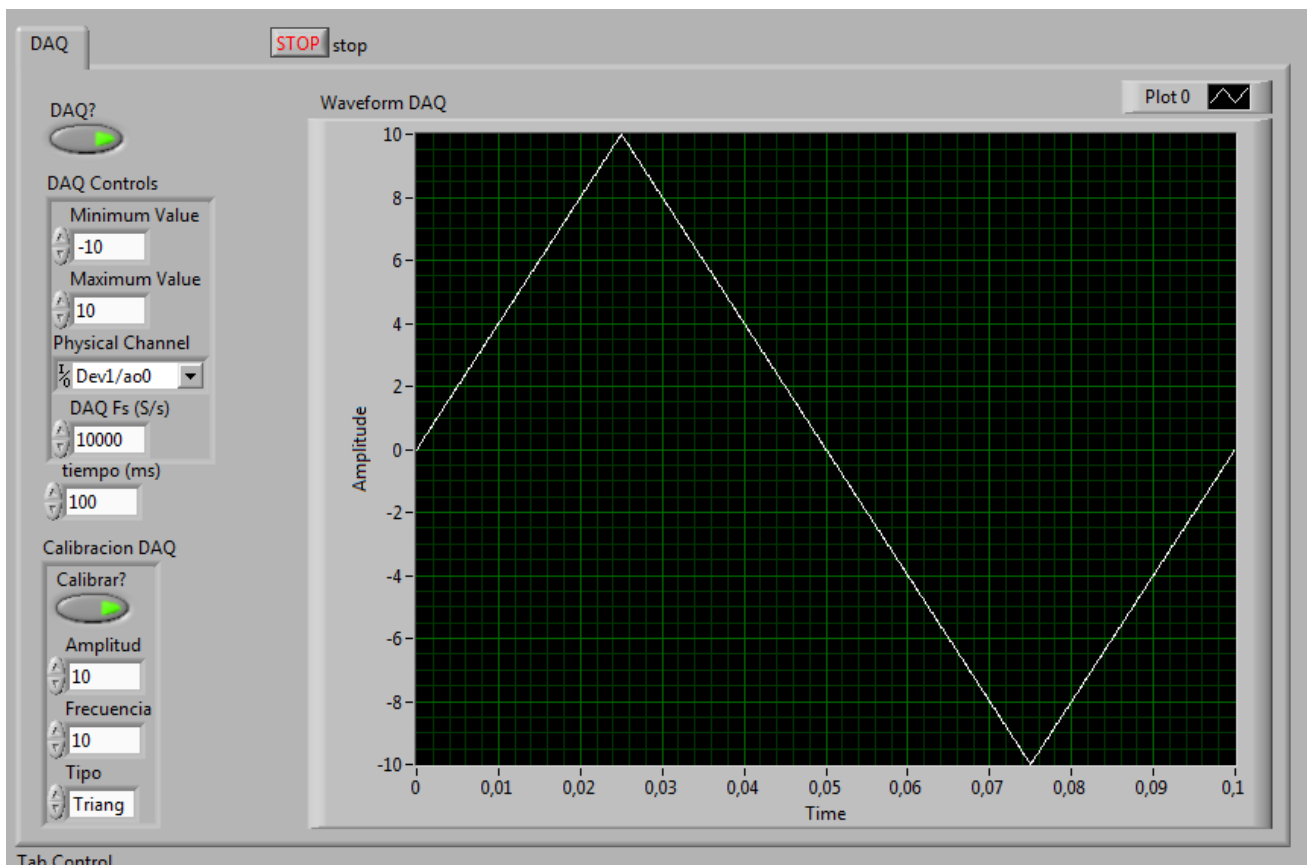


Figura 4: Panel Frontal del programa de prueba de control de la tarjeta de adquisición National Instrument 6024E

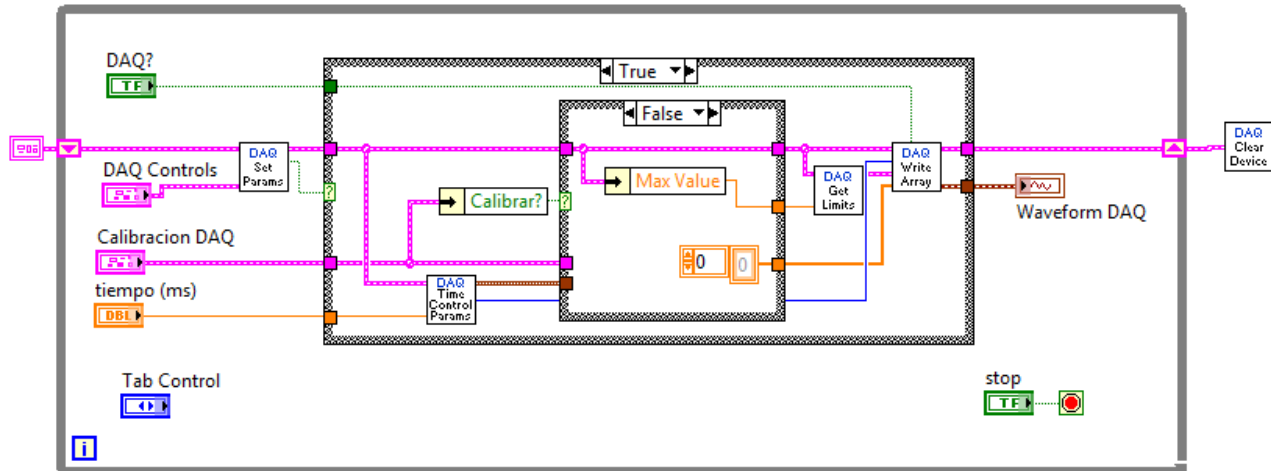


Figura 5: Diagrama del programa de prueba de control de la tarjeta de adquisición National Instrument 6024E

Sonido

Debido a que la tarjeta de adquisición 6024E posee una frecuencia de muestreo y un conversor digital – analógico limitada, las señales producidas serán de forma escalonada, por lo tanto si se requiere un rango de amplitud de la señal muy grande, la señal perderá resolución. Debido a que la señal que se introduce al piezoeléctrico no solo es la señal de control sino que también se introduce un control de fase arbitraria, que sería una señal DC constante, es necesario separar esta señal DC de la señal de control, ya que si la señal DC debe tener mucha amplitud, la discretización de la señal de control hará que no pueda ser generada por la razones antes expuestas.

Para separar la señal de control de la señal de referencia se utilizó la tarjeta de sonido de la computadora para generar un tono que luego será transformado en una señal DC por un convertidor frecuencia-voltaje[11].

El control de la tarjeta de sonido se realizó en LabVIEW también, para esto se desarrollaron los siguientes VIs:

- **Sound -InitDevice.vi:** inicializa la tarjeta de sonido
- **Sound -ClearDevice.vi:** cierra el dispositivo y elimina la memoria asociada
- **Sound -Events2Case.vi:** determina si algún control fue modificado por el usuario.
- **Sound -Parameters.vi:** establece los parámetros de acuerdo a los controles del usuario
- **Sound-PlayTone.vi:** genera un tono.

Se hizo un VI para probar el dispositivo de sonido (Figura 6 y Figura 7).

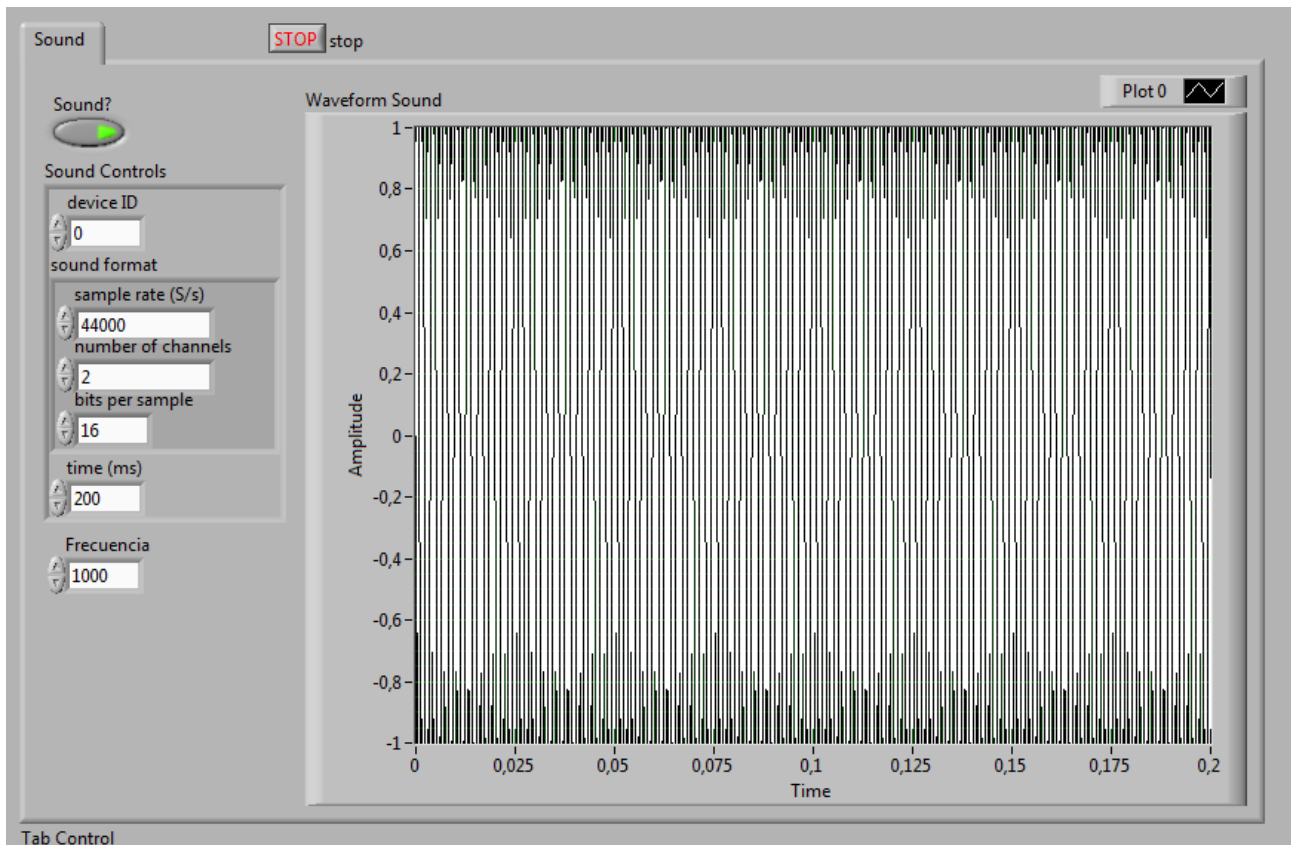


Figura 6: Panel Frontal del programa de prueba de control de la tarjeta de sonido

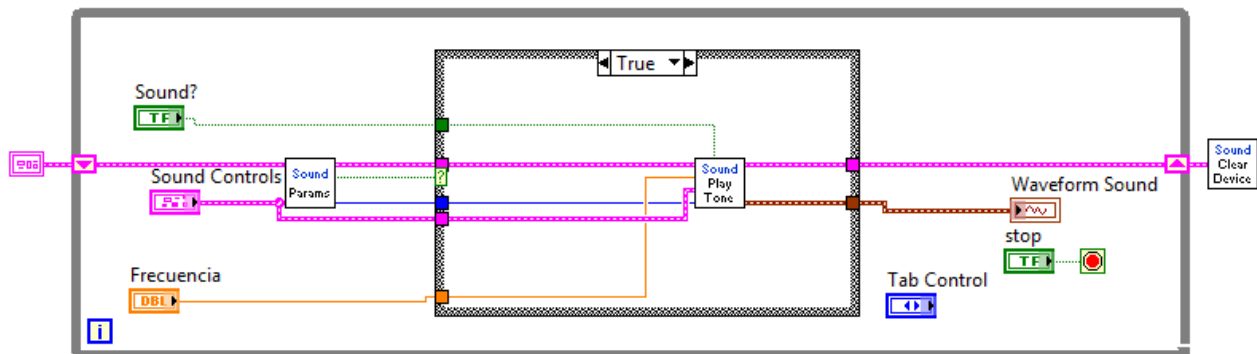


Figura 7: Diagrama del programa de prueba de control de la tarjeta de sonido

Software de LabVIEW para el control del sistema

Para lograr el control de los 3 dispositivos en simultáneo y adicionalmente realizar el algoritmo de control se desarrollaron unos VIs específicos del control y de tareas generales. Estos VIs son los siguientes:

- **Control -CaseFlow.vi:** en este VI está programada todo el algoritmo de control, se encarga de controlar todo el flujo de los casos, generar las señales, modificarlas y evaluar su resultado.
- **Control -GetContrast.vi:** este VI se encarga de obtener una imagen y su contraste

- **Control -GenerateRandomSignal.vi:** se encarga de generar la primera señal gaussiana aleatoria que será evaluada y posteriormente ajustada en amplitud, media y dispersión para buscar una mejora de contraste
- **Control -AverageContrast.vi:** aquí se realizan los promedios de los contrastes obtenidos y se evalúa el siguiente paso.
- **Control -IncrementSigma.vi:** incrementa la dispersión de la señal gaussiana actual para buscar una mejora en el contraste.
- **Control -IncrementAmplitude.vi:** incrementa la amplitud de la señal gaussiana actual para buscar una mejora en el contraste.
- **Control -IncrementTime.vi:** incrementa el tiempo medio en el cual está centrada la señal gaussiana actual para buscar una mejora en el contraste.
- **Control -SameSignal.vi:** no realiza ningún cambio en la señal gaussiana actual.
- **Control -Actuator.vi:** este VI se encarga de aplicar la señal de control, y obtener la imagen y el contraste de la imagen.

Se desarrolló un VI que realiza el control de todos los dispositivos, genera las señales obtiene los resultados y sigue el algoritmo de control propuesto (Figura 8 y Figura 9).

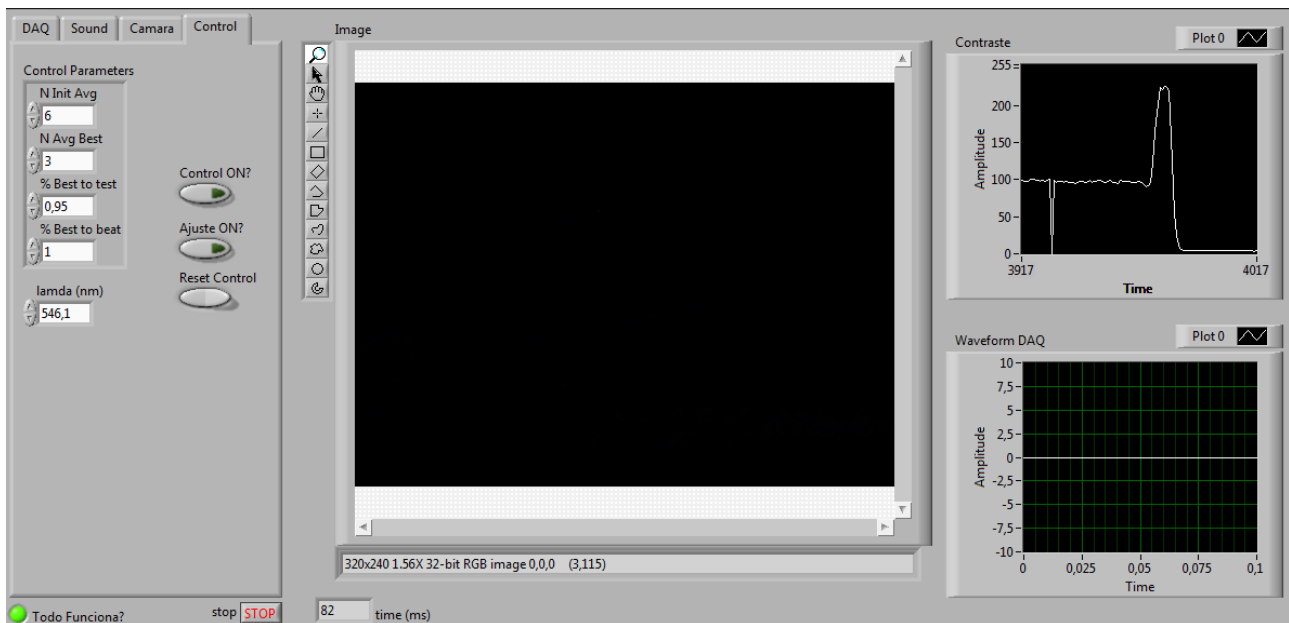


Figura 8: Panel Frontal del programa de control de vibraciones

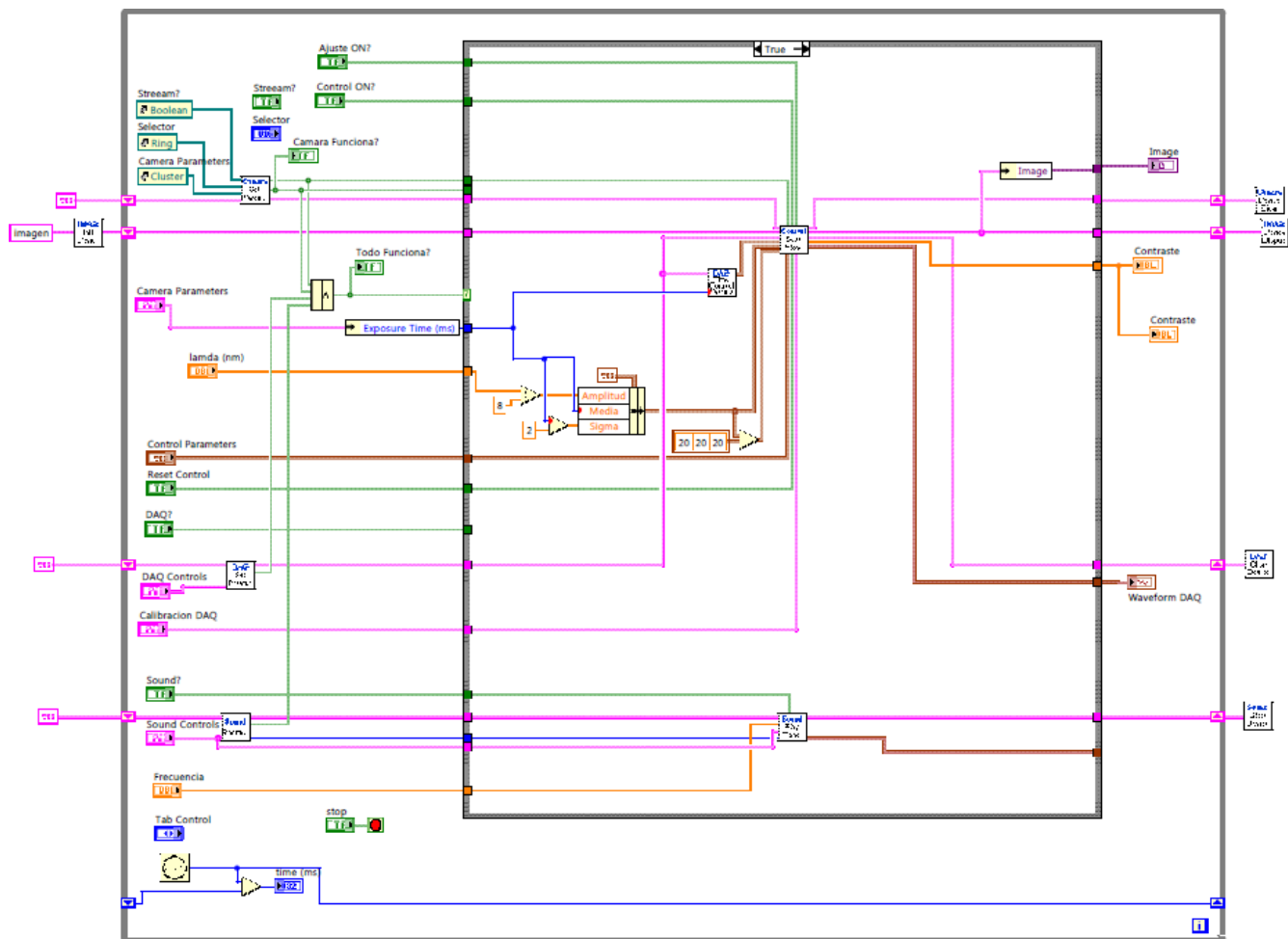


Figura 9: Diagrama del programa de control de vibraciones

Tarjeta de Acondicionamiento

Para poder introducir las señales al piezoeléctrico, se desarrolló una tarjeta de acondicionamiento que filtra y ajusta las amplitudes de las señales para que luego sean inyectadas a la fuente de control del piezoeléctrico (E-662 de PI), dicha fuente es capaz de entregar una referencia de voltaje de -20V a 120V DC y permite la introducción de una señal de control que será amplificada internamente con una ganancia de 10 [12], a través de esta señal de control serán introducidas las señales de referencia y de control de vibraciones.

La señal de referencia se obtiene a través de la tarjeta de sonido, por lo tanto el tono primero debe ser convertido a un voltaje DC con un convertidor frecuencia-voltaje, luego debe ser filtrada para eliminar cualquier señal AC no deseada y por último se debe ajustar su amplitud para que pueda ser inyectada a la fuente del piezoeléctrico. El filtro utilizado para esta etapa debe ser un filtro pasa bajo a una frecuencia de corte muy baja ya que se desea que la señal sea prácticamente un DC puro.

El circuito del convertidor utiliza un filtro pasa alto en la entrada para eliminar las componentes DC de la tarjeta de sonido, luego pasa por un seguidor de voltaje para no cargar el filtro y su salida se conecta a un

convertidor frecuencia voltaje, el LM2907 [13] (Figura 10), cuya función es convertir el tono en una señal DC, este circuito posee un condensador de salida (C15) que ayuda a filtrar la señal DC.

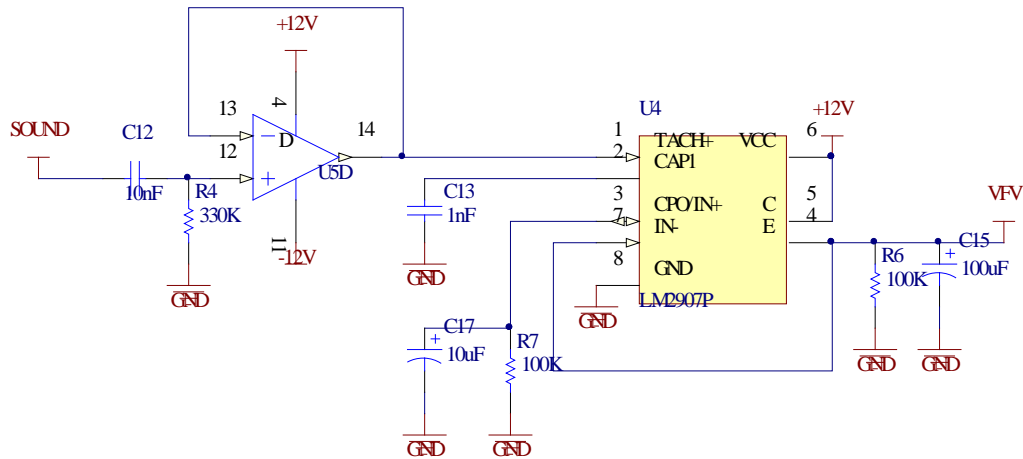


Figura 10: Convertidor Frecuencia-Voltaje

Además del condensador de filtrado se utiliza una etapa de filtrado extra (Figura 11), que a su entrada tiene un seguidor de voltaje para aumentar la impedancia de entrada del circuito, pasa por un filtro Bessel pasa bajo de segundo orden tipo Multiple-Feedback (MFB) con frecuencia de corte de 10Hz, factor de calidad $Q=0.5773$ y ganancia -1. Luego por un filtro pasa bajo pasivo con frecuencia de corte de 32KHz para reducir el efecto de las no linealidades del operacional [14], finalmente pasa por un seguidor de voltaje para disminuir la impedancia de salida del circuito.

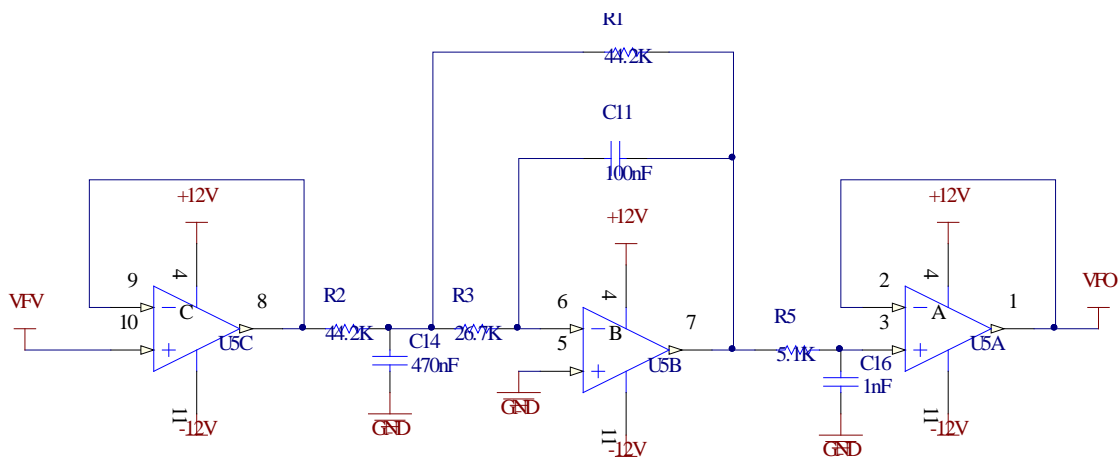


Figura 11: Etapa de filtrado de la señal de referencia

La señal de control proveniente de la tarjeta de adquisición debe ser filtrada para eliminar cualquier componente AC de alta frecuencia, adicionalmente se debe ajustar la amplitud ya que la salida máxima de la tarjeta de acondicionamiento es de $\pm 10V$. El filtro para esta etapa debe dejar pasar las componentes frecuenciales que contiene la señal de control pero no debe dejar pasar componentes de mayor frecuencia, es por esto que se estableció una frecuencia de corte de 5KHz para permitir señales de control que funcionen aun a la máxima velocidad de cuadros por segundo de la cámara (100 fps) La etapa de filtrado de la señal de control (Figura 12) es similar a la etapa de la señal de referencia, utiliza el mismo tipo de filtro con el mismo factor de calidad pero con frecuencia de corte ajustada a 5KHz, igualmente tiene el filtro pasa bajo pasivo a 32KHz para reducir las no linealidades de los operacionales y los circuitos seguidores a la entrada y a la salida para ajustar las impedancias de entrada y salida.

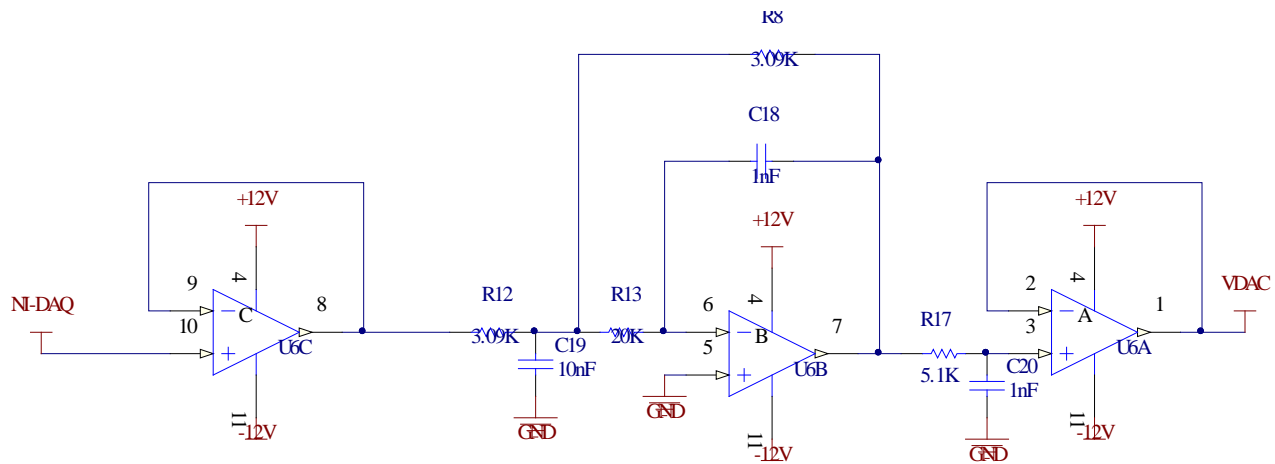


Figura 12: Etapa de filtrado de la señal de control

Ambas señales, la de referencia y la de control deben ser sumadas para ser inyectadas en la fuente, para esto se utiliza un circuito sumador inversor cuya ganancia en ambas entradas es menor a uno y es ajustable mediante un potenciómetro multi-vuelta (Figura 13).

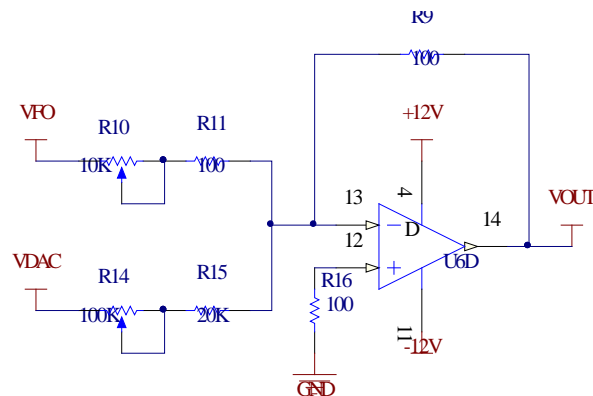


Figura 13: Sumador con ganancia ajustable

Se realizó una prueba con la entrada de control a tierra para verificar la linealidad del circuito frecuencia-voltaje, el error en las medidas corresponde a la incertidumbre asociada al osciloscopio, debido a que se estaba midiendo valores de milivoltios en la escala de 10mV por división, el osciloscopio presenta un ruido inherente de aproximadamente $\pm 3\text{mV}$.

Gráfica de linealidad convertidor frecuencia-voltaje

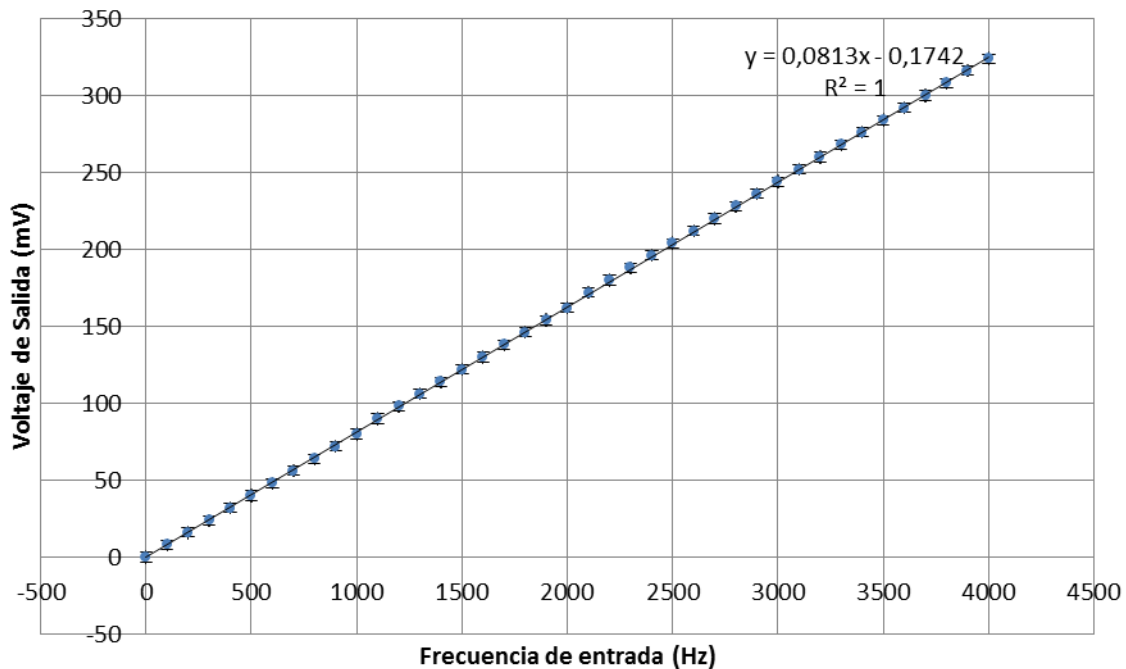


Figura 14: Grafica de linealidad de la salida de la tarjeta de acondicionamiento

En la gráfica (Figura 14) se puede observar que se obtuvo una alta linealidad en un rango entre 0Hz y 4500Hz

Trabajo Futuro

1. Obtener la respuesta en frecuencia del sistema junto al piezoeléctrico a través de inspección del movimiento de las franjas
2. Probar si el sistema de control efectivamente reduce el efecto de las vibraciones mecánicas en el contraste
3. Culminar el manuscrito de tesis de Maestría

Bibliografía

1. Hariharan, P., *Basics of Interferometry*. Second Edition ed. 2003, Sydney: Academic Press.
2. van Wingerden, J., H.J. Frankena, and C. Smorenburg, *Linear approximation for measurement errors in phase shifting interferometry*. Appl. Opt., 1991. **30**(19): p. 2718-2729.
3. Kinnstaetter, K., et al., *Accuracy of phase shifting interferometry*. Appl. Opt., 1988. **27**(24): p. 5082-5089.
4. *PixLINK API Documentation*, PixLINK, Editor. 2010.
5. Sharma, G., *Digital color imaging handbook*. 2003: CRC Press.
6. Ebner, M., *Color constancy*. 2007: John Wiley.
7. Holst, G.C., *CCD arrays, cameras, and displays*. 1998: JCD Publishing.
8. Oppenheim, A., A. Willsky, and S. Nawab, *Signals and systems*. 1997: Prentice Hall.
9. *Where to Start with Your 6023E/6024E/6025E* 1998, National Instruments Corporations.
10. *NI-DAQmx Help*. 2011, National Instruments.
11. González-Laprea, J., J. Cappelletto, and R. Escalona, *Frequency to Voltage Converter as a Phase Controller in Phase Shifting Interference Microscopy*. International Journal of Optomechatronics, 2011. **5**(1): p. 68-79.
12. *PZ 73E User Manual. E-662 LVPZT Position Servo Controller*. 2004, Physik Instrumente (PI).
13. *LM2907/LM2917 Frequency to Voltage Converter*. 1995, National Semiconductor.
14. Karki, J., *Active Low-Pass Filter Design*. 2000, Texas Instrument.