

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERIA

UNIDAD ENSENADA

MAQUETA EXPERIMENTAL PARA LA VERIFICACIÓN DEL MÉTODO DE
ANÁLISIS POR TRANSMISIÓN/REFLEXIÓN

TESIS

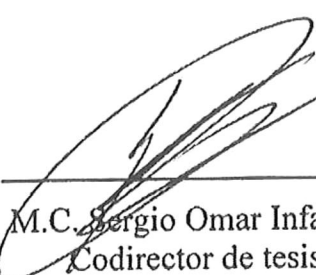
Que para obtener el
título de Ingeniero en Computación presenta:

RODRIGO MANRÍQUEZ LÓPEZ

Aprobada por:



Enrique Mitrani Abenchuchan
Director de tesis



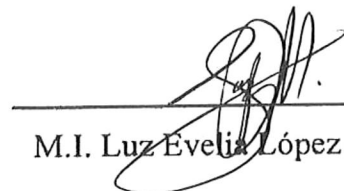
M.C. Sergio Omar Infante Prieto
Codirector de tesis



Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas



Dr. Horacio Luis Martínez Reyes



M.I. Luz Evelia López Chico

DEDICATORIA

A mis Padres

Manuel y María De Lourdes

*Por todo el tiempo, cariño y paciencia que han tenido
conmigo, aún en momentos difíciles.*

AGRADECIMIENTOS

A Enrique Mitrani por su gran apoyo y enseñanzas durante la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Vasili Spirin, por darme la oportunidad de colaborar con este trabajo.

Al M.C. Sergio Infante por la ayuda y apoyo dado durante su codirección de esta tesis.

Al Físico Carlos D. Carrasco, M.I. Hector Morales, M.C. Ramón Muraoka y al Ing. Manuel I. Manríquez (mi hermano), por el apoyo en el laboratorio, ya que por ellos el trabajo fue más grato y sencillo.

A mis amigos que siempre han estado para apoyarme, Héctor, Aldo, Axel, Roberto, Sergio (tocayo), Gabriel, Karla S., Jorge E., Verónica, Maritza, Melisa, Hilda, Claudia A, Jorge Soria, Frida, Grinely, Alfredo, Sergio E., Teresa, Ana L., Alfonso y demás que olvido mencionar pero se que me apoyan.

CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
CONTENIDO	IV
FIGURAS.....	VI
RESUMEN.....	1
INTRUDUCCION.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
OBJETIVO	5
I. ANTECEDENTES.....	6
I.1 MÉTODO DE ANÁLISIS POR TRANSMISIÓN/REFLEXIÓN	6
II. AMPLIFICADORES	12
II.1 INTRODUCCIÓN	12
II.2 AMPLIFICADORES OPERACIONALES	12
II.3 FASE DEL PRE-AMPLIFICADOR EN LA MAQUETA	14
II.4 PRE-AMPLIFICADOR	16
II.5 AMPLIFICADOR	17
II.6 RUIDO	17
III. FILTROS.....	19
III.1 INTRODUCCIÓN.....	19
III.2 FUNCIONES DE FILTROS.....	20
IV. CONVERTIDORES ANALOGICO/DIGITAL.....	21
IV.1 INTRODUCCIÓN.....	21
IV.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS CONVERTIDORES ANALÓGICO/DIGITAL	21
IV.3 CONVERTIDORES ANALÓGICO/DIGITAL UTILIZADOS EN LA MAQUETA	23
IV.4 MODOS DE TRABAJO DE LOS CA/D	24
IV.4.1 Registro de aproximaciones sucesivas	24
IV.4.2 Doble pendiente	24
IV.4.3 Delta-Sigma	25
V. PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES (PDS).....	26
V.1 INTRODUCCIÓN	26

V.2 PDS TMS320VC5416 DSK.....	26
V.3 CODE COMPOSER STUDIO	27
VI. RESULTADOS	29
VI.1 INTRODUCCIÓN.....	29
VI.2 RESULTADOS DEL PRE-AMPLIFICADOR Y EL AMPLIFICADOR	29
VI.3 RESULTADOS DE FILTRO AMPLIFICADOR.	30
VI. CONCLUSIONES	32
REFERENCIAS	33

Figuras

FIGURA 1. ESQUEMA DEL MODELO DEL MATR.....	6
FIGURA 2.....	7
FIGURA 3.....	7
FIGURA 4.....	8
FIGURA 5.....	9
FIGURA 6. DIAGRAMA DEL SUBSISTEMA DE ADQUISICIÓN 1.-FOTODIODO. 2.-PRE-AMPLIFICADOR. 3.- AMPLIFICADOR. 4.- FILTROS. 5.- CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL.....	10
FIGURA 7. OPAMP IDEAL	12
FIGURA 8. SEGUIDOR.....	13
FIGURA 9. AMPLIFICADOR NO-INVERSOR.....	13
FIGURA 10. AMPLIFICADOR INVERSOR	14
FIGURA 12. ESQUEMÁTICO DEL SUMADOR Y EL CA/D	24
FIGURA 13. RESPUESTA DEL PRE-AMPLIFICADOR DE TRANSCONDUCTANCIA SIN CONDENSADOR EN LA RETROALIMENTACIÓN	29
FIGURA 14. RESPUESTA DEL PRE-AMPLIFICADOR DE TRANSCONDUCTANCIA CON CONDENSADOR EN RETROALIMENTACIÓN (ALAMBRE TORCIDO)	30
FIGURA 15. RESPUESTA DEL AMPLIFICADOR DE TRANSCONDUCTANCIA CON CONDENSADOR EN RETROALIMENTACIÓN MAS EL FILTRO A 70 KHz Y $G=1$	31

RESUMEN

El método de análisis por transmisión/reflexión (MATR) es una nueva técnica empleada en fibras ópticas, para detectar y localizar las pérdidas de luz que ocurren dentro de ellas.

El objetivo de esta tesis, es contribuir en el diseño, construcción y verificación de una maqueta experimental controlada por un procesador de señales para la evaluación experimental del MATR. Para el diseño de la maqueta se necesitan desarrollar amplificadores, filtros y convertidores que servirán para acondicionar y procesar la señal recibida.

Se utilizan amplificadores de transconductancia para convertir la señal obtenida de un fotodiodo, para poderla amplificar y después filtrarla, para esos dos últimos pasos se utiliza un componente que tiene un amplificador y un filtro los que mejoraron el diseño y funcionamiento de esta parte de la maqueta.

Los resultados obtenidos hasta el momento son favorables. Las gráficas de las respuestas del amplificador y el filtro muestran como las señales de salida que se tienen permiten localizar y cuantificar pérdidas dentro de la fibra, las que a su vez indican si hay fugas de hidrocarburos.

INTRUDUCCION

Hoy en día, uno de los problemas de impacto ambiental más grandes en México y el resto del mundo son los accidentes causados por derrames en tuberías de hidrocarburos. Estos se producen debido a diferentes razones; v.g. falta de mantenimiento, envejecimiento de las instalaciones, tuberías fabricadas con materiales de mala calidad, etc.

Los análisis realizados por el *U.S. Department of Transportation Office of Pipeline Safety (DOT-OPS)* indican que gracias a las regulaciones y medidas tomadas con las tuberías de hidrocarburos, los accidentes ocurridos se han reducido de manera significativa en los últimos 20 años. A pesar de esto, las estadísticas realizadas por ellos muestran que las tuberías largas (800 millas o más) son las causantes de la mayoría estos incidentes. [1]

Las investigaciones de dicho departamento indican que la mejor manera de reducir este tipo de percances es a través de medidas de prevención, tales como: control estricto en los programas de entrenamiento, en temas de seguridad y de mantenimiento. El siguiente paso sería un mejor monitoreo en las líneas y la instalación de detectores de fugas. [1]

Una de las formas de prevenir este tipo accidentes es mediante la detección temprana de fugas o cambios de temperatura en las tuberías. Esto se realiza por medio de sensores que pueden instalarse dentro o fuera de las mismas, los cuales proporcionan los datos necesarios.

Las requerimientos principales que deben satisfacer los sensores para las tuberías de hidrocarburos incluyen la detección y localización de fugas, la realización de mediciones a grandes distancias, ser distribuidos o casi distribuidos y no provocar chispas. En la actualidad, la gran mayoría los sensores existentes no cumplen con todas las características antes mencionadas y son demasiado costosos.

Los sensores basados en fibras ópticas podrían cumplir con estas características, con las ventajas adicionales de que la misma fibra es el medio de transmisión y de que son

inmunes al ruido electromagnético. Estos sensores permiten la medición de diversos parámetros tales como: temperatura, corriente, voltaje, desplazamiento, vibración, aceleración, etc. Para tal efecto se recurre a diversas técnicas como son rejillas de Bragg, retrodispersión, reflexión, interferómetros, fluorescencia, luminiscencia, cuerpos negros, etc. [2]

Por lo antes mencionado, en el CICESE se desarrolló una maqueta experimental, cuyo funcionamiento se basa en un nuevo método de análisis por transmisión/reflexión (MATR) aplicado a las fibras ópticas. Además esta es controlada por un procesador de señales, con la cual se pretende localizar y detectar fugas en las líneas de los hidrocarburos para prevenir estos percances.

La técnica utilizada en el MATR se basa en las pérdidas por esparcimiento en el vidrio causadas por la interacción de la luz con las fluctuaciones de densidad en la fibra. Durante la manufactura de la fibra ocurren variaciones en la densidad de la materia y fluctuaciones en la composición creando inhomogeneidades aleatorias que dan lugar a variaciones en el índice de refracción. Este fenómeno isotrópico es llamado esparcimiento de Rayleigh. Si el tamaño del defecto es menor a un décimo de la longitud de onda de la luz incidente, el mecanismo no causa eliminación o conversión de energía óptica pero causa que una parte de la onda escape desde la guía de onda. La intensidad de la dispersión es proporcional a $1/\lambda^4$, así que la longitud de onda más grande en las ventanas de transmisión estándar muestra las pérdidas más bajas por atenuación, que las longitudes de onda más cortas. La ecuación de Rayleigh muestra una relación empírica simple para la pérdida por dispersión de Rayleigh y la longitud de onda en fibras de silicio dopadas con germanio. [2]

Lo que se intenta con esto es tener una forma más segura de detectar los derrames en las tuberías para que de esta manera los daños sean minimizados o aún mejor, evitados. El sensor que se desarrollará no evitará que los desbordamientos ocurran, sólo ayudará a detectarlos y localizarlos con mayor rapidez, exactitud y eficiencia.

El desarrollo de la maqueta que se construirá involucra tres áreas de estudio:

Óptica

- Verificación del funcionamiento del MATR

Electrónica

- Acondicionamiento de la señal
- Conexión entre periféricos

Computación

- Dispositivos de interfaz

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como ya se mencionó con anterioridad, los sistemas y métodos de detección de fugas en tuberías de hidrocarburos que existen en la actualidad no son los suficientemente efectivos para realizar mediciones rápidas y seguras. Lo más conveniente es detectar las pequeñas fugas en forma temprana para evitar grandes accidentes.

Por esta razón se desarrollará una maqueta la cual utilizará la técnica llamada MATR. El propósito general es convertir una señal de luz en una señal eléctrica, para poder medir lo que sucede dentro de la fibra. Esta maqueta esta siendo diseñada para pruebas de campo, pero aún sigue siendo probada en el laboratorio. En este trabajo se presentan diseños de pre-amplificadores, amplificadores, filtros y convertidores A/D para la parte electrónica de la maqueta.

La señal que se maneja tiene un ancho de banda de aproximado de 30kHz, así que los componentes como los amplificadores que se utilizaran deberán de ser de bajo ruido y tener estabilidad respecto a cambios de temperatura y el tiempo. También los capacitares tendrán que tener gran estabilidad, esto se puede lograr con capacitares NPO o C0G, así como resistencias de precisión y temperatura extendida.

Es importante que los componentes utilizados en la parte electrónica cumplan con el ancho de banda de operación, como también con las características mencionadas para los componentes, para tener un mejor funcionamiento, una mayor resistencia a cambios de clima y al paso del tiempo.

OBJETIVO

El objetivo de esta tesis, es contribuir en el diseño, construcción y verificación de una maqueta experimental controlada por un procesador de señales para la evaluación experimental del MATR

I. ANTECEDENTES

Desde hace algunos años en CICESE se trabaja en los sensores y técnicas para la detección y localización de fugas de hidrocarburos, lo cual dio como resultado el desarrollo del método de análisis por transmisión/reflexión (MATR), el cual consiste en analizar tres señales: la luz que se transmite a través de uno de los extremos de la fibra, la que llega al final del otro extremo, y la que regresa por el medio de retrodispersión al comienzo por la misma.

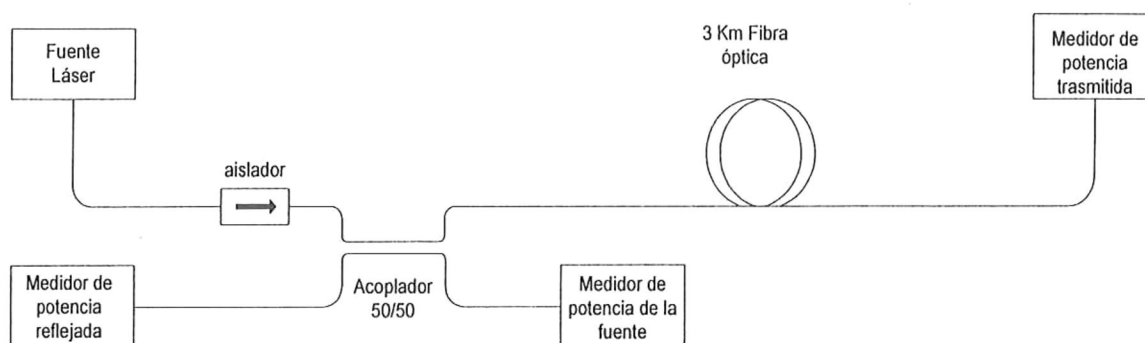


Figura 1. Esquema del modelo del MATR

En el esquema anterior se muestra el modelo que se utilizó para realizar las pruebas del MATR. Como se puede observar se utiliza un aislador para evitar que la luz regrese a su fuente original impidiendo los traslapes. El acoplador 50/50 es un punto donde dos fibras fueron fundidas y el cual sirve para dividir la luz en las 2 fibras ópticas, de tal manera que se pueden realizar las mediciones de las potencias transmitida y reflejada.

I.1 Método de análisis por transmisión/reflexión

El principio de operación del MATR se basa en la medición de las potencias transmitida y reflejada. Si las pérdidas ocurren en el extremo lejano de la fibra sensada, existe un decremento proporcional de la potencia transmitida. Sin embargo, la potencia de retrodispersión de Rayleigh no cambia debido a que toda la longitud de la fibra participa en la retrodispersión. Si las pérdidas ocurren cerca del extremo inicial, la potencia transmitida decrece acompañada de un decremento en la potencia de retrodispersión de

Rayleigh. Además la potencia retrodispersada decrece cuando este pasa de regreso a través de la región de pérdida. Cuando las pérdidas de la fibra ocurren a la mitad, la primera mitad de la fibra, la cual es cercana al extremo inicial aún dispersa la luz en la misma manera como una fibra sin perturbación, pero la potencia dispersada en la segunda mitad es menor debido a las pérdidas inducidas. [11]

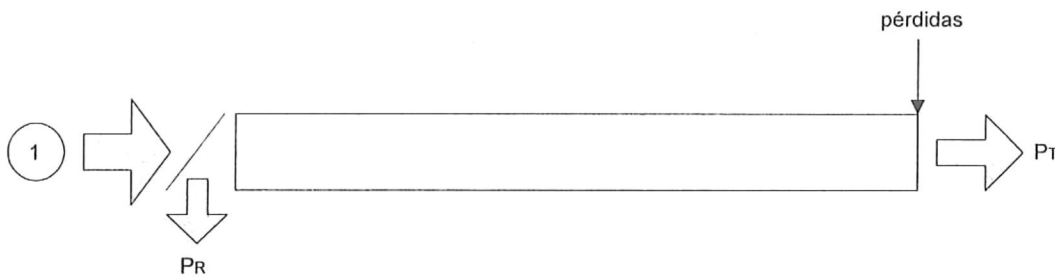


Figura 2.

En la figura 2 se muestra cuando la pérdida es inducida al final de la fibra óptica, se puede apreciar que sólo la potencia transmitida es afectada, ya que la luz transmitida si interactuó con toda la fibra. [11]

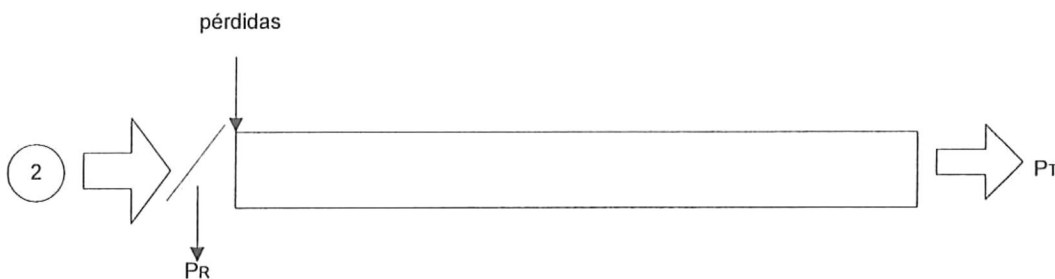


Figura 3.

En figura 3 se puede observar que la pérdida inducida al principio de la fibra óptica afecta en gran proporción la potencia reflejada. En este caso la potencia transmitida es poco afectada así que ese cambio es despreciable. [11]

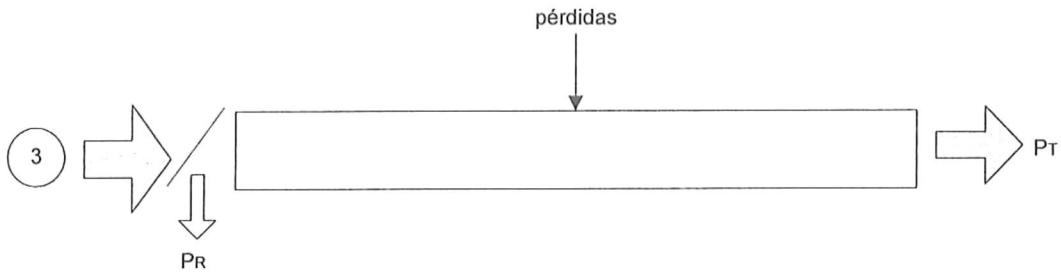


Figura 4.

En la figura 4 se muestra cuando la pérdida es inducida a la mitad de la fibra óptica. En este caso la luz reflejada también es afectada, pero no lo suficiente como para indicar una pérdida tan grande como en el caso anterior. También se puede observar que la potencia transmitida no es realmente afectada como para notar un cambio. [11]

En la figura 5 se muestra una gráfica normalizada del comportamiento de la relación de la potencia transmitida y la potencia reflejada, desde el punto *a* en que las pérdidas son nulas hasta los puntos *C1*, *C2* y *C3* cuando las pérdidas son totales. La curva **2**, correspondiente a pérdidas en el extremo cercano de la fibra; la **1** al extremo lejano y la **3** a un punto intermedio. [11]

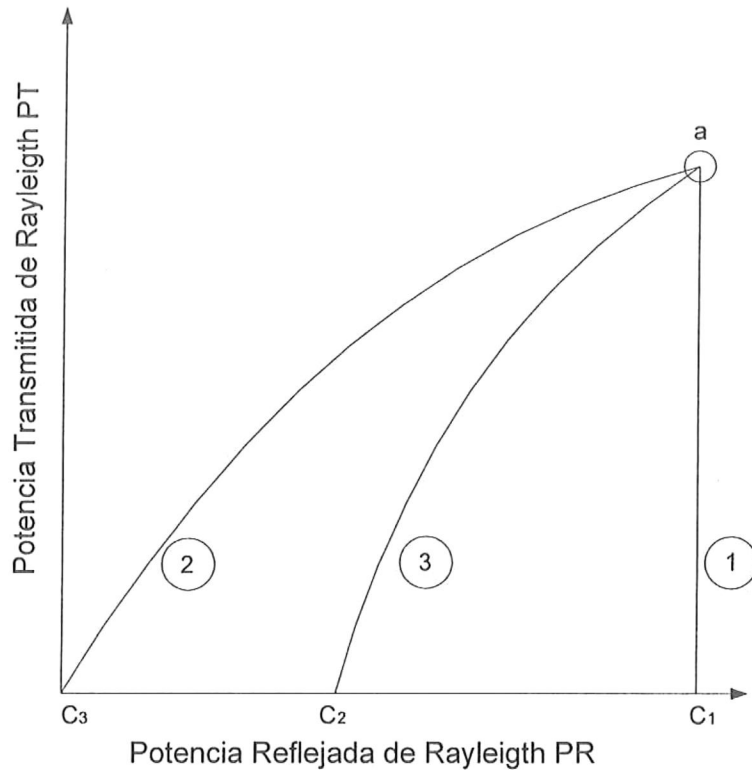


Figura 5.

El MATR fue probado en el laboratorio y arrojó resultados favorables. Para estas pruebas experimentales hechas con anterioridad se utilizó equipo del laboratorio de óptica de Física Aplicada de CICESE.

Para poder probar si el MATR funciona en un ambiente real se está desarrollando una maqueta experimental para detectar fugas de hidrocarburos. Lo que se desea es desarrollar los sensores de fibras ópticas basados en un polímero colocado a lo largo de la fibra, el cual obviamente reaccionará con algún hidrocarburo (gasolina). El polímero en contacto con el hidrocarburo se hincha y presiona la fibra, lo cual provoca pérdidas.

Este trabajo consiste en el desarrollo los sensores de la maqueta para el MATR, la cual abarca la parte de electrónica. La parte electrónica es el desarrollo de amplificadores, filtros analógicos y convertidores A/D.

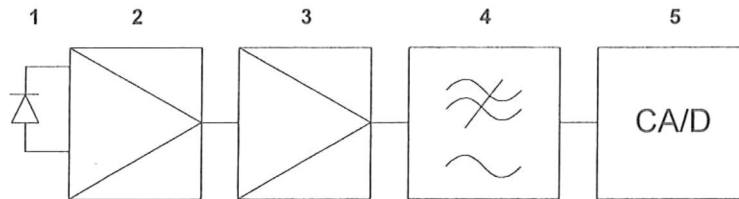


Figura 6. Diagrama del subsistema de adquisición 1.-Fotodiodo. 2.-Pre-amplificador. 3.- Amplificador. 4.- Filtros. 5.- Convertidor Analógico Digital.

El diagrama muestra como están divididas las distintas fases con las que contará la maqueta que se construirá. Este sensor remplazará a los medidores de potencia utilizados anteriormente en el MATR, y por lo mismo se pretende que este sea de tamaño reducido

Tomando el diagrama del subsistema se tiene que en la primera fase está un fotodiodo que se encarga de detectar los cambios de luz que ocurren dentro de la fibra. El fotodiodo que se utiliza es fabricado por la JDS Uniphase, y el modelo es EPM 705 J FC/APC W/DM BKT.

En la segunda fase se tiene un pre-amplificador el cual tendrá la tarea de amplificar la señal dada por el fotodiodo y a su vez transformar una corriente en un voltaje. En la tercera fase se encuentra un amplificador, con el que se amplificara aún más la señal recibida, puesto que la señal del pre-amplificador puede ser muy baja.

La cuarta fase son filtros con los que se pretende eliminar toda señal no deseada y dejar solo la de interés, esta fase es de las más importante, ya que si el filtro no está bien puede introducir ruido y con esto hacer que los resultados que arroje el subsistema sean erróneos.

La quinta fase es necesaria si se desea realizar la sexta fase la que sería un Procesador digital de señales (PDS), ya que la señal con la que se está trabajando primero tiene que ser digitalizada para poder introducir los datos en el PDS, y por eso los convertidores

analógico/digital. En la sexta y última fase la señal digitalizada será procesada por filtros digitales, los cuales mejoraran los resultados que se desean obtener.

II. AMPLIFICADORES

II.1 Introducción

Como ya se mencionó con anterioridad, para la maqueta es necesario contar con una fase de amplificación de la señal. Esta fase se divide en dos partes: un pre-amplificador y un amplificador, los cuales los cuales serán descritos por separado y con más detalle en este capítulo.

II.2 Amplificadores Operacionales

Algo que se debe comprender antes de empezar con el tema principal es el funcionamiento básico de los amplificadores operacionales (OPAMP) ideales, ya que con esta base es más sencillo entender el tema. Para empezar, un OPAMP ideal tiene las siguientes condiciones: impedancia de entrada muy grande, una corriente de polarización muy pequeña y un voltaje de desbalance muy pequeño, tales condiciones son muy difíciles de obtener con un dispositivo real.

X_P Entrada no-inversora

X_N Entrada inversora

A Amplificación

y Salida

Donde $X_P - X_N = \frac{y}{A}$ si decimos que para la figura 6 $A \gg 1 \Rightarrow X_P - X_N \rightarrow 0$ tenemos

que se cumplen las condiciones mencionadas en el párrafo anterior. Otro punto es que las entradas X_P , X_N siempre tienen el mismo voltaje.

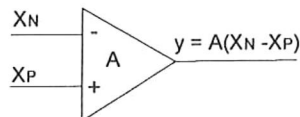


Figura 7. OPAMP Ideal

En la siguiente figura se muestra la configuración conocida como seguidor, en la cual podemos observar que la condición de los voltajes de entrada se cumple, y se observa que como la ganancia es $A = 1$ el V_S es igual a V_E .

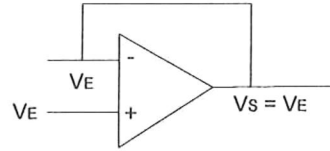


Figura 8. Seguidor

A continuación tenemos un amplificador el cual cumple las condiciones del OPAMP ideal, por lo que se pueden calcular sus ecuaciones básicas para su estudio

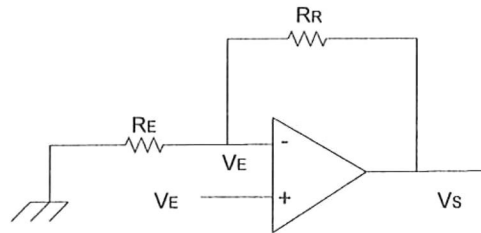


Figura 9. Amplificador No-Inversor

Con este esquemático se pueden calcular las corrientes de R_R y R_E y V_S donde

$$A = \left(\frac{R_R}{R_E} + 1 \right) \text{ tenemos que:}$$

$$I_{RE} = \frac{V_E}{R_E}, \quad I_{RR} = \frac{V_E}{R_E} = \frac{V_S - V_E}{R_R} \text{ y } V_S = V_E \frac{R_R}{R_E} + V_E = \left[1 + \frac{R_R}{R_E} \right] V_E$$

Por ultimo tenemos un amplificador inversor, el cual fue la base para el diseño del pre-amplificador, debido a que la configuración usada es la misma.

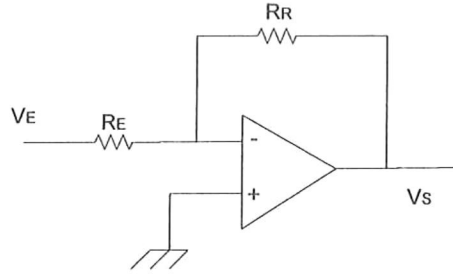


Figura 10. Amplificador inversor

De este esquemático al igual que el anterior podemos calcular sus formulas donde tenemos que:

$$\frac{V_E}{R_E} + \frac{V_S}{R_R} = 0, \quad V_S = \left(\frac{-V_E}{R_E} \right) R_R$$

Para el diseño del pre-amplificador se sustituye la resistencia R_E y el V_E por el fotodiodo, el cual entrega corrientes, por lo que la formula queda de la siguiente manera:

$$I_{FD} + \frac{V_S}{R_S} = 0, \quad V_S = -I_{FD} R_S$$

Con esto se puede observar que el amplificador depende de la resistencia R_S , y entre mayor sea el tamaño de esta, la señal se amplificara más.

II.3 Fase del pre-amplificador en la maqueta

Para el pre-amplificador se utiliza un amplificador de transconductancia (AT), acoplado al fotodiodo. Los AT son los que utilizan una fuente de corriente en su entrada y no una fuente de voltaje como los amplificadores comunes. Estos convierten la corriente de entrada en un voltaje a la salida.

Retomando el tema principal de este capítulo, para la primera parte correspondiente a la etapa del pre-amplificación se deben utilizar amplificadores con baja corriente de

polarización debido a que la señal que entrega el fotodiodo es muy pequeña. El fotodiodo es un dispositivo que transforma la energía que el recibe (luz), en una fuente de corriente que se desea amplificar.

Se desarrolló una tarjeta de pre-amplificación para realizar pruebas con distintos OPAMP. En la siguiente tabla se muestran los resultados de consumo de corriente y ruido de los OPAMP que fueron utilizados.

Tabla de consumo y ruido en OPAMP				
OPAMP	Ruido pico a pico	Corriente diferencial	Voltaje de tara	Corriente de polarización
OPA177G	10 mV	2.8 nA	60 μ V	2.8 nA
TLC071	8 mV	50 pA	60 μ V	100 pA
OPA227	12 mV	10 nA	200 μ V	2.5 nA
LF411	8 mV	100 pA	2 mV	200 pA
AD711	8 mV	10 pA	2.5 mV	25 pA

Después de realizar las pruebas de ruido y revisar el consumo de corriente de los operacionales, se optó seleccionar el TLC071 aún cuando el AD711 tiene el mismo ruido pico a pico pero un menor consumo de energía, sin embargo a pesar de que el ruido pudiera ser el mismo, la señal a simple vista se notaba mucho más limpia en el OPAMP que se eligió.

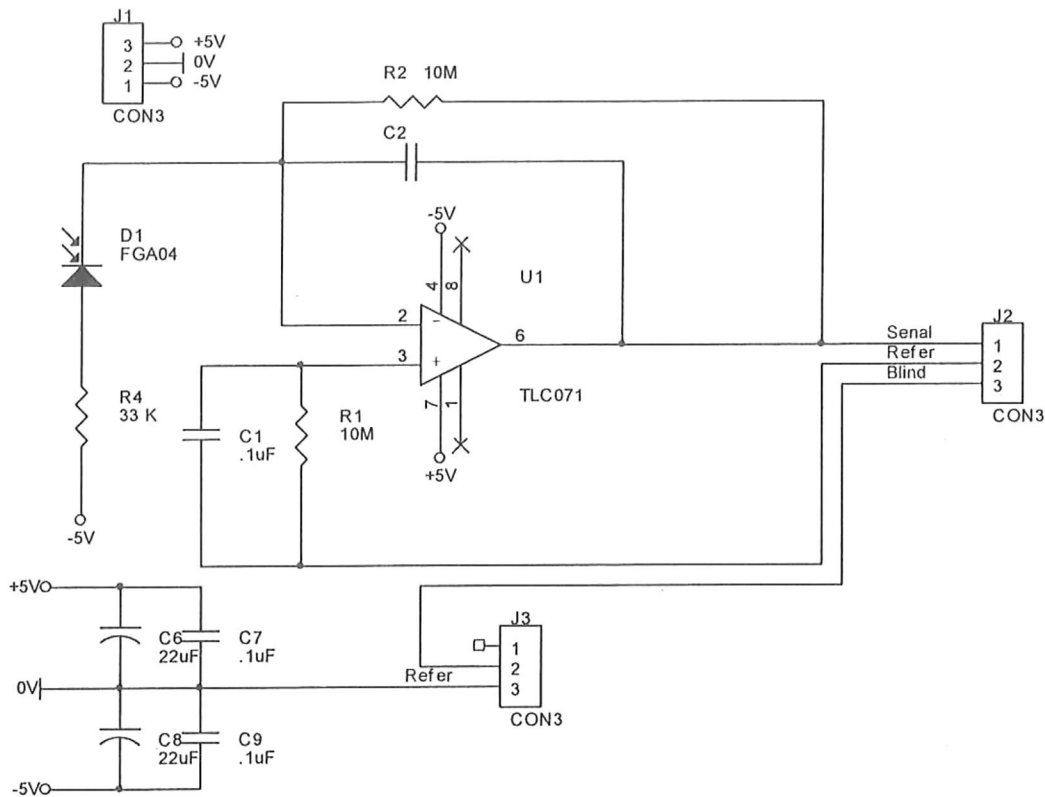


Figura 11. Diagrama Esquemático del Pre-amplificador

Las pruebas de los OPAMP se realizaron dentro de una caja blindada para poder eliminar el ruido externo y medir el ruido de los amplificadores.

II.4 Pre-amplificador

Uno de los Problemas se que se presentaron con el pre-amplificador fue debido a que la resistencia de retroalimentación es muy grande y como este también funciona como filtro, el condensador de retroalimentación debe ser muy pequeño para no afectar la señal al momento de que pase por el.

Se pensaron distintas formas de solucionar este problema, como condensadores en el orden de pF, pero no se encontraron condensadores comerciales tan pequeños. Otra de las soluciones era hacer el condensador directamente en la placa con las mismas pistas de

cobre del impreso. Pero al final se decidió fabricar un condensador propio, con dos pequeños alambres los cuales se van enrollados entre si.

II.5 Amplificador

Se realizaron numerosas pruebas del pre-amplificador y se pudo observar su salida de este el voltaje era demasiado bajo. Por esta razón se utilizaron amplificadores con una ganancia alta después de los pre-amplificadores.

Para el desarrollo del amplificador se revisaron simplemente las hojas de especificaciones de algunos OPAMP tratando de encontrar el que tuviera un mejor desempeño según necesidades que requería el sistema. Se realizó de esta manera para poder agilizar un poco el proceso de selección.

II.6 Ruido

Uno de los problemas más grandes que se presentan en todos los circuitos electrónicos es ruido, es una señal no deseada dentro de la señal que se desea analizar. Como ya se sabe existen distintos tipos de ruido y diferentes técnicas para eliminarlo y/o reducirlo lo más posible.

El ruido puede clasificarse en dos categorías: a) Ruido extrínseco; en donde se incluye ruido de la línea de 50 / 60 Hz (Impulso electromagnético, interferencia por radiofrecuencia), fuentes conmutadas, lazos de tierra, atmosférico. B) Ruido intrínseco; el cual incluye ruido térmico, ruido blanco, entre otros.

En el sistema también tuvimos problemas con el ruido, la sección que más estaba siendo afectada era el pre-amplificador. Para disminuir el ruido se construyeron cajas blindadas de aluminio para los circuitos. Otro problema que se presentó en una de las placas fue un problema de tierras mal aterrizadas que también provocaba ruido.

Una de las ventajas de la caja metálica es que esta puede estar conectada a una tierra física y a su vez al circuito integrado asegurando por lo tanto que este será aterrizado

correctamente. Para reducir aún más el ruido se incluye una fase intermedia de filtrado analógico.

III. FILTROS

III.1 Introducción

El propósito de este capítulo no sólo es el de presentar algunas de las características principales de algunos filtros, si no también la de explicar un poco su funcionamiento así como por que utilizar un filtro en específico para este trabajo. También se mencionaran algunos de los conceptos básicos para poder entender un poco más acerca de este tema.

Es importante mencionar que en un principio se pensaba trabajar con tres filtros de 5to orden cada uno con su respectivo convertidor analógico-digital. De esta manera se pretendía ahorrar tiempo en el desarrollo de la misma. Pero por motivos de espacio que ocupaba se decidió que se desarrollaran otras tarjetas independientes, en donde cada una de estas, tiene en ellas su pre-amplificador, amplificador y filtro. Con esto se disminuyó el área que ocupaba.

Otra de las ventajas con las que se cuenta tras desarrollar estas tarjetas es que se encontró un componente el cual cuenta con un amplificador y un filtro en el mismo empaquetado. El LTC1564 (amplificador filtro) puede amplificar la señal hasta 16 veces, pero como es lógico entre más se amplifica la señal mayor es el ruido. Lo que corresponde al filtro, es uno de 8vo orden y a su vez este puede hacer cortes desde 10 kHz hasta 150 kHz, en pasos 10 kHz para cada corte. [13]

Las frecuencias de corte y las ganancias de amplificación se controlan con un sistema binario mediante 8 terminales del integrado, cuatro para cada aplicación. La ventaja que esto ofrece es que no hay que calcular resistencias ni condensadores.

El filtro que utilizamos en este trabajo es un pasa bajas, ya que las frecuencias que se desean analizar no rebasan 70 kHz. Una de las ventajas de usar el LTC1564 es que este filtro es un pasa bajas, el cual por los sobre tiros que se muestran en las graficas que se muestran en la hojas de datos se especifica que es un filtro Butterworth. [13]

Por lo mencionado en el párrafo anterior para el sistema que se desarrolló se necesita que los filtros realicen cortes en los 70 kHz, con estos se intenta disminuir el ruido, evitar traslapes de la señal y eliminar todas las señales arriba de esta frecuencia las cuales no se ocupan para los análisis que se le realizan. Los filtros que se están utilizando los cuales fueron diseñados por el fabricante, los cuales como ya se menciono son de 8vo orden, con esto aseguramos una salida más limpia.

III.2 Funciones de Filtros

El Funcionamiento de un filtro depende de que función utilice para realizar las aproximaciones. Las funciones de las aproximaciones se utilizan para tratar de hacer lo más parecido un filtro según sea requerido a uno ideal. Tres de las funciones más conocidas y utilizadas son Chebyshev, Gauss y Butterworth. [12]

Los filtros Chebyshev son buenos cuando se ocupa no afectar la amplitud de señal sin importar la fase, al contrario de los filtros Gauss, los cuales no afectan la fase de las señales sino la amplitud de la señal. Pero para este trabajo es conveniente utilizar la función Butterworth ya que es una compensación entre la fase y la amplitud, por esta razón se tomó la decisión que el filtro que se utilizará fuera de este tipo. [12]

IV. CONVERTIDORES ANALOGICO/DIGITAL

IV.1 Introducción

En la actualidad, una herramienta muy utilizada son los convertidores analógico/digital, los cuales utilizan diferentes métodos conversión de señales analógicas de una o más fuentes, las cuales se analizarán o transmitirán a dispositivos como computadoras, grabadoras o redes de comunicación. Para esto se utilizan sistemas de adquisición parecidos al de la maqueta que se desarrolla, donde los sensores detectan una variación física, y en este caso la transforman en una señal eléctrica.

IV.2 Funcionamiento de los Convertidores analógico/digital

Los convertidores analógico/digital (CA/D) transforman un valor analógico de un voltaje a un número binario. Como toda señal analógica puede ser digitalizada, para realizar el proceso de conversión es necesario tener un sistema de interfase con el mundo real. Obviamente estos valores pueden transformarse de nuevo a su forma analógica después de ser digitalizados, aunque su exactitud de valores dependerá mucho de la resolución del CA/D. [3]

En la maqueta digitalizaremos la señal una vez que ha sido procesada por los amplificadores y el filtro. Al momento de ser digitalizada la señal esta será transmitida hacia una computadora donde se volverá a filtrar pero ahora en forma digital.

Los factores más importantes que se deben considerar para un mejor funcionamiento de los CA/D son la resolución, muestreo, velocidad y linealidad.

La resolución implica el mínimo cambio de voltaje que puede ser detectado por el sistema y este puede generar cambios en el código digital que genera. Este factor solo determina el número de códigos digitales generados, o los niveles de cuantización, las que son reconocidas por el circuito. Entre mayor sea la sensibilidad en los pequeños cambios de voltaje, la resolución es mayor [3]. En otras palabras la resolución de los

CA/D se refiere a el número de cuentas que tendrá cada vez valla a realizar una conversión.

Una forma sencilla de entender esto es la siguiente forma:

V_M = Voltaje máximo de la entrada del CA/D

R = Resolución

V_C = Niveles de voltajes mínimo que detectara

$$V_C = \frac{V_M}{2^R}$$

Para el trabajo se utilizaron CA/D de una resolución de 16 bit, debido a que era la mejor opción para adaptarse a el sistema que se desarrolló, tanto por velocidad de conversión como por la resolución que se necesitaba, ya que se deseaba que la conversión fuera un poco más precisa. En realidad se pudo haber utilizado un CA/D de 12 bit, pero se por las siguientes dos razones; debido a los pequeños cambios de voltaje que existen en la retrodispersion y para evitar el error de ½ bms (bit menos significativo). [3]

El error ½ bms se refiere a que los valores analógicos que son introducidos al CA/D llegan a tener un error al momento de ser convertido a digital. El error en el código digital es aproximadamente de $\pm \frac{1}{2}$ bms. Por esta razón los convertidores no son tan exactos, a parte que la ganancia y la tara, también causan errores, pero estos a su vez pueden recortarse un poco hacia cero. [3]

El tiempo que tarda el proceso de conversión de analógico a digital es lo que se considera la velocidad de conversión. Los CA/D también tienen una tasa de muestreo máxima, la cual delimita la velocidad de conversión. El muestreo es el número de veces por segundo que pueden tomarse ejemplos de una señal analógica y convertirse en código digital. El tiempo de conversión y otros factores que influyen en el tiempo son los considerados para determinar el número máximo de muestras por segundo que puede procesar el convertidor. [3]

IV.3 Convertidores analógico/digital utilizados en la maqueta

En este trabajo se utilizaron tres distintos CA/D para probar su funcionamiento, dos de ellos de *Texas Instruments* (*AD8341* y *ADS8321*) y el otro de *Linear technology* (*LTC1864*), los cuales de preferencia se ocupaba que tuviera una interfase serial periférica (ISP). Se utilizará este formato para facilitar el manejo de datos por ser un poco más sencillo de entender. Las velocidades de muestreo de estos CA/D son de 100 kHz. La arquitectura con la que trabajan es la Delta-Sigma, esto debido a la precisión y velocidad que ofrecen.

Una de las pruebas realizadas obviamente fue la de ruido en el sistema. Los tres convertidores pasaron favorablemente la prueba. Pero nos decidimos a utilizar el convertidor producido por *Linear technology*, debido que los convertidores de *Texas Instruments* en sus hojas de especificaciones indican que pueden tener picos al momento de convertir, aunque estos picos sean aleatorios y las posibilidades de que ocurran son pocas.

Los CA/D como los Convertidores Digital/Analógico (CD/A) requieren de un voltaje de referencia con el objeto de hacer más precisa la conversión. Algunos integrados ya cuentan con el voltaje de referencia interno, mientras que otros pueden aceptar un voltaje de referencia externo. Para un funcionamiento excelente en esto, en las referencias externas es necesario tener estabilidad a largo plazo, regularización y un control sobre las fluctuaciones de temperatura. El LTC1864 requiere se un voltaje de referencia externo para su funcionamiento.

Otro punto que se debe mencionar es que una herramienta que se utiliza en la fase de conversión es un sumador, el cual se coloca antes de adquisición de datos. La tarea que realiza este sumador es la de aumentar los valores de los voltajes que entran CA/D, tomando en cuenta que los valores la señal no sobrepasen los del rango del CA/D. Esto debido a que la entrada de datos del convertidor solo acepta valores positivos de 0 a 5 V y con el sumador la señal se centra dentro de este intervalo.

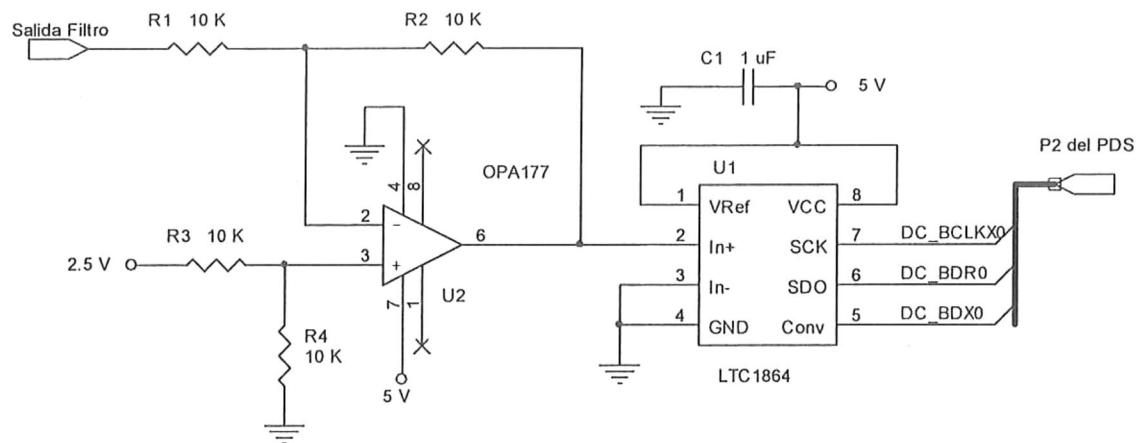


Figura 12. Esquemático del Sumador y el CA/D

IV.4 Modos de trabajo de los CA/D

Los CA/D tiene distintas formas de trabajar internamente. Según la velocidad y la resolución con la que se desee trabajar, se elige el más apropiado. Algunas de las arquitecturas más comunes con las que trabajan los CA/D son las siguientes: Registro de aproximaciones sucesivas (RAS), doble pendiente, *delta-sigma* y *flash*. [13]

IV.4.1 Registro de aproximaciones sucesivas

Un Convertidor de Registro de aproximaciones sucesivas está compuesto por un convertidor digital/analógico (CD/A), un comparador simple y algunos controladores lógicos y registros. Estos comparadores principalmente se utilizan para resoluciones de 12 – 16 bits y las velocidades de conversión pueden alcanzar fácilmente rangos de 1 Mmps (Mega muestras por segundo) una velocidad mediana debido a que el trabajo interno lo realiza en forma secuencial. [13]

IV.4.2 Doble pendiente

Un gran número de convertidores dual-slop utilizan técnicas de integración para medir el tiempo necesario para cargar o descargar un condensador para calcular el voltaje de entrada. Pero integrando en la entrada del convertidor se reduce el ruido, por esta

razón es utilizado en multímetros digitales de precisión. Tienen una resolución de 20 bits a velocidades muy bajas (aproximadamente 60 Hz.) [13]

IV.4.3 Delta-Sigma

Los convertidores delta-sigma cuentan con un integrador, un CD/A, un comparador y un sumador de nodos. Este tipo de convertidores utilizan para resoluciones altas de 16 a 24 bits, son buenos para rechazar el ruido, trabajan con bajas frecuencias y por tanto su velocidad de conversión es muy baja, comparándolo con otras arquitecturas, pero aún así son veloces, una ventaja que tienen sobre otras arquitecturas es que son muy precisos al momento de convertir. [13]

V. PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES (PDS)

V.1 Introducción

Este capítulo es para mostrar hacia donde va el trabajo presentado. El procesador digital de señales (PDS) que se utilizará en el proyecto es el TMS320VC5416 DSK de la compañía *Texas Instruments*, este PDS es uno mucho más poderoso del que realmente se necesita, pero como la maqueta aún se encuentra en estado experimental no conocemos las necesidades mínimas por satisfacer.

El PDS utilizado para el proyecto, en realidad es una tarjeta para procesar audio, está ya ha sido utilizada con anterioridad para desarrollar otro tipo de proyectos en CICESE, y los resultados obtenidos fueron favorables, por lo que también se decidió utilizarla en este trabajo.

V.2 PDS TMS320VC5416 DSK

El TMS320VC5416 DSK es un modulo de evaluación y desarrollo, que permite examinar la capacidad del PDS para resolver los requerimientos que se requieren en la maqueta, es una excelente plataforma de desarrollo de software para esta familia de estos procesadores.

El módulo de evaluación y desarrollo permite realizar verificaciones de código del procesador a altas velocidades. La tarjeta cuenta con una memoria de lectura/escritura (MLE) con capacidad de 64K palabras, una memoria de lectura exclusiva (MLEX) tipo flash y un *codec estéreo Burr Brown PCM 3002*. Puede resolver una gran variedad de problemas como le sean enviados. También cuenta con tres conectores de expansión para interconectar a la aplicación del usuario.

Otras de las características con las que cuenta la tarjeta del DSP son:

- Puerto USB JTAG con sus controladores

Este Capítulo está basado en los manuales de del PDS referencia [14]

- Opera a velocidades de 16 – 160 MHz
- Opera con +5 V

Para simplificar el desarrollo del código y un depurado en corto tiempo, cuenta con su propio compilador, el *Code Composer Studio*. Este compilador tiene una base de programación de C++, lo cual facilita el uso del mismo, sin dejar de mencionar que también es posible programar en lenguaje ensamblador. Otra de las ventajas que ofrece es que trabaja en un ambiente gráfico lo que facilita el uso de algunas de sus herramientas.

El DSP cuenta con la interfaz de tarjetas hijas, la cual permite hacer transferencias de 16 bits en espacio de programa, espacio de datos y espacio de E/S. Y también soporta transferencias de 32 bits en espacio de datos y espacio de E/S.

La interfaz de tarjetas hijas es realizada a través de los tres conectores de expansión predestinados para el usuario. Por medio de estos conectores el usuario puede introducir o extraer datos del PDS según lo que desee realizar, además éstas están colocadas de manera que pueden apilarse una encima de la otra lo cual facilita el uso de estos puertos aparte de ahorrar espacio para los proyectos.

V.3 Code Composer Studio

El Code Composer Studio (CCS) es un compilador de C++ y lenguaje ensamblador del TMS320VC5416 el cual trabaja en ambiente gráfico. Este compilador cuenta con las herramientas necesarias para utilizar la tarjeta de evaluación del PDS, las cuales pueden ser desde inicializar puertos desde una subrutina, hasta la de utilizar un filtro digital de 16 bits.

El CCS también cuenta con un traductor automático de C++ a lenguaje ensamblador. Este es de gran ayuda para cuando se esta trabajando las primeras veces con el PDS ya que si no se conoce en forma correcta su funcionamiento interno cualquier función o procedimiento que se desee programar puede fallar. También tiene la ventaja de que este compilador puede ser utilizado en distintos sistemas operativos.

Otra de ventaja de trabajar con el CCS es que cuenta con un simulador, lo cual nos ayuda a trabajar sin tener que conectar la tarjeta, la única desventaja de esto es que requiere de muchos recursos de hardware.

VI. RESULTADOS

VI.1 Introducción

En este capítulo se hablará de los resultados que se obtuvieron durante la realización de la maqueta. También se podrá apreciar que los resultados son favorables conforme avanza en las fases del subsistema.

Estos resultados mostrados a continuación se obtuvieron basados en el sistema de prueba y error, para lo que fueron los amplificadores. Primero se probaron distintos OPAMP, hasta encontrar el de menor ruido. Para obtener las curvas de caída deseadas se realizaron los respectivos cálculos para los filtros.

VI.2 Resultados del pre-amplificador y el amplificador

En la gráficas se muestra la diferencia entre el funcionamiento del pre-amplificador sin el condensador y con el condensador que se fabricó (alambre torcido).

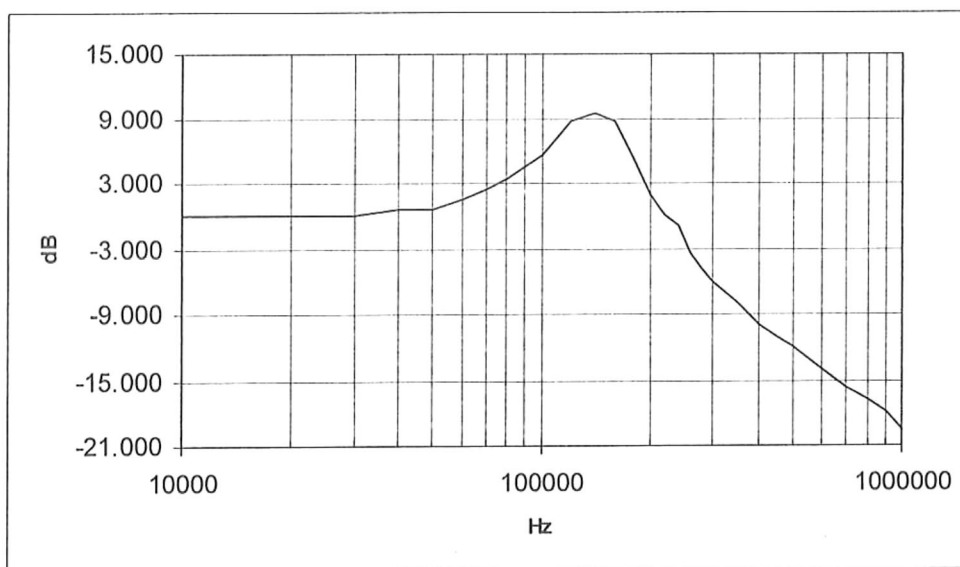


Figura 13. Respuesta del pre-amplificador de transconductancia sin condensador en la retroalimentación

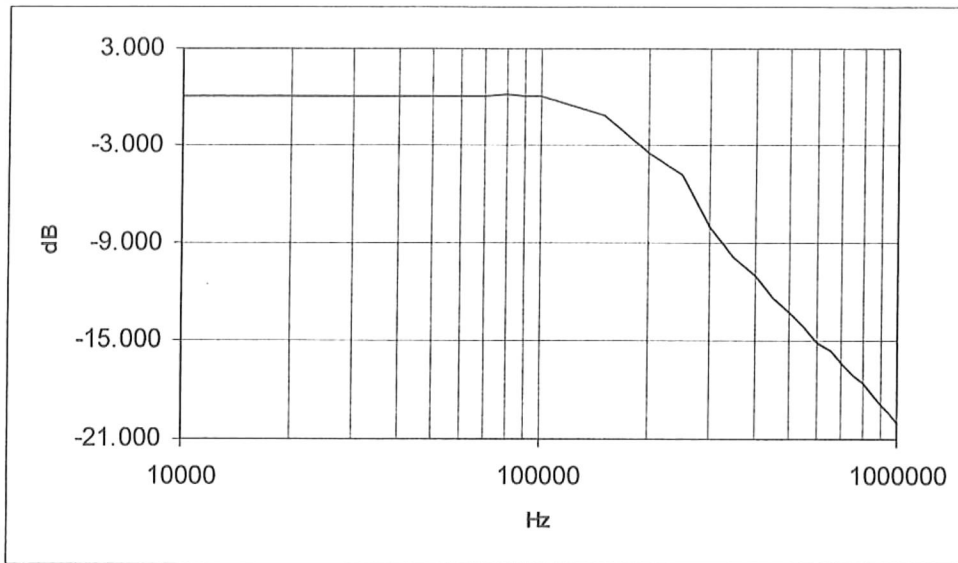


Figura 14. Respuesta del pre-amplificador de transconductancia con condensador en retroalimentación (alambre torcido)

Como se puede observar en la primera gráfica del pre-amplificador, este presenta un salto antes de realizar el corte, es al parecer es un error del OPAMP el cual se corrige en forma considerable colocando una pequeña capacitancia para no modificar el corte como se puede observar en la segunda gráfica. De esta manera se logró eliminar el incremento de ganancia a frecuencias cercanas al corte.

VI.3 Resultados de filtro amplificador.

Como se puede observar en la siguiente gráfica el resultado obtenido fue muy favorable, gracias a los filtros utilizados, y como se puede observar en la grafica de la figura 15, el condensador de retroalimentación mejora en gran medida la respuesta en frecuencia.

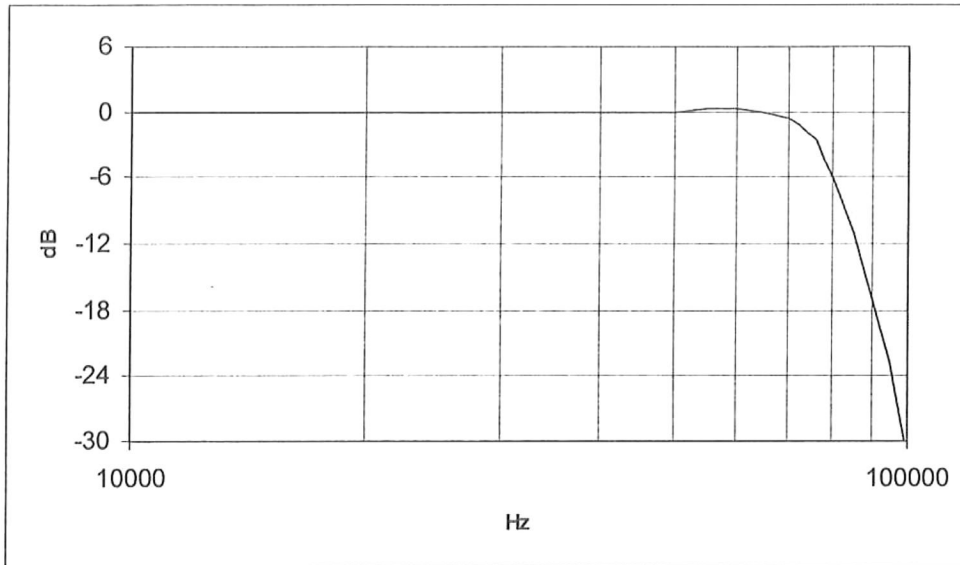


Figura 15. Respuesta del amplificador de transconductancia con condensador en retroalimentación mas el filtro a 70 kHz y $G=1$

En la gráfica anterior se muestran los datos que fueron medidos hasta llegar a una frecuencia de 100 kHz, aun cuando el área de trabajo de interés solo llega a los 30 kHz. Por esta razón frecuencias arriba de las que se muestran en la gráfica son despreciables.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrolló un sistema de adquisición de datos para satisfacer los requerimientos de un sistema óptico para la prevención de derrames en tuberías de hidrocarburos. Los resultados hasta el momento han sido favorables, ya que permite pensar que podrá ser utilizado en otro sistema similar.

Una de las complicaciones más grandes que se presentaron en el desarrollo de la maqueta fue el poder amplificar la señal que se reflejaba a través la fibra, ya que esta tenía un valor muy bajo el cual era difícil de detectar. En principio los filtros iban a ser de un orden más bajo, pero gracias a los nuevos amplificadores/filtros se ahorró espacio y se aumentó el orden del filtro, con lo que se mejoró la calidad de los resultado.

Haciendo una comparación entre la maqueta que se desarrolló y las diferentes medidas de prevención que existen en la actualidad, se observa que esta tiene varias ventajas a favor. Por mencionar una ventaja, la fibra óptica no solo es un medio de transmisión sino el también es el sensor.

Un trabajo a futuro para este sistema es el desarrollo de los filtros digitales no recursivos, diezmando la señal. Este trabajo no se llevó a cabo ya que excedía los alcances de esta tesis. Con estos filtros digitales no solo se mejorará el análisis de la señal, sino que se remplazarán osciloscopios con una computadora.

REFERENCIAS

- [1] Leak Detection for Landfill Liners, Overview of Tools for Vadose Zone Monitoring, Agosto 1998.
< <http://www.clu-in.org/s.focus/c/pub/i/110/>> (8 Marzo 2005)
- [2] Review of the present status of optical fiber sensor
28 Agosto 2002
<<http://www.elsevier.com>> (13 Abril 2004)
- [3] The Electronics engineering handbook 1da Edición, Fink Donald G., Pág. 4.1 – 4.41.
- [4] Handbook of optics – Fiber optic and non linear optics. 2da Edición, Bass Michael
Pág. 1.3 - 1.48, 9.1 - 9.8, 15.1 - 15.14.
- [5] Procesamiento de señales analógicas y digitales, 2da Edición, Ambadar, Ashok, Pág.
398 – 439, 715 – 754.
- [6] Instalaciones de fibras ópticas & fundamentos, técnicas y aplicaciones, Chomycz,
Bob, Pág. 1- 44, 77 - 91, 159 - 181.
- [7] Digital Signal Processing principles, algorithms and aplicaciones, 2da Edición, Proakis,
John G. Pág. 19 - 35, 412 - 419.
- [8] The Electrical engineering handbook, 2da Edición, Fink Donald G., Pág. 217- 311,
705 - 714, 721 - 727, 741 - 757.
- [9] Photodiode Amplifiers, OPAMP solution, Graeme, Jerald, Pág. 1 -8, 21 - 29, 87 -
105.
- [10] Applications of operational amplifiers third generation techniques, Graeme, Jererd,
Pág. 35 - 69.

[11] Sensor de fibras ópticas distribuido para medición de fugas de hidrocarburos, López, Rosa M.

[12] Digital Signal Processing, Stanley, William D., Pág. 11 - 31, 117 - 156. - 23

[13] Hojas de Datos de los componentes utilizados < <http://www.datasheetcatalog.com> >
(15 Julio 2005)

[14] Manuales PDS TMS320VC5416 DSK <<http://www.ti.com> >