

# **SISTEMA AUTÓNOMO DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA DIAGNÓSTICO DE FALLAS NO ESTACIONARIAS EN MAQUINAS ROTATIVAS**

Inventores: CESAR GERMAN CASTELLANOS RODRIGUEZ - C.C.79439458

OSCAR CARDONA MORALES – C.C. 75108089

BERNARDO ANDRES CARDONA NOREÑA – C.C. 16076875

## **DESCRIPCIÓN**

### **CAMPO DE LA TÉCNICA AL CUAL PERTENECE LA INVENCION**

La presente invención se ubica en el campo técnico de la ingeniería electrónica, especialidad inmersa o relativa al mantenimiento y predicción de fallas, encargado de realizar los estudios correspondientes, para hallar las necesidades de mantenimiento y estimar la vida útil de los equipos con piezas rotativas.

En la actualidad, si se requiere una mayor productividad y para ello, las empresas que dependen de equipos o máquinas con partes rotativas, deben invertir tiempo y dinero en la resolución de problemas típicos de su industria. Para estas necesidades, está diseñado este SISTEMA, por su capacidad de predecir la vida útil de este tipo de máquinas, pues permite tener ahorros significativos en las empresas, al advertir con anticipación fallas en sus máquinas.

### **APOORTE TECNOLÓGICO DE LA INVENCION**

El SISTEMA que se pretende patentar por medio de este documento, se fundamenta en técnicas de instrumentación no invasivas, que por medio de la interpretación de señales físicas, tales como vibraciones, ruido y emisión acústica, de forma simultánea, realiza tareas de diagnóstico del estado de las máquinas rotativas y de esta forma, se puede planear eficientemente, su mantenimiento y reemplazo. El SISTEMA se vale de un software para interpretar la información obtenida.

### **ESTADO DEL ARTE ANTERIOR**

Las máquinas rotativas son usadas en la industria para procesos metalmecánicos, automovilísticos, aéreos, energéticos, entre otros, y tienen un lugar importante para cada uno de los campos. La falla de los componentes de la máquina produce grandes pérdidas y paradas de los procesos de producción elevando el tiempo de proceso y el costo de producción. Las fallas en máquinas rotativas se manifiestan con golpes y oscilaciones que pueden clasificarse en diferentes tipos de fenómenos: vibraciones, ruido y emisión acústica. Las vibraciones mecánicas son producidas por oscilaciones generadas por máquinas con motores, ejes, generadores, entre otros y tienen información espectral entre 0 y 20kHz. El ruido es producido por cambios en la presión en el rango espectral audible asociado a las vibraciones de la máquina. Las emisiones acústicas son ondas elásticas entre los 25 y los 1000 kHz producidas por estrés estructural, presión, materiales defectuosos, entre otros. Las vibraciones, el ruido y las emisiones acústicas se incrementan cuando los componentes presentan esfuerzo, desgaste, soldadura, desalineación, desbalanceo, etc.

El procesamiento de las señales de vibración, ruido y emisión acústica es un gran campo de investigación y desarrollo en aras del monitoreo de condición. Al comienzo para procesar las señales se usaba características estadísticas de la serie de tiempo como la amplitud máxima, el promedio de la señal, el valor eficaz, entre otros, para establecer fallas, pero sobresale una tendencia en los últimos años por usar análisis tiempo-frecuencia, descomposiciones, fusión de datos, entre otras para realizar la misma tarea en casos de mayor dificultad. La fusión de datos consiste en procesar señales de vibraciones, ruido y/o emisión acústica simultáneamente para la extracción de mayor información sobre una máquina que al emplear solo uno de los métodos de medición.

Los sistemas de medición de señales permiten la adquisición, acondicionamiento, almacenamiento y procesamiento de señales generadas por sensores de vibración, micrófonos y emisión acústica (distribuidos en instalaciones industriales), usados para el monitoreo de condición de las máquinas rotativas, y por lo tanto predecir fallos (rodamientos defectuosos, desbalanceo, desalineación, soldadura mecánica, etc.).

El desarrollo de los sistemas de medición evoluciona tanto en hardware como en software, por ejemplo: Los sistemas como [US5430663] tienen mínimo dos tipos de módulos: uno o varios módulos de adquisición de señales y un módulo de almacenamiento y/o procesamiento de la señal. El módulo de adquisición por lo general involucra mínimo un sensor acoplado a un circuito de acondicionamiento con etapas de amplificación, filtrado y elevación, entre otras y un dispositivo de conversión análogo-digital, que

transfieren la señal eléctrica al módulo de almacenamiento y procesamiento. El módulo de adquisición puede ser un sistema multipropósito para la adquisición de señales como en [US6801877] donde se emplea una tarjeta de adquisición de datos genérica que se une al módulo de almacenamiento por una ranura de expansión, o puede ser un sistema diseñado específicamente para determinados casos como en [US5191327] donde el dispositivo diseñado es optimizado para señales de vibraciones. Otro punto diferencial en los sistemas de medición es la comunicación entre los módulos, por ejemplo: [US5430663] utiliza comunicación por puerto paralelo entre los módulos, [EP1258713B1] emplea el puerto serial para el mismo fin y [EP2169377] utiliza el puerto USB (Universal Serial Bus).

Por otra parte, el módulo de almacenamiento y procesamiento también se ha desarrollado, por ejemplo [EP1258713B1] realiza comparaciones entre el valor RMS de la señal y umbrales preestablecidos, [US5610339] realiza la transformada Rápida de Fourier y la almacena junto a la señal original, [US7013210] compara la información espectral junto a la señal de tacómetro para generar una alarma de falla en base a parámetros establecidos, [US8345428B2] puede tomar señales de vibraciones y de audio simultáneamente para análisis de fusión de datos, entre otros. El módulo de almacenamiento y procesamiento también puede ser un dispositivo de uso general como en [EP1258713B1] donde se usa un computador personal o computador de mano, o puede ser un dispositivo específicamente diseñado como en [US7013210] que desarrolla un módulo de acondicionamiento, almacenamiento y procesamiento exclusivo para generar una alarma de acuerdo a la condición de la máquina.

Todos los sistemas mencionados han mejorado los procesos de acondicionamiento, transmisión y procesamiento pero no se registra un sistema de dos módulos que adquiera señales de vibración, ruido y emisión acústica simultáneamente, que transmita la información por USB (medio usado en la actualidad) y que almacene y procese las señales para facilitar las tareas de diagnóstico. Se propone un sistema de medición de señales de dos módulos, uno de adquisición de señales al cual se acoplan los sensores de vibración, micrófonos y de emisión acústica, se transforma la señal física en una señal eléctrica, se filtra y se representa digitalmente y otro módulo de almacenamiento y procesamiento que recibe los datos digitales del primer módulo por USB, los almacena y los procesa para extraer más información que en métodos tradicionales para tareas de monitoreo de condición de máquinas rotativas.

## **DIFERENCIAS MAS RELEVANTES CON EL ESTADO DEL ARTE ANTEIOR**

| Característica                                                                                                      | Prototipo desarrollado | EP 1258713B1 | EP 2169377 | US 8345428B2 | US 7013210 | US 6801877B2 | US 6484109B1 | US 5610339 | US 5430663 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|------------|
| Adquisición simultánea de señales de vibración y ruido sonoro y emisión acústica                                    | x                      |              |            |              |            |              |              |            |            |
| Adquisición simultánea de señales de vibración y ruido sonoro                                                       | x                      |              |            | x            |            |              |              |            |            |
| Dispositivo portable de dos módulos: tarjeta de acondicionamiento y dispositivo de procesamiento y/o almacenamiento | x                      | x            | x          | x            |            | x            | x            |            | x          |
| Conectividad por puerto USB                                                                                         | x                      |              | x          |              |            |              |              |            |            |
| Procesamiento digital de las señales                                                                                | x                      | x            |            |              | x          | x            | x            | x          |            |

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un "SISTEMA AUTÓNOMO DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA DIAGNÓSTICO DE FALLAS NO ESTACIONARIAS EN MAQUINAS ROTATIVAS", el cual, como se ha dicho, diagnostica el estado de las máquinas, por medio del monitoreo y la medición de señales emitidas por esas mismas máquinas rotativas o de rotación. El sistema está diseñado para adquirir señales de vibración, ruido y emisión acústica y realizar mediciones de tres tipos de señales, brindando información espectral desde 0 hasta frecuencias en Mega Hertz. Los tres tipos de señales son complementarios y son parte de las técnicas de medición no destructivas y no invasivas, es decir, no es necesario desarmar, modificar o parar la máquina para adquirir las señales.

El sistema consta de dos módulos: uno de adquisición de las señales y otro de almacenamiento y procesamiento. El sistema incluye al menos un sensor de vibración, ruido o emisión acústica, conectado al módulo de adquisición. El módulo de acondicionamiento es portable y está protegido por un estuche rígido que lo aísla de perturbaciones electromagnéticas. El protocolo de transmisión entre los módulos es USB, lo que permite que el módulo de almacenamiento y procesamiento pueda ser un dispositivo genérico como un computador de escritorio, personal o de mano, un teléfono móvil inteligente, una Tablet o sistemas desarrollados para tareas específicas. El sistema incluye el procesamiento de las señales para extraer mayor información a sistemas tradicionales y facilitar las tareas de diagnóstico de máquinas rotativas.

## DESCRIPCIÓN EXTENSA DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un "SISTEMA AUTÓNOMO DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA DIAGNÓSTICO DE FALLAS NO ESTACIONARIAS EN MAQUINAS ROTATIVAS", el cual, como se ha dicho, por medio del monitoreo y la medición de señales emitidas por las máquinas rotativas o de rotación. El SISTEMA está diseñado para adquirir señales de vibración, ruido y emisión acústica y realizar mediciones de tres tipos de señales. El SISTEMA antes mencionado, se caracteriza por estar compuesto, según la numeración de los dibujos incluidos a continuación de esta descripción, de la siguiente forma: **(1)** Un sistema de medición de señales de vibraciones, ruido y emisión acústica, el cual esta compuesto técnicamente de un sistema modular de adquisición de señales de vibración con diferentes tipos de señales, un cable datos **(4)** que puede ser conectado a un sistema central de procesamiento, compuesto por dos módulos así, el módulo de

adquisición de las señales **(2)** el se caracteriza por estar compuesto técnicamente de por un modulo de vibraciones de cinco canales de adquisición, un modulo de emisión acústica con tres canales de adquisición a diferentes frecuencias de muestreo, un modulo de ruido para la conexión de un micrófono y una unidad de pre-procesamiento FPGA **(8)** para la recolección y ordenamiento de los datos y el módulo de almacenamiento y procesamiento **(3)**, el se caracteriza técnicamente por estar compuesto de unidades de procesamiento que puede ser computador de escritorio **(10)**, tablet **(14)** o portátil **(9)**, en donde, el sistema **1** es adaptable para adquirir solo señales de vibraciones, ruido o emisión acústica en los canales que sean requeridos o en combinaciones entre las tres variables dependiendo de cada situación, por ejemplo, en un caso se puede usar solo para adquirir señales de vibraciones en varios canales simultáneamente, o se puede realizar un análisis de fusión de datos midiendo vibraciones y ruido al tiempo, o puede realizarse un arreglo de micrófonos para realizar un análisis de presión de campo cercano, o adquirir señales de emisión acústica para máquinas donde las vibraciones y el audio no son tan relevantes, o un caso especial donde sea necesario adquirir los tres tipos de señales. En cualquiera que sea el caso, **(1)** adquiere la información simultánea de los canales que se están usando y la almacena para un posterior proceso. El sistema **(1)** incluye al menos un sensor **(5)** piezoeléctrico con rango de frecuencia de 0-10kHz, aceleración de 500g para vibraciones mecánicas, de 30 kHz a 400 kHz en emisión acústica y 20 kHz en ruido para cada variable, en el caso de vibraciones, se puede extraer la información de desplazamiento, velocidad y/o aceleración mediante procesamiento digital de señales.

El sistema **(1)** contiene para cada variable medida un tipo de circuitería dedicada para sus características. El módulo **(2)** es desarrollado exclusivamente para cada variable medida. La circuitería de **(2)** en su etapa de acondicionamiento **(6)** de la señal consta de amplificadores de alto Factor de Rechazo en Modo Común, alto Factor de Rechazo a la Fuente de Alimentación, ganancia variable y alto porcentaje de precisión, filtros pasa-banda de orden superior, elevadores de tensión con fuentes de referencia de precisión y conversores análogo-digital **(7)** el cual está compuesto por conversores tipo delta-sigma con frecuencias de muestreo de 52734 muestras por segundo, resolución de 24 bits, salida de datos digital en formato SPI y bajo consumo energético. El módulo **(2)** no necesita integradores, derivadores o registro de la velocidad de rodamiento para obtener las señales de desplazamiento, velocidad y /o aceleración de la vibración.

El sistema **(2)** contiene al menos un dispositivo FPGA, DSP **(8)** los cuales contienen diferentes tipos de periféricos que pueden ser programados

para operar en trabajos específicos o similares reducidos para la recolección de la información binaria de los canales de adquisición. El dispositivo **(8)** puede contener entradas analógicas y digitales para adquirir información de otro tipo de variables. El dispositivo **(8)** puede procesar las señales adquiridas antes de transmitir las o almacenarlas. El dispositivo **(8)** empaqueta la información recibida y la transmite vía USB **(4)** al módulo **(2)**, sin embargo, se pueden usar otros métodos de transmisión como RS232. El sistema **(1)** puede no requerir el módulo **(3)** al almacenar la información directamente en unidades de memoria extraíbles como tarjetas SD mediante el dispositivo **(8)**.

El módulo **(3)** puede ser un dispositivo de propósito general **(9 y 14)** o un dispositivo específicamente diseñado **(10)** para guardar la información binaria proveniente del módulo **2**, por ejemplo, en un caso el módulo **3** puede ser un computador portátil **(9)** o de mano, un teléfono celular inteligente o una Tablet **(14)**, o un dispositivo equivalente **(10)** que contenga mínimo un CPU **(11)**, una unidad rígida de memoria **(12)** y posiblemente una memoria extraíble **(13)**. El módulo **3** recibe la información del módulo de acondicionamiento por USB **(4)** o por RS232, la almacena en unidades de memoria **(12 o 13)**, las procesa digitalmente para extraer información relevante de las señales, entre otras. El módulo **3** y procesamiento puede incluir una pantalla, un teclado y un ratón para el manejo de una interfaz gráfica de control del sistema de adquisición. El procesamiento digital de las señales permite la extracción de información relevante de la máquina empleando técnicas como cálculos estadísticos, integración y derivación digital, algoritmos de diagnóstico, alarmas, Transformada Rápida de Fourier, análisis tiempo-frecuencia, fusión de datos, entre otras.

## DIBUJOS

Figura 1

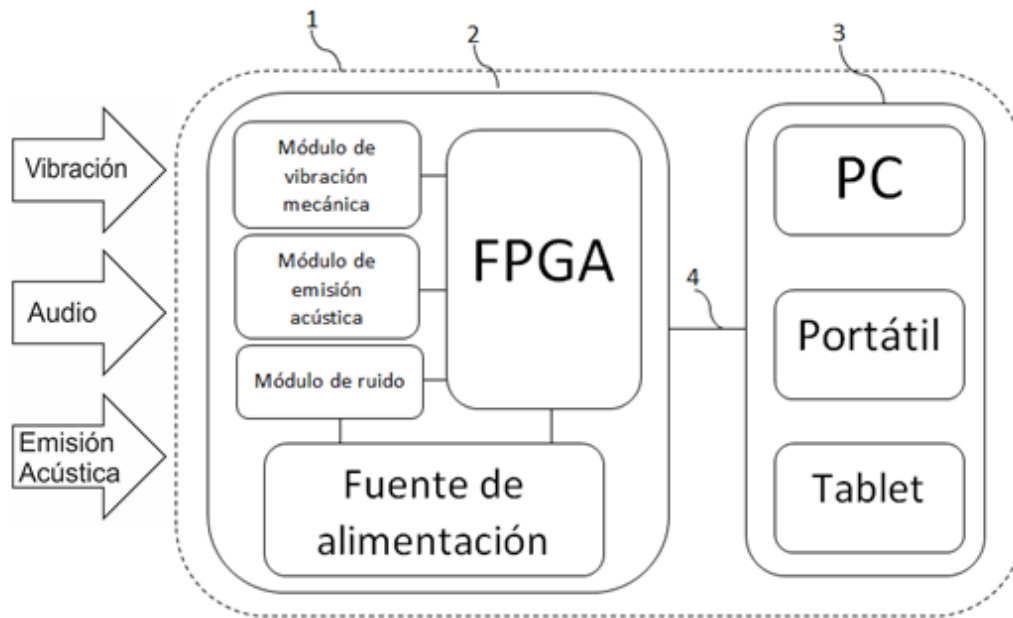


Figura 2

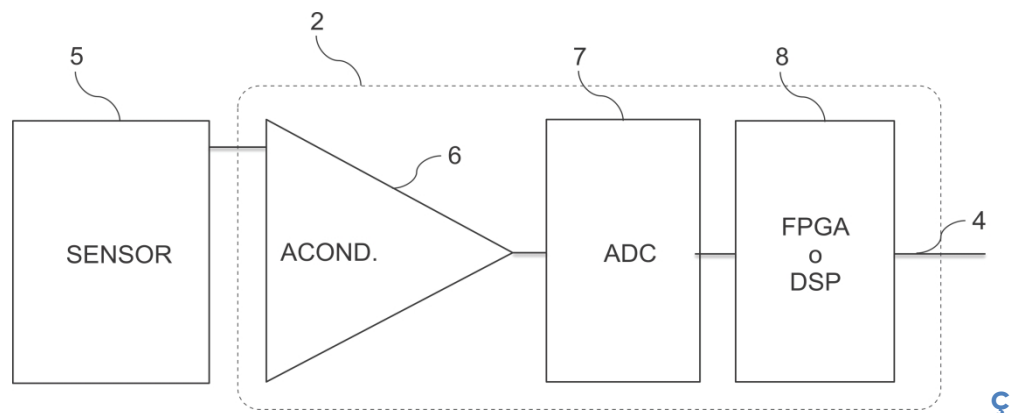


Figura 3

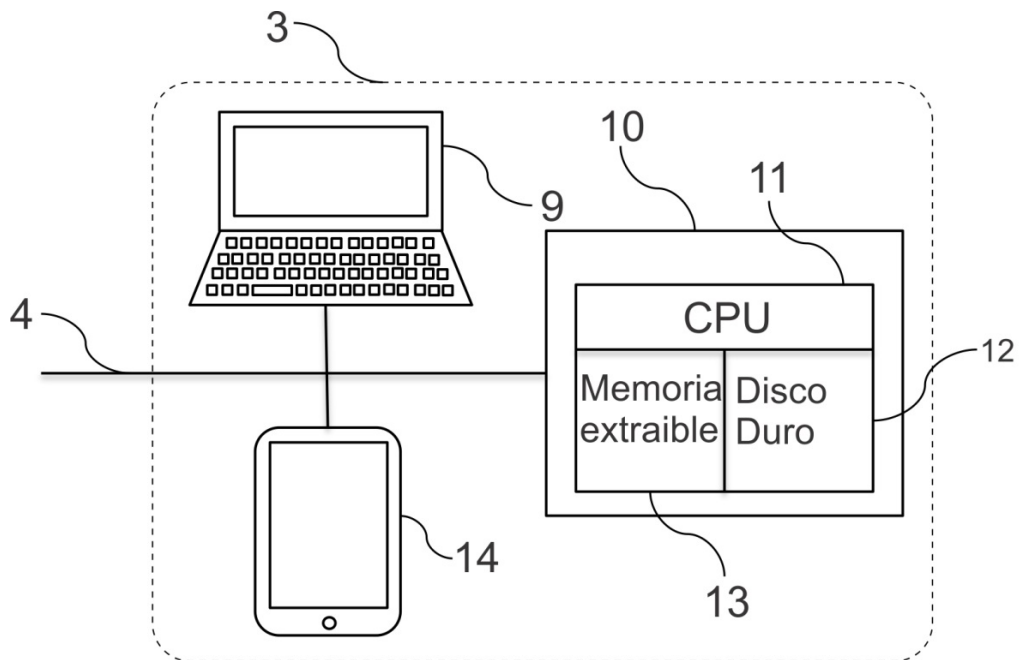


Figura 4

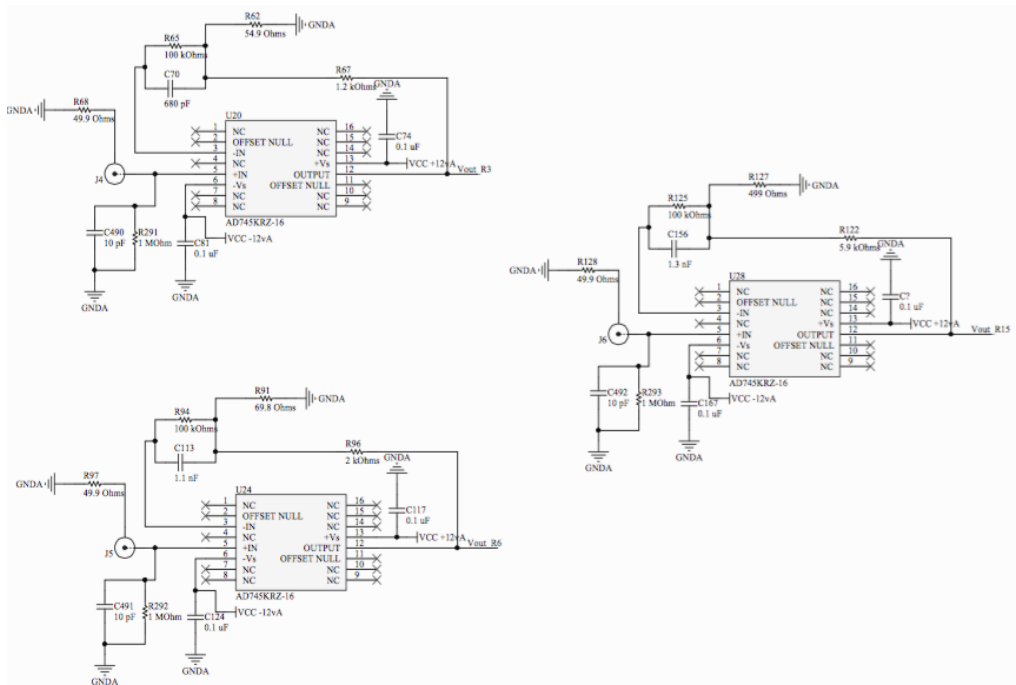


figura 5

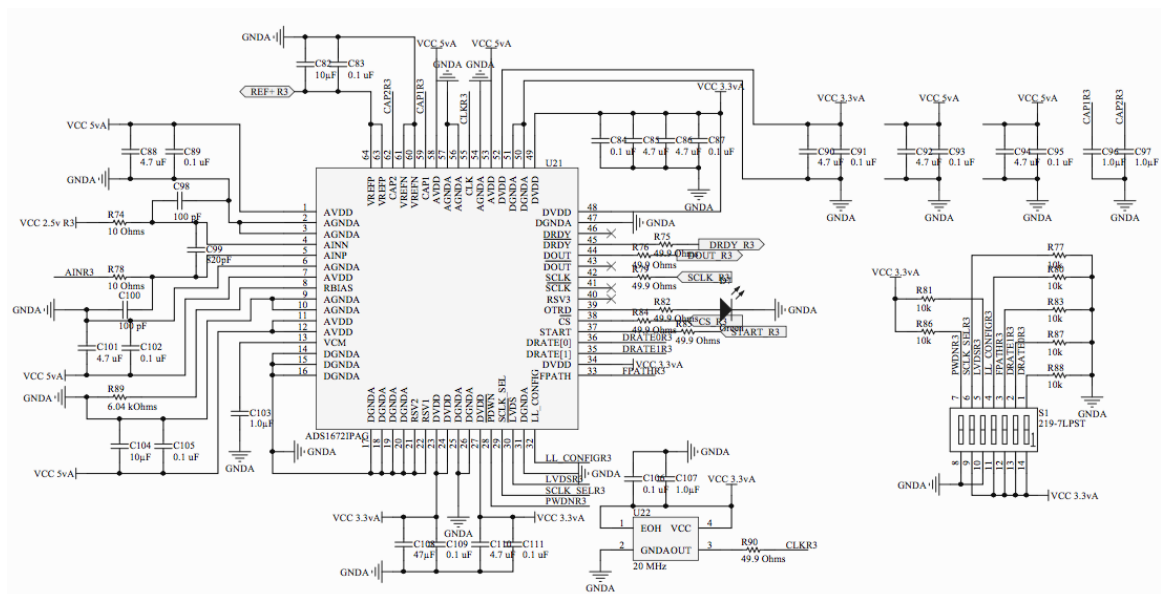
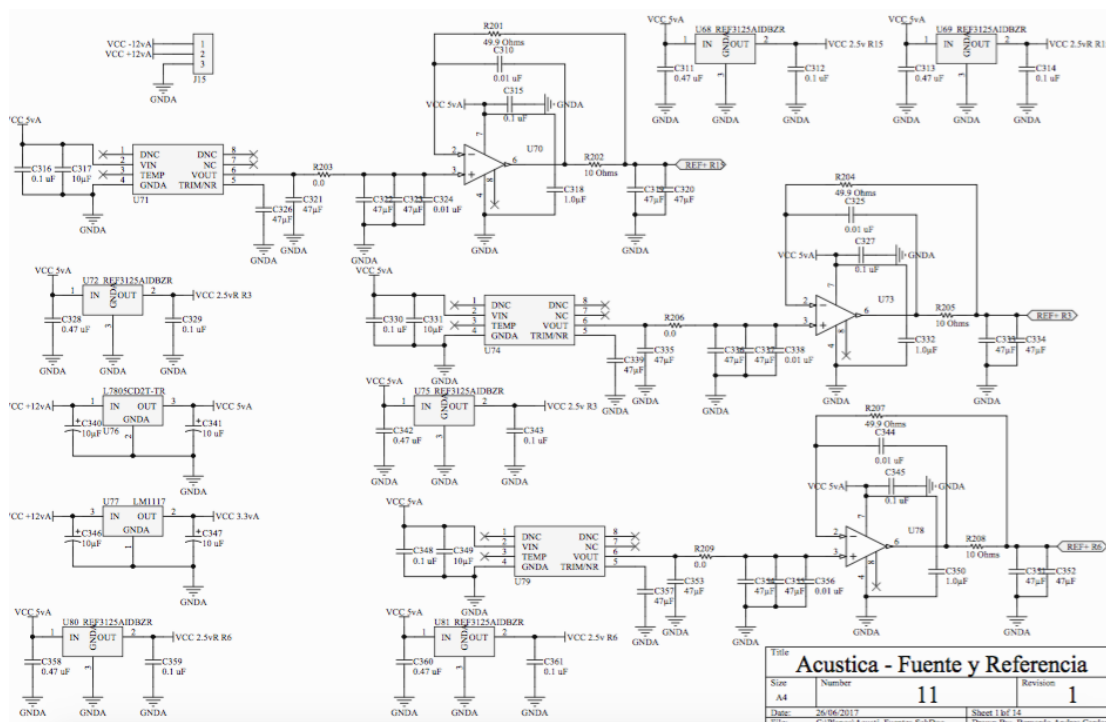
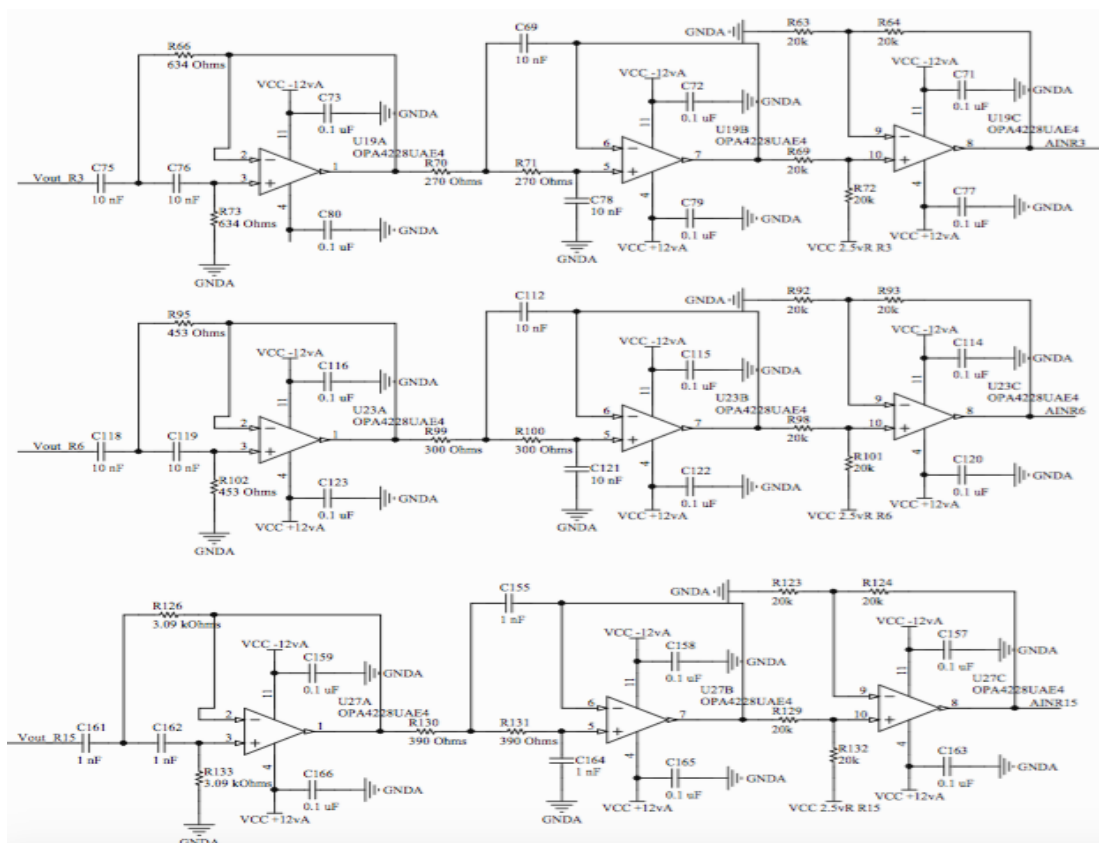


Figura 6





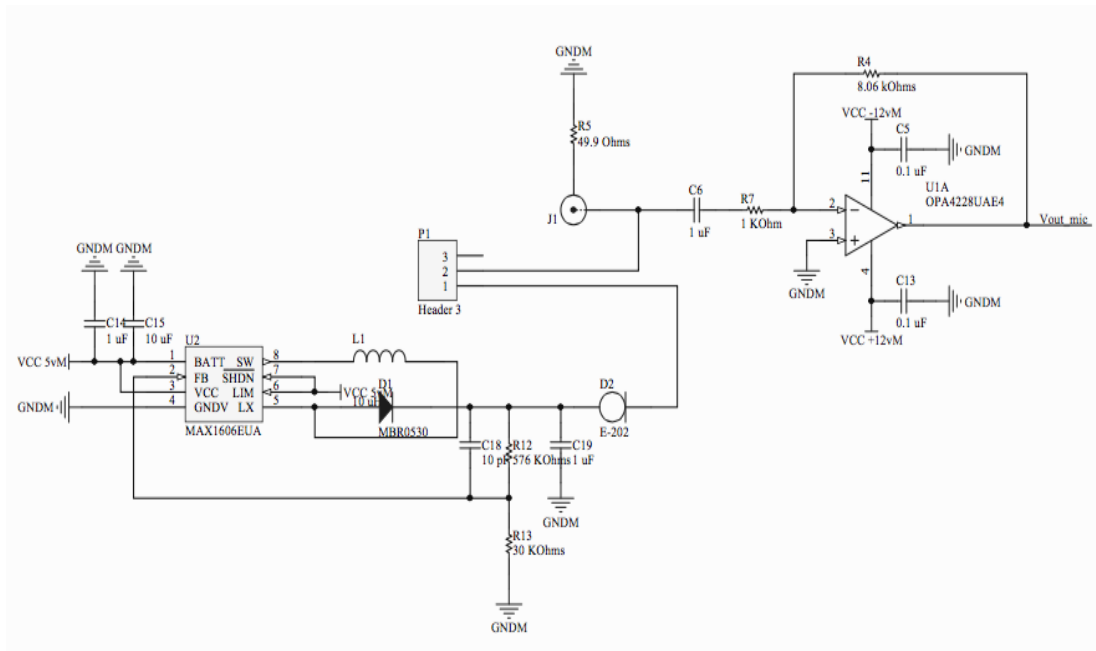


Figura 11

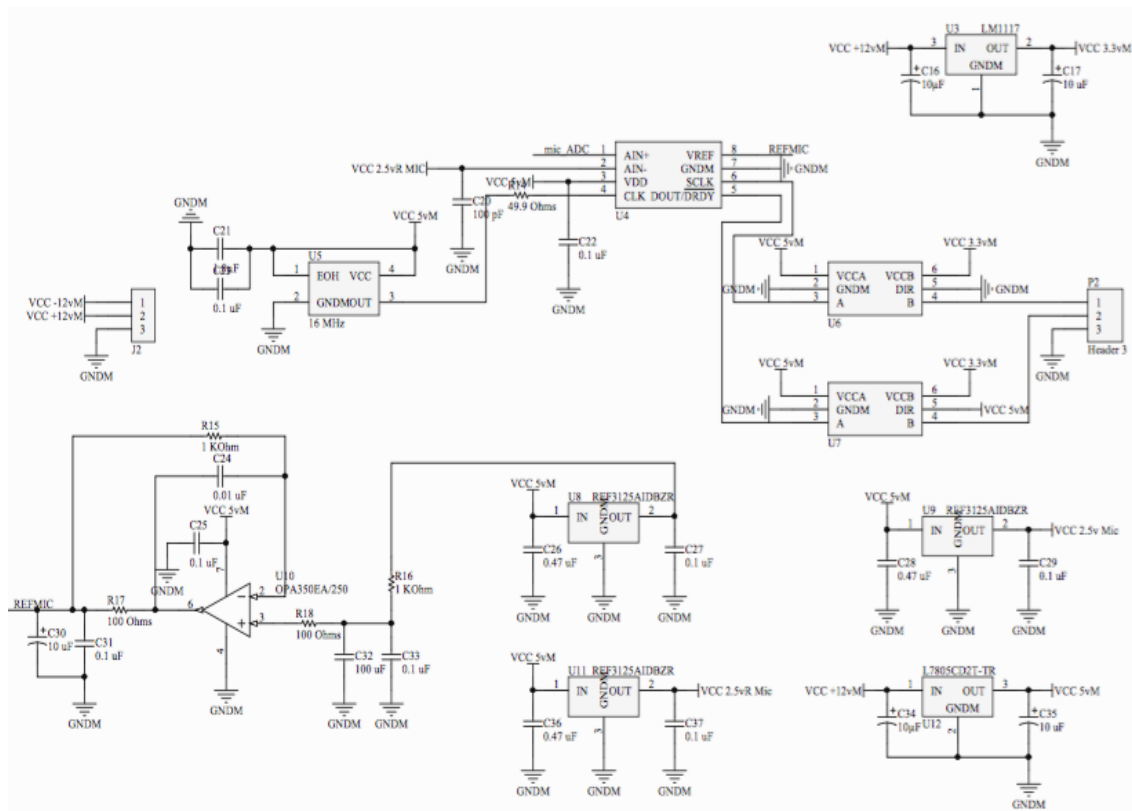


Figura 12

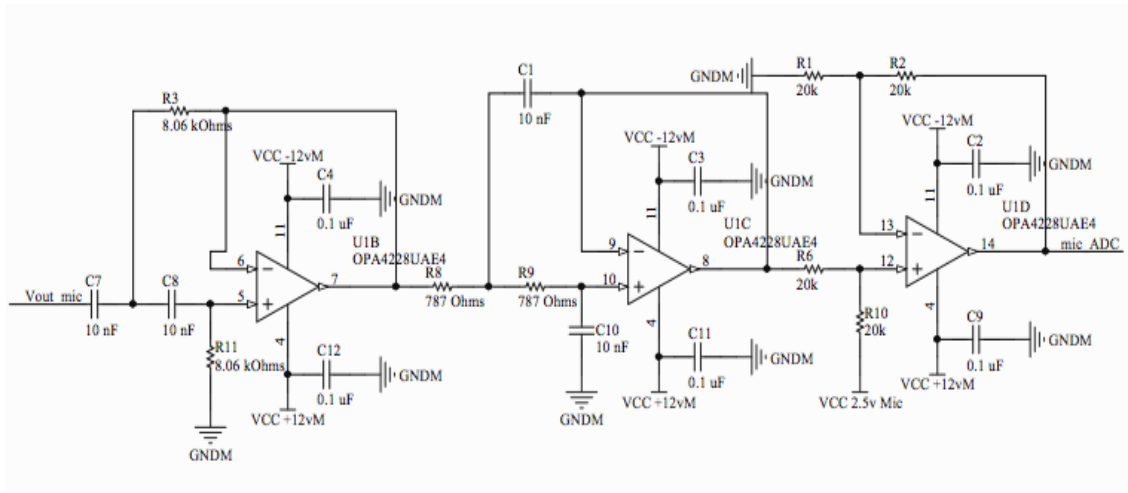


Figura 13

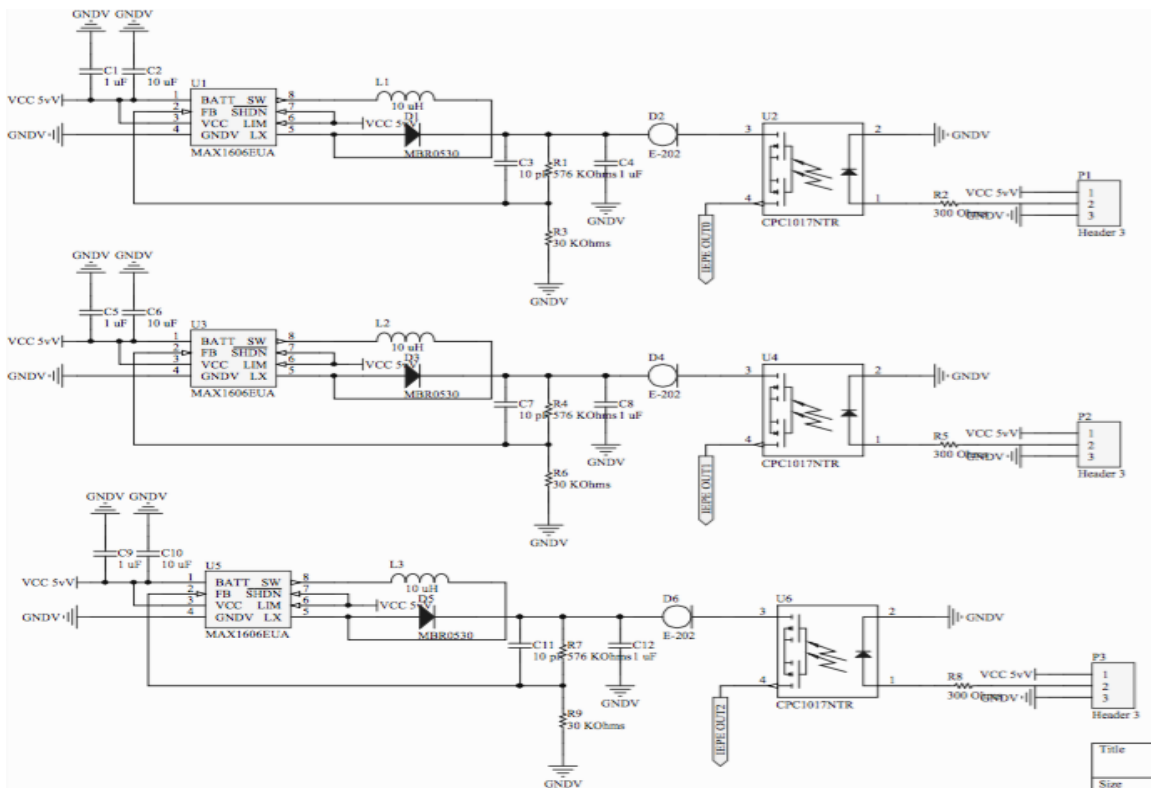


Figura 14

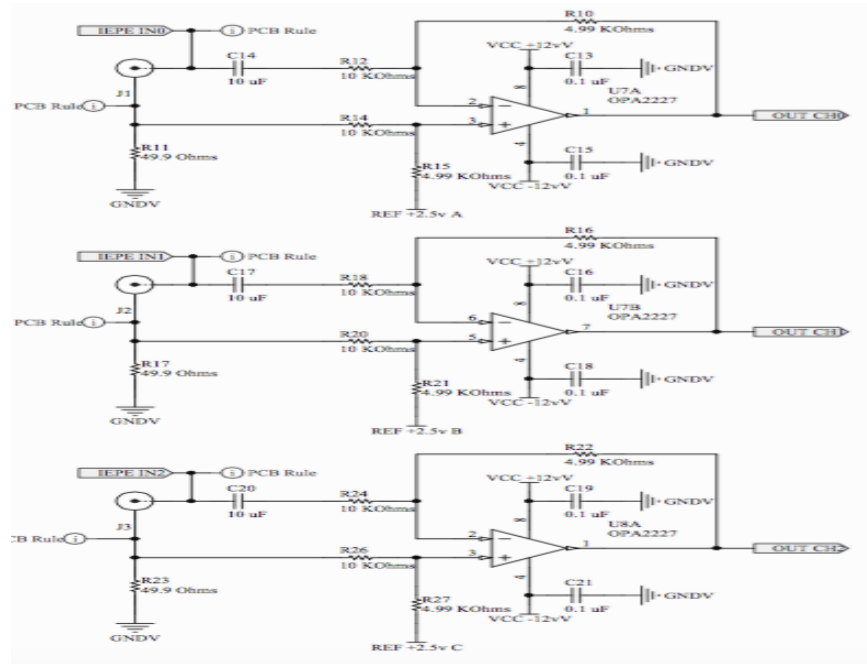


Figura 15

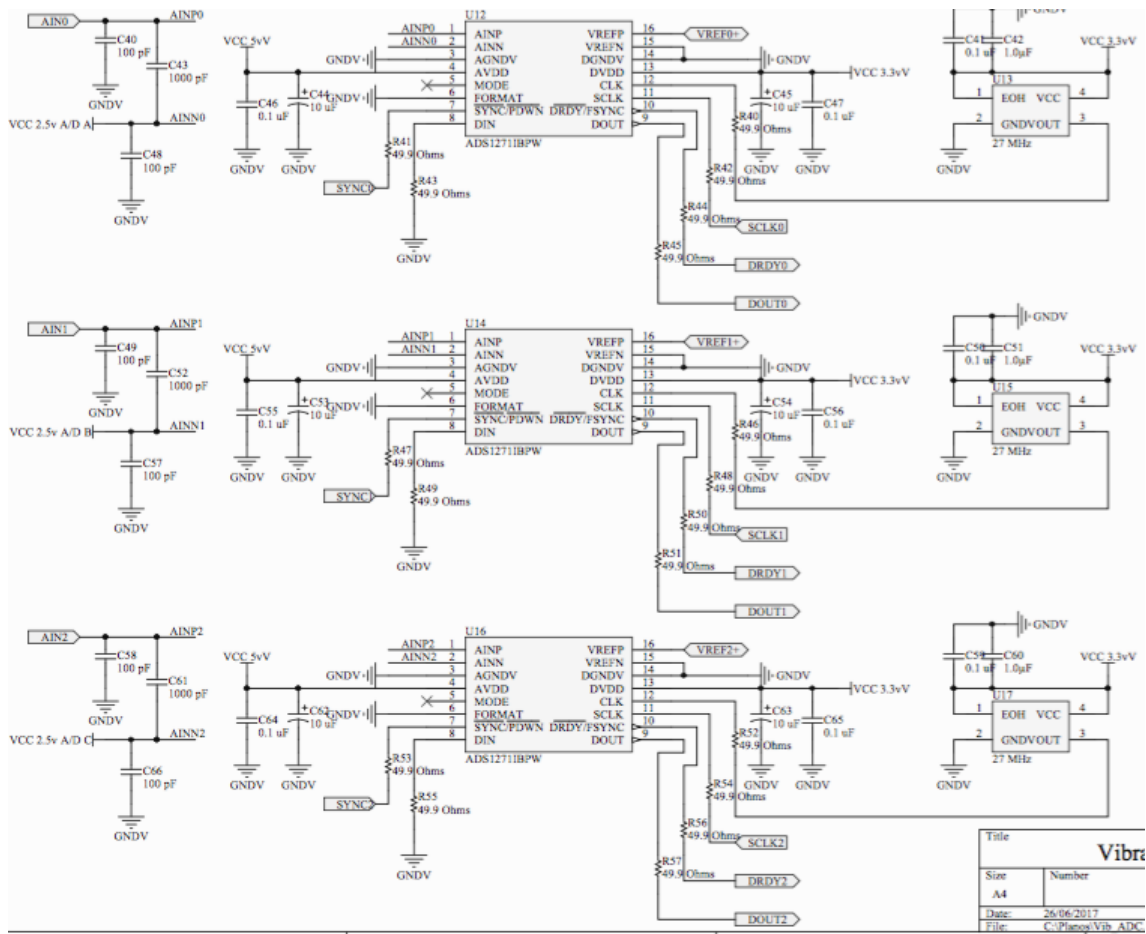


Figura 16

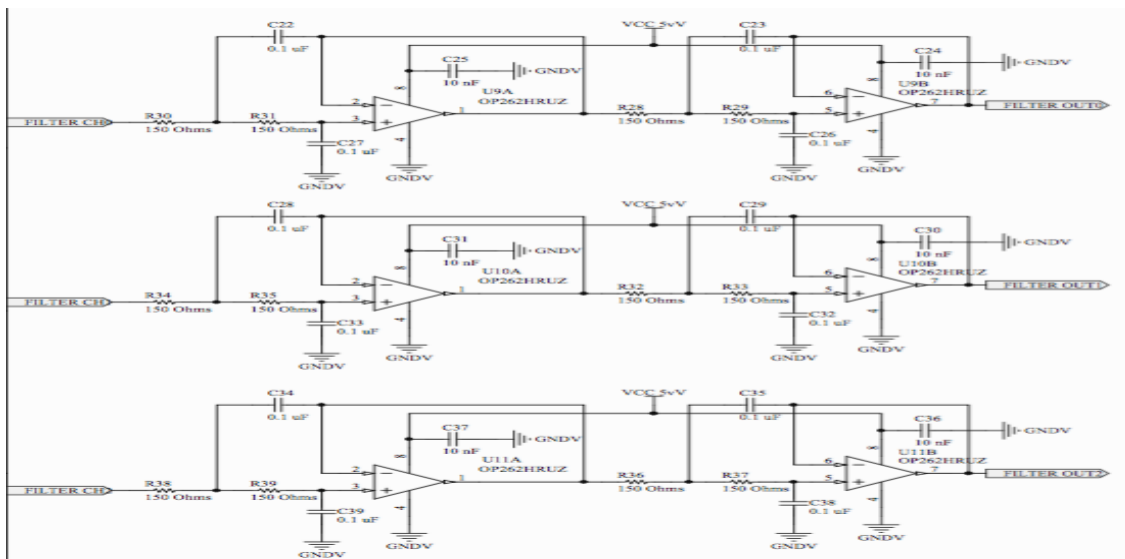
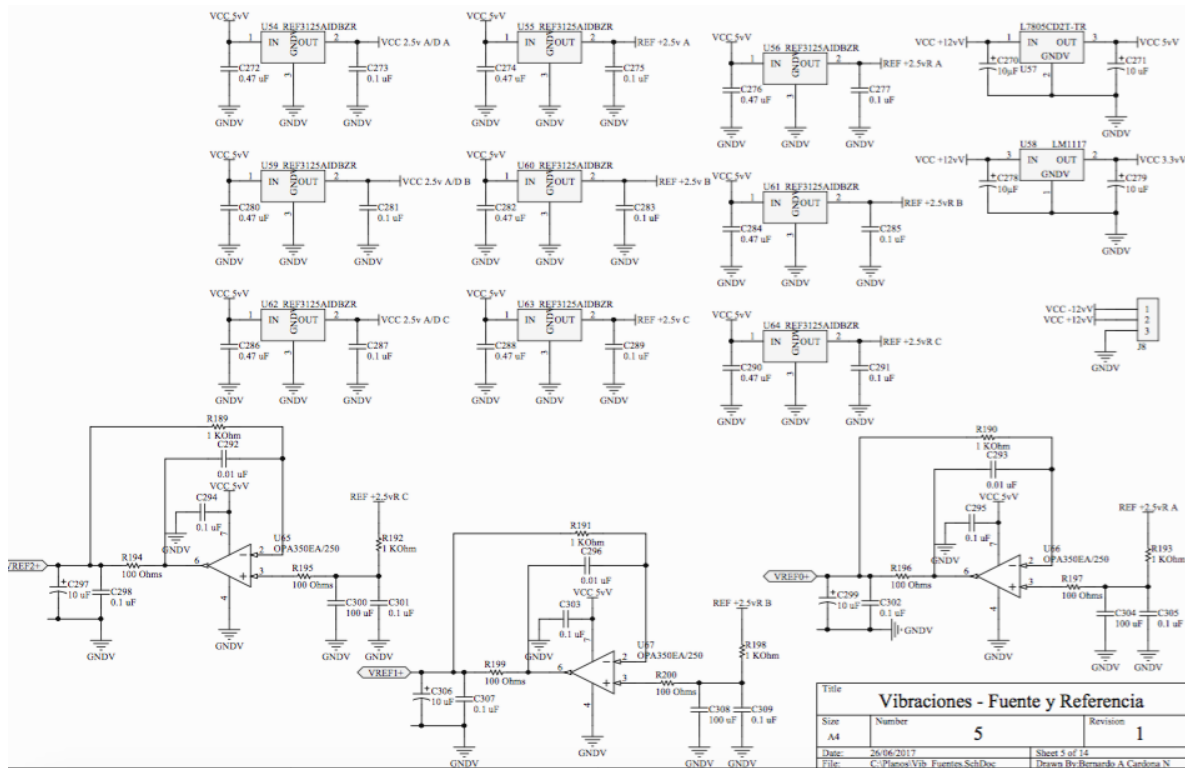


Figura 17



## EXPLICACIÓN DE LOS DIBUJOS

### Descripción de diagrama anterior

La figura 1 muestra el esquema general del SISTEMA de medición de los tres tipos de señales provenientes de una máquina rotativa.

La figura 2 muestra el esquema general del módulo de adquisición de señales usado para cada tipo de señal.

La figura 3 muestra el esquema general del módulo de almacenamiento y procesamiento de todas las señales adquiridas.

La figura 4 Vibraciones acondicionamiento. Para el acondicionamiento de los sensores piezoeléctricos en adquisiciones de vibraciones requieren de una alimentación externa IEPE comprendida en el rango de +18V a +30V con una corriente constante que puede estar entre 2mA hasta 20mA lo recomendable son 4mA, esta alimentación permite al sensor permite trabajar sobre el voltaje bias que debe ser de ~12V esto se obtiene con un circuito integrado step-up U1, donde en la entrada se les suministra 5V y

con las configuraciones de las resistencias R1 y R3 se obtiene la salida de +28V para controlar la corriente constante de 4mA usa el diodo D2, el circuito integrado U2 es un interruptor electrónico de estado sólido que permite configurar por medio de P1 dos modos de entrada de señal, con el sensor o con un generador de señales.

Los circuitos que relacionan los circuitos integrados (U3 y U5), realizan exactamente la misma función del U1 para los otros canales de los sensores de vibración

La figura 5. Vibraciones acondicionamiento. La entrada de la señal de vibración que se obtienen por el conector J1 junto con la alimentación IEPE entrega una señal de  $\pm 5V$  y un offset de  $\sim 12V$ , el conversor análogo digital recibe señales análogas de 0V a +5V sin offset, entonces para el eliminar el offset se emplea el condensador C14 y para acondicionar la señal se debe dividir en 2 y aplicar un nuevo offset.

Para realizar la división y aplicar el nuevo offset por lo general se emplean dos amplificadores operacionales, este diseño cuenta con un solo amplificador operacional U7A la división se obtiene configurando el amplificador como un diferenciador junto con las resistencias R10, R12, R14 y R15 y el offset se realiza con una referencia de voltaje +2.5V por la entrada de R15.

Los circuitos para los otros canales de vibraciones realizados con los amplificadores operacionales U7B y U8A son iguales al del U7A.

La figura 6 Vibraciones filtro anti-alias. Para eliminar señales no deseadas como el ruido entre otras, se emplean filtros anti-alias, el circuito conformado por el amplificador operacional U9 es un filtro pasa-bajas con frecuencia de corte en 10kHz y configuración sellen key.

Para los otros canales de vibración se usa la misma configuración y están relacionados por los integrados U10 y U11.

La figura 7 Vibraciones ADC. Para las adquisiciones de las señales de vibraciones se implementó un conversor análogo digital (ADC) ADs1271 U12 de bajo voltaje de alimentación de +3.3V, configuración SPI y sincronización que permite la conexión en cadena con los demás conversores y así obtener los datos por una sola línea. Como la entrada análoga del ADC es diferencial la entrada AINN se le da un voltaje constante con una referencia de +2.5V.

Para obtener las 52734 muestras por segundo la señal de reloj se le da con el integrado U13 de 27MHz

Los conversores U14 y U16 cuentan con la misma configuración del U12 y con sus respectivas señales de reloj U15 y U17

La figura 8 Vibraciones Fuente y Referencia. Las fuentes de referencia de +2.5V que se emplean en los diseños de los planos 2 y 4 son con circuitos que entregan una fuente de voltaje constante y para las entradas de referencias específicas que requiere el ADC se le realiza un acondicionamiento con amplificadores operacionales U65, U66 y U67 para darle mayor estabilidad al voltaje constante.

La figura 9 Emisión acústica acondicionamiento. Los circuitos integrados U20, U24 y U28 son amplificadores operacionales configurados como amplificadores de carga que almacena que carga un condensador C70, C113 y C156 para luego ser amplificada la señal ya que estas son de muy bajo voltaje.

Cada uno de los circuitos está configurado para tres tipos de sensores diferentes que son R3, R6 y R15 con frecuencias de trabajo 30kHz, 60kHz y 150kHz respectivamente.

La figura 10 Emisión acústica filtros. Para cada una de las señales de acondicionamiento tienen su propio filtro anti-alias con frecuencias de corte, el circuito conformado por el amplificador operacional U17 es para el sensor R3, U23 para el sensor R6 y el U27 para el sensor R15 los filtros se diseñaron con configuración sellen key.

La figura 11 Emisión acústica ADC R3. El ADC ADS1672 U21 cuenta con una frecuencia de muestreo de 625 Kilo muestras por segundo de bajo voltaje y configuración digital que se realiza por bloque de interruptores S1, la transmisión de datos es configurado con formato SPI, La señal de reloj U22 de 20MHz permite que el conversor obtenga la cantidad de muestras deseadas.

La figura 12 Emisión acústica ADC R6. El ADC ADS1675 U25 cuenta con una frecuencia de muestreo de 4 mega muestras por segundo de bajo voltaje y configuración digital que se realiza por bloque de interruptores S2, la transmisión de datos es configurado con formato SPI, La señal de reloj U26 de 32MHz permite que el conversor obtenga la cantidad de muestras deseadas.

La figura 13 Emisión acústica ADC R15. El ADC ADS1675 U29 cuenta con una frecuencia de muestreo de 4 mega muestras por segundo de bajo voltaje y configuración digital que se realiza por bloque de interruptores S3,

la transmisión de datos es configurado con formato SPI, La señal de reloj U30 de 32MHz permite que el conversor obtenga la cantidad de muestras deseadas.

La figura 14 Acústica Fuente y Referencia. Las fuentes de referencia de +2.5V que se emplean en los diseños de los planos 7, 8, 9 y 10 son con circuitos que entregan una fuente de voltaje constante y para las entradas de referencias específicas que requiere el ADC se le realiza un acondicionamiento con amplificadores operacionales U70, U73 y U78 para darle mayor estabilidad al voltaje constante.

La figura 15 Micrófono acondicionamiento. El micrófono que se conecta al conector J1 es del tipo piezoeléctrico que requiere de alimentación IEPE y esta se surte por medio del circuito integrado U2 que es un step-up y la corriente constante se controla por D2, el offset es suprimido por el condensador C6 y el acondicionamiento realizado con el amplificador operacional U1A es una configuración como amplificador diferencial estándar.

La figura 16 Micrófono filtro. Para eliminar señales no deseadas como el ruido entre otras, se emplean filtros anti-alias, el circuito conformado por el amplificador operacional U1 es un filtro pasa-bajas con frecuencia de corte en 20kHz para las frecuencias audibles y configuración sellen key.

La figura 17 Micrófono ADC. El ADC U4 que es un ADS1252 con frecuencia de muestreo de 40 Kilo muestras por segundo con resolución de 24 bits para su funcionamiento requiere de un reloj de 16MHz U5, referencias de voltaje para estabilizar el voltaje con el amplificador operacional U10 en el ADC y los circuitos integrados U6 y U7 se encargan de ser traductores de voltaje para señales digitales, es decir la señal de entrada es de +5V y la señal de salida es de 3.3V con esto se evita daños la FPGA.

## **REIVINDICACIONES**

La presente invención se refiere a un "SISTEMA AUTÓNOMO DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA DIAGNÓSTICO DE FALLAS NO ESTACIONARIAS EN MAQUINAS ROTATIVAS", catacterizado por:

REIVINDICACIÓN 1ª. "SISTEMA AUTÓNOMO DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA DIAGNÓSTICO DE FALLAS NO ESTACIONARIAS EN MAQUINAS ROTATIVAS" correspondiente a un sistema de medición simultanea de señales, caracterizado por ser Un sistema de medición simultanea de señales de vibración, ruido y emisión acústica **(1)** de dos módulos **(2)** y **(3)** para tareas de diagnóstico de máquinas rotativas que comprende al menos un sensor **(5)** para cada variable y transmite la información por USB **(4)**. Modulo de adquisición de señales de vibraciones de cinco canales que permite la conexión de sensores piezoeléctricos del tipo uniaxial o triaxial, modulo de adquisición de señales acusticas que permiten la conexión de sensores con rangos de frecuencia de 30 kHz a 400 kHz modulo de ruido con una conexión para un micrófono tipo piezoelectrico y modulo de FPGA **(8)** que es programado para la conexión paralela de los modulos de adquisición y que cuenta con almacenamiento de datos en memorias SD o transmisión de los datos por cable USB **(4)**.

REIVINDICACIÓN 2ª, dependiente de la 1ª. Un sistema multivariable multicanal adaptable, caracterizado por estar compuesto de un módulo **2** del numeral 1 es un sistema multivariable multicanal adaptable a cada evento de medición. El módulo **2** puede adquirir sólo señales de vibración multicanal, de ruido o de emisión acústica o combinaciones entre los tres tipos de variables. el módulo **2** se conecta por USB **(4)** con el módulo **3**. El módulo **2** puede procesar y almacenar la información adquirida de los canales en memorias extraíbles mediante el dispositivo **8**. El módulo **2** puede adquirir señales de otro tipo mediante las entradas analógicas y digitales del dispositivo **8**. El módulo de vibraciones mecanicas y del ruido en el acondicionamiento **6** se emplea una fuente de voltaje con corriente constante y además el acondicionamiento de la señal se empleo un solo amplificador operacional de los dos que contiene el OPA227. La salida de la señal del apmlificar se transfiere a un filtro antializas tipo sellen-key que se encarga de eliminar las señales de ruido externas con frecuencia de corte de 10kHz, esta señal luego es pasada por conversoreas analogos digitales **7** ADS1271 con 52734 muestras por segundo y transmisión de datos en protocolo SPI de alta velocidad hacia la FPGA **(8)**.

REIVINDICACIÓN 3ª. Sistema de comunicación con el dispositivo de computo, caracterizado por ser un medio de comunicación de alta velocidad que transmite datos bajo protocolo SPI controlado por un vector de interrupciones lógicas y físicas incrustadas en la FPGA, en el cual se comunica con el dispositivo electrónico del módulo **3** del numeral 1 y este puede ser un dispositivo de computo personal (**9**), un teléfono celular inteligente o una Tablet (**14**) o cualquiera otro dispositivo reducido (**10**) diseñado para almacenar y procesar la señal con los mínimos requerimientos.

REIVINDICACIÓN 4ª, dependiente de la 3ª. Un sistema de transmisión caracterizado por estar compuesto de un modulo programado de transmisión con empaquetamiento de datos en la FPGA (**8**) donde para identificar los datos de cada modulo se le asigna encabezado, el cual utiliza un protocolo de transmisión entre los módulos **2** y **3** valiendose de una conexión USB, la cual puede ser reemplazable por una conexión RS232.

REIVINDICACIÓN 5ª. Un sistema de almacenamiento de datos, caracterizado por ser un modulo programado en la FPGA (**8**) con formato spi para el control de memorias y almacenamiento de archivos de tipo binario en donde, el sistema **1** puede almacenar los datos en memorias extraíbles como tarjetas SD.

---

## RESUMEN

---

La presente invención se refiere a un SISTEMA AUTÓNOMO DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA DIAGNÓSTICO DE FALLAS NO ESTACIONARIAS EN MAQUINAS ROTATIVAS, el cual se compone de un sistema de monitoreo, que determina la condición mecánica de las máquinas rotativas, basado en señales de vibraciones, ruido y emisión acústica simultáneamente, el cual ayuda a tareas de diagnóstico de máquinas rotativas. El sistema incluye al menos un sensor para cada tipo de variable.

El SISTEMA de adquisición e interpretación de datos desarrollado, consta de un módulo de acondicionamiento de señales y otro de almacenamiento y procesamiento de la información, en donde, el primer módulo se desarrolló para la adquisición de señales de vibraciones, ruido y emisión acústica con amplificadores, filtros y ADC's especializados y el segundo módulo, puede guardar la información en unidades rígidas de memoria o en dispositivos de memoria extraíbles, realizando también, **el** procesamiento de las señales recolectadas.

El módulo de almacenamiento y procesamiento puede ser un dispositivo de computo portable, un dispositivo móvil inteligente o cualquier unidad equivalente, en donde el medio de comunicación entre los módulos puede ser alternativamente USB y/o RS232.

---