

19  
24.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**INSTRUMENTO VIRTUAL PARA LA MEDICION  
DE VIBRACION AMBIENTAL.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A N  
**EDUARDO BADILLO CEH**  
**MIGUEL ANGEL MENDOZA GARCIA**

**DIRECTOR DE TESIS: ING. ENRIQUE R. GOMEZ ROSAS**



**MEXICO, D. F.**

**1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Ing. Enrique Gómez Rosas.**

**Por todo su apoyo en la realización de esta tesis, por transmitirnos sus conocimientos y experiencia.**

**Ing. Rodolfo Peters Lammel.**

**Gracias por su infinito apoyo, su confianza y su amistad.**

**Dr. David Muria Vila.**

**Gracias por su tiempo, apoyo y conocimientos para la realización de esta tesis.**

**Al personal del Instituto de Ingeniería.**

**Ponciano Trinidad, Isabel San Juan, por permitirnos ser sus amigos.**

**A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería, nuestros respetos, la enseñanza no es un trabajo fácil.**

**Gracias por todas sus enseñanzas y por mantener a la Facultad de Ingeniería a la vanguardia educativa**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México.**

**A pesar de ser cuestionada y criticada, ha sido, es y seguirá siendo la máxima casa de estudios.**

**Gracias por darnos una educación.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mis padres , por esfuerzo y dedicación para enseñarme, por todo su apoyo, su amor y su comprensión. A pesar de las tempestades siempre han estado conmigo alentandome.**

**A mi hermana Bety y mi cuñado Conrado, por sus buenos deseos**

**A mi hermano Miguel, me has demostrado que en esta vida todo se puede lograr, a pesar de los obstáculos a los que nos enfrentamos.**

**A mis padrinos Mario y Raquel, mis tíos, tías, primos y primas.  
Gracias por alentarme y por todas sus porras.**

**A la palomilla de la prepa 2, Ceel, Laura, Miguel, Carlos y Gabriel.**

**A mis compañeros y amigos de la Facultad de Ingeniería, con los que conviví, compartí mis sueños y juntos superamos muchos obstáculos.**

**Al Ing. Luis Cesar Vázquez Segovia.**

**A la Ing. Margarita Luna Camacho.**

**Gracias por todo su apoyo, su amistad. Mi vida cambio totalmente desde que los conocí.**

**Al Ing. Juan Aguilar Pascual.**

**A la Ing. Ma. Teresa Peñahuri Santoyo.**

**A la Ing. Verónica Hlicra García Casanova.**

**Agradezco de todo corazón el aguantarme en los momentos alegres y tristes de mi vida, por todo eso y muchas cosas más.**

**A todos mis compañeros y amigos del Departamento de Matemáticas Básicas.**

## **DEDICATORIAS**

**A mis abuelitas.**

**A mis sobrinos.**

**A mis primos, amigos que se quedaron en el camino.  
me gustaría ser un ejemplo positivo en sus vidas, luchare  
incansablemente por serlo.**

## DEDICATORIAS

**A ti madre, con todo el cariño y agradecimiento por toda la paciencia que me has tenido así como por todo el amor que me has dado.**

**A ti padre, por todo lo que me has enseñado y aportado a mi vida.**

**A los dos por ser mi sostén en los momentos más difíciles.**

**A cada uno de mis hermanos:**

**Juan, Guadalupe, Pedro, Marcos, Héctor, Mario y Sanadra: Por ser compañeros y amigos; pero sobre todo por el apoyo y cariño que me han brindado.**

**A ti Marcos: Por ser como mi segundo padre.**

**A mis abuelos con todo el cariño del mundo.**

**A mis sobrinos: Pedro y Ariadna**

**A mis grandes amigos:**

**Alicia, Maritza, Víctor, Juana, Fernando, José,  
Ana. Ustedes que han aportado mucho a mi vida.**

**A todos mis compañeros, con lo cuales  
compartí los golpes y los logros de los  
estudios.**

**A todas las personas que han estado conmigo en  
los momentos en los cuales, el crecer ha sido un  
reto.**

## AGRADECIMIENTOS

A las personas que han contribuido a hacer de mí lo que soy; a las que hicieron de corazón, y también a aquellas cuyo su cruce en mi camino fue, no siempre grata, coincidencia. Algo bueno aprendí de todos ellos.

A los maestros que supieron sembrar en mí el deseo de superarme y aprender más; a los que hicieron que aprender fuera una aventura divertida y digna de realizarla.

A la Universidad en la que he aprendido tanto.

Al Ing. Rodolfo Peters Lammel y al Ing. Enrique Gómez Rosas, por todo el apoyo y confianza que me han demostrado.

## **ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>3. DISPOSITIVOS</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1. TRANSDUCTORES</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1.1. ACELERACIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1.2. DESPLAZAMIENTO</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1.3. DEFORMACIÓN</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2. ACONDICIONADORES</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2.1. DESCRIPCIÓN DEL ACONDICIONADOR USADO</b> .....	<b>39</b>

3.3.	TARJETAS DE ADQUISICIÓN .....	41
4.	PROGRAMAS .....	48
4.1.	PROGRAMAS DE APLICACIÓN GENERAL.....	50
4.2.	PROGRAMAS DE APLICACIÓN ESPECÍFICA.....	51
4.3.	TIPOS DE LENGUAJES.....	52
5.	SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS Y PROGRAMA .....	56
6.	IMPLEMENTACIÓN .....	59
6.1.	CONSTRUCCIÓN DEL ACONDICIONADOR .....	60
6.2.	PROGRAMA.....	62
6.2.1.	PREPARACIÓN DE PRUEBAS .....	65
6.2.1.1.	TRANSDUCTORES .....	66
6.2.1.2.	PRUEBAS .....	68
6.2.1.3.	REPORTE .....	73
6.2.2.	CAPTURA DE DATOS .....	74
6.2.2.1.	AJUSTE .....	75
6.2.2.2.	CAPTURA.....	92
6.2.3.	VISUALIZACIÓN .....	95
6.2.3.1.	VISUALIZAR .....	96

6.2.3.2. ANÁLISIS .....	98
6.2.3.3. REPORTE .....	106
6.2.4. ANÁLISIS .....	107
6.2.4.1. ANÁLISIS AUTOMÁTICO .....	109
6.2.4.2. ANÁLISIS MANUAL .....	112
6.2.4.3. CAMBIAR CONSTANTES .....	113
7. MANUAL DEL USUARIO .....	115
7.1. PREPARACIÓN DE PRUEBAS .....	115
7.2. ADQUISICIÓN DE DATOS .....	116
7.3. VISUALIZACIÓN .....	118
7.4. ANÁLISIS DE DATOS .....	121
7.5. EJEMPLOS .....	124
8. CONCLUSIONES .....	126
APÉNDICE A	
APÉNDICE B	
APÉNDICE C	
APÉNDICE D	
BIBLIOGRAFÍA	

## 1. INTRODUCCIÓN

A partir de los sismos de '85 se vió la necesidad de monitorear estructuras importantes, edificios, puentes vehiculares, etc., con el fin de obtener información relevante para determinar su estado y poder prevenir desastres. Para esto se diseñaron una variedad de pruebas, entre éstas la vibración ambiental, pero debido a limitaciones del equipo tradicional (osciloscopios, analizadores de espectros, filtros, etc.) se construyó un sistema de adquisición de datos con capacidad de monitorear varios transductores al mismo tiempo y de almacenar la información para su posterior análisis, consistente en un proceso matemático de las señales capturadas con lo que se generan los archivos necesarios para su posterior uso. El sistema que se construyó resultó ser muy voluminoso, esto es debido a que los acondicionadores y filtros utilizados en conjunto ocupan mucho espacio y son muy pesados.

Debido a las características del sistema de adquisición de datos usado, solamente se podían adquirir 16 canales a la vez, razón por la cual las pruebas se limitaban o bien era necesario reubicar los transductores (conectarlos y desconectarlos) varias veces para una

so la estructura. Cada vez que se realizaba algún cambio los transductores debían ser ajustados, y como el ajuste es realizado manualmente, la tarea consume mucho tiempo.

Por otro lado debido a que el registro de los parámetros de los transductores (ganancias, constantes de calibración, etc.) y del sistema de adquisición de datos (número de muestras, velocidad, etc.) se llevan en papel, puede llegar a ser foco de equivocaciones al momento de manipular el equipo.

Por estos inconvenientes y aprovechando los avances en la tecnología de adquisición de datos, se decidió construir otro sistema que sustituyera al anterior; tema sobre la cual versa esta tesis.

## 2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es construir un sistema de adquisición de datos enfocado a las pruebas de vibración ambiental que realiza la Coordinación de Estructuras, del Instituto de Ingeniería. Este sistema sustituirá al que actualmente se utiliza.

Las características que debe cumplir el nuevo sistema son las siguientes:

- El sistema deberá adquirir las señales de hasta 64 transductores; el actual solo puede manejar 16.
- Se deberán programar las pruebas con anticipación y guardar los parámetros de éstas para utilizarse al momento de realizar la prueba.
- El ajuste de cero de todos los transductores será a través de la computadora, ya sea automática o manualmente.
- Cada acondicionador contará con un filtro sintonizable.

- Las ganancias programadas para cada transductor se aplicarán automáticamente en el momento que el usuario seleccione el ensayo a realizar. El sistema dará la opción de modificar la ganancia de uno o más canales.
- Se podrán monitorear cada uno de los canales durante la prueba.
- La información capturada se deberá guardar en disco para su posterior análisis.
- El sistema debe contar con un módulo de análisis matemático, el cual deberá guardar los resultados en formato ASCII para su posterior uso.

Se buscará que el sistema sea lo más sencillo y amigable para el usuario; tanto al momento de realizar las conexiones de los transductores como al momento de operar el programa. Aparte deberá ser más eficiente en tiempo de ajuste, y de cálculos matemáticos que el actual sistema.

### **3. DISPOSITIVOS**

#### **3.1 TRANSDUCTORES**

La definición formal de transductor que presentó la ISA, Instrumentation Society of America, es la siguiente: Un transductor es un dispositivo que proporciona generalmente una salida eléctrica en respuesta a una cantidad física variable o fenómeno medido. Los transductores tienen diferentes principios de operación y éste se elige de acuerdo a las necesidades. Dentro de los más comunes se encuentran los transductores capacitivos, electromagnéticos, inductivos, piezoeléctricos y resistivos.

Ahora bien los transductores más utilizados dentro de la Coordinación de Estructuras se pueden clasificar en transductores de aceleración, desplazamiento y deformación.

##### **3.1.1 ACELERACIÓN**

El transductor para medir aceleración se conoce como acelerómetro y es un dispositivo cuya función es la detectar la aceleración de un cuerpo en movimiento. La

aceleración actúa sobre el elemento sensor, una masa sísmica, la cual solo es sensible en el eje sobre el cual se desea medir la aceleración (figura 3.1).

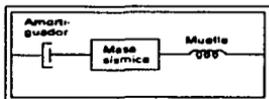


Figura 3.1. Sistema básico de masa-muelle de un transductor de aceleración

En general los acelerómetros se pueden clasificar en acelerómetros **Capacitivos**, **Piezoeléctricos**, **Potenciométricos** y **Servos**.

**Acelerómetros capacitivos.** El principio del transductor capacitivo que se emplea en algunos acelerómetros, consiste en una masa sísmica apoyada en un diafragma o disco pivotante sobre un soporte flexible. Van ligados a un electrodo móvil, existiendo además uno o dos electrodos fijos (electrodos estatores). Cuando se aplica una aceleración, la posición entre el electrodos móvil y los fijos cambia. Esto provoca un cambio de capacidad, que puede ser simple si se trata de un sistema con un solo estator o diferencial si se tiene en cuenta los dos estatores. Existen diversos circuitos acondicionadores de señal para este tipo de transductores. Si el elemento puede conectarse en un puente de corriente alterna, un cambio en el transductor produce una variación de tensión de salida en C.A. (o C.D. si está rectificado). El elemento también puede colocarse como el capacitor de un oscilador LC o RC, así, los cambios en la aceleración provocan variaciones en la frecuencia del oscilador. El cambio de capacidad en un acelerómetro de dos estatores puede usarse sobre un circuito de conmutación para generar un tren de pulsos en los que el ancho del pulso y la distancia entre los pulsos es el resultado del cambio de capacidad. Se usan comúnmente elementos monoestatores. Un diseño experimental de acelerómetro triaxial puede basarse en una masa metálica semiesférica y tres elementos estatores conectados según tres ejes ortogonales que

proporcionan las salidas del cambio de capacidad debidos a aceleraciones según los ejes. Este diseño, denominado de "arrastre libre" puede construirse también con tres bobinas rotativas pudiendo operar en bucle-cerrado.

***Acelerómetros piezoeléctricos.*** Los acelerómetros basados en cristales piezoeléctricos se usan en una extensa variedad de aplicaciones, un diseño típico se muestra en la figura 3.2.

La aceleración es detectada a lo largo del eje longitudinal del elemento, éste actúa sobre la masa sísmica que al ejercer una fuerza sobre el cristal piezoeléctrico (generalmente cuarzo) produce una carga eléctrica.

Las armaduras del cuarzo están precargadas (mecánicamente) de manera que cualquier incremento o decremento en la fuerza actuante sobre el cristal (debido a un cambio de aceleración) produce cambios en la carga eléctrica.

Quando se usan cristales con baja sensibilidad, como el cuarzo, se utilizan dos o más cristales interconectados para una multiplicación de efecto a la salida. Además de los cristales de cuarzo también se usan cristales cerámicos, entre los mas típicos se encuentran los de titanato de bario, mezclas de circonato y titanato de plomo y metanio. Los materiales piezoeléctricos difieren en sus características esenciales como son la sensibilidad, la respuesta en frecuencia, la resistividad del núcleo y la respuesta térmica. Algunos elementos cerámicos (no el cuarzo) tienen la propiedad de dar una desviación nula cuando se exponen en ambientes con grandes esfuerzos o gran ruido. El límite superior en el intervalo de temperaturas operativo está dado por el *punto de Curie* o temperatura de Curie del material (el efecto piezoeléctrico fue descubierto por Pierre y Jacques Curie, en 1880) A esta temperatura, los elementos cerámicos, que están polarizados durante la exposición a una campo eléctrico orientado durante el calentamiento, pierden su polarización bato de plomo

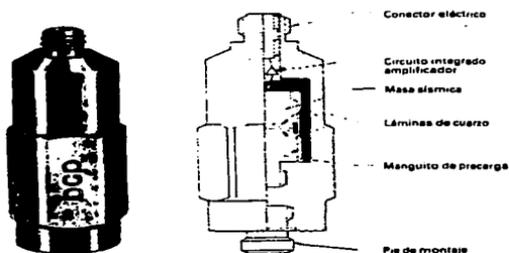


Figura 3.2. Acelerómetro piezoeléctrico de aplicación general.

De entre los posibles diseños mecánicos internos (masa sísmica, cristal y su soporte) los de compresión con montaje central y central-invertido y los diseños de tipo cizalla (en los que el cristal piezoeléctrico está sometido a esfuerzos de cizalla en vez de compresión), proporcionan una *sensibilidad ambiental* minimizada, es decir, son relativamente insensibles al ruido acústico, a los transitorios de temperatura y a las tensiones en las superficies. Otro factor importante en el diseño mecánico es la minimización de la sensibilidad a las aceleraciones transversales (aceleraciones a lo largo de otros ejes diferentes al principal del sensor).

El intervalo de frecuencia (en donde la respuesta en frecuencia es plana dentro de un  $\pm 5\%$ ) de la mayoría de los acelerómetros piezoeléctricos está entre 1 y 3 Hz para el límite inferior y entre 2 kHz y 10 kHz para el límite superior (algunos diseños pueden llegar a superar los 25 kHz).

Los acelerómetros triaxiales, de diseño especial, son esencialmente tres acelerómetros cuidadosamente alineados con accesorios para montaje mecánico y un único conector eléctrico.

Virtualmente todos los acelerómetros piezoeléctricos están caracterizados por tener una señal de salida de bajo nivel y una elevada impedancia de salida, por lo cual se precisan amplificadores electrónicos especiales que actúen como convertidores de impedancia. El amplificador se conecta al transductor a través de un cable produciendo en la salida una señal de baja impedancia de salida y un nivel de señal suficiente para excitar a cualquier sistema visualizador o de telemetría. El cable utilizado es un componente crítico en este tipo de acelerómetros. Debe ser delgado, flexible, coaxial, blindado, protegido de la humedad y de muy baja capacidad. También debe estar ausente de ruido causado por la fricción del conductor con el aislante. además, debe ser lo más corto posible, con el fin de minimizar capacidad y ruido. Los conectores eléctricos, en ambos lados, deben ser a prueba de humedad con el fin de evitar pérdidas de aislamiento debido a la impedancia tan alta.

*Acelerómetros potenciométricos.* Los acelerómetros potenciométricos se caracterizan por una señal de salida de nivel alto y un rango de frecuencias relativamente estrecho, del orden de 0 a 20 Hz.

El desplazamiento del sistema masa-muelle, en estos tipos de diseño, está mecánicamente enlazando a un brazo palanca que se mueve a lo largo del elemento resistivo de un potenciómetro. El acoplamiento mecánico puede contar con una amplificación si es necesario. El diseño que se muestra en la figura 3.3 emplea un elemento resistivo de plástico-conductor, suficientemente corto para permitir acoplar directamente el brazo-palanca a la masa. El modelo mostrado está amortiguado por gas. Otros diseños están amortiguados viscosa o magnéticamente. El amortiguamiento es necesario para minimizar cualquier tipo de ruido a la salida producido por saltos del brazo con la pista resistiva. La amortiguación por gas es preferida debido a que no requiere masas de amortiguadores magnéticos adicionales y por que no está sujeto a derivas térmicas

Es relativamente fácil diseñar acelerómetros potenciométricos para minimizar los efectos de aceleraciones transversales. En algunos diseños la masa tiene restringida su capacidad de movimiento a toda dirección que no sea la del eje especificado ya que se mueve a lo largo de un eje coaxial. El diseño mostrado emplea muelles de flexión y la masa resbala sobre un bloque plástico moldeado de precisión que es la parte de la caja del transductor. Unos toques mecánicos limitan los desplazamientos de la masa cuando se aplican al transductor aceleraciones fuera de rango. Situado el brazo palanca en el centro del elemento resistivo en reposo, permite medidas bidireccionales.

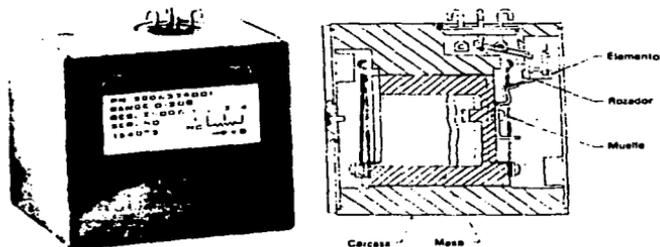


Figura 3.3. Acelerómetro potenciométrico.

**Acelerómetros por reluctancia** Esta categoría de acelerómetros incluye los elementos tipo transformador lineal variable diferencial (TLVD) así como el tipo de puente de impedancias (puente inductivo). La estructura de un acelerómetro tipo TLVD se ilustra en la figura 3.4. Los arrollamientos del transformador diferencial son el arrollamiento primario y los dos arrollamientos secundarios. El sistema masa-muelle está constituido por el núcleo del transformador, que es la masa sísmica, suspendido dentro de los arrollamientos mediante resortes paralelos en voladizo. El

desplazamiento del núcleo ferromagnético, debido a la aceleración, provoca cambios de tensión a la salida de los dos arrollamientos secundarios cuando se aplica una tensión C.A. en el arrollamiento primario.

En algunos diseños de acelerómetros por puente inductivo, el desplazamiento de la masa sísmica provoca que las inductancias de dos devanados montados próximamente varíen en la dirección opuesta: es decir, la inductancia de un devanado aumenta mientras la del otro disminuye debido a su proximidad a una armadura ferromagnética en movimiento. Los dos devanados se conectan como dos brazos de un puente de inductancias, los otros dos brazos son normalmente resistivos. Variaciones de C.A. a la salida del puente indican variaciones de aceleración al alimentarlo mediante una tensión C.A.

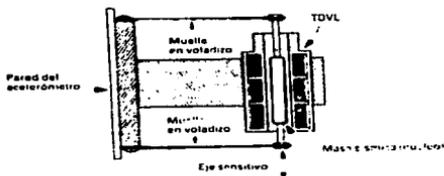


Figura 3.4. Acelerómetro de reluctancia (TDVL).

Los acelerómetros en puente inductivo (puente de impedancias) también pueden estar diseñados de manera que de las dos inductancias, una no esté afectada por los desplazamientos de la masa sísmica. Este principio se muestra en el acelerómetro mostrado en la figura 3.5.

Las características eléctricas del devanado activo cambian de manera que las corrientes dispersas aumentan en la armadura conductora (masa sísmica) cuando está se mueve cerca del devanado. Dado que no se precisa emplear materiales ferromagnéticos, el problema de limitación de temperatura debido al punto de Curie

es eliminado. Esta ventaja, junto con el uso de materiales de alta temperatura y construcción sencilla permiten a estos acelerómetros operar a temperaturas de hasta 650° C. Estos acelerómetros son también adecuados para aplicaciones en ambientes de alta radiación nuclear, no sólo por el tipo de materiales, sino porque el devanado activo y el de referencia se ven afectados de igual manera, de manera que estos efectos tienden a anularse. Cada devanado se conecta en paralelo con un condensador y el puente de impedancias (cuyos brazos son resistivos) se excita con una tensión C.A. de alta frecuencia.

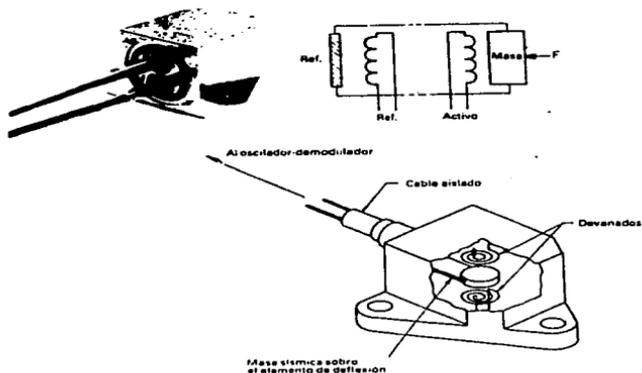


Figura 3.5. Acelerómetro de reluctancia (puente de impedancias, tipo de corrientes en remolino)

La salida C.A. de los acelerómetros por reluctancia varía en fase así como en amplitud, que pueden ser convertidos a C.D. por medio de un demodulador sensible a la fase. Cuando se requiere una operación del transductor con alimentación C.D. se puede usar un oscilador como excitador de C.A. del puente. La frecuencia de la

tensión de excitación debe ser sustancialmente mayor que el límite superior del rango de frecuencias del acelerómetro. El rango de frecuencias de un diseño por puente de inductancias es usualmente mayor que el de los tipos TLVD debido a que el desplazamiento de la masa sísmica es menor.

*Servoacelerómetros.* Los servoacelerómetros utilizan servo-sistemas en bucle cerrado del tipo de fuerza compensada, con el fin de conseguir una elevada precisión así como un elevado nivel de salida, aunque a un precio superior a los otros diseños. La figura 3.6 muestra el principio operativo de un servoacelerómetro típico. La aceleración provoca que la masa sísmica suspendida se mueva, cuando se detecta el movimiento, por medio de un dispositivo sensor de posición se produce una señal que actúa como señal de error de bucle. El sensor de posición en estos diseños es del tipo de corrientes en remolino con excitación de RF. Tras una demodulación y amplificación, la señal pasa a través de una red amortiguada pasiva y es aplicada a un devanado rotor aplicado en el eje de rotación de la masa. El rotor mostrado en este diseño es similar al movimiento d'Arsonval usado en instrumentos de magnitudes eléctricas, el soporte de fricción del eje es también típico de este tipo de instrumentos. El par desarrollado es proporcional a la corriente aplicada al devanado y equilibra, tanto en magnitud como en dirección, el par actuante sobre la masa sísmica en la aceleración previniendo futuros movimientos de la masa. La corriente pasa a través de una carga resistiva de alta estabilidad. La tensión en los bornes de la resistencia,  $E_s$ , es la tensión de salida del transductor.

En los acelerómetros angulares del mismo tipo de diseño la masa sísmica está equilibrada, en los acelerómetros lineales (como se indica) son no equilibradas. Sin embargo los acelerómetros lineales de masa pendular son sensibles a las aceleraciones angulares. Estos tipos de errores se eliminan en diseños del tipo del de la figura 3.7 que es del tipo de fuerza balanceada. Un desplazamiento rectilíneo de la masa sísmica axial es detectado por un sensor capacitivo y un devanado de fuerza mantiene el servo-balance. La corriente del devanado de fuerza y la tensión en los

bornes de una resistencia por la que esta pasa, es proporcional a la aceleración. El rango y respuesta en frecuencia de los servoacelerómetros son dados por las características del amplificador y por la red de amortiguamiento, dentro de unos límites razonables, siendo independiente de las características mecánicas del transductor.

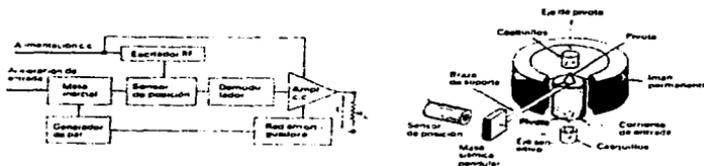
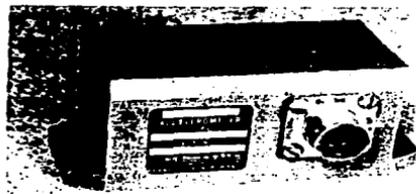


Figura 1.6. Servo-accelerómetro con masa pendular y sensor de desplazamiento por reluctancia

**Acelerómetros de galgas extensiométricas** En los acelerómetros de galgas extensiométricas el desplazamiento del sistema masa-muelle se convierte en un cambio de resistencia, debida a la tensión mecánica, en dos de los cuatro brazos de un puente de Wheatstone (puente de galgas). Las galgas de tensión pueden ser hilos metálicos no enlazados, cables, chapas metálicas entrelazadas o semiconductores. El término "piezoresistivo" se aplica con frecuencia a los transductores que usan galgas



de la masa ser menor con lo que la respuesta a frecuencia así como el nivel de tensión a la salida son considerablemente mayores. Se montan resistencias para la compensación en temperatura dentro del mismo transductor.

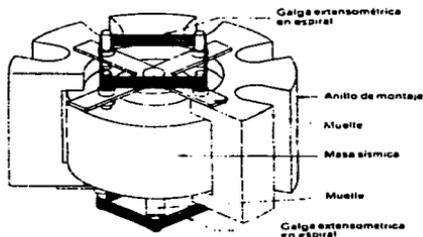


Figura 3.8. Acelerómetro de galga extensiométrica no ligada.

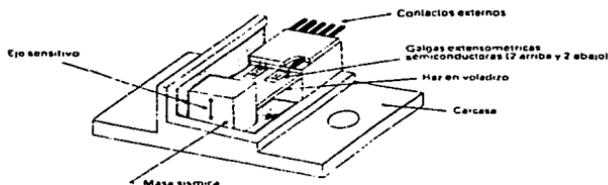


Figura 3.9. Acelerómetro de galgas extensiométricas semiconductoras ligadas.

**Acelerómetros de cable vibrante** En este tipo de diseños la aceleración provoca un cambio en la frecuencia de resonancia de un cable en tensión con un campo magnético permanente, que con el paso de un corriente causa la vibración del mismo. En los acelerómetros lineales la tensión en el cable varía debido al

desplazamiento de la masa sísmica a la que está unido uno de los extremos del cable. En el diseño de acelerómetros angulares la frecuencia del cable varía con la actuación de fuerzas de Coriolis debido a la aplicación de la aceleración angular. Las salidas de estos transductores de naturaleza inherente por modulación de frecuencia pueden ser demoduladas para conseguir una salida C.D., la elección del armazón y el material del cable así como su enlace con la masa es crítico en estos acelerómetros con tal de evitar errores debidos a temperatura, ocasionadas por expansiones mecánicas dentro del montaje mecánico. Con un diseño apropiado, construcción y ajuste, estos transductores pueden tener una elevada precisión.

*Acelerómetros por giroscopio.* El uso de péndulos giroscópicos como acelerómetros viene dado por sus características de precisión. La velocidad de precisión depende de la fuerza ejercida por la masa pendular. La aceleración actúa de manera que la masa crea un par pendular que puede ser compensado por un muelle para proporcionar una sensibilidad a la aceleración y una salida proporcional a la aceleración.

Además de los sensores de desplazamiento capacitivos y reluctivos existen diseños de servoacelerómetros basados en galgas extensométricas y sensores fotoeléctricos. Los transductores pueden generar sus salidas en modulación de frecuencia e incluso en palabras digitales, algunos diseños disponen de una salida discreta que actúa sobre uno o varios puntos del rango (interruptores de aceleración)

### **3.1.2 DESPLAZAMIENTO**

Muchos transductores de desplazamiento miden desplazamientos, detectan movimientos o miden posición por medio de sus ejes sensores, que están mecánicamente unidos o a través de algún mecanismo al punto del objeto cuyo desplazamiento quiere medirse. Excepciones a lo anterior son dadas por sensores de desplazamientos sin contacto en los que se utiliza un acoplamiento óptico, inductivo u otros similares entre el elemento

sensor y el objeto que se quiere medir. Para entender la importancia de los ejes sensores y sus medios de acoplamiento, es preciso pensar que la salida del transductor indica la posición del eje sensor y no la del punto de accionamiento

Para hacer ambas magnitudes iguales se requiere un eje de la forma y consistencia apropiada, así como con dispositivo de acoplamiento adecuado. Este último ha de estar diseñado de manera tal que esté libre de juegos o percusiones, y de demora cuando es accionado. Algunos diseños de transductores de desplazamiento incorporan previsiones, con tolerancias, para poder minimizar la falta de alineamiento entre el punto de medida y el eje sensor.

A continuación se detallan algunos de los principales transductores de desplazamiento.

*Transductores de desplazamiento capacitivos.* En la figura 3.10 a, 3.10 b, 3.10 c y 3.10 d se muestra diversas versiones de transductores en los que un cambio de capacidad es proporcional a cambios de desplazamiento. En el diseño *dieléctrico móvil* (a) ambos electrodos del condensador tienen posiciones fijas. Un casquillo realizado de material aislante con una constante dieléctrica diferente a la del aire se desliza dentro y fuera del conjunto de electrodos. Cuando el casquillo es extraído del conjunto de electrodos aumenta la superficie del electrodo que va al aire como dieléctrico y disminuye la superficie del electrodo que va la material del casquillo como dieléctrico. El resultado global consiste en un cambio de capacidad proporcional al movimiento axial del casquillo. Un principio similar se utiliza en transductores usados para determinar el espesor de una película de un líquido sobre otro líquido, donde los dos líquidos tienen constantes dieléctricas distintas (ej. aceite en agua). En un diseño particular el movimiento angular de un pantalla semicircular (más conductora que el dieléctrico) en el interior del espacio formado entre un electrodo circular y un electrodo moldeado en arco, ambos estacionarios, varía el acoplo entre los dos electrodos.

Dos versiones de diseño tipo *rotor-móvil* se ilustra en la figura 3 10. En el transductor de *estator único* (c) un electrodo conductor cilíndrico se desliza dentro y fuera de un electrodo conductor estacionario cuya superficie interna está recubierta de material dieléctrico. El desplazamiento del rotor causa cambios de la capacidad entre los electrodos. En el transductor de tipo *estator dividido* (d) el rotor consiste en un número de electrodos acoplados eléctricamente interconectados, cada uno de los cuales se mueve entre dos armaduras (estatores) estacionarias. Las armaduras del estator superior, interconectadas, forman la otra sección del estator dividido. Las armaduras inferiores interconectadas forman la otra sección. Cuando la armadura del rotor se mueve, la capacidad de una sección aumenta en tanto que la capacidad de la otra sección disminuye.

En los transductores de desplazamiento capacitivos *sin contacto* (b) el objeto a medir actúa como el rotor, que se mueve en relación al transductor, que es simplemente un estator, aislado de su montaje. Este montaje, así como el objeto medio, debe ser puesto a tierra.

En el uso y diseño de transductores capacitivos un conjunto de fuentes de error conocidas deben ser eliminadas. La capacidad en el cable de interconexión entre el transductor y la electrónica debe ser de muy bajo valor y debe permanecer fijo. Usualmente es ventajoso mantener este cable muy corto y colocar la electrónica cercana o integral con el elemento transductor. El transductor debe estar constituido de manera que no exista ningún movimiento indeseado, como juegos en la estructura mecánica. El diseño de los electrodos debe estar protegidos de campos dispersos. El diseño debe incluir compensación del efecto de temperatura o estar diseñados de manera tal que el efecto de la temperatura no produzca errores significativos. La linealidad del transductor depende de los electrodos tanto mecánica como eléctricamente.

**Transductores de desplazamiento inductivos.** Los transductores que convierten el desplazamiento, (usualmente lineal) en un cambio de la inductancia de un simple devanado pueden ser agrupados en dos versiones, los acoplados mecánicamente y los libres de contacto (fig. 3.11). El diseño acoplado emplea un núcleo magnético permeable deslizante, que se mueve dentro de un devanado (bobina). El eje sensor determina el movimiento del núcleo. Cuando el núcleo se mueve, el devanado cambia su inductancia. El devanado puede conectarse a un oscilador LC de modo que el cambio de inductancia implica un cambio de frecuencia en la salida. Más frecuentemente, el devanado actúa como brazo de un puente de impedancias cuya salida C.A. (cuando el puente se excita con corriente C.A.) refleja el cambio de inductancia. Un segundo devanado (devanado de referencia o equilibrado) se conecta usualmente en el brazo adyacente del puente de impedancias. Este devanado, cuya inductancia no se ve influida por los cambios de desplazamiento, se monta de manera integral con el devanado sensor. Esto reduce los efectos indeseables debidos a los contactos, causa los mismos efectos térmicos y en algunos casos ajusta el devanado de referencia al punto de medida.

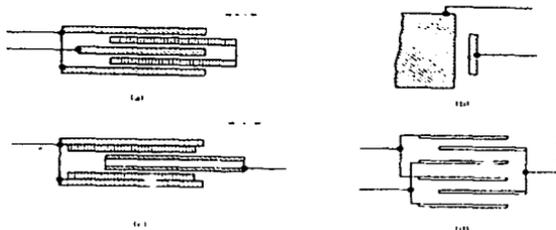


Figura 3.10 Elementos de transductor de desplazamiento capacitivo a) dieléctrico móvil, b) rotor móvil, sin contacto, c) rotor móvil, estator único, acoplado, d) rotor móvil, estator hendido, acoplado

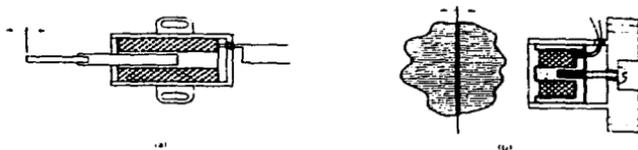


Figura 3.11. Tipos básicos de transductores de desplazamientos inductivos: a) acoplado; b) sin contacto.

Los diseños sin contacto son más comúnmente usados que los diseños de acoplamiento. La proximidad relativa del devanado sensor al objeto a medir causa cambios en la inductancia del devanado. Aunque las medidas son factibles cuando el objeto está hecho de un material diamagnético altamente conductor o material paramagnético, el método es más eficaz cuando el objeto está realizado de material ferromagnético que tiene alta permeabilidad. Los rangos de medida a fondo de escala de estos transductores son típicamente del orden de 1.5 cm.

En la figura 3.12 se ilustra una variación de diseño de transductor de desplazamiento inductivo sin contacto. Los desplazamientos del objeto a medir, que debe ser conductor pero no necesariamente ferromagnético, causan cambios en las corrientes en remolino que causan, a su vez cambio en la impedancia del devanado sensor. Un devanado de referencia se integra en el montaje del transductor. Los transductores de este tipo están diseñados para operar continuamente a temperaturas de hasta 600 °C. Una unidad electrónica asociada provee de excitación al puente así como ajustes de equilibrio del puente y conversión C/A a C/D.

Un diseño específico es el denominado transductor de proximidad electromagnético, que contiene un devanado con un núcleo fijo. Estos transductores responden a cambios de proximidad de un objeto metálico (cambios en flujo

magnético). También son usados los devanados sensores en algunos diseños de tacómetros y medidores de caudal.

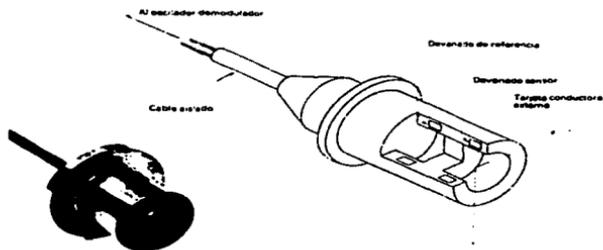


Figura 3.12. Transductores de desplazamiento inductivo (tipo de corrientes en remolino).

**Transductores de desplazamiento por reluctancia.** En esta categoría se incluyen todos los transductores que convierten un desplazamiento en variaciones de tensión C.A. mediante el cambio del cambio de reluctancia entre dos o más devanados (arrollamientos) en presencia de una excitación C.A. en los devanados. Algunos de los tipos ilustrados en la figura 3.13 son ampliamente utilizados. El más popular es el tipo de transformador diferencial que es usado tanto para desplazamientos lineales como angulares (TDVL = transformador diferencial para variaciones lineales y TVDR = transformador diferencial para variaciones angulares). Lo mismo acontece para el tipo de puente de inductancias menos ampliamente utilizado. Los potenciómetros de inducción, sincro (selsyn), resolver, microslyn y los generadores de señal de espira cortocircuitada se usan para medir sólo desplazamientos angulares.

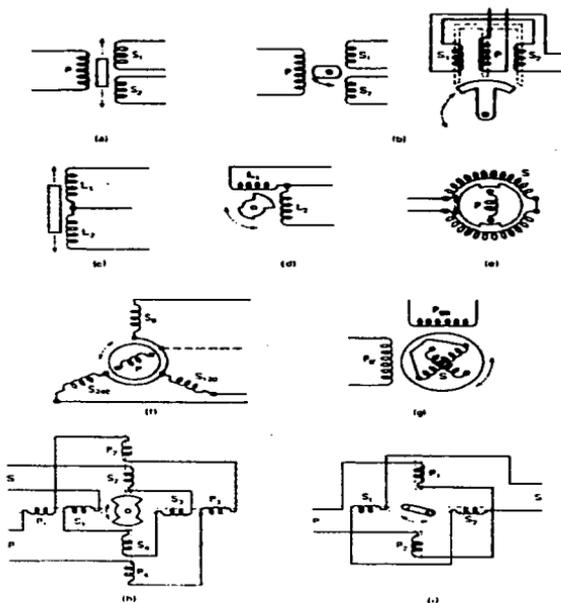


Figura 3.13 Transductores de desplazamiento por reluctancia

En la figura 3.14 se muestra la construcción de un transductor de desplazamiento TDVL típico. El arrollamiento primario y los dos arrollamientos secundarios están montados sobre una forma hueca, hecha de material aislante y no magnético. El núcleo ferromagnético es capaz de aceptar una de las variedades de los

ejes sensores El conjunto de arrollamientos se encapsula dentro de una caja cilíndrica y los electrodos de conexión se colocan fuera de dicho encapsulado. La caja está fabricada normalmente con material ferromagnético que actúa como blindaje magnético En la figura 3 15 se muestra un transductor de diseño similar, pero incorporado un circuito de conversión C D - C D en el encapsulado.

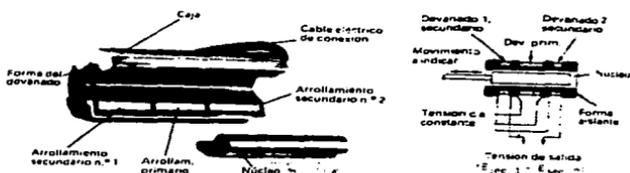


Figura 14 Transductores de desplazamiento lineal por reluctancia (TDVL).

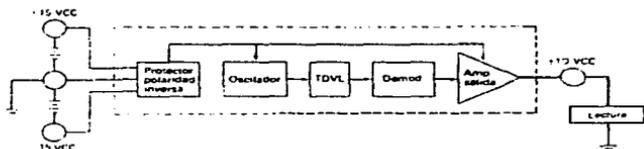


Figura 3.15 Transductor de desplazamiento lineal por reluctancia (TDVL) con excitación CD y salida CD

Los transductores de desplazamiento con ejes con muelle de carga, como el tipo TDVL mostrado en figura 3 16, son a veces denominados "cabeza de galgas" por ser comúnmente usados en equipos de inspección y equilibrado de máquinas herramientas El eje sensor se guía mediante casquillos El tipo y la forma de soportes usados pueden provocar errores de receptividad en el transductor

Los transductores del tipo puente de inductancias se usan tanto para la medida de desplazamientos lineales como angulares. Dos devanados y el núcleo se montan de manera que la inductancia de uno de los devanados aumenta mientras que la del otro disminuye al entrar en movimiento el núcleo. Este conjunto de dos devanados configura los dos brazos de un puente C.A. de cuatro brazos. Los otros dos brazos son normalmente resistivos. También este tipo de transductores incorporan circuitos conversores C.D. - C.D.

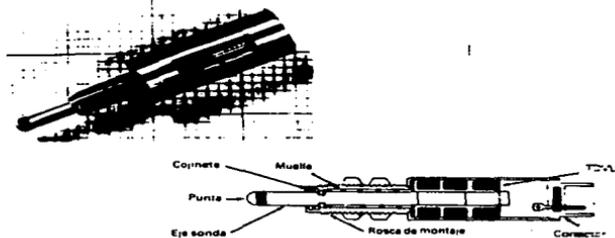


Figura 3.16 Transductor de desplazamiento lineal por reluctancia con eje con muelle pretensado

**Transductores de desplazamiento potenciométricos.** Este tipo de dispositivo es relativamente simple. Un contacto deslizante (escobilla) se mueve sobre un elemento resistivo. El contacto está ligado directamente o a través de un mecanismo al eje sensor. La palanca está eléctricamente aislada del eje sensor. Se encuentran transductores potenciométricos tanto de desplazamiento lineal como angular (fig. 3.17). En algunos transductores lineales una segunda escobilla puede corregir los problemas ocasionados por una flexión en los soportes (fig. 3.17b). La salida es una tensión fracción, proporcional al desplazamiento, de la excitación. El elemento

resistivo (potenciométrico) puede contar con uno o más contactos eléctricos en posiciones específicas.

Cuando el elemento potenciométrico es bobinado (típicamente de platino o níquel) la resolución viene dada por el número de vueltas por unidad de longitud. Para obtener una resolución alta se acostumbra a utilizar resistencias elevadas formadas con un hilo delgado. Esto sin embargo, puede ocasionar errores al variar la carga del transductor debido a la elevada impedancia de salida. Los elementos potenciométricos de resolución continua están realizados de plástico conductor, película de carbón, película metálica o mezclas metal-cerámica. El eje alrededor del cual se bobina el hilo es de material aislante o metálico recubierto de aislante.

Existen diversas formas de escobilla y son fabricadas, normalmente, de aleaciones de materiales preciosos con cobre. Para minimizar los efectos de los golpes o vibraciones externas se utilizan muelles tensores o escobillas dobles

*Transductores de desplazamiento por galgas extensométricas.* Los sensores de desplazamiento por galgas extensométricas son raramente usados como tales, siendo mucho más aplicados como elementos transductores accesorios de otros transductores (ej. células de carga, acelerómetros) o sistemas sensores (ej. sondas de peso, control de tensión). Así pues estos transductores están basados en el uso de haces elásticos o flexores a los que están unidas las galgas extensométricas una galga en tensión y otra en compresión (fig. 3.18). Estas galgas configuran semipuentes de dos elementos activos. En la figura 3.19 se muestra un ejemplo que utiliza galgas semiconductoras (piezorresistivas). Un encapsulado cerámico garantiza una capa de aislamiento elástico entre las dos galgas y el haz deflector. Existen diversas configuraciones de ejes sensores y bases de montaje, a continuación se muestran dos arreglos típicos

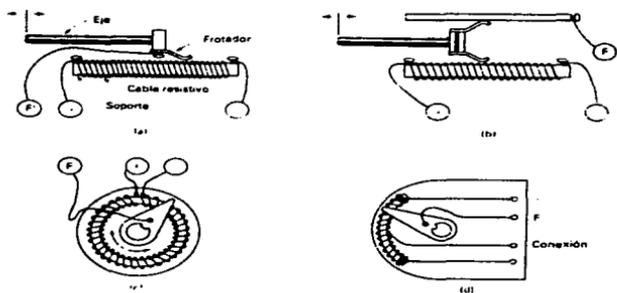


Figura 3.17. Tipos básicos de transductores de desplazamiento resistivos: a) lineal básico; b) lineal con barra de conexión, c) angular una vuelta; d) angular con conexión en sector.

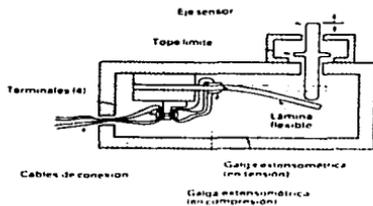


Figura 3.18. Diseño básico de transductor de desplazamiento con galga extensiométrica

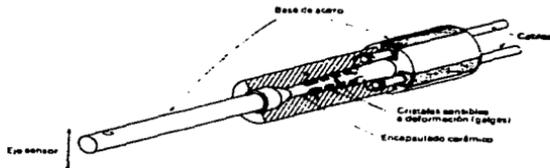


Figura 3.19. Sensor de desplazamiento con galgas extensiométricas semiconductoras.

**Transductores de desplazamiento por hilo vibrante.** Este principio, de hilo vibrante, se utiliza para medir desplazamientos muy pequeños. Un cambio de desplazamiento origina un cambio de tensión en un hilo delgado conectado a un circuito oscilante realimentado, variando también como consecuencia la frecuencia de oscilación. Dispositivos de este tipo se usan para medir desplazamientos de hasta  $50 \mu m$ .

**Transductores de desplazamiento electroópticos.** Los sensores de desplazamiento electroópticos sin contacto son los más típicos sensores. Estos dispositivos, que pueden ser usados para medir posición o desplazamiento y tienen su aplicación principal en la calibración de piezas mecánicas.

Cuando la superficie de un objeto, cuyo desplazamiento quiere medirse, y la superficie de éste es adecuada puede usarse un par fuente/sensor de luz para medir desplazamientos pequeños. En la figura 3.20 se ilustra este principio, la salida del sensor decrece exponencialmente con la distancia al objeto. Algunos diseños avanzados utilizan fibras ópticas para emitir y recibir la luz reflejada por la superficie, pudiendo medir pequeños desplazamientos con elevada resolución. Cuando la superficie no es reflejante puede adherirse a la superficie un reflector.

Los haces luminosos pueden ser de intensidad constante o modulada a una frecuencia determinadas (dependiendo del tiempo de respuesta del sensor y de la aplicación) pudiendo ser troceados o pulsantes.

En general se utilizan diodos emisores de luz infrarroja (LED) como fuente de luminosa, sin embargo también es usado el LASER debido a que ofrecen un haz luminoso monocromático, coherente y bien colimado.

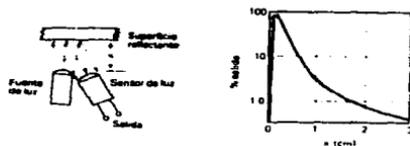


Figura 3.20. Métodos de sensores de desplazamiento mediante reflexión.

Un método muy utilizado en la medida de espesores delegados o en general distancias entre el elemento sensor (fuente laser y los sensores) y la superficie, es el de *triangulación*. La interacción del laser con la superficie se observa desde los sensores con el mismo ángulo pero en direcciones opuestas. La posición del objeto puede determinarse a partir de las salidas de los dos sensores. Una variación de este método emplea dos haces laser a igual ángulo aunque opuestos respecto a la normal de la superficie. Los sensores de imagen detectan la distancia entre los laser cuya distancia al objeto quiere medirse (por ejemplo, la anchura de objeto una de cuyas caras tiene una posición conocida)

**Codificadores lineales y angulares.** Se pueden medir desplazamientos, tanto lineales como angulares, por métodos que generan una salida digital, sin necesidad de usar un convertidor analógico-digital. Este tipo de transductores es conocido como codificadores lineales y codificadores angulares. Tres métodos de transducción se utiliza en los codificadores (fig. 3.21). En el codificador del tipo de escobillas un

disco móvil contiene segmentos conductores y aislantes en su superficie. Los elementos conductores y aislantes en su superficie. Los elementos conductores están unidos a un mismo punto eléctrico. Cuando la escobilla entra en contacto con un segmento conductor se produce un cierre del circuito. Cuando toca a un segmento aislante el circuito se abre. Cuando se excita convenientemente el sistema la salida ve una tensión (1) cuando hay contacto con un segmento conductor y ve un cero de tensión (0), cuando contacta con un segmento aislante. En el codificador óptico o fotoeléctrico un disco transparente tiene una serie de segmentos opacos en su superficie. Estos interrumpen un haz de luz dirigiendo a un sensor de luz. Así se produce una salida "1" si se tiene encarada una sección transparente o una salida "0" si se tiene encarado un segmento opaco. En el codificador magnético, un disco móvil tiene una superficie segmentada en áreas magnetizadas o no magnetizadas. Un núcleo ferromagnético provisto de un arrollamiento de entrada y un arrollamiento de entrada. Cuando el núcleo está sobre un segmento no magnetizado el núcleo no se satura y se produce una señal de salida (1). Cuando el núcleo está sobre un segmento magnetizado se satura y por tanto no hay señal de salida (0).

*Dispositivos radar y sonar, sensores de distancia.* En esta categoría se incluyen los sensores, que emiten un pulso de energía hacia un cuerpo, determinado la distancia al mismo tiempo transcurrido desde la emisión del pulso hasta la recepción del pulso reflejado (eco). El elemento en cuestión es capaz de trabajar tanto en modo emisor como receptor y debe dar como salida una información proporcional al tiempo transcurrido. El número de pulsos emitidos por unidad de tiempo es la frecuencia de repetición. En la medida de distancias del orden de 0.3 a 5 m, se utilizan longitudes de onda del orden de ultrasonidos (RF de baja frecuencia) especialmente en medidas submarinas. Longitudes de onda muy cortas caracterizan a los sensores como radares de seguimiento o como radares de altura que llegan a la región de microondas. Longitudes de onda todavía más cortas se usan en los altímetros lasers y sensores de distancia sofisticados.

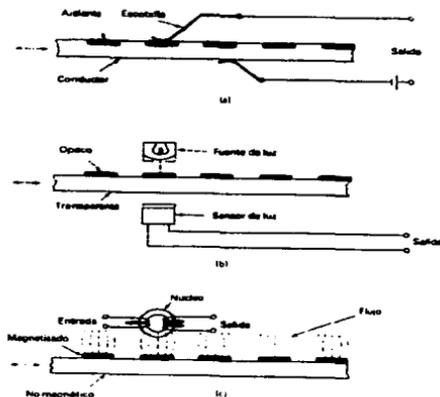


Figura 3.21. Métodos de transducción codificada: a) tipo escobilla; b) tipo fotoeléctrico; c) tipo magnético.

### 3.1.3 DEFORMACIÓN

Aunque las deformaciones pueden medirse por los métodos de reluctancia, capacitiva y cables vibrantes así como por métodos fotoópticos (foto-esfuerzos), el dispositivo más comúnmente usado para esta medida son los sensores de deformación resistivos o galgas extensométricas que consiste, esencialmente, en un conductor o semiconductor de pequeña sección que se monta sobre la superficie a medir, de manera que sigue las pequeñas elongaciones o contracciones debidas a las tensiones o compresiones de la superficie. Como consecuencia, la galga extensiométrica sufre un cambio de resistencia debido al esfuerzo (efecto piezorresistivo).

El cambio de resistencia de una galga extensiométrica se convierte, usualmente, en una tensión al conectar una, dos o cuatro galgas similares como brazos de un puente de Wheatstone y aplicar una excitación al puente. La tensión de salida del puente es una medida de las deformaciones en las galgas (galgas activas). A veces algunas galgas del puente no se montan sobre la superficie sensible de manera que no es afectada por las deformaciones, tomando una función de equilibrio o compensación (galgas pasivas).

El esfuerzo se relaciona con la deformación a través de la *Ley de Hooke*: el módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo y la deformación. Así, si se conoce el módulo de elasticidad del objeto cuya deformación se mide, se puede determinar el esfuerzo soportado. Esto es cierto teóricamente, aunque sólo se use una única galga. Cuando se usa dos o más galgas, se puede medir los esfuerzos en las direcciones de orientación de éstas, las ecuaciones varían su grado de complejidad según la combinación y orientación de las galgas.

*Galgas extensométricas de hilo metálico.* Las galgas de hilo son las más sencillas, se encuentran en configuraciones fijas, de superficie transferible o soldables. El hilo usado en este tipo de galgas es de un diámetro menor que 0.025 mm. Las galgas de fijación están pegadas a una base (portador) de dimensiones estables. Las galgas soldables están embutidas entre dos armaduras de metal delgado y rodeado por material aislante, el encapsulado se finaliza cerrando las armaduras de metal delgado y rodeado por material aislante; el encapsulado se finaliza cerrando las armaduras entre sí. Las galgas de superficie transferible están pensadas para extraerlas cuidadosamente del portador y pegarlas sobre la superficie a medir. Al cubrir, las galgas de hilo, un área de superficie muy pequeña se reduce la posibilidad de que las corrientes se fugen por la superficie a medir.

Cuando se desea medir deformaciones en varias direcciones pueden usarse galgas multielemento. Estas galgas son invariablemente del tipo apiladas, en donde una rejilla se superpone a la otra siempre con independencia de contactos y aislados con un fijador u otro material apropiado.

*Galgas extensiométricas laminares metálicas* Los refinamientos en las técnicas de fotograbado permite el desarrollo de galgas extensiométricas laminares metálicas de bajo costo. este tipo de galgas tiene actualmente una gran aceptación, no solo por el reducido costo sino por presentar una serie de ventajas sobre las galgas de hilo. Se fabrican de dimensiones diversas, incluso de dimensiones muy pequeñas; tienen una buena estabilidad en el tiempo, son más estables térmicamente y debido a su pequeña superficie siguen mejor la temperatura de la superficie medida.

Las galgas fabricadas con fotograbados finos son tratadas térmicamente y tienen un espesor de lámina de algunos  $\mu m$ . En la figura 3.22 se muestran galgas típicas.

Las galgas laminares tienen geometrías muy variadas, la más común, para aplicaciones generales, es una rejilla con una longitud mucho mayor para el eje sensor, para lograr que sea insensible a deformaciones laterales.



Figura 3.22 Galgas extensiométricas de lámina metálica

Las galgas laminares, así como sus procesos de fabricación, son muy indicadas para hacer galgas del tipo roseta. En la figura 3.23 se muestra varios ejemplos de rosetas, de dimensiones entre uno o varios milímetros para la roseta completa. Las rosetas a  $90^\circ$  pueden medir deformaciones axiales y transversales simultáneamente. Una variación de este diseño es la galga "galga esfuerzo" en la que los dos elementos tienen resistencias diferentes. Estas resistencias se seleccionan de

manera que su relación es proporcional al esfuerzo y la salida del elemento axial es proporcional a la deformación. La figura 3.23b muestra una galga de "esfuerzo cortante" cuya geometría permite colocarlos según los esfuerzos cortantes del objeto y se usan en transductores de par y barras de torsión.

Las rosetas de tres elementos se utilizan en configuraciones en donde se quiere determinar la distribución de esfuerzos en una carga compleja. Las rosetas a  $45^\circ$  ofrecen una resolución angular mayor que las rosetas de  $60^\circ$ , sin embargo, estas se usan en aplicaciones donde la dirección principal de deformaciones se conoce. Las "galgas de diafragma" (fig. 3.23g) se usan como elementos sensores de los diafragmas en los transductores de presión. Las galgas multielemento se utilizan en otros elementos sensores como en vigas acodadas.

*Galgas extensiométricas de metal depositado.* Se pueden aplicar galgas extensiométricas de película delgada directamente sobre la superficie mediante métodos de evaporización o bombardeo.

Este tipo de galgas es muy utilizada en los diafragmas sensores de presión. La técnica de película delgada ofrece galgas en configuración de cuatro brazos activos, que no solo son más pequeñas en dimensiones sino que tienen unas características más uniformes.

*Las galgas extensiométricas fijadas al juego* se utilizan en superficies que estarán expuestas a ambientes muy hostiles como las paredes de un cohete, inicialmente se aplica un sustrato fijando al fuego partículas cerámicas propulsadas a alta velocidad y alta temperatura hacia la superficie.

Sobre el sustrato se aplica una galga extensiométrica, normalmente de hilo metálico delgado, siendo encapsulado mediante un segundo sustrato cerámico.

manera que su relación es proporcional al esfuerzo y la salida del elemento axial es proporcional a la deformación. La figura 3 23b muestra una galga de "esfuerzo cortante" cuya geometría permite colocarlos según los esfuerzos cortantes del objeto y se usan en transductores de par y barras de torsión

Las rosetas de tres elementos se utilizan en configuraciones en donde se quiere determinar la distribución de esfuerzos en una carga compleja. Las rosetas a 45° ofrecen una resolución angular mayor que las rosetas de 60°, sin embargo, éstas se usan en aplicaciones donde la dirección principal de deformaciones se conoce. Las "galgas de diafragma" (fig. 3 23g) se usan como elementos sensores de los diafragmas en los transductores de presión. Las galgas multielemento se utilizan en otros elementos sensores como en vigas acodadas

*Galgas extensométricas de metal depositado.* Se pueden aplicar galgas extensométricas de película delgada directamente sobre la superficie mediante métodos de evaporización o bombardeo

Este tipo de galgas es muy utilizada en los diafragmas sensores de presión. La técnica de película delgada ofrece galgas en configuración de cuatro brazos activos, que no sólo son más pequeñas en dimensiones sino que tienen unas características más uniformes

*Las galgas extensométricas fijadas al fuego* se utilizan en superficies que estarán expuestas a ambientes muy hostiles, como las paredes de un cohete, inicialmente se aplica un sustrato fijando al fuego partículas cerámicas propulsadas a alta velocidad y alta temperatura hacia la superficie

Sobre el sustrato se aplica una galga extensométrica, normalmente de hilo metálico delgado, siendo encapsulado mediante un segundo sustrato cerámico

***Galgas extensiométricas semiconductoras*** Las galgas semiconductoras tienen restricciones de aplicación debido a que al estar fabricado con silicio son muy frágiles. El cambio resistivo de las galgas semiconductoras no es lineal y además tiene una gran dependencia con la temperatura.

Debido a su capacidad de producir tensiones de salidas elevadas (al colocarse en puente) con pequeñas deformaciones, se utilizan galgas semiconductoras en transductores como acelerómetros, transductores de fuerza y presión, entre otros. La auténtica ventaja de este tipo de galgas se encuentra precisamente en que es rígida, lo que facilita la medición de deformaciones pequeñas, por lo cual se pueden utilizar elementos rígidos como sensores, con una mayor estabilidad y una mayor respuesta en frecuencia.

Los fabricantes de transductores disponen de equipos de ingeniería expertos en aplicación de estas galgas así como resolver la no linealidad y la compensación de temperatura, así pues se han establecido técnicas de compensación térmicas basadas en provocar variaciones en las impurezas de los depósitos y consecuentemente la concentración de portadores en el semiconductor.

En la figura 3.24 se muestra diversas configuraciones de galgas extensiométricas semiconductoras. Las galgas pueden ser desnudas (de superficie transferible) o encapsuladas en un portador.

***Galgas de aplicaciones especiales*** Las galgas posrecuperación, fabricadas con Constantan templado y un portador de elevada elongación, se utilizan para la medida de deformación posrecuperación, es decir la deformación producida después de que el objeto ha sido cargado alrededor del punto de fluencia. Tienen un desplazamiento nulo al estar sometidos a un ciclo de deformaciones elevado.

Las galgas de vida-fatiga tienen apariencia de galgas extensiométricas laminares y se instalan de la misma manera. El material de la lámina se escoge y trata

de manera que da la galga su esencial característica las cargas cíclicas causan cambios irreversibles en la resistencia. Datos indicativos sobre las fatigas destructivas de una estructura se pueden obtener instalando galgas en un réplica de la estructura y aplicando una excitación a la estructura hasta su ruptura, midiendo la historia de las fatigas con la galga

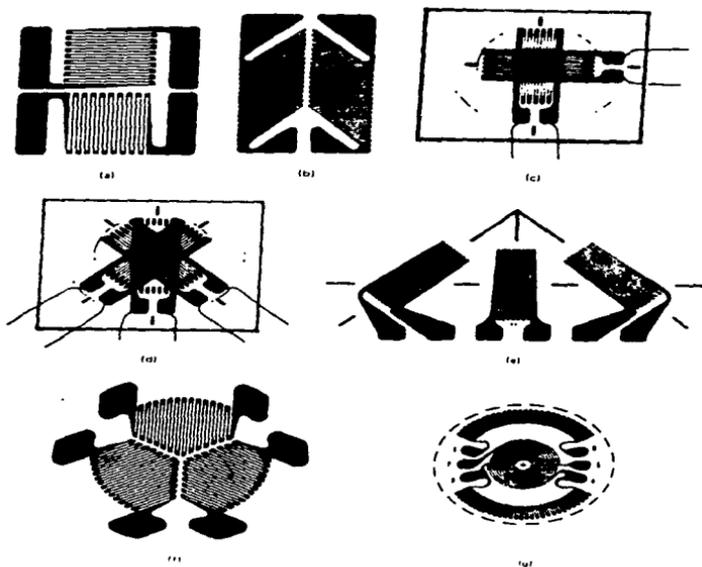


Figura 1.23 Ejemplos de galgas laminares en roseta

Las galgas de propagación de ruptura consisten en rejillas laminares muy delgadas con un número de conductores paralelos situados en la proximidad y unidos a dos barras de conexión en sus extremos. Se utilizan cuando se quiere conocer la forma de la ruptura de una superficie. Se aplica la galga a la superficie que va entrar en ruptura, al ocurrir la ruptura, los hilos de la galga se van rompiendo secuencialmente. Como los conductores se aplican en paralelo, la resistencia entre barras da información sobre la historia de la propagación de la ruptura.

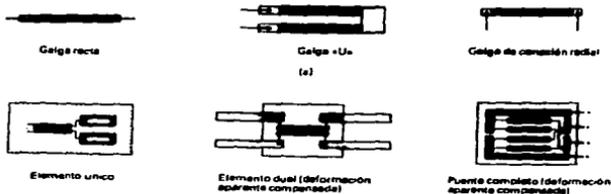


Figura 3.24. Configuraciones típicas de galgas extensiométricas semiconductoras  
a) galgas en barra. b) galgas encapsuladas

### 3.2 ACONDICIONADORES

Los acondicionadores, en un sistema de instrumentación electrónica, son los elementos encargados de modificar y preparar la señal proveniente del transductor, de tal suerte, que a la salida de éste se presente exclusivamente la señal de interés.

Las principales funciones que ofrece un acondicionador se discuten en los siguientes párrafos:

- **Amplificación.** Debido a que la señal de salida que presentan algunos transductores es relativamente pequeña, es necesario amplificarla, pues en el caso

de ser procesada directamente no se obtendrán resultados confiables debido a que la relación señal ruido es baja

- **Filtrado.** En muchas ocasiones la señal de interés viene acompañada de otras señales indeseables (ruido) y para eliminarlo se filtra la señal con lo que se conserva sólo la parte esencial y útil de ésta.
- **Modulación.** Con este proceso se modifican ciertas características de una señal en función de otra que se denomina moduladora .
- **Acoplamiento de impedancias.** El acondicionador permite la conexión entre el sensor y el resto del sistema permitiendo una adecuada transferencia de energía.

En el mercado existen diferentes compañías que ofrecen acondicionadores, sin embargo prácticamente todos éstos solo cubren a unos cuantos transductores (básicamente termopares, celdas de deformación y cualquier transductor que entregue voltaje como salida) e incluso algunos de ellos solamente pueden ser utilizados en conjunto con computadoras, tarjetas de adquisición de datos y/o programas específicos.

A continuación se presenta una tabla de diferentes tipos de acondicionadores comerciales, para sistemas de adquisición de datos controlados por computadora personal, y algunas de sus características más comunes (para sistemas de adquisición de datos controlados por computadora personal).

De la tabla 3.1 se puede observar que, como es lógico, no todos los acondicionadores ofrecen las mismas funciones y su costo depende de las diferentes funciones que agrupa.

### 3.2.1 DESCRIPCIÓN DEL ACONDICIONADOR USADO

El acondicionador desarrollado cumple varias de las funciones anteriormente expuestas y en este caso son controladas por el mismo programa de adquisición de datos a través de un puerto paralelo de aplicación específica y una computadora personal

		Opciones de acondicionamiento de señal para diversos sensores y tipos de señales												
		Clase de acondicionamiento de señal	SC-3040	SC-3042 RTD	SC-3043 5G	AMUX 44T	SC-307X	SCB-48110	SERIE 68	SERIE 68	EP-416	SC-308X	Series SIM	Conexión Directa
Entradas analógicas	Tipo de sensor/senales													
Entradas digitales	Acondicionamiento de señal general													
		Termopares												
		RTDs		*										
		Termistores		*										
		Galgas extensiométricas (presión, carga, fuerza, torque)			*									
		Potenciometro/resistencia			*									
		Entrada de corriente 0-20 o 4-20 mA			*		*	*	*	*	*	*	*	*
		Entradas de milivoltios/voltios	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		Altos voltajes (superiores a 250 Vrms)			*									
		Amplificación			*									
		Aislamiento			*									
		Filtrado de ruido			*									
		Alimentación para transductores			*									
		Multiplexación			*									
		(superior a 64 canales)			*									*
		(De 65 a 256 canales)			*									*
		(De 256 a 3072 canales)			*									*
		Muestreo y retención simultáneamente	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		Filtrado "Anti aliasing"			*									*
		Nivel TTL y Cmos de E/S			*									*
		E/S aisladas ópticamente			*									*
		Alto voltaje CA/CD			*									*
		Relés electromecánicos			*									*
		Relés de estado solido			*									*
		Entradas de frecuencia			*									*
		Codificadores			*									*
		Sensores fotoelectrónicos			*							*	*	*
		Sensores de proximidad			*							*	*	*
		Sensores tipo interruptor/contacto			*							*	*	*

LC - bajo costo

NSC - sin acondicionamiento de señal

Tabla 3.1



Figura 3.25 Diagrama del acondicionador

Como se puede observar en la figura 3.25, el acondicionador cuenta con un restaurador, una etapa de ajuste fino de cero, un amplificador de ganancia variable, un filtro sintonizable paso-bajas de octavo orden y un amplificador de salida de ganancia tres. A continuación se explica la función de cada uno de los elementos que lo componen.

**Restaurador.** En el caso de algunos transductores presentan una salida diferente de cero debido a que no es posible eliminar toda excitación para que el transductor entregue una salida cero, por ejemplo, en el caso de los servoacelerómetros la fuerza de gravedad siempre actúa sobre éstos, incluso muchas veces la fuerza de gravedad es mayor a las aceleraciones que se desean medir, así pues es necesario eliminar los efectos causados por esta para poder medir la señal de interés, esta tarea es realizada por el restaurador ya que este añade una corriente o voltaje que anula la excitación parásita.

Adicionalmente el restaurador permite excitar al transductor mediante una fuente de voltaje programable por medio de la computadora personal.

**Ajuste de ceros.** En esta etapa se busca eliminar los efectos de la excitación parásita antes mencionada, con lo cual es factible amplificar la señal sin saturar al amplificador que se encuentra a continuación

**Amplificador** El amplificador tiene la función, como su nombre lo indica, de amplificar la señal de interés, y la ganancia de éste es programable por medio del programa de adquisición de datos en pasos de 1, 10, 100 y 1000

**Filtro** El filtro utilizado es de octavo orden de tipo monolítico basado en la técnica del capacitor conmutado y con frecuencia de corte sintonizable

### 3.3 TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Después del acondicionador existe un dispositivo donde se convierte la señal analógica a una señal digital. Estos dispositivos son llamados comúnmente tarjetas de adquisición de datos. Existen una gran variedad de tarjetas de adquisición de datos y su elección depende de varios criterios los cuales en general giran alrededor del convertidor analógico-digital esto es su resolución, tipo de conversión, velocidad de conversión (frecuencia de muestreo), número de canales de E/S, flexibilidad, fiabilidad, capacidad de expansión etc.. En general las tarjetas de adquisición de datos se pueden clasificar por alguna de sus características:

Tarjetas de adquisición de datos	Resolución de conversión	{	Doble rampa
			Aproximaciones sucesivas
	Tipo de convertidor	{	Flash
			No de muestras por canal
	Velocidad	{	No de muestras por segundo
			No de canales de E/S
Transferencia de datos	{	Poleo	
		Interrupciones	
Capacidad de expansión	{	DMA	

A continuación se dará una breve explicación de algunas de estas características

**Resolución.** Los convertidores, analógicos-digitales o digitales-analógicos, difieren principalmente por su resolución al convertir una señal analógica a un señal digital o viceversa y esta es dada por el número de bits del convertidor, esto es, a un

mayor número de bits la resolución de conversión podrá representar números más pequeños con lo cual se tendrá una mejor aproximación del voltaje de entrada.

**Tipo de convertidor.** Existen diferentes técnicas para la conversión analógico-digital, cada una de estas, como es natural, tiene ventajas y desventajas las cuales se ven reflejadas en la velocidad, resolución y costo. Las principales técnicas son la de doble rampa, aproximaciones sucesivas y *Flash*, a continuación se detallan estas.

- **Doble rampa.** Las partes esenciales del convertidor son el integrador, el comparador de cruce de cero, el voltaje de referencia, y la lógica digital. La operación comienza una salida del integrador de 0V, entonces se integra la entrada analógica con pendiente positiva, después se conmuta la entrada del integrador a un voltaje de referencia que hace que el integrador cambie de pendiente.
- **Aproximaciones sucesivas.** El funcionamiento de este convertidor, se basa en comparaciones sucesivas entre la entrada analógica y la salida de un convertidor digital analógico. El proceso es parecido al de ponderación en el cual la cantidad desconocida se compara con una cantidad de referencia. La ponderación se efectúa de forma sistemática, la primera comparación determina en qué mitad de intervalo se encuentra el voltaje de entrada, es decir si este es mayor o menor que  $\frac{1}{2}$  del voltaje máximo, donde el voltaje máximo es la máxima entrada analógica posible del convertidor. En el siguiente paso se determina en qué cuarto de intervalo se encuentra el voltaje de entrada. Cada paso consecutivo hace más estrecho el intervalo del posible resultado por un factor de un  $\frac{1}{2}$ .

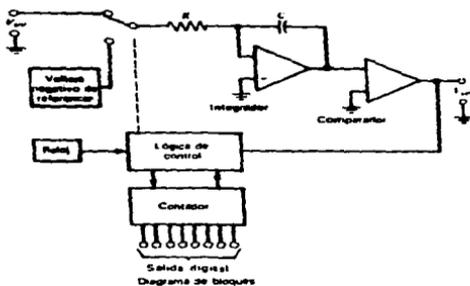


Figura 3.26. Convertidor ADC de doble rampa

- Flash.** En este ADC la señal se aplica simultáneamente a  $2^n - 1$  comparadores para una resolución de  $n$  bits. cada comparador está polarizado un paso de voltaje lejano de los comparadores vecinos por medio de una resistencia. Cuando el voltaje critico de un comparador es excedido por la señal de entrada analógica, el comparador cambia su estado lógico. Las salidas que se obtienen de este modo se codifican y bloquean. La conversión es asincrónica y el tiempo de conversión depende de los retardos de propagación de los comparadores y de la lógica del codificador. Este tipo de convertidor logra la mayor rapidez de conversión, aunque es limitado en cuanto a resolución.

**Convertidores digital a analógico (DAC).** Un elemento importante dentro de las tarjetas de adquisición de datos es el convertidor digital-analógico, estos aceptan palabras digitales como entrada y lo traducen a un voltaje o corriente proporcional al valor numérico representado por la palabra digital. Los elementos básicos de un convertidor DAC son una red de transistores que opera como

interruptores, una fuente de voltaje que sirve como referencia y el amplificador operacional de salida.

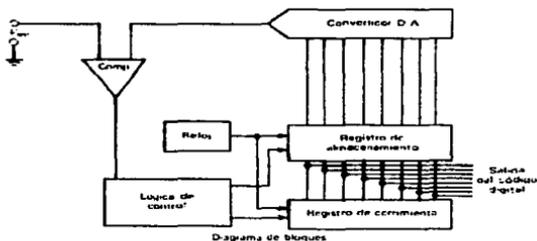


Figura 3.27. Convertidor ADC por aproximaciones sucesivas

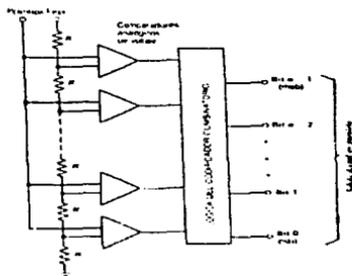


Figura 3.28. Convertidor ADC tipo flash

Como es común existen varias técnicas de conversión donde una de más comunes debido a su sencillez y fiabilidad, es el circuito R-2R en escalera. Éste convertidor conmuta dos valores de resistencias únicamente (uno solo si los valores  $2R$  son dos resistencias  $R$  en serie) para proporcionar un número cualquiera de niveles de salida (o bits de entrada) deseados. El R-2R en escalera funciona simplemente como un divisor de voltaje o de corriente en forma binaria.

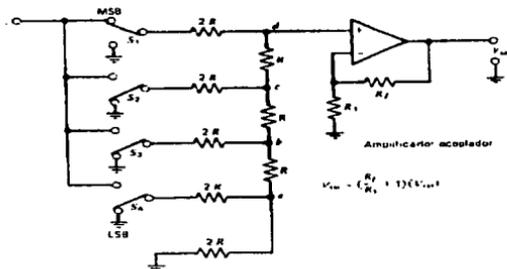


Figura 3.29 Circuito R-2R

**Transferencia de datos.** Dentro de los elementos de selección de una tarjeta de adquisición de datos se encuentra el método de transferencia de datos, pues de éste depende en mucho la velocidad de operación y por supuesto los costos. Existen básicamente tres métodos en la transferencia de datos que son el poleo, interrupciones y DMA.

- **Poleo** En éste método el microprocesador atiende en un 100% el proceso de transferencia pues el microprocesador debe de programar el convertidor, preguntar si el convertidor está listo para lectura y en el caso de estarlo procede a leer el dato y guardarlo en memoria. En este tipo de transferencia el número de

canales así como la velocidad del sistema digital determinan la velocidad de muestreo.

- **Interrupciones.** En este tipo de transferencia se utilizan las líneas de control de interrupciones para interrumpir temporalmente la ejecución del programa principal y realizar un subprograma, en este caso el de transferencia de datos. Este método es más eficiente debido a que mientras el sistema digital espera a que la conversión se realice este puede realizar otras tareas.
- **DMA.** En este método los datos se transfieren sin que el microprocesador intervenga en el hecho. Éste método incrementa el desempeño del sistema al utilizar un hardware específicamente dedicado a transferir datos directamente a la memoria del sistema, para lo cual se emplean cuatro registros, dos de conteo uno para generar la dirección de la memoria y otro para llevar la cuenta de palabras. Los otros dos registros se utilizan uno para almacenar el comando que especifica la función que vaya a realizarse, y otro generalmente usado como buffer de datos entre la memoria y el dispositivo de E/S.

**Velocidad de muestreo.** Es la velocidad con que se realizan las muestras, es muy importante hacer notar que esta no es la velocidad de conversión pues además del tiempo de conversión se debe de incluir el tiempo de transferencia de los datos.

**Plug and play.** En las tarjetas Plug and Play la configuración (Dirección base, interrupciones y DMA) se realiza mediante software en conjunto con un circuito integrado con memoria EEPROM, en lugar de interruptores.

INSTRUMENTO VIRTUAL PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIÓN AMBIENTAL

		AT-MD-1BE-1	AT-MD-1BE-2	AT-MD-1BE-3	AT-MD-1BDE-10	AT-MD-1BE-10	AT-MD-1BDE-50	AT-MD-1BX	ESA-1000	ESA-16	ADC-16	CC-DAS16LR	DAS-16	UPC-801	PC-DIO-24
Bus	Características														
	Tipo de bus	AT	EISA	EISA	AT	AT	AT	AT	XT						
	Plug and play	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Características de instrumentación	DMA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Contadores/temporizadores	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Ahorro de energía de este sistema independiente de los canales	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Sincronización	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Conector de metal blindado	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Entradas analógicas	Canales de entrada	16 SE 8 DI	16 SE 8 DI	64 SE 16 DI	16 SE 8 DI	16 SE 8 DI	16 SE 8 DI	16 SE 8 DI	4 SE 5S	8 DI	16 SE 8 DI	16 SE 8 DI	16 SE 8 DI	16 SE 8 DI	-
	Frecuencia de muestreo máxima (M/s)	1.25M	500k	500k	100k	100k	20k	100k	1M	10M	330K	50K	20K	-	-
	Resolución	12	12	12	12	12	16	16	12	16	12	12	14	-	-
Salidas analógicas	Canales de salida	2	2	2	2	2	2	2	-	2	4	2	-	-	-
	Resolución (bits)	12	12	12	12	12	12	16	-	16	12	12	14	16	16
	Canales digitales de E/S	8	8	8	32	8	8	8	-	7	8	8	-	-	24
ES digitales	Contadores/temporizadores	2.3k-20 20 bits	-	-	1.1k-20 16 bits	-	-	-	-						

SE - TERMINAL UNICA

DI - DIFERENCIAL

SS - MUESTRO SIMULTANEO

Tabla 3.2 Características de tarjetas de adquisición de datos

## 4. PROGRAMAS

Un hecho que hay que tener en cuenta es que, independientemente de la complejidad de los diversos dispositivos electrónicos que componen un computadora, ésta no pasará de ser un juguete caro o no ser que exista un propósito bien definido para su existencia, así como un programa que permita realizar tal propósito. Es precisamente el programa, consistente en una serie ordenada de instrucciones individuales, el que convierte a la computadora en una herramienta de utilidad para innumerables aplicaciones. Hay diferentes tipos de programas y sistemas de programación, a todos los cuales nos referimos con el término *software*, en complemento con los elementos electrónicos y mecánicos de la computadora, llamados el *hardware*. (Hay programas que sirven para el control de los dispositivos E/S. Tanto el funcionamiento mecánico como la transferencia de información entre la computadora y los dispositivos se realiza bajo control directo del programa.)

El software juega un papel vital en el desarrollo de aplicaciones de adquisición de datos y control de sistemas de instrumentación, éste abarca un rango muy amplio de

funcionalidad, desde el software de bajo nivel para controlar tarjetas insertables, hasta entornos de desarrollo para crear sistemas completos

El decidir cual es el tipo de software más apropiado para una aplicación específica depende de muchos factores, tales como: el ordenador, el sistema operativo, los periféricos utilizados, tipo de información a utilizar, las necesidades reales de la aplicación, etc. La decisión que se debe de tomar es entre el uso de programas de aplicación general (paquetes) o entre el desarrollo de un programa específico.

Los paquetes son programas realizados para cubrir necesidades generales para el tipo de aplicación que cubren; por ejemplo están los procesadores de textos, bases de datos, hojas de cálculo, etc.; estos permiten realizar tareas con mucha facilidad y con una gran cantidad de opciones.

Al contrario de los paquetes, el software específico, cubre muy bien una sola aplicación, ya que su diseño se basa en las necesidades de la aplicación para la que fue diseñado. Y por lo general si se desea utilizar para otra aplicación, aunque sea parecida, se le deben hacer modificaciones. Dentro de esta clasificación se pueden definir los programas que sirven para configurar los periféricos de entrada y salida que se conectan a la computadora, así como aquellos que sirven para el manejo de los recursos internos de la computadora.

Además de los paquetes y los programas específicos existen los *Lenguajes de Programación* que son los que proporcionan las herramientas necesarias para crear cualquier tipo de software

A continuación se mencionaran algunas de las aplicaciones que existen para la de adquisición de datos

## 4.1 PROGRAMAS DE APLICACIÓN GENERAL

Hay algunas compañías que se dedican a desarrollar software para manejar sus tarjetas de adquisición de datos; estos proporcionan el control sobre la tarjeta y permiten, en la mayoría de los casos, la visualización de las señales a través del monitor de la computadora. Algunas de las ventajas que proporcionan, aparte de la adquisición de datos y presentación gráfica son: análisis matemáticos, manipulación de datos, simulación de control de sistemas, control de sistemas y manipulación de dispositivos externos. Pero aun todas estas tareas son manejadas en forma general lo cual limita el uso de los dispositivos externos y manipulación de los datos.

La gran ventaja que se tiene con los paquetes es que el uso de los dispositivos a manejar es inmediato y proporcionan una gran confiabilidad. Aparte no se requieren conocimientos profundos para su uso, ya que no se necesita ningún tipo de programación.

Algunos de estos paquetes son: *Measure*, *Virtual Bench*, *Labtech*, *WorkBench for Windows*. Los cuales se describen a continuación

- **Measure:** Manipulación directa de entradas y salidas analógicas usando Excel para Windows, Adquisición y control directo de instrumentos por el puerto serie sobre protocolo RS-232. Los datos adquiridos se ponen directamente a las celdas y trabaja directamente con la mayoría de las tarjetas PC-DAQ de National Instruments así como con cualquier controlador de instrumento por el puerto serial.
- **Virtual Bench** Instrumentación virtual que combina productos DAQ (tarjetas, controladores, etc) y cinco instrumentos virtuales (osciloscopio, analizador de señales, generador de funciones, multímetro digital y data multímetro) Los instrumentos pueden funcionar en forma simultánea o en forma aislada con un solo producto DAQ, así mismo los paneles gráficos del usuario utilizan controles

familiares como son perillas, botones y switches, las configuraciones se pueden salvar y cargar

- **Labtech:** Facil uso de los iconos manejadores de interfaze; no requiere programación, Adquisición en tiempo real, desplegado de datos, multipuebas y data logging, puede realizar operaciones estadísticas y lógicas, soporta un rango amplio de hardware de adquisición de datos.
- **WorkBench for Windows:** Basado en iconos, operación con manejo de interrupciones, amplio manejo de colores en gráficos, se pueden simular medidores analógicos, gráficas de barras e histogramas, no se interrumpe la adquisición de datos mientras se usa otro programa en primer plano. Uso de DDE para exportación de datos en tiempo real a otras aplicaciones.

Estos son nada más unos cuantos paquetes que existen para la adquisición de datos a través de un sistema controlado por computadora; estos paquetes se pueden complementar con otros que realicen análisis matemáticos más sofisticados así como graficaciones más complejas.

## 4.2 PROGRAMAS DE APLICACIÓN ESPECÍFICA

De estos existen una gran cantidad ya que muchas empresas y centros de investigación necesitan aplicaciones especiales que solo son cubiertas por programas específicos. El desarrollo de estos puede ser hecho por empresas particulares o por los mismos usuarios del sistema. Para poder desarrollar este tipo de aplicación es necesario tener conocimientos de programación y de manejo de *hardware*, tanto de la computadora como de dispositivos externos como son las tarjetas de adquisición de datos, impresoras, etc

### 4.3 TIPOS DE LENGUAJE

Actualmente existe una gran variedad de lenguajes de programación que van desde lenguajes ensambladores hasta lenguajes gráficos. Lo que hay que mencionar es que el microprocesador solamente entiende datos binarios, es decir entiende dos niveles de voltaje (encendido y apagado). Y dada la dificultad de manejar este tipo de datos se crearon los lenguajes ensambladores y lenguajes de alto nivel, donde los datos se trabajan a través de códigos más sencillos, por ejemplo los lenguajes ensambladores manejan los nemónicos, que son instrucciones que hacen que el microprocesador realice una tarea específica con los dispositivos que cuenta (registros internos, localidades de memoria, operaciones aritméticas, etc.). Mientras que los lenguajes de alto nivel cuentan con instrucciones o funciones; las cuales encierran la ejecución de una gran cantidad de tareas por parte del microprocesador. Este tipo de códigos se pueden manejar en forma hexadecimal, octal o decimal.

La diferencia que hay entre los lenguajes ensambladores y los lenguajes de alto nivel consiste en que las instrucciones (nemónicos) de los primeros interactúan directamente con los recursos del microprocesador y pueden obtener mejores resultados de estos; por otro lado las instrucciones de los lenguajes de alto nivel tienen que ser compiladas por otro programa (compilador) y depende de lo poderoso de este compilador las opciones que tenga cada instrucción. Pero la diferencia más marcada es la facilidad de dominio de uno o otro lenguaje, con el lenguaje ensamblador se tiene más dificultad para desarrollar los programas mientras que los lenguajes de alto nivel presentan una mayor facilidad para el desarrollo de programas, lo cual se traduce en un menor tiempo de desarrollo. Sin embargo muchas veces no se puede prescindir del lenguaje ensamblador, ya que algunos lenguajes de alto nivel no pueden realizar ciertas tareas que con un lenguaje ensamblador sí se pueden. Otra diferencia, entre los lenguajes de alto nivel y los ensambladores, es que los primeros son casi idénticos para cualquier tipo de microprocesador con el cual trabajen, mientras que los lenguajes ensambladores son diferentes y se puede decir que únicos para cada tipo de microprocesador, aunque esto también depende, ya que las diferentes versiones de un mismo microprocesador pueden tener el mismo set de instrucciones. La figura 4.1 muestra como se

encuentra cada tipo de lenguaje en relación al código binario que entiende el microprocesador

Por lo que se puede apreciar en la figura el lenguaje ensamblador se encuentra más cerca del código binario que entiende la máquina, es por eso que es más poderoso pero a la vez más complicado de utilizar. Mientras que los diferentes tipos de lenguajes de alto nivel están más lejos y en poderío no son mucho menos, ya que dependiendo del compilador de cada lenguaje es lo que pueden realizar; y tienen la ventaja de que son más sencillos de utilizar. De aquí en adelante se hablará de los diferentes lenguajes de alto nivel (de propósito general y algunos enfocados a la instrumentación), ya que del lenguaje ensamblador como se mencionó anteriormente difiere para cada tipo de computadora o microprocesador que sea utilizado.

Actualmente los lenguajes de alto nivel más populares son el C, BASIC, FORTRAN, PASCAL, etc; de estos lenguajes existen diferentes versiones y dada la versión es el poder que tienen sus instrucciones y la facilidad que dan para realizar aplicaciones. La característica común de todos es que la programación se realiza a través de código en líneas de texto, donde cada línea especifica una instrucción o función a realizar por la computadora. La forma de funcionar de estos lenguajes es la siguiente:



Fig. 4.1 Tipos de lenguajes y su posición con respecto al código binario de los microprocesadores

El compilador del lenguaje reconoce cada una de las palabras que contiene el código del programa y las divide en instrucciones, variables y datos constantes; este reconocimiento se realiza para determinar errores de sintaxis

Una vez que ha realizado el reconocido cada una de las palabras y ha podido determinar que son datos, instrucciones o variables validas procede a ejecutar cada una de las instrucciones con los datos correspondientes a cada instrucción. Durante está ejecución se pueden presentar todavía errores, no de sintaxis sino de lógica o de operación no validas como pueden ser asignaciones incorrectas (asignarle a una variable numérica un valor de carácter, etc). Por lo regular todos los compiladores indican la línea donde esta el error el tipo de error que se cometió.

Estos pasos son realizados en forma general por todos los compiladores; pero cada compilador tiene diferentes características (si son de una o dos pasadas, si compilan todas las líneas y después realizan la ejecución o si la realizan la compilación y ejecución línea por línea) que definen las opciones que tiene para detectar los errores.

Con el surgimiento de los ambientes gráficos en las computadoras (windows y otros programas administrativos a través de gráficos y no de comandos escritos) han surgido los lenguajes gráficos y visuales; los primeros manejan un código gráfico al 100% y los segundos manejan una interacción entre código gráfico y código en líneas de texto. La ventaja que tienen estos lenguajes con respecto a los lenguajes de alto nivel basados en código texto es que surgieron pensados en los ambientes gráficos y hacen que el desarrollo de programas en estos ambientes sea más rápido y con mejor manejo de opciones, lo cierto es que este tipo de lenguajes están basados en los lenguajes de código de texto.

Entre los lenguajes gráficos se tienen a LabView, Labtech Control, BridgeView, etc, mientras que en lenguajes visuales se tienen a Visual Basic, Visual C, etc. De los primeros se puede decir que están enfocados a aplicaciones de instrumentación y control industrial, por lo cual cuentan con mucha ventajas sobre los visuales en estas aplicaciones. Los lenguajes visuales están enfocados para aplicaciones generales en ambientes gráficos y se puede decir

que son versiones modernas de los lenguajes de texto que son para entornos basados en sistemas operativos de comandos.

Los lenguajes gráficos o de código "G" funcionan a través de iconos, que realizan tareas determinadas (se puede decir que son las funciones o instrucciones de los lenguajes de código texto), que son alabrados o unidos a otros iconos o figuras gráficas. Con esta unión de iconos y figuras se establece un orden de ejecución de cada uno de los iconos; al mismo tiempo se establece como van cambiando los valores de las variables y la realización de tareas de despliegado e impresión de datos.

Otra característica de estos lenguajes es que establecen dos áreas de trabajo: el panel frontal y el panel del diagrama. En el primero se despliega todo lo que se quiere que el usuario del programa vea y en el segundo se realiza la programación de los eventos a través de los iconos.

Lo más importante de este tipo de lenguajes son las librerías con las que cuentan y que los hacen más poderosos que a los otros lenguajes; aunque hay que decir que estas librerías fueron realizadas en lenguajes de código texto de alto nivel y después convertidas a iconos para su utilización. Pero estos lenguajes permiten la realización de más librerías con ellos mismo y salvarlas ya en forma de iconos.

Por último hay que mencionar que existen diferentes tipos de lenguajes que son enfocados a aplicaciones específicas como son Clipper, dBase, LabWindows, LabView etc. Estos lenguajes fueron creados para manejar entornos especiales, por ejemplo los dos primeros son utilizados para el manejo de bases de datos y los otros dos son utilizados para las aplicaciones de instrumentación virtual.

Existen muchos más lenguajes de programación que tienen características diferentes o iguales a los que se han mencionado aquí y si no se habla de ellos es porque estos son los más populares y comerciales en nuestro entorno de programación.

## 5. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS Y PROGRAMA

Hasta ahora hemos visto diferentes tipos de transductores, acondicionadores, software y tarjetas de adquisición de datos, así como sus modos de operación. En este capítulo se hablará en particular de los dispositivos que se seleccionaron para este instrumento.

El instrumento se diseñó para utilizar cuatro tipos de transductores, servoacelerómetros, acelerómetros piezoeléctricos, DCDT's y galgas extensométricas (strain gauge). Estos transductores son los que más se apegan a las necesidades de las pruebas realizadas en la Coordinación de Estructuras y Materiales.

Los acondicionadores presentados en la tabla no poseen las características deseadas, esto es, para poder reunir todas las características que necesitamos, tendríamos que adquirir varios módulos de acondicionamiento, esto resultaría muy costoso y robusto, que es uno de los principales problemas que se tenía con el equipo anterior, por estas razones se optó por rediseñar un acondicionador que originalmente se utilizaba para servoacelerómetros, esto

es, para que utilice los transductores arriba mencionados, también para que pueda ser controlada por una computadora y transfiera los datos a una tarjeta de adquisición de datos.

De la amplia gama de tarjetas de adquisición de datos se seleccionaron dos diferentes tipos de tarjetas, una para que adquiera datos y otra que controle el acondicionador de los transductores. El primer criterio de selección se tomó a partir de que al instrumento se pueda conectar hasta 64 transductores, también para el tipo de pruebas se necesita una alta resolución y una rápida velocidad de muestreo. Varias tarjetas tenían casi las mismas características, entonces se comparó su costo, y la que presentó menor costo y alta eficiencia, es la tarjeta AT-MIO- 64E-3 , cuenta con 64 canales analógicos de entrada , 12 bits de resolución, un convertidor ADC por aproximaciones sucesivas, un DAC a la salida, la transferencia de datos es por medio de DMA, configurable a través de software y una velocidad de muestreo de 500 kM/s.

La segunda es una tarjeta PC-DIO-24 , cuenta con 24 canales digitales de entrada/salida, usa un 8255 con tres puertos de 8 bits, la tarjeta puede operar en modo unidireccional o bidireccional, también es configurable a través de software, su costo es muy bajo y es muy eficiente.

Como plataforma de desarrollo del instrumento virtual, se generó por medio de una computadora con capacidad para soportar el hardware y el software. El software que se seleccionó fue Labview, que es un sistema de programación gráfica para adquisición y control, análisis y presentación de datos, proporciona una flexibilidad de un potente lenguaje de programación sin dificultad y complejidad. Con Labview, se controla el sistema y presenta los resultados a través de paneles gráficos e interactivos. Dispone de varias opciones para el manejo de datos. Las características antes mencionadas, fueron los principales elementos que determinaron su selección Otro aspecto importante en comparación con los otros paquetes fue en relación costo-beneficio, ya que definitivamente Labview resulta ser un lenguaje que permite desarrollos en poco tiempo y con una alta calidad, debido a esto, los costos en el desarrollo bajan notablemente.

Al final de esta tesis se muestran las características técnicas de las tarjetas de adquisición de datos, así como de los dispositivos utilizados en los acondicionadores.

## 6. IMPLEMENTACIÓN

El instrumento desarrollado quedo finalmente conformado como se muestra en la siguiente figura.

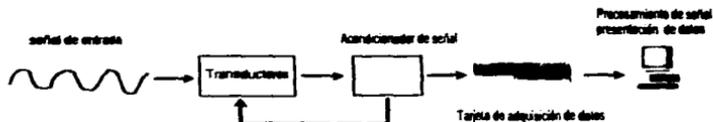


Figura 6.1 Esquema del Sistema de Adquisición de datos

Una vez seleccionados los dispositivos y el software con el que se haría la programación se procedió a adquirir la tarjeta de adquisición de datos analógicas (ATMIO-64E3) y digitales (PC-DIO 24 la cual se utiliza para el control de las tarjetas de los acondicionadores) En paralelo al proceso de armado se procedió a la investigación de las

características particulares que debería cumplir el programa de adquisición y control del sistema, para lo cual se recurrió a la Coordinación de Estructuras, del mismo Instituto.

En primer lugar se explicará como están conformados los acondicionadores y después se procederá a mostrar como se diseñó el programa para el sistema.

## 6.1 CONSTRUCCIÓN DEL ACONDICIONADOR

El acondicionador se puede dividir en varios bloques donde destacan: las fuentes de alimentación analógica ( $\pm 15$  V y  $\pm 5$  V DC), la fuente de alimentación del transductor (programable entre  $\pm 15$  y  $\pm 2$  V DC), el amplificador de instrumentación, el circuito de ajuste de ceros grueso, el circuito de ajuste de ceros fino, el filtro paso bajas de octavo orden y la lógica de control. A continuación se explica en que consiste cada uno de estos bloques y su función.

- **Fuente de  $\pm 15$  V y  $\pm 5$  V de DC.** Esta fuente tienen la función de alimentar a los amplificadores operacionales y convertidores digital-analógico (DACs) que conforman el acondicionador, la cual es alimentada con  $\pm 20$  V regulados. La salida de  $\pm 15$  V alimenta a los amplificadores operacionales y a los DAC's, mientras que la salida de  $\pm 5$  V alimenta al filtro. Es importante hacer notar que la lógica se alimenta con una fuente común de 5V.
- **Fuente programable.** Está fuente está dedicada a la polarización de los transductores y esta formada por un convertidor digital-analógico. La palabra digital de 8 bits representa el voltaje con que se desea polarizar al transductor.
- **Ajuste.** Para el ajuste de ceros se utilizan dos tipos de ajustes, **grueso y fino**, con los cuales se busca dejar a la señal lo más cercana al cero aún con la máxima ganancia que pueda dar el acondicionador. Este ajuste está controlado por la computadora y el usuario solo puede manipularlo a través de ésta.

- **Ajuste Grueso.** El ajuste grueso se da en la etapa de entrada con el transductor, para llevar a cabo esta tarea se utiliza un DAC de 8 bits, el valor que entrega el convertidor se utiliza para llevar a cero su salida. Con esto se busca que la señal de entrada al acondicionador no este saturada y quede con el menor nivel de *offset* posible. A la salida de esta etapa se busca dejar un *offset* máximo de 500 mV, ya que si se sobrepasa este valor el ajuste fino no se podrá realizar y dejará la salida fuera del cero o saturada. Para este ajuste el amplificador de instrumentación se opera con ganancia unitaria.
- **Ajuste Fino.** Este ajuste se realiza sobre la señal que entra al amplificador de instrumentación, (un paso después del ajuste grueso); para esto se hace que el amplificador de instrumentación opere con una ganancia de 1000, la cual es la mayor. Al igual, que en el ajuste grueso, se utiliza un convertidor digital-analógico para modificar el *offset* del amplificador de instrumentación, en este caso se utiliza un convertidor de 12 bits, con lo que se busca un voltaje de *offset* mínimo. El procedimiento para el ajuste fino es parecido al ajuste grueso, las únicas diferencias son que se debe manejar una palabra de 12 bits y se debe dar la ganancia de 1000 antes de empezar el ajuste.

El ajuste de ceros grueso y fino se realiza leyendo el valor analógico de la salida, de la tarjeta de acondicionamiento, en la computadora a través de la tarjeta de adquisición de datos instalada en la misma.

- **Amplificador de instrumentación.** El amplificador de instrumentación esta diseñado para operar con diferentes ganancias, las cuales son seleccionadas a través de tres relevadores que permiten prefijar una resistencia que a su vez determina la ganancia deseada. Para manipular a los relevadores se utilizan los cuatro bits sobrantes de los 16 bits que se tienen para el ajuste fino (hay que recordar que el convertidor es de 12)

La ganancia se fija en la primera etapa mientras que la segunda etapa tiene una ganancia unitaria. El amplificador está implementado por tres amplificadores operacionales independientes (TL081).

- **Filtro.** El filtro con que cuenta el acondicionador está construido con dos circuitos integrados MF10CN, cada uno contiene dos filtros de capacitor conmutado de segundo orden. Con estos circuitos se pueden obtener filtros paso bajas, paso altas, paso todo, paso banda. El motivo de utilizar 2 es para obtener un filtro de 8º orden y que sea paso bajas; esto debido a que las señales que se leerán son de baja frecuencia.
- **Lógica de decodificación.** La lógica de decodificación está basada en un circuito integrado GAL16V8, en este se fija la dirección de la tarjeta de acondicionamiento y al mismo tiempo se utiliza para seleccionar los diferentes elementos de ésta. Para esto el GAL verifica que la dirección que manda la computadora sea alguna de las que tiene programada internamente y como salida se obtiene la selección de los diferentes elementos del acondicionador como son los relevadores, convertidores etc.

La automatización y control está basado en que la GAL esté funcionando correctamente, ya que si está mal programada o dañada el proceso de control no funcionará adecuadamente.

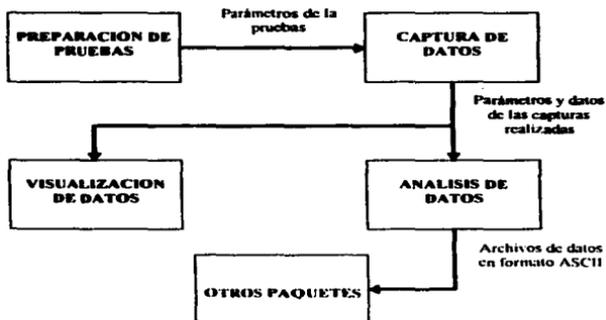
## 6.2 PROGRAMAS

El programa completo está dividido en 4 partes: **preparación de pruebas, captura de datos, análisis de los datos y visualización de datos**. En un inicio el programa solamente comprendía la **preparación de pruebas y captura de datos**, donde el programa de captura tenía que generar todos los archivos necesarios para que el programa de "IFCH" generara los archivos correspondientes en frecuencia, pero dadas las herramientas de análisis de LabView se llegó a la decisión de que valía la pena el desarrollo del programa de

análisis de datos que realizará la función de este y con esto reemplazar por completo al sistema de adquisición de datos y análisis anterior. El programa de **visualización de datos** se realizó como una herramienta más del sistema; el cual resulta útil para visualizar pruebas capturadas, tanto en la realización del análisis matemático, como para visualizar los datos de las pruebas.

La división en cuatro programas independientes, pero interrelacionados en el funcionamiento global, se dió por cuestiones de memoria RAM y a que los programas realizados, en ambientes gráficos, son muy grandes en código. La división evita que se puedan dar errores por insuficiencia en la memoria RAM y que se pierdan datos en la captura. De cualquier forma se necesitan por lo menos 8 Mbytes para que puedan operar sin problemas.

Los programas tienen el siguiente flujo de información:



Como se puede ver el flujo de información es secuencial, por lo tanto los programas necesitan de los datos que genera el anterior para poder realizar su tarea. De todos estos solamente los programas de **visualización de datos** y **captura** necesitan del hardware del sistema para su funcionamiento (el programa de visualización cuenta con una opción donde se puede capturar la señal de dos canales). Los otros dos programas son independientes del hardware del sistema (tarjeta de adquisición de datos, acondicionadores y la PC-DIO 24); y como se puede ver en el diagrama, el único programa independiente es el de **preparación de pruebas**.

Todos estos programas cuentan con subprogramas, con las cuales se realizan todas las tareas necesarias para llevar a cabo la realización de una prueba. Antes de ver analizar todos los subprogramas se mencionara el proceso que se sigue para realizar las mediciones en una estructura.

1. Se procede a programar todas las pruebas a realizar.
2. Para cada prueba, a realizar, se seleccionan los transductores.
3. Se realiza el esquema de la ubicación de cada transductor.
4. Se fijan los puntos en la estructura.
5. Ya en el sitio se procede a la ubicación de los transductores en los puntos correspondientes para cada prueba.
6. Antes de capturar se ajusta el cero de cada transductor.
7. Se captura la señal de todos los transductores conectados, verificando que no se sature ninguno. Si algún transductor se satura se suspende la captura y se vuelve a realizar el paso cinco y seis
8. Una vez que se terminó de capturar la prueba se procede a ubicar a los transductores para la siguiente prueba.
9. Se realizan los pasos 5,6 y 7 hasta que se terminan de realizar las pruebas.

10. A los datos capturados en las pruebas se les realiza el análisis matemático y se generan los archivos en formato ASCII.

11. Con los archivos en formato ASCII se realiza la impresión de las gráficas que se generan con estos datos.

Todos estos pasos son los que realizan las personas de la Coordinación de Estructuras para llevar a cabo sus mediciones y obtener resultados. El sistema se desarrolló sobre esta secuencia de pasos.

Como se ve en el diagrama y en la secuencia de pasos lo primero que se realiza es la preparación de pruebas; por lo tanto empezaremos a explicar como se desarrolló el programa de preparación de pruebas para después seguir en secuencia con todos los demás programas. Aquí solamente se explicará las consideraciones que se tomaron en cuenta y la forma en que se llevó a cabo la programación; y en el siguiente capítulo (Manual de usuario), se explica como operar el sistema.

### 6.2.1 PREPARACIÓN DE PRUEBAS

Este programa se divide en los siguientes módulos: **sensores**, **prueba** y **reporte**. En el módulo de **sensores** se capturan las bases de datos para cada tipo de transductor que se pueden utilizar, el módulo de **prueba** permite capturar los datos generales y específicos de cada prueba y generar un archivo por prueba, mientras que **reporte** proporciona una copia en papel de alguno de los archivos creados en **prueba**.

El programa de **preparación de pruebas** es solamente un menú donde se selecciona alguno de los submódulos; en forma esquemática se puede representar de la siguiente forma:

De este esquema se ve que no hay intercambio de información entre el programa de **preparación de pruebas** y todos sus subprogramas. Esto es para que sean más flexibles a las modificaciones internas y también poder darle mayores opciones al usuario. De aquí, es importante decir, que cada programa genera su propia información y utiliza la información

generada por alguno de los otros subprogramas. A continuación se explicará la programación de cada uno de los subprogramas.



### 6.2.1.1 TRANSDUCTORES

Este programa cuenta, a su vez, de 3 rutinas de captura, una para cada tipo de transductor. Las rutinas se seleccionan a través de los siguientes nombres: **Donner's**, **DCDT's** y **Acelerómetros Piezoeléctricos**.

Cada una de estas opciones permite capturar y modificar los datos de los transductores que se van a utilizar en las pruebas. Los programas son iguales en su forma de operar, en lo único que varían es en la información que se captura en cada caso. A continuación se presenta la información para cada caso

Para los Donner's

- Número de serie
- Constante de calibración

**Para los DCDT's**

- **Número de serie**
- **Constante de calibración**
- **Ordenada**

**Para los A. Piezoeléctricos**

- **Número de serie**
- **Constante de calibración**

Estos son los datos que se guardan en los siguientes archivos. El "nsdon.dat" para donner's, el "nsdcdt.dat" para los DCDT's y por último se tiene el "nspzo.dat" para los transductores piezoeléctricos. Como se puede ver solamente se captura un identificador del transductor y sus parámetros de calibración. La forma en que se realiza la captura es en base al siguiente algoritmo.

1. Abrir archivo del transductor seleccionado
2. Leer todos los registros que contenga el archivo
3. Generar un arreglo con los registros leídos
4. Cerrar archivo
5. Desplegar en la pantalla el primer elemento del arreglo con su índice
6. Preguntar si ya se terminó de capturar
7. Si ya se terminó de capturar, ir al paso 12
8. Si no se ha terminado, preguntar si se quiere ver el siguiente elemento del arreglo
9. Si se quiere ver el siguiente elemento, desplegar los datos del elemento, si no hay datos mostrar registro en blanco y regresar al paso 5

10. Si no se quiere ver el siguiente elemento; preguntar si se quiere ver el elemento anterior
11. Si se quiere ver el elemento anterior; desplegar los datos del elemento, si es primer elemento se deja y regresar al paso 5
12. Si no se quiere ver el elemento anterior; regresar al paso 5
13. Preguntar si se quieren salvar las modificaciones hechas
14. Si se seleccionó que sí; se guardan los datos del arreglo en el archivo correspondiente y continuar
15. Regresar al programa de preparación de pruebas

Este algoritmo se utiliza para todos los programas de captura. Aquí hay que mencionar que para estos programas se fijó el subdirectorio donde se guardan todos los archivos, antes mencionados. El subdirectorio se encuentra dentro del subdirectorio de "PRUEBAS" y su nombre es "nseries". Aquí es importante mencionar que si no se encuentra el archivo al finalizar el programa este lo crea y guarda los datos capturados en el arreglo.

#### 6.2.1.2 PRUEBAS

El programa de pruebas se utiliza para capturar la programación de pruebas. Para ello se utilizan los archivos de cada tipo de transductor y se genera un archivo donde se guardan los siguientes datos generales y específicos

##### Generales

- Frecuencia de captura
- Frecuencia de corte
- Número de ensayos para la prueba
- Número de canales a capturar (máximo 64 , 0 a 63)

- Cantidad de muestras a capturar por evento (desde 256 hasta 32768 en potencias de 2)
- Número de eventos a capturar
- Nombre clave de la prueba (3 caracteres)

**Específicos por canal**

- Transductor
- Posición
- Voltaje de polarización
- Ganancia
- Color
- Constante de calibración
- Punto de colocación (se captura aparte las puntos primas)
- Número de serie
- Clave que se forma con los datos anteriores.

Los datos generales sirven para fijar la frecuencia de captura de la tarjeta de adquisición; mientras que la frecuencia de corte se utiliza para el filtro digital del acondicionador. El parámetro de canales sirve para que el programa fije la captura del número de canales seleccionados; el número de ensayos también limita el número de pruebas que se pueden capturar. El número de eventos le indica a la computadora cuantas veces tendrá que realizar la captura de la señal de los transductores y el número de muestras es un parámetros para la tarjeta de adquisición de datos. Finalmente el nombre clave sirve para identificar a la prueba

Los datos específicos están pensados para identificar al transductor utilizado en cada canal y sus parámetros de alimentación como de posición. A continuación se especifica cada uno de los datos.

- **Transductor.** Con esto se identifica que transductor se está utilizando y sirve para poder seleccionar que datos de números de serie y constantes de calibración se van a utilizar.
- **Posición.** La posición indica en qué forma será colocado el transductor durante la prueba. Las formas en que se pueden colocar los transductores son: transversal, longitudinal y vertical. Este tipo de posición es importante para ver en que forma responderá el transductor al movimiento.
- **Voltaje de polarización.** Este dato se utiliza para programar la fuente de alimentación de los transductores.
- **Ganancia.** Con este dato se busca programar un ganancia de inicio para el transductor. Las ganancias que se pueden seleccionar son: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000
- **Color.** A los transductores se les coloca una cinta de color para poder identificarlos fácilmente. Esta identificación es visual y debe estar relacionada con el número de serie.
- **Constante de calibración** Este dato se debe leer primero de la base de datos del transductor a utilizar; pero si se requiere se puede modificar; es importante hacer notar que esta modificación no se realizará en el archivo correspondiente al transductor.

- **Punto de colocación.** Con este dato se especifica, para cada ensayo, en qué lugar del edificio o puente, debe estar colocado el transductor. Para esto se debe contar con un croquis del puente o edificio donde se especifiquen los puntos.
- **Número de serie.** Es el número de serie que identifica al transductor utilizado en la prueba. Este dato se lee desde el archivo de datos de los transductores.
- **Clave generada para cada canal.** Esta clave está conformada por claves de los siguientes datos: Transductor, posición, color, punto de colocación y una parte del número de serie (la que indica la sensibilidad del transductor). Por ejemplo la clave cuando se utiliza un servoelectrometro (Donner) en posición transversal, color amarillo, para colocarse en el punto I y de 0.5 g es la siguiente: SA-01-H-AM-0G5. Este es un ejemplo típico de las claves generadas para identificar al dispositivo que va conectado en alguno de los canales.

Toda esta información es guardada en un solo archivo, el cual se recomienda que se salve en el subdirectorio "c:\pruebas\pruebas". El programa le permite al usuario elegir libremente el nombre y la ubicación del archivo; esto es con el propósito de que el usuario tenga la libertad de generar su propia administración de sus archivos

La rutina opera de la siguiente forma:

1. Abrir los archivos "nsdon.dat", "nsdcdt.dat" y "nspzo.dat".
2. Leer los archivos y crear un arreglo, con los números de serie, para cada uno.
3. Cerrar los archivos.
4. Preguntar si se quiere crear un nuevo archivo (de prueba) o si se desea editar uno.
5. Si se elige la opción de editar se continúa, si no se pasa al paso 9
6. Desplegar todos los archivos de parámetros que estén en el subdirectorio de default

7. Esperar a que el usuario elija el archivo a editar, ya sea del subdirectorio de default o de cualquier otro directorio.
8. Abrir el archivo seleccionado, si no se seleccionó ningún archivo terminará con la rutina y regresará al programa de **preparación de pruebas**.
9. Leer los datos del archivo o tomar los valores de default (para el caso que se haya seleccionado "crear nuevo" ) y asignárselos a las variables de lectura.
10. Permitir que el usuario capture los parámetros generales.
11. Cuando se termine de capturar los parámetros generales; deshabilitar estas variables y activar las variables específicas para cada canal.
12. Permitir que el usuario capture todos los ensayos especificados, así como los canales también especificados. Si el usuario desea capturar más ensayos o canales que los que especificó en los parámetros generales, el programa deberá permitirselo y actualizar las variables de datos generales.
13. Crear el nombre clave por canal conforme se vayan leyendo los parámetros específicos.
14. En el momento que el usuario desee terminar el programa deberá preguntar si se desea salvar los datos capturados o no.
15. Si se desea salvar el programa procederá a preguntar el nombre del archivo y la dirección de esté para guardar los datos.
16. Si no se desean guardar los datos el programa deberá confirmar que no se desean salvar los datos, y si se vuelve a confirmar que no se desea guardar los datos deberá regresar al programa de **preparación de pruebas**.

El algoritmo muestra en forma general cómo se desarrolló el programa de **prueba**. Durante la programación se tomaron en cuenta otras consideraciones extras, como son la fijación automática del voltaje de alimentación para el transductor (si esté es un Donner), avanzar en la captura de canales y ensayos, selección de los número de series, etc. Para estos

casos se agregó solamente la lógica de captura para cada caso durante el proceso de captura y se generen los datos deseados.

### 6.2.1.3 REPORTE

En el momento en que se tenga un archivo de pruebas capturado; se puede realizar una impresión de la clave generada por los datos capturados. Aparte de la clave se agrega el valor de ganancia que se le va dar a la señal del transductor.

Para realizar la impresión se sigue el siguiente algoritmo.

1. Desplegar todos los archivos de parámetros que estén en el subdirectorio de default.
2. Esperar a que el usuario elija el archivo a imprimir; ya sea del subdirectorio de default o de cualquier otro directorio.
3. Abrir el archivo seleccionado; si no se seleccionó ningún archivo se terminará con la rutina y se regresará al programa de **preparación de pruebas**.
4. Leer los datos del archivo y formar una tabla.
5. Mostrar la tabla al usuario y preguntar si es el archivo que se desea imprimir. Si contesta que sí, pasar al paso 6, si contesta que no pasar al paso 7.
6. Llamar a la subrutina de impresión y se le pasa la tabla a imprimir.
7. Regresar al programa de **preparación de pruebas**.

En este caso el programa necesita llamar a un subinstrumento virtual (un subprograma) que se encargue de la impresión de los datos. Este programa no se encarga directamente de pasar los datos a la impresora, sino que se utiliza la impresión de "panel" con que cuenta LabView, es decir, que en la subrutina de impresión solamente se colocan los datos, como se quieren que salgan en la hoja, en "panel frontal". Para que se lleve a cabo la impresión se necesita seleccionar, en el *IT setup* del programa, la opción de que "cuando termine de ejecutarse el programa se imprima el panel frontal". Una vez que se

seleccionó está opción LabView generará el código con que el programa mandará a imprimir el panel frontal.

La parte más complicada de este programa es la generación de la tabla; ya que se tienen que ordenar los datos por ensayo y canal, pero también se tiene que cuidar el tamaño de la tabla; ya que si es muy grande no conviene imprimir todos los datos en una sola tabla y se tiene que dividir en partes. La tabla que se imprime por hoja es de 10 columnas por 25 renglones, donde las columnas corresponden a los ensayos (pruebas) y los renglones a los canales. Con este dimensionamiento se busca que el tamaño de la impresión sea homogénea para todos los casos; esto es debido a que el programa dimensiona la impresión a que los datos que estén en el “panel frontal” ocupen toda la hoja.

Está subrutina es la última que compone al programa de **preparación de pruebas**. Con el programa se cubren los pasos de preparación de prueba que se mencionaron anteriormente y se genera la información que van a utilizar los otros programas.

### 6.2.2 CAPTURA DE DATOS

El programa de captura está dividido en **ajuste y captura**; el primero se encarga de la programación de las tarjetas acondicionadoras así como de ajustar a cero la señal de los transductores, mientras que el segundo se encarga de la captura de datos de los canales programados como de guardar en disco los datos. Por las tareas que realizan las subrutinas se considera a este programa la parte medular del sistema; ya que son los que interactúan con el hardware para la obtención de los datos y es aquí donde se tiene que tener la certeza de que no haya errores en el manejo de la información.

Las dos subrutinas necesitan de los archivos de parámetros que se capturan en el programa de **preparación de pruebas**. Con los datos de alguno de estos archivos y preguntando al usuario qué prueba (“ensayo”) quiere realizar se procede al ajuste de los ceros y la correcta fijación de las ganancias para después seguir con la **captura**. La realización de estas tareas se hizo en forma secuencial, ver figura. Esto se hizo de esa

manera para que siempre se cubran los pasos 6 y 7 del procedimiento descrito anteriormente y porque se cree necesario que el usuario siempre esté seguro de que las señales que va a capturar estén en las condiciones que el desea.



En la figura se muestra en forma general como está estructurado el programa y los intercambios de información que hay entre las subrutinas que lo conforman. De los datos que se intercambian la de "bandera" es la única que es bidireccional; ya que es la que determina si ya se ejecutó el ajuste de ceros y se permita ejecutar el programa de captura. Para esto la bandera tiene que tener un valor de "verdadero" el cual se le asigna al finalizar el proceso de ajuste y al finalizar la captura de las señales se le da el valor de "falso" para que no permita capturar otra vez con los mismos datos.

A continuación se explicará la forma en que se desarrollaron cada una de las subrutinas; ya que el programa de **captura de datos** es solamente un menú donde se puede seleccionar cualquiera de las opciones.

#### 6.2.2.1 AJUSTE

Esta rutina tiene como fin permitir que el usuario pueda visualizar todos los canales y verificar que la señal que se está capturando sea la correcta y esté dentro de los rangos deseados. Para esto cuenta con las siguientes opciones: cambio de ganancias, alarma de nivel de voltaje, saturación de la memoria de la tarjeta o pérdida de información, ajuste de manera

automática y manual. Cada una de estas opciones le ayuda al usuario a programar la ganancia adecuada y ajustar el cero de la señal para cada canal.

La ejecución del programa se puede dividir en 4 etapas:

I. Selección y lectura del archivo de programa de pruebas.

II. Selección del ensayo a realizar.

III. Programación de las tarjetas acondicionadoras y ajuste de ceros a todos los canales.

IV. Visualización, modificación de ganancias y ajuste de ceros de los canales seleccionados en un bloque de 4 a la vez.

De estas cuatro etapas, la tercera se realiza automáticamente cada vez que se selecciona la acción de ajustar y después de que se han pasado las dos primeras etapas. La etapa 4 es donde el usuario se da cuenta de cómo están funcionando sus transductores, también puede realizar los cambios de ganancia y/o volver a realizar el ajuste de ceros, de alguno o hasta de cuatro, canales a la vez.

Para realizar todas estas tareas se utilizan otros programas, en forma de subrutinas, los cuales realizan tareas específicas y que se repiten en varias ocasiones durante la ejecución del programa. A continuación se listan los programas para dar una explicación breve de lo que hacen y como lo llevan a cabo: archivo, asignación de ganancias, iniciador de acondicionadores, 8255, ajuste de ceros por aproximaciones, ajuste fino, ganancias, ajuste de ceros de manera secuencial, frecuencia, ajuste y gan.

- **Archivo** Con este programa se permite que el usuario elija el archivo de pruebas que desee. Para esto se utilizan librerías de LabView para el manejo de archivos, ver apéndice A. Una vez que lo seleccionó abre el archivo y lee todos los datos y al finalizar cierra el archivo.

Al finalizar de ejecutarse el programa se regresa al programa de **ajuste** y le pasa los siguientes datos: ruta del archivo, parámetros generales y específicos de las pruebas. En forma general esto es lo que realiza la rutina de archivo.

- **Asignación de ganancias.** Con este programa se obtienen los valores correspondientes de ganancia de los primeros cuatro canales. Esto se debe hacer debido a que en la pantalla se despliega un control del tipo de anillo donde se tienen valores de 0 al 8. Pero cada valor corresponde a una de las ganancias que se pueden fijar. En este caso el programa determina el valor de inicio del control de anillo para cada canal.

En el momento de ejecutarse el programa necesita que se le pasen los valores de ganancia de todos los canales, los cuatro canales que se van a visualizar. Al momento de terminar el programa entrega el valor que le corresponde a cada control de anillo.

- **Iniciador de acondicionadores.** Este programa requiere el canal de inicio y fin. Con estos datos hace que el releador que cierra la malla de retroalimentación se cierre y pase la señal hacia el amplificador de instrumentación.

Para realizar esto utiliza el programa **8255** y un ciclo "For" que abarque el número de canales que se van a utilizar. El cerrado de la malla se hace cuando se escribe un cero en la dirección correspondiente al releador, con esto se hace que al releador le lleguen 5 V de DC que lo cierra y para abrirlo se debe escribir un 255. Como se puede ver se está utilizando una lógica negada para la activación de los releadores.

- **#255.** Este programa se encarga de escribir los datos a las tarjetas acondicionadoras. Para esto se vale de la tarjeta PC-DIO 24, utilizándola como puertos de salida

Al momento de ejecutar el programa necesita que se le indiquen las siguientes direcciones: la dirección base y la de la tarea que se va a realizar, aparte se le debe pasar el dato que se quiere escribir a la tarjeta. La dirección de la tarea depende de la tarjeta a la que se quiera acceder, por ejemplo: para la tarjeta 0 las direcciones son: 0, 1, 2, 3 y 4, mientras que para la tarjeta 1 son: 16, 17, 18, 19 y 21. Para obtener las direcciones para las siguientes tarjetas se debe multiplicar 16 x número de la tarjeta y sumarle el valor que le corresponde a la tarea que se quiera realizar. Las direcciones de las tareas se muestran en la siguiente tabla.

Tarea	Dirección
Ajuste grueso	0
Fuente de voltaje	1
Relevador de malla	2
Ajuste fino (parte baja)	3
Ajuste fino (parte alta)	4
Ganancia	4

Con estas direcciones el *gal* de cada tarjeta determina si el dato que se tiene en la línea es para alguno de sus dispositivos y activa las líneas de lectura del dispositivo que controle la lectura de dato para cada caso. Como se puede ver la ganancia y el ajuste fino (parte alta) comparten la misma dirección; esto se debe a que el DAC del ajuste fino es de 12 bits, por lo que con la dirección 3 se cubren los primeros 8 bits y los otros cuatro se cubren con los primeros 4 bits de la dirección 4. Y la ganancia utiliza los restantes 4 bits para manejar la ganancia del amplificador de instrumentación. Para más información ver apéndice B, donde se incluyen los valores para cada caso.

El programa sigue el siguiente algoritmo

- 1 Deshabilita la escritura de la PC-DIO 24
- 2 Escribe dirección y dato a los registros de la PC-DIO 24

3. Habilita escritura de la PC-DIO 24
  4. Deshabilita la escritura de la PC-DIO 24
- **Ajuste de ceros por aproximaciones.** Con este programa se realiza el ajuste grueso del acondicionador, con esto se busca que para una ganancia unitaria el offset de la señal esté en un máximo de  $\pm 250$  mV. Con lo cual el ajuste fino se puede llevar a cabo sin problemas. Si por alguna razón el offset queda por fuera de este rango el ajuste fino no se realizará bien y lo más seguro es que la señal quede saturada o con un offset muy grande.

El ajuste grueso se realiza siguiendo los siguientes pasos:

1. Se escribe un 255 al DAC del ajuste grueso (para que se entregue el voltaje máximo negativo)<sup>1</sup>.
2. Se fija una frecuencia de 1 khz
3. Se inicializan variables (voltaje por cada canal y variables auxiliares)
4. Se fija una ganancia unitaria
5. Se abre la malla por 500 milisegundo
6. Se cierra la malla
7. Se configura a la tarjeta de adquisición de datos.
8. Se leen las señales de los canales.
9. Se compara el voltaje de DC de cada canal para ver si el valor leído es mayor (valor absoluto) que el anterior
10. Si el voltaje es mayor se activa una bandera para el canal y se escribe el valor anterior al arreglo donde se guardan los datos que se escriben al DAC. Si no es mayor se guarda el valor del voltaje leído en una variable auxiliar, con la

<sup>1</sup> El voltaje que se puede obtener con el DAC está entre 1.15 V

cual se hace la comparación anterior, y se decrementa en uno el dato que se encuentra en el arreglo.

11. Regresar al paso 9 hasta que se procesen todos los canales.
12. Se escribe los datos correspondientes para cada tarjeta y se modifica el valor que entrega el DAC de ajuste grueso.
13. Se leen los voltajes y se obtienen el nivel de DC para cada canal. Aquí para cada canal se leen 120 datos por lectura y de estos 120 datos se obtiene el nivel de DC.
14. Regresar al paso 8 hasta que se hayan activado todas las banderas o se haya llegado a escribir el cero en los DAC (Por lo regular cuando se llega a escribir el cero es que no se pudo realizar el ajuste grueso).

a) Fin del programa

En esta secuencia de pasos se utiliza el 8255 para escribir los datos a los DAC de cada tarjeta acondicionadora a la que se le está aplicando el ajuste. Por lo regular este ajuste debe dejar un valor que oscile entre los +100 mV y los -100 mV, sin embargo, la operación sigue siendo correcta siempre y cuando el offset no exceda los  $\pm 250$  mV. Este programa se había hecho en un inicio con aproximaciones sucesivas; pero debido a que en algunos momentos el transductor no respondía tan rápido a los cambios de valores tan drásticos (de un voltaje positivo a uno negativo de un valor a otro) del DAC por lo que dejaba mal ajustado a los acondicionadores. Mientras que con este método se hace que los cambios de voltajes sean paulatinos y en un solo sentido.

Para la captura de las señales y configuración de la tarjeta de adquisición de datos se utilizan las librerías de LabView, ver información sobre estas librerías en el apéndice A. La velocidad de captura ( $F_c$ ) es diferente a la que se utiliza

---

<sup>2</sup>  $F_c$  - Frecuencia de captura

en la captura de señal para su visualización (1200 Hz). Durante este proceso el usuario no visualiza la señal; ya que se desea que el ajuste sea lo más rápido posible.

- **Ajuste fino.** El ajuste fino busca que el offset del amplificador de instrumentación sea lo menor posible cuando se tiene la máxima ganancia, una ganancia de 1000. Como se busca un ajuste más preciso se decidió utilizar un DAC de 12 bits y con esto aumentar el rango de variación de voltajes a la salida de la fuente<sup>1</sup>. Este programa sigue en ejecución al de ajuste grueso; esto es debido a que este programa necesita que el offset de la señal este entre  $\pm 250$  mV.

Con este programa se busca que el offset este entre  $\pm 5$  mV y con una ganancia de 1000; mientras que con el ajuste grueso se buscaba que quedara entre  $\pm 250$  mV con una ganancia unitaria. Después de que se termina de ejecutar esta rutina se busca dejar la ganancia que ha elegido el usuario.

Para correr el programa se necesita pasar un arreglo donde se especifiquen los canales con los que se va a trabajar. El programa sigue el siguiente algoritmo.

1. Se inicializan los arreglos y variables auxiliares (H-Datos, L-Datos, Arr. De Canales, auxiliar, etc) La variable "auxiliar" se inicializa con el valor de 2048, que es la mitad de 4096 que es el máximo número que se puede representar con 12 bits.
2. Se selecciona la ganancia de mil para cada canal
3. Se configura la tarjeta de adquisición de datos
4. Auxiliar = Auxiliar / 2
5. Se escribe el dato de la parte baja del ajuste fino

<sup>1</sup> Para el ajuste grueso era de (10/255), para el ajuste fino es de (10/4096) lo cual da una gran diferencia

6. Se escribe el dato de la parte alta del ajuste fino; aquí se le agrega el valor para que se mantenga la ganancia de mil.
7. Los dos anteriores pasos se repiten para cada uno de los canales.
8. Se leen las señales de cada canal (utilizando las librerías de LabView).
9. Se obtiene el nivel de DC de cada una de las señales y se guarda en un arreglo.
10. Con la parte baja y alta se obtiene el valor del dato que se está escribiendo al DAC.
11. Se compara el voltaje de DC que esté en el intervalo deseado ( $\pm 5$  mV).
12. Si el voltaje de DC es mayor que 5 mV se le resta al dato que se tiene el valor de "auxiliar". Si está en el intervalo de  $\pm 5$  mV se escribe el mismo dato. Si no se le suma al dato que se tiene el valor de "auxiliar".
13. Se descompone el dato en la parte alta y baja.
14. Si "auxiliar" no es igual a 1 repetir los anteriores 10 pasos.
15. Se guardan las partes altas de cada canal en un arreglo global; esto se realiza con el fin de que cuando se cambie la ganancia no se cambie el valor de la parte alta del ajuste fino.

a) Fin del programa

Con este algoritmo se busca hacer un ajuste fino utilizando las aproximaciones sucesivas, es decir el valor que se escribe al DAC varía sumándolo o restándole el valor de la variable auxiliar; la cual tiene en un inicio el valor de 2048 y disminuye en cada repetición la mitad hasta que llega a 1. Con este ajuste fino se pueden obtener valores de DC inferiores a los 5 mV, siempre y cuando el transductor responda correctamente a los cambios de valores y se haya realizado el ajuste grueso con éxito

- **Ganancias** Con este programa se busca realizar el cambiar la ganancia del amplificador de instrumentación. En la tarjeta acondicionadora se tienen 4 relevadores que hacen que se tome en cuenta o no la resistencia a la que están conectados en uno de sus extremos. En el momento en que están cerrados los relevadores el arreglo de resistencias que fija la ganancia varía para que el amplificador tenga la ganancia que se desea. Las ganancias que se pueden obtener de la tarjeta son: 1, 10, 100 y 1000. Y variando los niveles de conversión de la tarjeta de adquisición de datos se pueden obtener ganancias de: 2, 5, 20, 50, 200 y 500. Todo esto lo realiza el programa cuando el usuario selecciona una ganancia y lo debe realizar de forma automática y sin perder los datos del ajuste fino.

El programa necesita que se le den los canales a los que se les quiere cambiar su ganancia así como el valor de la ganancia. El siguiente algoritmo muestra los pasos realiza el programa para hacer el cambio de ganancia.

1. Se forma un arreglo donde se guarden los índices de los canales.
2. Se compara si el valor de la ganancia está entre 1 y 5. Si está en este intervalo se escribe el dato para dar una ganancia unitaria, y salta al paso 6. Si no continúa.
3. Se compara si el valor de la ganancia está entre 10 y 50. Si está en este intervalo se escribe el dato para dar una ganancia de 10, y salta al paso 6. Si no continúa.
4. Se compara si el valor de la ganancia está entre 100 y 500. Si está en este intervalo se escribe el dato para dar una ganancia de 100, y salta al paso 6. Si no continúa.
5. Si no estuvo en ninguno de los anteriores intervalos se escribe el dato para una ganancia de mil.

6. Se regresa al paso 2 y repite el procedimiento para todos los canales restantes
7. Se inicializan los arreglos para su posterior utilización.
  - a) Fin el programa

El penúltimo paso se debe realizar para que no se queden valores de procesos anteriores. Por ejemplo si en el proceso se desea cambiar o asignar la ganancia a 4 canales y en un segundo proceso a 2 solamente; el programa realizaría el proceso para los 4 canales si no se limpian los arreglos y se dejan sin ningún elemento. Esto situación causó muchos problemas durante la programación y por eso agregó la inicialización de la variables del programa al fin de este.

También como se ve solamente se escriben los datos para obtener las ganancias de 1, 10, 100 y 1000, y las comparaciones se deben de hacer por intervalos. El cambio de los límites de conversión de la tarjeta de adquisición se realiza en el programa de "gan", donde también se manda a llamar a este programa.

Aparte del dato referente a la ganancia, donde lo único que se hace es encender o apagar un relevador, se debe cuidar de no cambiar el valor de la parte alta del ajuste fino y para eso al dato se le suma la parte alta correspondiente al canal.

- **Gan.** Cuando se está visualizando la señal en el programa de ajuste se pueden cambiar las ganancias de los canales que se están desplegando. Durante este procedimiento se deben cambiar los límites de conversión de la tarjeta de adquisición de datos si es necesario. Para realizar esto se creó el programa de Gan; el cual se encarga de recibir los canales, los valores de ganancia, límites fijados en el momento y ganancias anteriores. Con todos estos datos el programa realizará el cambio de ganancia o de límites en los canales que hayan cambiado

A continuación se describe el procedimiento para realizar estas tareas.

1. Se inicializan la variables de límites de salida y ganancias de salida. La primera se inicializa con límites de entrada y la segunda con las ganancias de entrada.
2. Se determina cual es la nueva ganancia de cada uno de los canales y se modifican los límites de conversión para cada canal en la variable límites de salida.
3. Se procede a ejecutar el programa ganancias para que modifique las ganancias de los canales seleccionados.

a) Fin del programa

El procedimiento de este programa es relativamente sencillo; ya que solamente debe fijar los nuevos límites de conversión y hacer que el programa de ganancias escriba la ganancia para cada canal que se está visualizando en pantalla. En el momento que fija los nuevos límites de conversión el programa debe regresar estos valores al programa de ajuste; para que en el momento que se haga la nueva captura de las señales de los canales se apliquen los nuevos límites de conversión. En el siguiente diagrama se presenta la información que entra al programa y la información que sale del programa.



Como se puede ver en el procedimiento el programa no distingue entre si ha cambiado o no la ganancia de los canales e inclusive si hay un nuevo canal, aunque esto es posible realizarlo, y así evitar que se hagan escrituras de más, se

consideró que no era necesario hacerlo. El motivo, es que la lógica para realizarlo consumía mucho más tiempo de máquina que dejarlo de esta forma, y con el tiempo que se consumía de más se tenían problemas de lentitud en la visualización de la señal en pantalla. Aparte de que no hay ningún problema si se vuelve a escribir el mismo dato a las tarjetas acondicionadoras.

Lo que se realiza en esta rutina se podía haber puesto en el mismo programa de **ajuste** pero tomando en cuenta que el programa se estaba saturando de código, se decidió agregar esta rutina y la siguiente de ajustes.

- **Ajustes.** Al igual que la anterior esta rutina se ejecuta solamente cuando se está visualizando la señal, pero a diferencia de la anterior esta se ejecuta solamente cuando se ha seleccionado la opción de realizar un nuevo ajuste y se ha determinado que ajuste se desea. Para esto el usuario debe primero presionar el botón de ajuste, que se encuentra en la parte inferior de la pantalla. Después de que presionó este botón, y se haya seleccionado por lo menos un canal, el programa hará que aparezcan otros dos botones con los cuales puede seleccionar si desea un ajuste automático (ajuste por aproximaciones) o si desea un ajuste de manera manual (ajuste de ceros de manera secuencial). En el momento en que se hayan seleccionado alguna de estas dos últimas opciones el programa de **ajuste** hará que se empiece a ejecutar esta rutina.

Esta rutina se vale de las siguientes rutinas para su ejecución: **ajuste de ceros por aproximaciones, ajuste fino, ganancias, ajuste de ceros de manera secuencial y frecuencia.** Con todas las rutinas se realiza un ajuste de ceros completo. Para poder ejecutarse este programa el programa de **ajuste** le pasa los siguientes datos: ganancias, canales, estado de los canales (se utiliza una bandera para determinar a que canales se les realizará el ajuste) y que tipo de ajuste se va a realizar

A continuación se presenta el algoritmo con el que se desarrolló este programa.

1. Se limpian los arreglos canales y gan aux.
  2. Se determina a qué canales se les debe realizar el ajuste comparando la bandera de cada canal. La identificación de cada canal a realizar su ajuste se guarda en el arreglo canales y la ganancia en gan aux.
  3. Se determina que tipo de ajuste grueso se va aplicar, **ajuste de ceros por aproximaciones o ajuste de ceros de manera secuencial**.
  4. Se ejecuta la rutina que se determino en el paso anterior. En el caso de que se haya seleccionado **ajuste de ceros de manera secuencial** se debe realizar un ciclo que abarque cada uno de los canales.<sup>4</sup>
  5. Se ejecuta la rutina de **ajuste fino**.
  6. Se ejecuta la rutina de **frecuencia**.
  7. Se ejecuta la rutina de **ganancia**.
- a) Fin del programa.

Como se menciona en el algoritmo el programa determina los canales a los que se les debe realizar el ajuste de ceros y todo lo demás es mandar ejecutar las rutinas que conforman el ajuste en la secuencia correcta. Este programa al igual que el anterior (**gan**), su código se pudo haber agregado en el programa **ajuste**, pero debido al espacio no se hizo.

- **Ajuste de ceros de manera secuencial** Esta rutina tiene como fin darle al usuario la posibilidad de realizar el ajuste grueso, esto debido a que, con el ajuste de ceros por aproximaciones sucesivas, no se pueda ajustar el cero de algún o algunos transductores. Lo anterior puede suceder en transductores que

<sup>4</sup> Como se puede ver en la descripción del programa (ajuste de ceros de manera secuencial) este programa solamente realiza su proceso para un solo canal, por lo tanto se debe hacer un ciclo que haga que se ejecute este programa para cada uno de los canales seleccionados.

tengan mucha oscilación, en su respuesta a los cambios de voltaje a la salida del DAC.

Con esta rutina se simula al acondicionador real; es decir el usuario ve en pantalla como la señal se mueve cuando el varía un control, tipo perilla. Pero realmente lo que está haciendo es que está variando el voltaje que entrega el sistema implementado con el DAC y todo hecho a través de la computadora.

Para poder operar el programa necesita que se le indique el canal con el que va a trabajar. Y después sigue los siguientes pasos.

1. Se inicializa la variable del control con 255
  2. Se inicializa la bandera con falso
  3. Se escribe un 255 al DAC del ajuste grueso (para que se entregue el voltaje máximo negativo)
  4. Se fija una frecuencia de 1 khz
  5. Se fija una ganancia unitaria
  6. Se abre la malla por 500 milisegundos
  7. Se cierra la malla
  8. Se configura a la tarjeta de adquisición de datos.
  9. Se escribe el valor del control a la tarjeta acondicionadora.
  10. Se lee la señal del canal y se presenta en pantalla.
  11. Si la bandera está en verdadero salir, sino regresar al paso 9
- a) Fin del programa

Aquí el usuario es el que modifica los valores del control y hace que la bandera cambie de "falso" a "verdadero", esto último lo hace cuando presiona el botón de terminar. Como se puede ver el programa no debe esperar a que el usuario

cambie el valor del control para continuar con su ejecución, esto es debido a que no es necesario programar la lectura de los controles que se utilizan en LabView

La finalización del programa dependerá del usuario, ya que él es el que determinará cuando está ajustado el transductor. La pantalla que se presenta al usuario es diferente a la que ve el usuario en el programa de **ajuste**. En esta pantalla solamente se presenta la señal, el botón de "TERMINAR", el control de perilla, un display digital del voltaje de DC de la señal y un display donde se indica el canal que se está visualizando.

Con todas estas rutinas se busca que el programa de **ajuste** sea un programa estructurado. También se hace que si se cambian los métodos de ajuste o la forma de cambiar las ganancias el programa no deba sufrir ninguna modificación; ya que solamente se deberá modificar la rutina y adecuar, si es el caso, los datos que se le deban pasar.

La realización del programa de ajuste se hizo en base a la siguiente secuencia de pasos. En los pasos solamente se hará referencia al nombre de las rutinas anteriores

1. Se inicializan variables auxiliares, banderas y arreglos a utilizarse durante la ejecución.
2. Se ejecuta la rutina **archivo** y se utilizan los valores que entrega para inicializar las variables correspondientes.
3. Si la ruta que regresa la rutina de **archivo** es nula el programa terminará y regresará a **captura de datos**. Si no continua con el siguiente paso
4. Se inicializan más variables, banderas y arreglos
5. Se ejecuta la rutina de inicio de acondicionadores. Los datos que se le deben pasar se obtienen de determinar el tamaño del arreglo de parámetros específicos.

6. Se le pide al usuario que seleccione el ensayo a realizar y para continuar se le pide que presione el botón, de "CONTINUAR", que aparece a la mitad de la pantalla.
7. Una vez seleccionado el ensayo se obtienen los parámetros generales referentes a este ensayo.
8. Se polariza cada uno de los transductores, escribiendo los datos a través del 8255.
9. Se actualizan los arreglos de límites, ganancias, N claves y canales.
10. Se ejecuta la rutina de **asignación de ganancias**.
11. Se ejecuta la rutina de **ajuste de ceros por aproximaciones**.
12. Se ejecuta la rutina de **ajuste fino**.
13. Se ejecuta la rutina de **frecuencia**.
14. Se ejecuta la rutina de **ganancias**.
15. Se inicializa la tarjeta de adquisición de datos para que capture a la frecuencia de 500 Hz o a la establecida en los parámetros generales y con límites especificados para cada canal<sup>5</sup>. También se configuran otros términos como son la memoria que se necesita para que la tarjeta vaya almacenando los datos.
16. Se despliegan todos los datos restantes en la pantalla (N. Clave, ganancias).
17. Se leen las señales de todos los canales configurados en la prueba.
18. Se despliega la señal de los 4 canales seleccionados. (De default se desplegarán los primeros 4)
19. Se obtiene el nivel de AC estimado de los cuatro canales visualizados

<sup>5</sup> El que se realice la captura con frecuencias mayores de 500 Hz es debido a la velocidad que realiza la computadora todos los demás procesos. Cuando la frecuencia es menor comienza haber problemas de pérdida de datos.

20. Si alguno de estos niveles esta por debajo de los 80 mV se enciende la alarma correspondiente al canal.
21. Se cambia la ganancias de los cuatro canales visualizados.
22. Se determina si en el proceso se están perdiendo datos. Si se están perdiendo datos se enciende una alarma en la pantalla.
23. Si se presiono el botón de "AJUSTAR", se verifica que se haya seleccionado por lo menos alguno de los canales para que se realice el ajuste.
24. Si por lo menos hay un canal seleccionado aparecen los botones de "AUTOMATICO" y "MANUAL". Se espera a que se seleccione alguno de los ajustes o que se presione otra vez el botón de "AJUSTE". Durante está espera no suspenden todas las demás tareas.
25. Si se presiono el botón de "AJUSTE" de nuevo se salta al paso 27.
26. Si se seleccionaron alguno de los otros botones se procede a desplegar el letrero de ajustando y a ejecutar la rutina de ajustes.
27. Se actualizan banderas y se ocultan desplegados de ajustando.
28. Si la bandera de "AJUSTE" o "TERMINAR" son falsas regresar al paso 16.
29. Si la bandera de "AJUSTE" es verdadera regresar al paso 15.
30. Si la bandera de "TERMINAR" es verdadera continuar con el siguiente paso.
31. Se le da el valor de verdadero a la bandera de ajuste, esto con el propósito de que deje entrar al usuario al programa de captura
32. Se le asigna a la variable global de ensayo el valor del ensayo que se proceso
33. Se le asigna a la variable global de archivo la ruta del archivo que se está utilizando
34. Se salvan los parámetros generales y especificos en el archivo seleccionado, esto se debe hacer debido a los posibles cambios de ganancias que hay

**a) Fin del programa**

Todos estos pasos reflejan en forma general la forma en que está diseñado el programa de ajuste. La mayoría de los pasos, tanto de este último como de los demás programas, conllevan a una gran cantidad de operaciones y pasos. Sin embargo estos son los más indicativos de lo que se realizó para el desarrollo de los programas.

Con este programa se trata de que las señales sean acondicionadas lo mejor posible, para que en el momento de la captura no se tengan problemas y se tenga que repetir la prueba. Si se logra esto en la mayoría de las pruebas se disminuirá en mucho el tiempo que se tarda en realizar las pruebas (actualmente se tardan alrededor de 15 minutos por ensayo; sin tener que repetirlo).

**6.2.2.2 CAPTURA**

En este programa se lleva a cabo la captura de la señal con las características programadas y durante el tiempo establecido por el número de eventos. También se guardan los datos en el disco duro de la computadora para su utilización posterior.

Anteriormente se mencionó que para poder iniciar la captura de señales se necesita que el programa de ajuste valide una bandera que este programa compara al momento que es cargado. Si la bandera no se ha validado como verdadera el programa desplegará un mensaje donde le dice al usuario que primero tiene que realizar la tarea de ajuste y regresará al menú principal. Si la bandera fue validada (como verdadera) procederá a seguir con los siguientes pasos.

1. Verifica si la bandera de "ajuste" tiene valor verdadero. Si es así salta al paso 4
2. Si no es verdadera despliega un mensaje advirtiendo que primero se debe realizar el ajuste de ceros
3. Salta al fin del programa
4. Abrir el archivo que se seleccionó en el programa de ajuste

5. Inicializar variables, arreglos y banderas.
6. Con la cantidad de eventos y el número de muestras se calcula un estimado del espacio en disco duro que se llevarán los archivos de datos que generará el programa.
7. Se verifica que el espacio en disco duro sea mayor que el espacio calculado. Si el espacio en disco duro es mayor ir al paso 9.
8. Si no es mayor, se pregunta si se desea realizar la captura hasta que se acabe el espacio en disco duro. Si el usuario decide no continuar saltar al fin del programa.
9. Se obtienen los datos característicos de cada canal (límites de conversión, ganancias, límites de conversión y las claves para cada canal).
10. Se ejecuta la rutina de iniciador de acondicionadores.
11. Se determina si existe o no un archivo del ensayo que se va a realizar. Si no existe se generan los nombres de los archivos<sup>6</sup> y saltar al paso 16
12. Si existe el archivo se pregunta si se desea continuar con el proceso. Si se seleccionó que no saltar al fin del programa.
13. Si se selecciona que si se pregunta si "desea sobre escribir" o "crear uno nuevo".
14. Si se selecciona sobre escribir, se deben mostrar los archivos correspondientes a ese ensayo y permitir que se seleccione uno<sup>7</sup>.
15. Si selecciono crear uno nuevo, se deberá generar el nombre del archivo tomando en cuenta el número de archivos que ya se han creado de este ensayo Para más detalles ver siguiente capítulo

<sup>6</sup> En cada captura se generan los archivos de datos y de parámetros. Para ver las características que deben cumplir los nombres ver la sección final del manual de usuario (siguiente capítulo)

<sup>7</sup> Dentro de los archivos que se pueden seleccionar están los que se forman al seleccionar crear uno nuevo, los cuales se cuentan como si fueran repeticiones del ensayo y varían un poco su nombre. Para más detalles ver manual de usuario

16. Se crea el archivo de datos con el nombre generado en los pasos anteriores.
17. Se configura la tarjeta de adquisición de datos.
18. Se determina el nivel de saturación para cada canal.
19. Se despliegan en pantalla los datos, generales de la prueba y las claves de cada canal.
20. Se captura la señal en eventos de 256 muestras<sup>2</sup>.
21. Se visualiza la señal de los cuatro canales deseados (por configuración son los primeros 4).
22. Se calcula qué evento se está realizando y se visualiza el dato en la pantalla. En este programa se visualizan tanto el evento que se está capturando como el número de eventos que se van a capturar.
23. Se determina si alguna de las señales capturas está saturada. Si es así se enciende el led de saturación y aparece en la pantalla un listado de los canales saturados. Aparte se hace que se visualice el canal saturado en la pantalla en el lugar del cuarto canal desplegado.
24. Se determina si se ha presionado el botón de "TERMINAR" o si ya se han capturado todos los eventos. Si no ha sucedido ninguna de las dos cosas se regresa al paso 20.
25. Si ha sucedido cualquiera de las dos cosas se cierra el archivo de datos.
26. Pregunta si se presionó el botón de terminar. Si no se presionó salta al paso 28.
27. Si se presionó se preguntará si se desea salvar los datos capturados. Si selecciona que no se borrará el archivo de datos y de parámetros. Saltar al fin del programa.

---

<sup>2</sup> El número de muestras es un múltiplo de 256, por lo tanto se toma la decisión de hacer capturas con 256 muestras por evento para evitar problemas con la saturación de la memoria de la tarjeta y se pierdan datos.

28. Se abre el archivo de parámetros para este ensayo.
  29. Se salvan los parámetros de este ensayo.
  30. Se cierra el archivo.
- a) Fin del programa.

En el archivo de parámetros que se crea en este programa se agregan los datos de canales saturados y el evento donde se saturó por primera vez; aparte se puede modificar el número de eventos si decide terminar el proceso seleccionando "TERMINAR". También el número de tareas que hace el programa durante la captura es menor a las que realiza el programa de ajuste, esto se debe a que por las velocidades de captura (por lo general 100 Hz.) se debe hacer que la computadora ejecute el menor número de operaciones extras posibles, con esto se busca que no se pierdan los datos que se están capturando.

Durante la ejecución de este programa ya no se realizan las rutinas de ajuste, es por eso que primero se debe realizar el proceso de ajuste y después la tarea de captura. Aunque todavía se realizan algunos procesos, que ya se realizaron en el programa de ajuste, con los cuales no se debe tener problema; ya que lo único que se hace es volver a escribir el último dato que escribió el programa de ajuste.

Al inicio del programa se hacen algunos cálculos para asegurar que se cuenta con el espacio suficiente para guardar los datos. Este proceso se agrega para que se tuviera la certeza de que se puede realizar la prueba sin el temor de que se suspenda por un error de falta de memoria. Aunque si se selecciona continuar con la prueba, cuando se ha detectado que no hay suficiente espacio, se puede tener el problema de que no quede el espacio suficiente para salvar el archivo de parámetros y no se pueda recuperar la información.

### 6.2.3 VISUALIZACIÓN

Como se mencionó al inicio de esta sección del sistema se hizo como una herramienta más. El motivo es darle al usuario la opción de visualizar sus datos antes de

realizar el proceso de análisis. Con esto puede decidir si es necesario hacer el proceso de análisis con los datos, ya sean todos o con parte de ellos. Por otro lado se agregó la impresión de algunos de los parámetros de las ensayos realizados. La impresión es parecida a la que se realiza en el programa de prepara, solamente que se agregan los datos de saturación para cada canal.

La visualización de los datos consta de las siguientes opciones: **visualizar, análisis y reporte**. Y la forma de operar es de la siguiente forma:



Como se puede apreciar el programa funciona solamente como un menú de opciones, al igual que los anteriores programas, donde se selecciona la opción que se desea realizar y el programa se encarga de mandar llamar a la rutina seleccionada. A continuación se especifica la forma en que se diseñó cada una de las rutinas.

### 6.2.3.1 VISUALIZAR

Esta rutina permite visualizar los datos guardados en alguno de los archivos generados por el programa de **captura**. Al igual que en los programas de **ajuste y captura**, permite visualizar cuatro canales a la vez. Pero a la vez permite realizar el zoom de las señales y fijar puntos para calcular diferencias entre dos puntos

El usuario, en el momento que está viendo la señal puede generar archivos en formato ASCII (de los datos que se están visualizando). Esto le permite procesar la información capturada en otros paquetes o programas. El algoritmo para realizar el programa fue el siguiente.

1. Inicialización de variables.
2. Permitir que el usuario elija el archivo a visualizar (selección del archivo de parámetros).
3. Si no se selecciona ningún archivo ir al fin del programa.
4. Abrir el archivo seleccionado e inicializar las variables y arreglos a utilizar para el desplegado de la información.
5. Cerrar el archivo de parámetros
6. Formar la ruta para abrir el archivo de datos.
7. Abrir el archivo de datos.
8. Desplegar los datos generales del ensayo.
9. Desplegar la clave de los canales seleccionados (por default serán los primeros 4).
10. Leer el archivo de datos (se leen los primeras 256 muestras de todos los canales utilizados)
11. Se calculan los valores reales<sup>9</sup> de las señales.
12. Se despliegan los datos en pantalla.
13. Si se presiona el botón de generar archivo de formato ASCII se llama a una librería de LabView que crea archivos en formato ASCII con valores numéricos. En archivo que se genera tiene el mismo nombre que el que se abrió pero cambia la extensión a "TXT"

<sup>9</sup> El programa de captura salva la información en formato binario, aparte no se salvan los datos como los entrega la tarjeta de adquisición de datos

14. Si se presiona el botón de "FIJAR" el programa fijará el valor de X y Y donde este posicionado el cursor en ese momento. Con esto los desplegados de dX y dY darán los valores a partir de este punto y la diferencia con el desplazamiento que tenga el cursor.
  15. Si se presiona el botón de "ADELANTE" o "ATRAS" solamente se fija cual será la próxima lectura. Es decir si el botón dice "ADELANTE" el programa leerá los siguientes datos y si dice "ATRAS" leerá los datos anteriores a los que se están mostrando en pantalla.
  16. Si se presiona el botón de "SIGUIENTE" se efectuara la lectura de los datos, según el valor del botón de "ADELANTE" y "ATRAS".
  17. Si se presiona el botón de "TERMINAR" saltar al fin del programa.
  18. Regresar al paso 9.
- a) Fin del programa.

La visualización de los datos, como se puede observar en el algoritmo, es en bloques de 256 muestras. Se realizó de esta forma por la manera en que se salvaron los datos en el programa captura y a que se cree que es mejor que el usuario pueda visualizar la señal por bloques. Finalmente el programa permite visualizar toda la señal utilizando el botón de "SIGUIENTE" en combinación con el botón "ADELANTE" y "ATRAS".

#### 6.2.3.2 ANÁLISIS

El propósito del programa es la de simular un analizador de espectros y presentar los análisis que le interesan al usuario en el momento. Con esto se le proporciona al usuario la posibilidad de realizar los procesos de análisis matemático y visualización gráfica de los resultados en el campo. Lo cual le resulta útil para determinar si los datos capturados le son útiles o si debe realizar de nuevo alguna de las pruebas.

El programa puede trabajar tanto con archivos de datos o realizar una captura en el momento. En caso de que se desee realizar la captura de las señales se debe contar únicamente con la tarjeta de adquisición de datos, ya que el programa únicamente realiza la adquisición de señales y no interactúa con los acondicionadores. Por lo tanto se puede conectar cualquier señal a las entradas de la tarjeta y el programa realizará su proceso sin marcar ningún error.

Para realizar estas tareas el programa se auxilia de las siguientes programas: menu2, archivo2, abrir, parámetros, overlap y adquisición de señales A y B. A continuación se describe cada uno de los programas mencionados.

- **Menu 2.** Este programa se ejecuta en cada repetición del proceso, ya sea que se quiera realizar otra vez el proceso durante la ejecución del programa o se seleccione otra vez desde el programa de visualización. El proceso que realiza es el siguiente:
  1. Se inicializan variables.
  2. Si se presiona el botón de "SIN OVERLAP", que cambie el letrero a "OVERLAP" y aparezca un control para indicar el porcentaje de overlap que se desea. Y si por el contrario se presiona el botón cuando este "OVERLAP" que cambie el letrero a "SIN OVERLAP" y desaparezca el control.
  3. Verificar si alguno de los botones de "ARCHIVO" y "CAPTURA" son presionados.
  4. Si no ha sido presionado ninguno regresar al paso 2
  5. Si ha sido presionado alguno sustituir las variables leídas en las variables de salida

a) Fin del programa

Con este programa se selecciona el proceso a realizar, realizar la captura de las señales o utilizar los datos de un archivo. De forma paralela se puede

seleccionar si se desea utilizar alguna ventana de ponderación (Hanning, Flap top o ninguna de las dos) y si se desea realizar overlap en el proceso. Todos estos datos son pasados al programa de análisis para su utilización en las siguientes rutinas.

- *Archivo2*. Este programa se ejecutará si en el programa de *memu2* se presionó el botón de "ARCHIVO".
  1. Permitir que el usuario elija el subdirectorio donde está el archivo de datos.
  2. Si el usuario canceló la selección ir al fin del programa.
  3. Si el usuario seleccionó un subdirectorio donde no hay ningún archivo de datos desplegar un mensaje al usuario e ir al fin del programa.
  4. Si se seleccionó un subdirectorio con archivos de datos; se procederá a generar un listado de los archivos existentes.
  5. Se desplegará un mensaje donde se le diga al usuario que elija un archivo.
  6. Una vez que ha seleccionado un archivo se genera la ruta del archivo seleccionado.
  7. Se abre el archivo seleccionado.
  8. Se genera un arreglo de los canales utilizados en la captura.
  9. Se leen las constantes de calibración de cada uno de los canales.
  10. Se cierra el archivo.
  11. Se despliega un listado en la pantalla para que el usuario elija el canal "A".
  12. Una vez que ha seleccionado el canal "A" se despliega otro listado con los mismos canales para que seleccione el canal "B".
  13. Cuando termine de seleccionar los canales se guardan los datos de los canales seleccionados y la constante de calibración para cada canal

14 Se guarda el nombre del archivo en otra variable.

a) Fin del programa.

El programa le permite al usuario seleccionar tanto el archivo donde se encuentran los datos que le interesan, como los canales con los que se trabajará. El análisis matemático que se realiza es con dos canales a la vez; por lo tanto el usuario debe seleccionar los canales que le interesan durante la corrida del programa.

- **Lectura.** Este programa es una subrutina del programa abrir y se ejecuta siempre y cuando se haya seleccionado algún archivo. Su algoritmo es el siguiente.
  1. Se crea un listado con todos los tamaños posibles de los eventos que se pueden generar<sup>10</sup>.
  2. Se inicializan variables.
  3. Se calculan el número posibles de eventos que se pueden formar con el valor seleccionado del control "TAMAÑO DE MUESTRA".
  4. Se verifica si ha sido presionado el botón de "SALIR".
  5. Si no se ha presionado regresa al paso 3.
  6. Si se ha presionado se guardan los datos leídos en la variables de salida del programa.

a) Fin del programa.

Aquí se pretende que el usuario seleccione el número eventos que desea analizar así como el número de muestras por evento que desea. Cuando el usuario elige un tamaño diferente al que se seleccionó en el momento de programar la prueba, el programa calcula el número de eventos posibles para que el usuario puede

---

<sup>10</sup> Se pueden generar tamaños desde 250 hasta 32 768 si el número de datos en el archivo lo permite.

seleccionar el número de eventos con los que se quiere que se realice el análisis. Para seleccionar el número de eventos se le pide al usuario que proporcione el número de evento inicial y evento final con lo cual selecciona el intervalo de datos para el análisis.

- **Abrir.** El programa se ejecuta después de que se terminó de elegir el archivo (subrutina de **archivo2**) y realiza la apertura del mismo para la lectura de datos. A continuación se presenta el algoritmo que se siguió para la programación.
  1. Se inicializan arreglos y variables.
  2. Se abre el archivo de parámetros seleccionado en el programa de **archivo2**.
  3. Se genera la ruta del archivo que se generara en frecuencia.
  4. Se genera la ruta del archivo de datos
  5. Se leen los parámetros generales del archivo de parámetros.
  6. Se cierra el archivo de parámetros.
  7. Se ejecuta la rutina de lectura.
  8. Se abre el archivo de datos.
  9. Se leen los datos del archivos de datos y se guardan en unos arreglos auxiliares. Estos arreglos serán del tamaño seleccionado en la rutina de lectura.
  10. Se cierra el archivo de datos.
  11. Se calculan los valores reales de los datos leídos.
  12. Se guardan estos valores en los arreglos de salida.
    - a) Fin del programa.

Al igual que el programa de **archivo2** se ejecuta este programa si se seleccionó la opción de **archivo** en la subrutina de **menu2**.

Como se ve el programa se encarga de generar los arreglos con los datos para el análisis y de leer los parámetros con los que se llevo a cabo la lectura de datos. Finalmente estos datos son utilizados para realizar el análisis y presentar en pantalla los parámetros importantes.

- **Parámetros.** Si durante el programa de **menu2** se seleccionó la opción de **captura** el programa de **análisis** mandará llamar a este programa en vez del programa de **archivo2**. El siguiente algoritmo muestra el proceso que realiza el programa.

1. Se leen los parámetros para la captura (Tasa de muestro, eventos, tamaño, canal "A", canal "B", límites de conversión para el canal "A" y límites de conversión para el canal "B").
2. Se verifica que si se ha presionado el botón de "SALIR"
3. Si no se ha presionado se regresa al paso 1.
4. Si ya se presionó salvar los datos en las variables de salida.
5. Se calculan los límites de conversión para la tarjeta de adquisición de datos.

a) Fin del programa.

Con la lectura de los parámetros se configurara a la tarjeta de adquisición de datos y proporcionará al programa de **adquisición de señales A y B** el número de veces que deberá adquirir la señal.

- **Adquisición de señales A y B.** Después de que se especificaron los parámetros de captura se procede a ejecutar esta subrutina, la cual configura y programa la tarjeta de adquisición de datos. Su algoritmo es el siguiente

1. Se configura la tarjeta de adquisición de datos con los parámetros leídos en el programa de parámetros.
  2. Se lee el primer evento y se guardan los datos de los canales en un arreglo.
  3. Si el evento leído no es el último se regresa al paso 2.
  4. Se separan los arreglos de los canales leídos y se guardan los datos en los arreglos correspondientes.
- a) Fin del programa.

El programa, al finalizar, regresa los valores leídos por la tarjeta de adquisición de datos en dos arreglos, uno para el canal "A" y en el otro el canal "B". Estos datos se pasan al programa de overlap para que realice los procesos matemáticos y entregue los resultados.

- **Overlap** Este programa se ejecuta después que se ha ejecutado el programa de Adquisición de señales A y B o el de abrir (según la opción seleccionada). Para su programación se siguió el siguiente algoritmo.

1. Se limpian los arreglos utilizados.
2. Se verifica si se seleccionó "Overlap".
3. Si no se seleccionó dejar los arreglos de entrada como están e ir al paso 6.
4. Si se seleccionó se generan arreglos de una sola dimensión<sup>11</sup> con todos los datos de los canales.
5. Se forman arreglos de 2 dimensiones donde se toma en cuenta el "Overlap"<sup>12</sup> que se seleccionó en el programa de menu.

<sup>11</sup> En la adquisición de datos se forman arreglos de dos dimensiones para cada canal.

<sup>12</sup> El Overlap cuenta en general eventos del mismo tamaño, pero donde se repite datos, el número de datos que se repiten está en función del porcentaje de Overlap. Así el primer evento está conformado por los primeros datos, hasta donde se especifica el tamaño del evento, mientras que el segundo evento estará conformado por los últimos elementos del primer evento y los siguientes datos del arreglo. Esto se repite para los siguientes eventos que se van a formar.

6. Se verifica que tipo de "ventana" se seleccionó.
7. Si no se seleccionó una ventana se procede a realizar el análisis matemático de los datos que llegan de los pasos anteriores (espectro cruzado, espectro de potencia, coherencia y función de transferencia).
8. Se guardan los datos en los arreglos y variables de salida.
9. Se limpian algunos arreglos para cuando se una siguiente ejecución no tengan datos.
  - a) Fin del programa.

El programa regresa los arreglos donde se guardan los resultados de los análisis matemáticos realizados. Durante el proceso también se realizan los procesos de overlap y ventana, si fueron seleccionados.

Con todas las subrutinas vistas se realiza la lectura de datos y el análisis en sí; pero la secuencia lógica para realizar estas tareas y otras que se requieren se realizan en el programa de análisis. El proceso que sigue este programa es el siguiente:

1. Inicializar variables y arreglos
2. Se corre la rutina de menu 2.
3. Se limpian las gráficas que se visualizan en la pantalla.
4. Se verifica si en la rutina de menu 2 se selecciono archivo o captura.
5. Si se seleccionó archivo continuar con el siguiente paso y si se seleccionó captura saltar al paso 9.
6. Se ejecuta la rutina de Archivo 2.
7. Se ejecuta la rutina de Abrir.
8. Saltar al paso 11.
9. Se ejecuta la rutina de parámetros

10. Se ejecuta la rutina de **adquisición de datos**.
11. Se ejecuta la rutina de **análisis**.
12. Se visualizan las **gráficas** de cada uno de los cálculos realizados en **análisis**.
13. Se verifica si sea presionado algunos de los botones, "PARAMETROS" o "TERMINAR".
14. Si no se ha presionado ninguno regresar al paso 12.
15. Si se ha presionado el botón de "PARAMETROS" regresar al paso 2.
16. Si se presiono el botón de "TERMINAR" finalizar el programa.

En este programa no se generan archivos; ya que para eso se cuenta con el módulo de análisis, donde se generan los archivos en formato ASCII. Esto se decidió dejarlo así debido a que nada más se busca que el usuario pueda visualizar el análisis y no la de generar archivos de datos. Además el módulo de análisis realiza el mismo proceso para realizar el análisis, nada más que en este se busca que se puedan seleccionar más de dos canales.

### 6.2.3.3 REPORTE

Al igual que en el programa de **visualizar**, este programa requiere de que ya sea haya capturado por lo menos un archivo de datos. Esto se debe a que la impresión se realiza con los datos que hay en los archivos de parámetros que se generan durante la captura y no con los archivos de pruebas.

La impresión consta de los datos que hay en los archivos de parámetros de un subdirectorio. Es por ello que se le pide al usuario que seleccione un subdirectorio en lugar de un archivo. Con esto se busca que se impriman los datos de todas las pruebas realizadas y no solamente de alguna. Y así darle el mismo formato que al reporte del módulo de **prepara**

Para realizar la impresión se sigue el siguiente algoritmo.

1. Se le pide al usuario que elija el subdirectorio de la prueba.
2. Esperar a que el usuario elija el subdirectorio.
3. Generar un arreglo con los nombres de los archivos existentes en el subdirectorio<sup>13</sup>.
4. Se verifica que exista por lo menos un archivo.
5. Si existe algún archivo ir al paso 8.
6. Si no existen archivos desplegar un mensaje de que no hay archivos a imprimir.
7. Saltar al paso 13.
8. Generar la ruta de los archivos que se tienen en el arreglo.
9. Abrir los archivos del arreglo.
10. Leer los datos de los archivos y formar una tabla.
11. Mostrar la tabla al usuario y preguntar si es el archivo que se desea imprimir. Si contesta que sí, pasar al paso 12, si contesta que no pasar al paso 13.
12. Llamar a la subrutina de impresión y se le pasa la tabla a imprimir.
13. Regresar al programa de visualización.

#### 6.2.4 ANÁLISIS

El siguiente módulo tiene la función de realizar el análisis matemático de los archivos generados por **captura**. La diferencia que hay entre este análisis y el de visualización es que el otro está diseñado para dos canales por proceso y que se visualicen los resultados mientras que éste puede realizar el análisis de varios pares de canales a la vez. Otra

<sup>13</sup> Solamente se tomarán en cuenta a los archivos de parámetros de los ensayos capturados.

diferencia es que aquí no se visualizan los resultados en pantalla y nada más se indica el archivo que se está procesando en el momento.

Este procedimiento sustituye al análisis que realiza el programa de "IFCII" y que generaba archivos en formato ASCII con los resultados. Este programa también genera archivos en formato ASCII con el mismo formato que los genera "IFCII", pero se pueden utilizar otras herramientas que no se tenían disponibles en el otro programa. El proceso de análisis ya se describió cuando se habló del programa de análisis en el módulo de visualización. Por lo tanto aquí solamente se explicarán las diferencias que hay entre los procedimientos que siguen las subrutinas de este módulo y el de análisis.

La selección de los canales a procesar se puede realizar de dos formas, automáticamente o manualmente. La primera consiste en elegir el archivo y los canales base; después en el proceso de análisis se toman todos los demás canales para realizar el análisis. Mientras que en el proceso manual se selecciona el archivo, un canal base y se selecciona uno o más canales para realizar el análisis contra el canal base.

En los dos casos se crea un archivo para cada análisis creado; en el archivo se incluyen los siguientes datos: frecuencia, espectro de potencia de la señal "A" y de la señal "B"<sup>14</sup>, función de transferencia (magnitud y fase) y coherencia. Además de estos datos se agregan el valor de la diferencial de frecuencia que se utilizó y el número de puntos que se generaron. Los archivos generados son exportables a otros paquetes donde se puede realizar la graficación de los datos o cualquier otro proceso que requiera el usuario.

Además de los programas que realizan el análisis, en las dos formas descritas antes, se cuenta con otra subrutina que permite modificar los valores de las constantes de calibración en los archivos de parámetros de los archivos ya capturados. Así el usuario tiene la posibilidad de realizar cambios de transductores (del mismo tipo) durante la prueba sin tener que capturar la modificación en el archivo de prueba. Con esto se ahorra tiempo ya

<sup>14</sup> La señal "A" es la del canal base y la señal "B" se refiere a la del canal contra el que se realiza el análisis

que cuando tenga que realizar el análisis nada más tendrá que introducir en la prueba correspondiente el valor de la constante de calibración correcta.

Para realizar todas las tareas descritas el programa de análisis se divide en las siguientes opciones: **análisis automático, análisis manual y cambiar constantes.**



#### 6.2.4.1 ANÁLISIS AUTOMÁTICO

El programa necesita los siguientes subrutinas: **abrir archivo para análisis automático, apertura2 y overlap.** A continuación se habla de la subrutina de **abrir archivo para análisis automático**; las otras rutinas son iguales a las rutinas explicadas en el programa de **análisis del módulo de visualización.**

- **Abrir archivo para análisis automático.** El programa le permite al usuario seleccionar tanto los archivos donde se encuentran los datos que le interesan, como los canales base (para cada archivo). Como el análisis matemático que se realiza es con dos canales a la vez, por lo tanto el usuario debe seleccionar todos los archivos y canales que le interesan durante la corrida de programa. Al finalizar el programa pasa la selección de los archivos y canales seleccionados al programa de **análisis automático**

La programación se realizó siguiendo el siguiente algoritmo

1. Se le pide al usuario que teclee el nombre clave de la prueba con la que quiere trabajar.
2. Se busca el subdirectorio correspondiente a la prueba<sup>15</sup>.
3. Si se encontró el subdirectorio ir al paso 9.
4. Si no encontró el subdirectorio le avisa al usuario y le pregunta si quiere continuar
5. Si el usuario no quiere continuar ir al fin del programa.
6. Si desea continuar el programa pregunta si quiere volver a introducir la clave o si quiere buscar el subdirectorio.
7. Si elige la primera opción regresa al paso 1.
8. Si elige la segunda el programa permite seleccionar un subdirectorio.
9. Se procede a generar listados de los archivos existentes, en el subdirectorio seleccionado o correspondiente a la clave introducida
10. Se ejecuta la subrutina de ventanas<sup>16</sup>.
11. Se abren los archivos de parámetros y se leen las constantes de calibración.
12. Se genera un arreglo de los canales utilizados en la captura.
13. Se genera un arreglo con las constantes de calibración de cada uno de los canales de todos los archivos
14. Se cierran los archivos.
15. Se le permite al usuario elegir los canales bases para cada archivo

<sup>15</sup> Durante la captura de las señales se forman los subdirectorios donde se guardan los datos y los nombres están basados en el nombre clave de la prueba. (Ver manual de usuario)

<sup>16</sup> Se utiliza para determinar si el usuario desea aplicar alguna ventana y si desea aplicar overlap al análisis

16. Si el usuario presiona el botón de "PARAMETROS" se ejecutará la subrutina de lectura<sup>17</sup>.

17. Si el usuario presiona el botón de "TERMINAR" se deben guardar los nombres de los archivos seleccionados y los canales para cada archivo.

18. Pasarle los siguientes datos al programa de análisis automático: tipo de ventana, si se quiere overlap y cuál es el valor de este, el arreglo de constantes de calibración, frecuencia de captura de los datos, archivos seleccionados y canales base para cada archivo.

a) Fin del programa.

El siguiente algoritmo es del programa de análisis automático.

1. Se inicializan variables.
2. Se ejecuta el programa de abrir archivos para análisis automático.
3. Si no se seleccionó ningún archivo ir al fin del programa.
4. Del arreglo de archivos seleccionado (que generó el programa que se ejecuta en el paso 2) se lee el nombre del primer archivo a abrir.
5. Se leen, de los arreglos y variables, los datos para este archivo (canales base, overlap, etc).
6. Del arreglo de canales base se especifica el canal a procesar.
7. Se leen los datos para el canal (constantes de calibración)
8. Se inicializa un contador en 0
9. Si el contador es igual al canal base ir al paso 16, si no continuar.
10. El canal "B" será el valor del contador
11. Se ejecuta el programa de apertura<sup>218</sup>.

---

<sup>17</sup> Ver su descripción en el programa de análisis del módulo de visualización

12. Se ejecuta el programa de **overlap**
  13. Se abre el archivo donde se guardaran los datos generados por la rutina de **overlap**. La ruta del archivo es generada por el rutina de **apertura2**.
  14. Se escriben los datos en formato ASCII al archivo.
  15. Se cierra el archivo.
  16. Incrementar el contador en uno
  17. Si contador menor que el número de canales de la prueba regresar al paso 9; si no continuar.
  18. Leer siguiente canal base.
  19. Si todavía pertenece al archivo que se esta procesando regresar al paso 8; si no continuar.
  20. Leer el nombre del siguiente archivo a procesar.
  21. Si se leyó algún nombre regresar al paso 5; si no continuar.
- a) Fin del programa.

En el momento que se termina de procesar el último archivo seleccionado el programa se regresará al menú de análisis, donde se podrá seleccionar cualquiera de las opciones vistas.

#### 6.2.4.2 ANÁLISIS MANUAL

En forma general este programa es igual que el de **análisis automático**, en lo único que varían es que en vez de que el canal base seleccionado sea procesado contra todos los demás canales es solamente procesado contra los canales que el usuario elija en el programa de **abrir archivo**. Con esto se pueden hacer análisis entre dos canales deseados o si se prefiere se puede hacer el análisis de algunos canales bases contra ciertos canales y no

---

<sup>18</sup> Su algoritmo y función son los mismos que el programa de **abrir**, que utiliza el programa de **análisis** del módulo de **visualización**.

precisamente contra todos. Lo anterior resulta útil cuando se programe la utilización de más canales de los que se capturaron en realidad.

En su ejecución la única diferencia entre uno y otro es que ya no se lleva un contador, sino que se tiene que leer que canales se seleccionaron como base y cuales se seleccionaron para hacer el análisis contra el canal base. Esto implica que en vez de generar un arreglo de 2 dimensiones en el programa de abrir se genera un arreglo de 3 dimensión. Donde la primera dimensión corresponde al canal contra el que se realiza el análisis, la segunda dimensión corresponde al canal base y la tercera al archivo que correspondiente. De esta manera se pueden seleccionar varios canales base para un solo archivo y para cada canal base se pueden seleccionar varios canales contra los cuales realizar el análisis.

Finalmente los dos programas de análisis permiten que el usuario seleccione todos los análisis a realizar y que la computadora los realice sin que el usuario este presente durante el proceso.

#### **6.2.4.3 CAMBIAR CONSTANTES**

Como ya se explicó, en el inicio del módulo, el programa permite cambiar las constantes de calibración de todos los archivos de parámetros de una prueba realizada. Para esto se editan todas las constantes de calibración de todos los archivos existentes en un subdirectorio de datos. La realización de estas tarea tiene el siguiente algoritmo.

1. Se le pide al usuario que seleccione el subdirectorio de trabajo.
2. El programa verifica que existan archivos de parámetros en el subdirectorio seleccionado. Si no hay, se visualiza un mensaje de que no existen archivos y salta al fin del programa. Si existen continua.
3. Se procede a abrir cada uno de los archivos de parámetros existentes en el subdirectorio y se acomodan en una tabla (ver manual de usuario para el formato de la tabla)

4. Se visualizan los datos en la pantalla y se espera a que el usuario presione alguno de los botones existentes en la pantalla. Durante éste proceso el usuario puede modificar los valores que hay en la tabla.
5. Si el usuario presiona el botón de "TERMINAR" el programa salta al paso 7.
6. Si el usuario presiona alguno de los botones de movimiento de despliegue de datos de la tabla; el programa desplegará los datos correspondientes al movimiento que desea hacer el usuario y regresará al paso 4. Si no se presiona ninguno regresará al paso 5.
7. El programa pregunta si desea salvar las modificaciones. Si no desea salvar las modificaciones salta al fin del programa. Si desea salvar continúa.
8. Se separan los datos de la tabla y se salvan en los archivos correspondientes.
  - a) Fin del programa.

## **7. MANUAL DE USUARIO**

El programa consta de cuatro partes principales: preparación de pruebas, adquisición de datos, visualización y análisis de datos.

### **7.1 PREPARACIÓN DE PRUEBAS**

En esta parte se permite programar las pruebas con anticipación y esta conformada de tres subrutinas: captura de sensores, preparación de la prueba e impresión de reportes.

La primera subrutina permite crear la base de datos referentes a los sensores con que se cuentan. Se tiene la posibilidad de definir los datos de cuatro diferentes tipos de sensores: servoacelerómetros, acelerómetros piezoeléctricos, DCDT y extensómetros. Para cada tipo de sensor se crea una base de datos la cual se guarda en el subdirectorio "C:\pruebas\series\" y sus nombres son "nsdon.dat", "nspzo.dat" y "nsdedt.dat" y "nsextdat", respectivamente.

La subrutina de preparación de prueba permite al usuario establecer los parámetros generales y particulares de las pruebas que vayan a realizarse. Los parámetros generales válidos para todas las pruebas son: **número de canales, número de pruebas, frecuencia de corte, frecuencia de muestreo, número de eventos, tamaño del evento, nombre clave**. Los parámetros particulares que se deben indicar son: **tipo de sensor, voltaje de alimentación, ganancia, número de serie, posición, color y constante de calibración**. Cuando se terminan de capturar estos datos se tiene la opción de salvar o modificar los datos. Al terminar se regresa al menú principal.

La subrutina de impresión permite desplegar en papel el programa de pruebas. Para esto se debe seleccionar el archivo del subdirectorio de "BPRUEBAS" o de donde haya salvado alguno de los archivos capturados con la anterior subrutina. Para este caso es importante mencionar que se utilizan los manejadores de impresora de Windows, es decir, el programa imprimirá con las impresoras que tenga configurada Windows.

## 7.2 ADQUISICIÓN DE DATOS

El programa de adquisición de datos se divide en las siguientes subrutinas: ajuste de ceros y captura de datos.

Para poder iniciar la captura de datos primero se debe pasar por la subrutina de "ajuste de ceros"; está subrutina pregunta por el archivo donde están los parámetros de las pruebas que se van a realizar. En el momento en que se selecciona el archivo, el programa pregunta por el "ensayo" a realizar. Con este dato empieza el ajuste de ceros de todos los sensores (que estén programados). Para realizar esta tarea la computadora lee los datos de las tarjetas acondicionadoras y modifica datos a las mismas; este proceso lo realiza de manera automática y sin intervención del usuario.

Cuando termina con la rutina, de ajuste de ceros, el programa despliega en pantalla cuatro canales utilizados para verificar su ajuste o cambiar la ganancia de los canales que se muestran. Si el ajuste no es bueno o si el ajuste se pierde con el cambio de ganancia, se da la

posibilidad de ajustar desde un solo canal a todos los canales que se están desplegando en la pantalla.

Al momento que el usuario decide terminar con esta subrutina el programa regresa al menú principal, donde podrá seleccionar la opción de captura.

Si el usuario pide la opción de captura antes del ajuste el programa no permitirá iniciar la adquisición de datos; para avisarle de esto al usuario se despliega un letrero donde se le pide que primero realice el proceso de ajuste de ceros.

En este momento el usuario puede iniciar la adquisición de datos, seleccionando la opción de captura. Esta opción toma el nombre del archivo y la prueba que se seleccionaron en la subrutina de ajuste; con esto verifica primero si existen o no los subdirectorios de estas pruebas, si no existen los crea con el nombre clave de las pruebas y agregándoles las terminaciones "TMP" para los archivos de datos en el tiempo y "FRE" para los archivos de datos en la frecuencia. Después procede a generar automáticamente los nombres de los archivos de parámetros de la prueba y el de datos. Lo anterior lo realiza tomando como base el nombre clave de las pruebas y agregando número de canales, capturados; si se trata de una repetición de alguna prueba se agrega una "R" y el número de repetición que sea, sino solamente se agregan los siguientes guiones "\_\_\_". Para generar la extensión se usa el número de ensayo que se va a capturar antecedido por una "T" para los archivos de datos en tiempo y de una "P" para los de parámetros.

A continuación el programa empieza con la adquisición de datos y a guardarlos en disco; esto se realiza para que los datos capturados no saturen la memoria de la computadora y se puedan perder datos. En el momento en que termina de capturar una muestra de 256 puntos está se despliega en la pantalla mientras se realiza la siguiente captura, la frecuencia de captura es definida por el usuario en el momento que se captura la prueba en el programa de *preparación de prueba*. En la pantalla de la computadora se desplegará las señales capturas de cuatro de los canales que se estén capturando en el ese momento. Los canales que se desplieguen se pueden seleccionar cambiando el valor de los

controles que se encuentran en la parte inferior izquierda de la pantalla y que muestran que canal es el que se visualiza y el color que le corresponde así como datos característicos del sensor que se está utilizando.

Por otro lado también se indica el número de evento que se está capturando, la frecuencia de captura, el nombre clave así como un indicador de saturación, con el propósito de advertir si algún canal se ha saturado, inmediatamente se desplegará en la pantalla dicha señal en el lugar del cuarto canal visualizado, además aparecerá un listado de los canales que se han saturado para que el usuario este en posibilidades de corregir el problema.

En la pantalla también se tiene disponible un botón que permite terminar la prueba antes de que se cumplan todos los eventos; si se selecciona este botón el programa preguntará si se quiere conservar los datos que han sido capturados. Si el usuario decide no guardar los datos el programa procederá a borrar los archivos creados y regresará al menú.

Si el usuario no presiona este botón el programa terminará de realizar la captura de todos los eventos programados, salvará los datos en disco y regresará al menú.

Dentro de los datos salvados en el archivo de parámetros se encuentran los canales saturados y el evento en que se saturaron por primera vez.

Al regresar al menú el usuario puede seleccionar otra vez el ajuste de ceros para continuar con la siguiente prueba.

### **7.3 VISUALIZACIÓN**

El programa de visualización se divide en las siguientes subrutinas: visualización, análisis y un reporte

Si se selecciona la opción de visualización se podrá visualizar la información registrada en alguno de los archivos de datos en el tiempo. Para esto el programa preguntará por el archivo de parámetros correspondiente al archivo que se quiera visualizar.

Al momento que se termina de seleccionar el archivo el programa procede a abrir el archivo de parámetros y el de datos; del primero lee los siguientes datos: nombre clave de la prueba, clave de cada uno de los canales capturados (este dato se generará de los parámetros particulares de cada canal), número de eventos capturados, tamaño de la muestra, frecuencia de muestreo y frecuencia de corte. Además de todos estos datos se despliega el nombre del archivo que se está visualizando.

La visualización de la señal se realiza un evento a la vez. Para hacer esto el usuario debe presionar el botón de "SIGUIENTE" y con esto se desplegará otra serie de datos. El despliegue de los datos puede ser hacia adelante o hacia atrás, para definir la dirección existe un botón que dice hacia dónde se hace el desplazamiento; por ejemplo si está presionado el desplazamiento será hacia adelante y si no se encuentra presionado el desplazamiento será hacia atrás.

La gráfica que muestra la señal cuenta con todas las herramientas que proporciona LabView para la visualización de los datos (cambio de color, autoescala, zoom, avance punto por punto, indicador digital de posición del punto, ampliación en zonas, etc). Aparte de estas opciones se agregó que se pueda fijar un punto como fijo y que el avance de los puntos se dé a partir de este punto y no con respecto al origen; esta opción puede ser útil si se desea saber cual es la diferencia de valores entre dos puntos de interés.

Por último el programa puede generar archivos en formato ASCII de una porción de datos que se estén visualizando; con los cuales se pueden realizar diferentes procesos en otros paquetes.

Para finalizar con este programa se tiene que presionar el botón de "TERMINAR" el cual hará que el programa regrese al menú inicial.

Por otro lado la subrutina de Análisis le proporciona al usuario la posibilidad de realizar el análisis en el dominio de la frecuencia, ya sea de dos señales capturadas en el momento o extrayendo los datos de un archivo generado por el programa de captura. Los

resultados del análisis que se muestran en la pantalla son: los dos espectros de potencia o las dos señales en el dominio del tiempo, funciones de transferencia (en amplitud y fase) y de coherencia entre las dos señales. Para un análisis en el momento se permite seleccionar el número de eventos, tamaño del evento, la frecuencia de muestreo, dos canales con lo que se va a realizar el análisis, escoger una ventana de ponderación y realizar *overlap* con los datos. Esto se realiza a través del desplegado de un menú. Después de que se aparecen las gráficas en la pantalla para salir del programa se debe presionar el botón de terminar y si se quiere realizar otro análisis se debe presionar el botón de parámetros; con lo cual el programa volverá a preguntar si se desea realizar una captura o abrir un archivo, que ventana de ponderación se desea, si se quiere *overlap* o no y finalmente los parámetros de la prueba.

Para las gráficas de función de transferencia en amplitud, los dos espectros de potencia y las dos señales en el dominio del tiempo; se tiene un anillo de selección donde se determina qué gráfica aparecerá en la pantalla. Con la función de transferencia en amplitud se puede elegir que sea A/B o B/A; mientras que en la otra gráfica se selecciona entre si aparecen los dos espectros de potencia o las señales en el dominio del tiempo.

El programa de reporte se realizó para que se tuviera en papel el desarrollo de las pruebas realizadas en el campo; para esto el programa le pide al usuario que seleccione el subdirectorio donde se guardaron los datos capturados en la prueba. En el momento que el usuario termina de seleccionar el subdirectorio el programa verifica que en él existan archivos de parámetros, los cuales se generan al momento de realizar la captura de las señales. Si no encuentra ningún archivo de parámetros despliega un mensaje, donde dice que no encontraron archivos en el subdirectorio seleccionado, y después que el usuario confirma de haber leído el mensaje regresa al menú principal. Si encuentra archivos de parámetros procede a abrir uno por uno y acomodar los datos en una tabla parecida a la que se utiliza en el reporte del programa de "prepara"; pero aquí se agregan los datos de si se saturó el

transductor o no. Antes de realizar la impresión confirma que se quiera imprimir los datos que se muestran en la pantalla.

## **7.4 ANÁLISIS DE DATOS**

Esta parte del programa realiza los mismos cálculos que la subrutina de análisis del programa de visualización, pero con la posibilidad de configurar el procesamiento de todos o parte de las pruebas realizadas en una estructura. Para realizar esta tarea el programa consta de tres opciones: análisis automático, manual y cambio de constantes de calibración.

La subrutina de análisis automático permite seleccionar los archivos con los que se quiere realizar el análisis y de cada archivo permite seleccionar los canales de referencia; para cada canal, que es seleccionado como referencia, se procede a hacer el análisis con todos los demás canales existentes en el archivo. Por este motivo es importante saber qué canales son los de referencia. La selección de canales es individual para cada archivo; por lo tanto del listado, donde aparecen los archivos, se selecciona uno por vez; mientras que en el listado de canales se pueden seleccionar varios al mismo tiempo.

Antes de presentar los archivos y los canales que se pueden seleccionar el programa pregunta por una clave; esta clave es la de la prueba sobre la que se quiere hacer el análisis. Con esta clave el programa procede a buscar en el disco duro (la unidad C) en el subdirectorio de pruebas un subdirectorio que tenga el nombre conformado por la clave más las letras "TMP"; en el momento que lo encuentra procede a verificar si hay algún archivo de datos en este subdirectorio. Si no encuentra el subdirectorio despliega un mensaje donde dice que no se encontró el subdirectorio de trabajo y pregunta si se quiere volver a intentar o no. Si uno selecciona que no quiere volver a intentarlo el programa regresará al menú principal. Si, por el contrario, se desea volver a intentar da dos posibilidades, buscar el subdirectorio o volver a teclear la clave de la prueba. Si se selecciona la primera el programa despliega un ventana, tipo windows, donde se puede buscar el subdirectorio y seleccionarlo,

si por otro lado se selecciona la otra opción el programa regresa a la pregunta de la clave y realiza el procedimiento antes descrito.

Una vez que encontró el subdirectorio y verificó que hay archivos con los que puede trabajar; aparece un menú donde permite seleccionar una ventana de ponderación y la realización de *overlap* con los datos. Al momento de terminar de seleccionar estos datos se presiona el botón de "SALIR" el programa regresa a la selección de archivos y canales que se describió anteriormente. Durante esta selección de archivos y canales se puede seleccionar también los parámetros de tamaño de muestras por evento, el cual determinará el número de eventos sobre los que se realizará el análisis, así como el evento inicial y final; para esto el programa muestra otro menú del cual el usuario debe seleccionar los datos antes descritos y presionar el botón de salir.

En el momento en que se termine de seleccionar los archivos y los canales para cada archivo; el usuario deberá presionar el botón de terminar. Con esto el programa procederá a realizar el análisis para cada uno de los canales de referencia seleccionados contra todos los demás canales de su misma prueba (o ensayo). Durante el proceso de análisis el programa muestra en la pantalla el nombre del archivo que se está utilizando, los canales que están siendo procesados y un botón parpadeando donde se especifica que se está realizando el procesamiento de la información. Este proceso se puede interrumpir y regresar el menú principal si se presiona el botón de terminar. Si no se interrumpe el proceso, el programa esperará a que se terminen de procesar y guardar todos los datos en disco, para regresar al menú principal

Al finalizar los cálculos de cada par de canales se salvan los resultados en un archivo con formato ASCII; el cual será utilizado posteriormente en otro paquete de graficación. Los archivos son guardados en el subdirectorio que tiene terminación "FRE" y el nombre se genera utilizando el nombre clave de la prueba, el ensayo correspondiente, la letra "F", el canal de referencia, mientras que la extensión se genera utilizando la letra "a" y canal contra

el que se hizo el análisis. La generación de estos archivos es automático, si encuentra algún archivo con el mismo nombre lo sobre escribe.

La subrutina de análisis manual opera de manera muy parecida a la de análisis automático; solamente difieren en la forma de seleccionar los canales. Mientras que en el análisis automático se tiene solamente de seleccionar los canales de referencia para cada archivo, el de análisis manual da la oportunidad de escoger también los canales contra los que se hará el análisis para cada canal de referencia seleccionado. Para esto el programa muestra otro listado igual al de los canales de referencia. Las opciones del listado, de los canales de referencia, cambia un poco; ya que en esta opción solamente se puede seleccionar un canal de referencia por vez. Esto es con el fin de que en el listado de canales a comparar se puedan seleccionar varios al mismo tiempo.

Con esto este programa solamente realiza el proceso de análisis sobre los canales de referencia que fueron seleccionados y contra los canales de comparación que fueron seleccionados para ellos. Todo el resto del proceso es igual al descrito para el programa de análisis automático.

El programa de cambio de constantes se realizó por si surgiera la necesidad de cambiar algunas constantes de calibración. Esto se puede presentar si al momento de la captura se decidió cambiar de transductor y no se realizó el cambio en la base general de pruebas; o si por alguna razón se dan cuenta de que está mal capturado este dato. Por cualquiera de los dos motivos este programa es de utilidad; ya que se podrá hacer que los resultados del análisis sean lo más exactos posibles.

Para poder cambiar las constantes de calibración el programa pregunta por un subdirectorio de trabajo, donde se encuentren los archivos de parámetros. En el momento que se selecciona el subdirectorio se procede a formar un arreglo con todas las constantes de calibración de todos los archivos existentes en el subdirectorio. Si no se encuentra ningún archivo se procede a desplegar un mensaje donde se menciona que no existen archivos de

parámetros para trabajar, y una vez que el usuario se da por enterado el programa regresa al menú principal.

Cuando el programa encuentra archivos y forma el arreglo mencionado antes lo muestra en la pantalla en forma de tabla, donde las columnas representan los ensayos (o pruebas) y los renglones los canales existentes. En esta tabla solamente se presentarán las celdas que contengan datos y pueden ser modificadas por el usuario directamente. En caso de que no alcance la pantalla para mostrar todas las celdas se cuenta con botones que permiten desplegar las celdas no visibles, ya sea por columnas o renglones.

En el momento de que se terminen de modificar las constantes el usuario podrá presionar el botón de "TERMINAR" y con esto el programa le preguntará si desea salvar los cambios, si o no, para finalmente regresar al menú principal. Si el usuario elige salvar los cambios los datos serán modificados en los archivos de parámetros; si por el contrario eligió que no se salvaran los cambios, los archivos de parámetros quedan intactos.

## 7.5 EJEMPLOS

- **SUBDIRECTORIOS QUE SE CREARIAN SI EL NOMBRE CLAVE ES "JAL"**

*C:\PRUEBAS\JAL\JALTMP*

*C:\PRUEBAS\JAL\JALFRE*

- **NOMBRE DE ARCHIVOS QUE SE CREARIAN SI EL NOMBRE CLAVE ES "JAL."**

1. En el subdirectorio "JALTMP" se crearían la siguiente serie de archivos:

- *"JAL.00 .100"* y *"JAL.00 .100"*
- *"JAL.00000.100"* y *"JAL.00000.100"*

El números en la parte del nombre indican el número de canales que se capturaron en la prueba; mientras que el número que aparece en la extensión indica el ensayo al que pertenecen los datos. También se cuenta con la opción de tener repeticiones de los ensayos; si es el caso al nombre se le agregara la letra "R" y el número de repetición que sea del ensayo.

2. En el subdirectorio "JALFRE" se crearían, después de correr el programa de análisis, los siguientes archivos.

- "JAL00F01.A00" o "R00F01.A00"

Los números que aparecen en el nombre del archivo corresponde, los dos primeros, al ensayo y los siguientes dos al canal "A" en el análisis; mientras que los dos que están en la extensión corresponden al canal "B". Si el análisis se realiza con un archivo que es de una repetición de un ensayo; entonces las tres primeras letras, que en el nombre anterior corresponden al nombre clave, se cambiarán por la letra "R" y el número de repetición del ensayo.

## **8. CONCLUSIONES**

El sistema desarrollado en comparación al anterior tiene las siguientes ventajas:

1. Es más amigable al usuario por lo que se logró reducir el tiempo de preparación y de experimentación.
2. Se logró incrementar el número de canales del sistema a un costo muy razonable.
3. El ajuste de ceros, ganancias y ancho de banda, se puede ajustar por medio del programa o de manera manual.
4. El programa genera un archivo que contiene todos los parámetros de la prueba (ganancia, ancho de banda, tipo, número de serie y constante de calibración del transductor usado )

5. El acondicionador, además de acelerómetros, está diseñado para transductores de deformación (*strain gauge*, de 1/2 puente, 3/4 de puente o puente completo), desplazamiento (DCDT's), o cualquier otro transductor cuya salida sea voltaje.
6. Se logró reducir el tamaño de los acondicionadores y por lo tanto el de todo el sistema.

Durante el desarrollo del sistema enfrentamos una serie de dificultades que no se contemplaron al inicio, sobre todo en los acondicionadores. Estos presentaban ruido que causó problemas debido a que los restauradores no ajustaban la señal a cero volts. Se localizaron los puntos donde se introducía el ruido y se corrigió conectando capacitores, principalmente en las fuentes de voltaje.

El desarrollo del programa tuvo dos fases, en la primera se lograron los objetivos planteados, (controlar el acondicionador y adquirir datos, y en la segunda fase se hizo el análisis de señales a sugerencia de la Coordinación de Estructuras, que son los que finalmente van a operar el sistema.

En lo que toca a los costos, estos son menores, y aunque no se armaron los 64 acondicionadores, el sistema cuenta con 10.

Un aspecto importante es que se desarrolló un equipo que cumple con las necesidades del usuario, además de construirse, formará parte de los recursos materiales del Instituto de Ingeniería.

**APÉNDICE A**  
**LIBRERÍAS DE LABVIEW**



**Lectura de información de un archivo**



**Escribir a un archivo**



**Cerrar un archivo**



**Selección de archivos o subdirectorios**



**Abrir un archivo existente**



**Abrir archivo nuevo**



**Listar información de discos (subdirectorios y archivos)**



**Obtener información de discos**



**Convertir un string a un path o ruta de archivo o subdirectorio**



**Convertir un path a string**



**Configuración de la tarjeta de adquisición de datos**



**Inicializar la tarjeta de adquisición de datos**



**Leer los datos de la tarjeta de adquisición de datos**



**Borra la configuración de la tarjeta de adquisición de datos**



**Para realizar una secuencia de procedimientos dentro del programa**



**Función Case o IF**



**Ciclo For**



**Ciclo While**

**APÉNDICE B**  
**VALORES DE CONTROL**

**1. Valores para ajuste de ceros grueso.**

La dirección de control es Número de Canal \* 16 + 0 y los valores van desde 0 hasta 255.

**2. Valores para la fuente de voltaje.**

La dirección de control es Número de Canal \* 16 + 1 y los valores son:

Voltaje	Valor
± 15 V	230
± 12 V	180
± 10 V	150
± 9 V	135
± 8 V	120
± 7 V	105
± 6 V	90
± 5 V	75
± 4 V	60
± 3 V	45

**3. Valores del relevador de apertura de la malla.**

La dirección de control es Número de Canal \* 16 + 2 y los valores son 0 para abrir y 255 para cerrar.

**4. Valores para ajuste fino parte baja.**

La dirección de control es Número de Canal \* 16 + 3 y los valores van desde 0 hasta 255.

**5. Valores para ajuste fino parte alta.**

La dirección de control es Número de Canal \* 16 + 4 y los valores van desde 0 hasta 15. A éste valor se le debe sumar el valor de la ganancia.

6. Valores para cambio de ganancia.

La dirección de control es Número de Canal \* 16 + 4 y los valores son:

Ganancia	Valor
1	240
2	240
5	240
10	208
20	208
50	208
100	112
200	112
500	112
1000	176

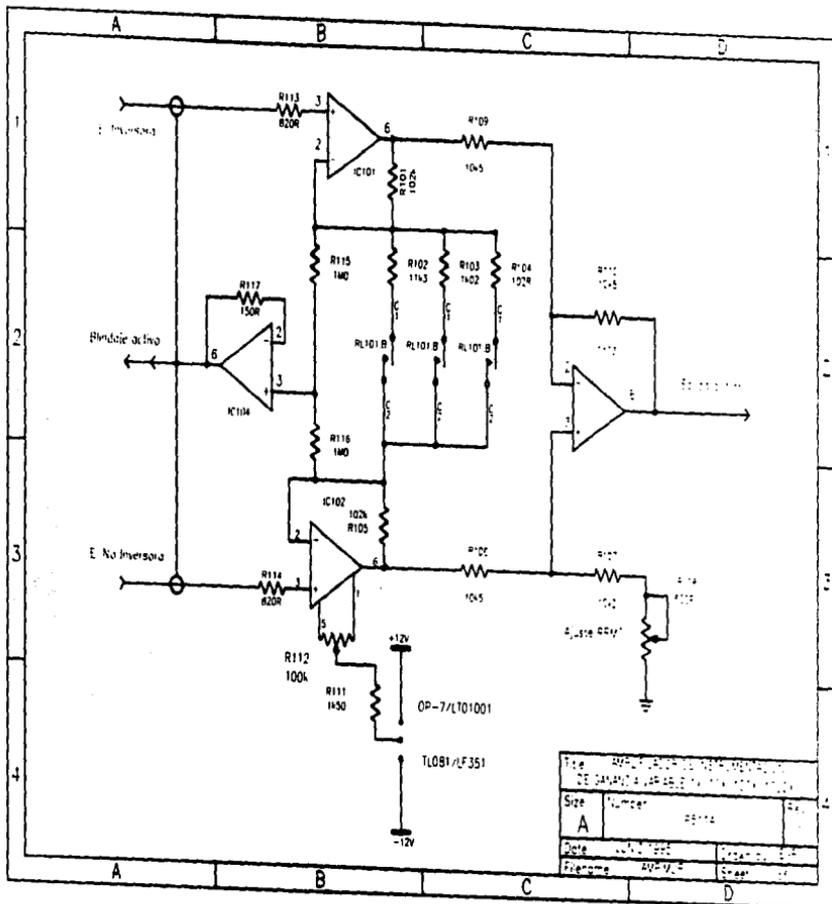
Para obtener las ganancias de 2, 5, 20, 50, 200 y 500 se cambian los intervalos de conversión de la tarjeta de adquisición de datos.

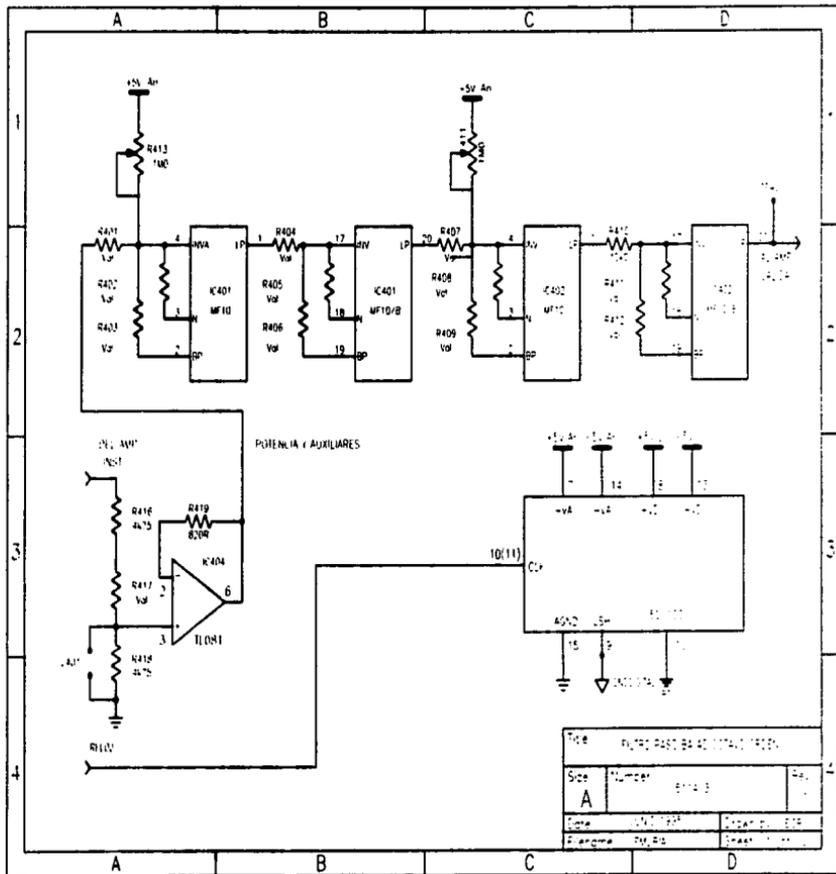
## **APÉNDICE C**

### **CIRCUITOS**



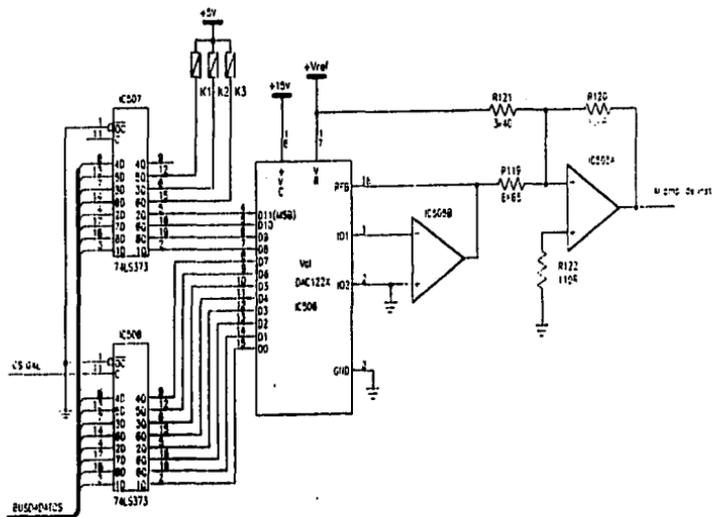






Tiêu đề	DỰ THẢO PASO B4 40 (10/14) (10/15)		
Size	Number	Rev.	
A	01/13	1	
Date	10/13/2013	Drawn by	DT
Program	PC A4	Insert	





Title		
RESTAURADOR P1102		
Size	Number	Pg.
A	P. 1114	11
Scale	Drawn by	ESD
D440 1/16	PE512	
File name	Sheet	of 1

A

B

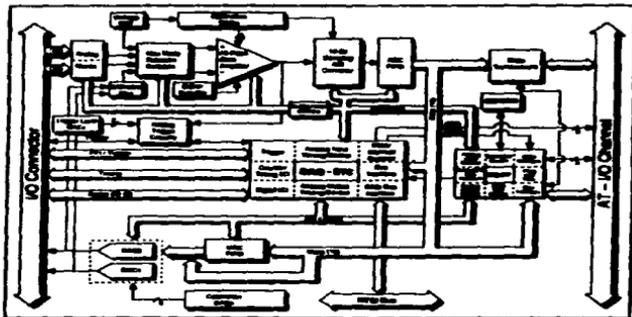
C

D

## **APÉNDICE D**

### **HOJAS DE ESPECIFICACIONES**

# AT-MIO-64-E-3



AT-MIO-64-E-3 Block Diagram

# Specifications



This appendix lists the specifications of each board in the AT E Series. These specifications are typical at 25° C unless otherwise noted.

## AT-MIO-16E-1, AT-MIO-16E-2 and AT-MIO-64E-3

### Analog Input

#### Input Characteristics

##### Number of channels

AT-MIO-16E-1	16 single-ended or 8 differential (software selectable)
AT-MIO-16E-2	16 single-ended or 8 differential (software selectable)
AT-MIO-64E-3	64 single-ended or 32 differential (software selectable)

Type of ADC..... Successive approximation

Resolution..... 12 bits, 1 in 4,096

##### Max sampling rate

AT-MIO-16E-1	1.25 MS/s guaranteed
AT-MIO-16E-2	1.25 MS/s guaranteed
AT-MIO-64E-3	500 kS/s guaranteed

##### Throughput to system memory

EISA machines	1.0–1.25 MS/s
ISA, PCI machines	600–900 kS/s

Appendix A Specifications for AT-MIO-16E-1, AT-MIO-16E-2 and AT-MIO-64E-3

Input signal ranges.....

Board Gain (Software Selectable)	Board Range (Software Selectable)	
	Bipolar	Unipolar
0.5	$\pm 10$ V	—
1	$\pm 5$ V	0 to 10 V
2	$\pm 2.5$ V	0 to 5 V
5	$\pm 1$ V	0 to 2 V
10	$\pm 500$ mV	0 to 1 V
20	$\pm 250$ mV	0 to 500 mV
50	$\pm 100$ mV	0 to 200 mV
100	$\pm 50$ mV	0 to 100 mV

Input coupling.....DC

Max working voltage

(signal + common mode).....Each input should remain within  $\pm 11$  V of ground

Overvoltage protection..... $\pm 25$  V powered on,  $\pm 15$  V powered off

Inputs protected.....ACH<0.63>. AISENSE. AISENSE2

FIFO buffer size

AT-MIO-16E-1.....8,192 samples

AT-MIO-16E-2.....

AT-MIO-64E-3.....2,048 samples

Data transfers.....DMA, interrupts, programmed I/O

DMA modes.....Single transfer, demand transfer

Configuration memory size.....512 words

**Transfer Characteristics**

Relative accuracy .....	$\pm 0.5$ LSB typ dithered, $\pm 1.5$ LSB max undithered
DNL .....	$\pm 0.5$ LSB typ, $\pm 1.0$ LSB max
No missing codes .....	12 bits, guaranteed
<b>Offset error</b>	
Pregain error after calibration .....	$\pm 12$ $\mu$ V max
Pregain error before calibration .....	$\pm 2.5$ mV max
Postgain error after calibration .....	$\pm 0.5$ mV max
Postgain error before calibration .....	$\pm 100$ mV max
<b>Gain error (relative to calibration reference)</b>	
After calibration (gain = 1) .....	$\pm 0.02\%$ of reading max
Before calibration .....	$\pm 2.5\%$ of reading max
Gain = 1 with gain error adjusted to 0 at gain = 1 .....	$\pm 0.02\%$ of reading max

**Amplifier Characteristics**

<b>Input impedance</b>	
Normal powered on .....	100 $\Omega$ in parallel with 100 pF
Powered off .....	820 $\Omega$ min
Overload .....	820 $\Omega$ min
Input bias current .....	$\pm 200$ pA
Input offset current .....	$\pm 100$ pA
<b>CMRR, DC to 60 Hz</b>	
Gain = 0.5 .....	95 dB
Gain = 1 .....	100 dB
Gain $\geq 2$ .....	106 dB

## Dynamic Characteristics

Bandwidth .....	Small signal (-3dB)	Large signal (1% THD)
AT-MIO-16E-1	1.6 MHz	1 MHz
AT-MIO-16E-2, AT-MIO-64E-3	1 MHz	300 kHz

Settling time for full-scale step .....	Gain	Accuracy		
		$\pm 0.012\%$ ( $\pm 0.5$ LSB)	$\pm 0.024\%$ ( $\pm 1$ LSB)	$\pm 0.096\%$ ( $\pm 4$ LSB)
AT-MIO-16E-1	0.5	2 $\mu$ s typ 3 $\mu$ s max	1.5 $\mu$ s typ 2 $\mu$ s max	1.5 $\mu$ s typ 2 $\mu$ s max
	1	1.5 $\mu$ s typ 2 $\mu$ s max	1.3 $\mu$ s typ 1.5 $\mu$ s max	1.1 $\mu$ s typ 1.3 $\mu$ s max
	2 to 50	2 $\mu$ s typ 3 $\mu$ s max	1.5 $\mu$ s typ 2 $\mu$ s max	0.9 $\mu$ s typ 1 $\mu$ s max
AT-MIO-16E-2	100	2 $\mu$ s typ 3 $\mu$ s max	1.5 $\mu$ s typ 2 $\mu$ s max	1 $\mu$ s typ 1.5 $\mu$ s max
	All	2 $\mu$ s typ 4 $\mu$ s max	1.9 $\mu$ s typ 2 $\mu$ s max	1.8 $\mu$ s typ 2 $\mu$ s max
AT-MIO-64E-3	All	3 $\mu$ s typ 5 $\mu$ s max	2 $\mu$ s typ 3 $\mu$ s max	1.8 $\mu$ s typ 2 $\mu$ s max

System noise (LSBrms)  
(not including quantization) .....

AT-MIO-16E-1

AT-MIO-16E-2,  
AT-MIO-64E-3

Gain	Noise, dither off	Noise, dither on
0.5 to 10	0.25	0.5
20	0.4	0.6
50	0.5	0.7
100	0.8	0.9
0.5 to 20	0.15	0.3
50	0.3	0.6
100	0.5	0.7

Crosstalk ..... -80 dB, DC to 100 kHz

### Stability

Recommended warm-up time ..... 15 min

Offset temperature coefficient

Pregain .....  $\pm 5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Postgain .....  $\pm 2.0 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Gain temperature coefficient .....  $\pm 20 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$

Onboard calibration reference

Level ..... 5.000 V ( $\pm 2.5 \text{ mV}$ ) (actual value  
stored in EEPROM)

Temperature coefficient .....  $\pm 5 \text{ ppm}/^\circ\text{C max}$

Long-term stability .....  $\pm 15 \text{ ppm}/\sqrt{1,000 \text{ h}}$

## Analog Output

### Output Characteristics

Number of channels .....	2 voltage
Resolution .....	12 bits, 1 in 4,096
Max update rate	
FIFO mode waveform generation	
Internally timed .....	1 MS/s per channel
Externally timed .....	950 kS/s per channel
Non-FIFO mode waveform generation	
1 channel .....	600–950 kS/s (system dependent)
2 channel .....	300–625 kS/s (system dependent)
Type of DAC .....	Double buffered, multiplying
FIFO buffer size .....	3,048 samples
Data transfers .....	DMA, interrupts, programmed I/O
DMA modes .....	Single transfer, demand transfer

### Transfer Characteristics

Relative accuracy (INL)	
After calibration .....	$\pm 0.3$ LSB typ, $\pm 0.5$ LSB max
Before calibration .....	$\pm 4$ LSB max
DNL	
After calibration .....	$\pm 0.3$ LSB typ, $\pm 1.0$ LSB max
Before calibration .....	$\pm 3$ LSB max
Monotonicity .....	12 bits, guaranteed after calibration
Offset error	
After calibration .....	$\pm 1.0$ mV max
Before calibration .....	$\pm 200$ mV max
Gain error (relative to internal reference)	
After calibration .....	$\pm 0.01\%$ of output max
Before calibration .....	$\pm 0.5\%$ of output max

Gain error  
(relative to external reference)..... +0% to -0.5% of output max, not adjustable

### Voltage Output

Ranges .....  $\pm 10$  V, 0 to 10 V,  $\pm$ EXTREF,  
0 to EXTREF  
(software selectable)

Output coupling..... DC

Output impedance ..... 0.1  $\Omega$  max

Current drive .....  $\pm 5$  mA max

Protection..... Short-circuit to ground

Power-on state..... 0 V

External reference input

Range.....  $\pm 11$  V

Overshoot protection.....  $\pm 25$  V powered on,  $\pm 15$  V  
powered off

Input impedance..... 10 k $\Omega$

Bandwidth (-3 dB) ..... 1 MHz

### Dynamic Characteristics

Settling time for full-scale step..... 3  $\mu$ s to  $\pm 0.5$  LSB accuracy

Slew rate ..... 20 V/ $\mu$ s

Noise..... 200  $\mu$ Vrms, DC to 1 MHz

Glitch energy (at midscale transition)

Magnitude

Reglitching disabled .....  $\pm 200$  mV

Reglitching enabled .....  $\pm 30$  mV

Duration ..... 1.5  $\mu$ s

### Stability

Offset temperature coefficient .....  $\pm 50$   $\mu$ V/ $^{\circ}$ C

Gain temperature coefficient

Internal reference .....  $\pm 25$  ppm/ $^{\circ}$ C

External reference .....  $\pm 25$  ppm/ $^{\circ}$ C

Onboard calibration reference

Level .....	5.000 V ( $\pm 2.5$ mV) (actual value stored in EEPROM)
Temperature coefficient .....	$\pm 5$ ppm/ $^{\circ}$ C max
Long-term stability .....	$\pm 15$ ppm/ $\sqrt{1,000}$ h

**Digital I/O**

Number of channels ..... 8 input/output

Compatibility ..... TTL/CMOS

Digital logic levels.....

Level	Min	Max
Input low voltage	0 V	0.8 V
Input high voltage	2 V	5 V
Input low current ( $V_{in} = 0$ V)	—	-320 $\mu$ A
Input high current ( $V_{in} = 5$ V)	—	10 $\mu$ A
Output low voltage ( $I_{OL} = 24$ mA)	—	0.4 V
Output high voltage ( $I_{OH} = 13$ mA)	4.35 V	—

Power-on state ..... Input (High-Z)

Data transfers ..... Programmed I/O

**Timing I/O**

Number of channels ..... 2 up/down counter/timers.  
1 frequency scaler

Resolution

Counter/timers ..... 24 bits

Frequency scalers ..... 4 bits

Compatibility ..... TTL/CMOS

<b>Base clocks available</b>	
Counter/timers .....	20 MHz, 100 kHz
Frequency scalars .....	10 MHz, 100 kHz
Base clock accuracy .....	±0.01%
Max source frequency .....	20 MHz
Min source pulse duration .....	10 ns in edge-detect mode
Min gate pulse duration .....	10 ns in edge-detect mode
Data transfers .....	DMA, interrupts, programmed I/O
DMA modes .....	Single transfer

## Triggers

### Analog Trigger

Source .....	ACH<0..63>, PFIO/TRIG1
Level .....	± full-scale, internal: ±10 V, external
Slope .....	Positive or negative (software selectable)
Resolution .....	8 bits, 1 in 256
Hysteresis .....	Programmable
Bandwidth (-3 dB) .....	1.5 MHz internal, 7 MHz external
<b>External input (PFIO/TRIG1)</b>	
Impedance .....	10 kΩ
Coupling .....	DC
Protection .....	-0.5 to Vcc + 0.5 V when configured as a digital signal
	±35 V when configured as an analog trigger signal or disabled
	±35 V powered off

### Digital Trigger

Compatibility.....TTL  
Response.....Rising or falling edge  
Pulse width.....10 ns min

### RTSI

Trigger lines.....7

### Bus Interface

Type.....Slave

### Power Requirement

-5 VDC ( $\pm 5\%$ ).....1.0 A  
Power available at I/O connector .....+4.65 VDC to +5.25 VDC  
at 1 A

### Physical

Dimensions  
(not including connectors) .....33.8 by 9.9 cm (13.3 by 3.9 in.)  
I/O connector  
AT-MIO-16E-1.....68-pin male SCSI-II type  
AT-MIO-16E-2.....68-pin male SCSI-II type  
AT-MIO-64E-3.....100-pin female 0.050 D-type

### Environment

Operating temperature.....0° to 55°C  
Storage temperature.....-55° to 150° C  
Relative humidity.....5% to 90% noncondensing

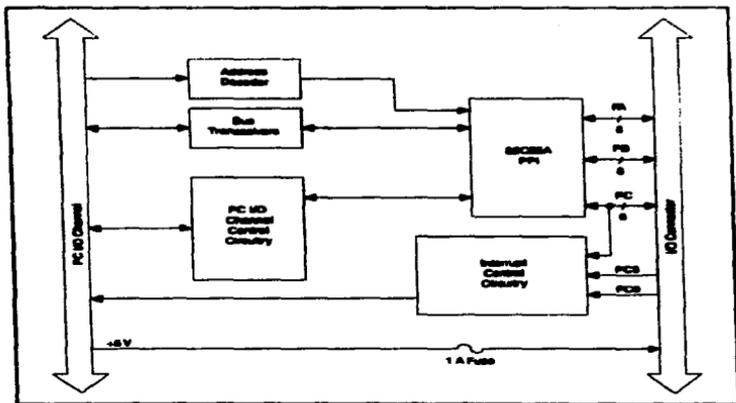


Figure 3-1. PC-DIO-24 Block Diagram

# Appendix Specifications

This appendix lists the specifications for the PC-DIO-24 board. These specifications are typical at 25° C, unless otherwise stated. The operating temperature range is 0° to 70° C.

## Digital I/O

Number of channels .....	24 I/O
Compatibility .....	TTL
Absolute max voltage input rating .....	-0.5 to +5.5 V with respect to GND
Handshaking .....	Requires 1 port
Power-on state .....	Configured as inputs
Data transfers .....	Interrupts, programmed I/O

## Digital Logic Levels

### Input Signals

Odd-numbered pins 1-47 .....

Level	Min	Max
Input logic high voltage	2.2 V	5.3 V
Input logic low voltage	-0.3 V	0.8 V
Input current ( $0 < V_{in} < 5$ V)	-1.0 $\mu$ A	1.0 $\mu$ A

### Output Signals

Pin 49 (at +5 V) .....

0.25 A max

Odd-numbered pins 1-47 .....

Level	Min	Max
Output high voltage ( $I_{out} = -2.5$ mA)	3.7 V	5.0 V
Output low voltage ( $I_{out} = 2.5$ mA)	0.0 V	0.4 V
Output current ( $V_{OL} = 0.5$ V)	4 mA	—
Output current ( $V_{OH} = 2.7$ V)	4 mA	—

## Environment

Operating Temperature .....	0° to 70° C
Storage Temperature .....	-55° to 150° C
Relative humidity .....	5% to 90% noncondensing

## Physical

Dimensions ..... 17.5 by 9.9 cm (6.9 in. by 3.9 in.)  
 I/O connector ..... 50-pin male ribbon-cable connector

## Power Requirement (from PC I/O Channel)

Typ power ..... 0.10 A at 5 VDC ( $\pm 10\%$ )  
 Max power ..... 0.16 A at 5 VDC ( $\pm 10\%$ )

## Transfer Rates

The maximum average transfer rates for the PC-DIO-24 are shown as follows. The code used to make the measurements follows the table. The assembly language code was assembled as inline assembly C code using version 8.00 of the Microsoft Optimizing C Compiler. The C code was compiled using version 8.00 of the Microsoft Optimizing C Compiler.

Table A-1. Maximum Average Transfer Rates for the PC-DIO-24

Bus	CPU	CPU Speed	Assembly	C
AT (ISA16)	486DX4	100 MHz	410 kbytes/s	330 kbytes/s

### Assembly language code:

```

mov     cx, 64           ; Count out 64 transfers
mov     dx, 0180h       ; The port to access

loop:
  lodsb                ; Assume ds:si points to buffer of data
  out     dx, al        ; Send the data
  add     dx, 0014h     ; Add offset to base address for Iregl
  in     al, dx         ; Dummy read from Iregl
  sub     dx, 0014h     ; Restore base address
                          ; The previous four lines are not
                          ; necessary for measuring transfer rates
  dec     cx            ; Decrement the loop counter
  jnz    short loop    ; See if we need to loop

```

### C code:

```

address = 0x0180;          /* The port address */
iregladdress = address + 0x0014;
for (i = 0; i < 64; i++) { /* Loop 64 times */
  outp(address, *data++); /* Send data */
  inp(iregladdress);
}

```

# MODEL 4311AS AND 4311AR LINEAR SERVO ACCELEROMETERS

Syston Donner Models 4311AS and 4311AR, designated for source and found packaging, respectively, evolved as miniaturized, ruggedized versions of our popular Model 4310. We designed these highly reliable units, identical in all aspects except packaging, for low-cost, high-volume production in missile control and aircraft autopilot applications. Both models operate from low voltage, and produce a high-level, high-accuracy output signal without amplification.

**Design Benefits:** You can rely on our Models 4311AS and 4311AR to provide:

- **Flexible Design:** Both units employ Syston Donner's servo force balance design, facilitating incorporation of an impressive array of modifications to meet specific requirements.
- **Rugged Design:** We've engineered both the 4311AS and 4311AR with rugged diamond torsion-bar sensing elements to operate in a wide range of high vibration, temperature, and shock environments.
- **Qualified and Proven Design:** Both models have been qualified to numerous defense applications, earning a place in both U.S. Government and European HENELUX inventories.
- **Quality Production Capability:** The standard manufacturing, inspection, and quality control systems at Syston Donner meet MIL-Q-9856, as well as stringent NASA requirements.
- **High Reliability:** MTBF in excess of 30,000 flight hours.

- **High Performance:** Linearity better than 0.05% of full range.
- **High Accuracy:** Resolution better than 0.001% of full range.
- **Long Life with No Maintenance:** Single sensing element, with less than 100 micro-radians motion. The total sensing system weighs less than 500 milligrams. Contains virtually no moving parts, and requires no scheduled maintenance.
- **Small Size:** The Models 4311AS and 4311AR are configured to accommodate, rather than dictate, your design requirements.

- **Wide Temperature Range:** Both models function accurately in temperatures ranging from -40°C to +132°C. (-40°F to +270°F).
- **Low Cost:** With our high monthly production of 4311's, we can meet our customers' at the lowest possible per unit cost.



Actual Size



Actual Size

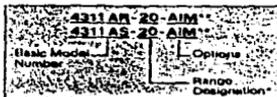
The inertial Division of Syston Donner can meet the production schedules of any major program. Currently, we are committed to programs with a production life of more than ten years, at a production rate of over 80 sensors per month.

With the successful application of over 100,000 units, our Models 4311AS and 4311AR have become the industry standard linear servo accelerometers for general flight control and autopilot applications.

### Ordering Information

When ordering a Model 4311AS or 4311AR Linear Accelerometer, indicate the part number which includes model number, range, and options.

Example:



- \* Symmetrical ranges are indicated by a number designating full scale input in g. For example, a range description of 20 indicates a  $\pm 20$  g.
- † For non-symmetrical g ranges (Option L), the designated number indicates the greatest full scale range in g. For example, a designation of 20 is used to describe a  $\pm 20$  to  $-10$  g unit.
- \*\* AS: Screen configuration.
- \*\*\* AR: Round configuration.

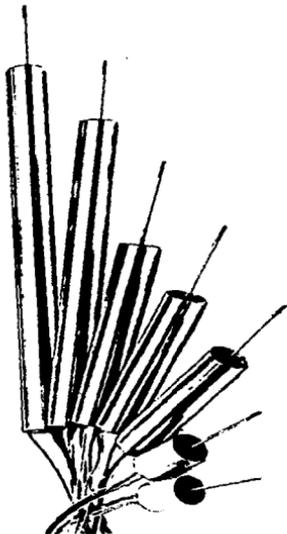
### Typical Options

Option	Description
A	Standard version: $\pm 15$ vdc input, $\pm 7.5$ vdc nominal output.
B	Tolerance version: 28 vdc input, 0.2 to 4.0 vdc nominal output. Input current 20 ma max.
C	$\pm 28$ vdc input $\pm 10\%$ , $\pm 15$ vdc output full scale.
D	Electrical connector (Available on AR only).
E	Temperature compensation of scale factor to 0.005% per $^{\circ}$ F over any 100 $^{\circ}$ F span, from $30^{\circ}$ to $180^{\circ}$ F. Susceptibility temperature range.
F	Case alignment to true sensitive axis within $\pm 1\%$ degree.
J	Case alignment to true sensitive axis within $\pm X$ degree. Symmetrical ranges only.
L	Non-symmetrical range (Range designation indicates greatest full scale range). With Option B only.
M	Provision for $\pm 1$ g inertial bias. Not available with Option B. Not available with $\pm 0.5$ g range, unless full scale output is limited to 5 vdc.
N	Customized versions available. Consult factory.
T	Dynamic Range Change: "LYNNA RANGE"™ provides performance of a low-range servo accelerometer with a moderately priced (100) frequency response, while operating linearly and without saturation under high levels of spectral vibration.





**DISPLACEMENT TRANSDUCER DC-DC** SERIES 240  
6 TO 30 VOLT EXCITATION



**CONSTRUCTION**

All materials have been selected carefully to achieve optimum performance. The stainless steel housings, coil assembly, oscillator-demodulator, and Teflon-insulated leads are carefully encapsulated in epoxy resin. Oscillator-demodulator components are individually selected to assure accuracy and reliability.

**FOR A DC VOLTAGE OUTPUT  
PROPORTIONAL TO DISPLACEMENT**

- DC in, DC out
- Adjustable scale factor
- No phasing, harmonic or quadrature null problems
- Polarity protected
- Zero hysteresis
- Stepless output
- Excellent repeatability
- High output
- Up to 8" range
- Extreme linearity
- Fast response
- Light weight
- Magnetically shielded

**DESCRIPTION**

The Trans-Tek Series 240 displacement transducer is an integrated package consisting of a precision linear variable differential transformer, a solid state oscillator, and a phase-sensitive demodulator.

The transducer is designed to combine in one small but rugged package the achievement of excellent linearity, infinite resolution, and high sensitivity. The phasing, quadrature null and harmonic problems often experienced with AC differential transformers are eliminated.

Input and output circuits are electrically isolated from each other and from the coil assembly housing, making them usable directly in floating or ground return systems. DC indicators, recorders, and control systems can usually be driven directly by the large DC output. The core, when displaced axially within the coil assembly, produces a voltage change in the output directly proportional to the displacement.

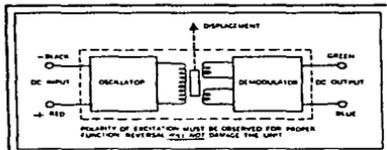
**PRINCIPLE OF OPERATION**

The oscillator converts the DC input to AC, exciting the primary winding of the differential transformer. Voltage is induced in the secondary windings by the axial core position. The two secondary circuits consist of a winding, a full-wave bridge, and an RC filter.

The circuits are connected in series opposition so that the resultant output is a DC voltage proportional to core displacement from the electrical center. The polarity of the voltage is a function of the direction of the core displacement with respect to the electrical center.

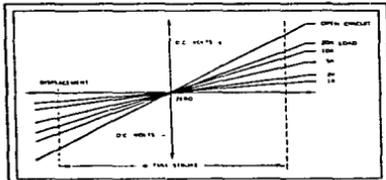
## APPLICATION

A Series 240 transducer can be used to measure physical functions which can be translated into a linear displacement. Typical applications include servo position feedback, sensor for pressure transducers, strain measurement in structural members, automatic gauging, and machine control.



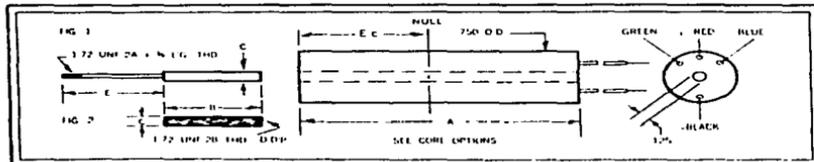
### CIRCUIT DIAGRAM

Blue lead is more positive with respect to Green lead as the core is moved towards the lead end.



### DISPLACEMENT VS. OUTPUT DIAGRAM

NOTE: CURVES AT VARIOUS LOADS ARE SHOWN FOR REFERENCE ONLY. LOAD RESISTANCE UNDER 50 OHM MAY DEGRADE LINEARITY. OUTPUT MAY BE SHORT CIRCUITED INDEFINITELY WITHOUT DAMAGE TO LVDT.



DIMENSIONAL DIAGRAM

## INSTALLATION

A Series 240 transducer can be mounted by clamping around the housing to a physical reference point. The dynamic member to be monitored is coupled to the threaded connecting rod of the core assembly or to the optional core by means of a threaded extension rod. Mounting hardware should be of nonmagnetic materials such as brass, aluminum, or 300 series stainless steel.

## CORE OPTIONS

Model	Option	Fig.	Core				
			Pl. No.	B	C	D	E
0240-0000	Std.	1	C004-0000	.562	.120	—	1.90
0240-0000	1	1	C004-0001	.562	.099	—	1.90
0240-0000	2	2	C005-0002	.562	.120	thru	—
0240-0000	3	2	C005-0003	.562	.099	thru	—

0241-0000	Std.	1	C004-0004	.750	.120	—	1.90
0241-0000	1	1	C004-0005	.750	.099	—	1.90
0241-0000	2	2	C005-0009	.750	.120	3/16	—
0241-0000	3	2	C005-0010	.750	.099	3/16	—

0242-0000	Std.	1	C004-0010	1.75	.120	—	1.90
0242-0000	1	1	C004-0006	1.75	.099	—	1.90

0243-0000	Std.	1	C004-0011	1.87	.120	—	2.40
0243-0000	1	1	C004-0007	1.27	.099	—	2.40

0244-0000	Std.	1	C004-0012	2.00	.120	—	3.20
0244-0000	1	1	C004-0008	2.00	.099	—	3.20

0245-0000	Std.	1	C004-0013	3.50	.120	—	5.20
0245-0000	1	1	C004-0009	3.50	.099	—	5.20

0246-0000	Std.	1	C004-0014	3.50	.120	—	8.40
0246-0000	1	1	C004-0015	3.50	.099	—	8.40

## ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Model Number	0240-0000	0241-0000	0242-0000	0243-0000	0244-0000	0245-0000	0246-0000
Range, working	= 0.050	= 100	= 250	= 500	= 1.00	= 2.00	= 3.00
Max. usable	= 0.075	= 150	= 375	= 750	= 1.50	= 2.75	= 4.00
Input, volts DC	6.0 Min. to 30 Max.						
Nominal F.S. Output ± V.D.C. (open circuit)							
⊙ 6 V. input	1.2	2.1	1.6	3.0	4.3	4.0	3.1
⊙ 15 V. input	3.0	5.4	4.2	7.5	10.8	10.0	7.8
⊙ 24 V. input	5.0	9.0	7.0	12.5	18.0	16.0	13.0
⊙ 30 V. input	5.9	10.7	8.3	14.8	21.4	20.0	15.4
Input current	8.3 ma @ 6 V. input to 52 ma @ 30 V. input						
*LINEARITY % FULL SCALE OVER TOTAL WORKING RANGE	= 0.5	= 0.5	= 0.5	= 0.5	= 0.5	= 0.5	= 0.5
OVER MAX. USABLE RANGE	= 1.0	= 1.0	= 1.0	= 1.0	= 1.0	= 1.0	= 1.0
Internal carrier Freq. Hz Nom. greater than	13000	12000	3600	3400	3200	1500	1400
% Ripple (RMS) nom.	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0
Output impedance (ohms)	2500	3500	5200	5500	5600	5500	5600
Freq. Response 3 db down Hz	300	140	115	110	100	110	75
Temperature Range	- 65° F to + 250° F.						
Resolution	Infinite						

## PHYSICAL SPECIFICATIONS

Model Number	0240-0000	0241-0000	0242-0000	0243-0000	0244-0000	0245-0000	0246-0000
Coil assembly (length A)	0.87	1.12	3.21	3.71	4.71	8.21	10.52
Coil assembly (weight, grams)	22	28	70	80	104	180	220
Core assembly (weight, grams)	1.6	2.1	3.4	3.8	4.3	7.0	8.1
Termination all models	#22 AWG by 18" long Teflon insulated leads						
E c	0.34	0.46	1.44	1.69	2.19	3.94	5.09

## REPLACEMENT CORES

Model Number	0240-0000	0241-0000	0242-0000	0243-0000	0244-0000	0245-0000	0246-0000	
Replacement core Part Numbers	C004-0000 C004-0001 C005-0002 C005-0003	C004-0004 C004-0005 C005-0009 C005-0010	C004-0006 C004-0010	C004-0007 C004-0011	C004-0008 C004-0012	C004-0009 C004-0013	C004-0014 C004-0015	

\*Linearity, defined as the deviation from the best straight line passing thru zero, is less than 0.5% of the total full scale output over the total working range for Model 0246-0000 total working range is 6.00 volts or less or 1% of the maximum usable range.

## ADC0831/ADC0832/ADC0834 and ADC0838 8-Bit Serial I/O A/D Converters with Multiplexer Options

### General Description

The ADC0831 series are 8-bit successive approximation A/D converters with a serial I/O and configurable input multiplexers with up to 8 channels. The serial I/O is configured to comply with the MICROWARE™ serial data exchange standard for easy interface to the COP8™ family of processors, and can interface with standard shift registers or μPs.

The 2-, 4- or 8-channel multiplexers are software configured for single-ended or differential inputs as well as channel assignment.

The differential analog voltage input allows measuring the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be selected to allow encoding any smaller analog voltage span in the full 8 bits of resolution.

### Features

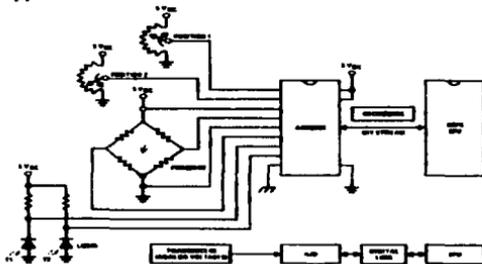
- MICROWARE compatible—direct interface to COP8 family processors
- Easy interface to all microprocessors, or operate "stand-alone"

- Operates monoisometrically or with 5 V<sub>CC</sub> voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 2-, 4- or 8-channel multiplexers operate with address logic
- Stray regulator allows operation with high voltage supplies
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Parallel operation with serial digital data bus
- TTL/CMOS input/output compatible
- 0.3" standard width, 8-, 14- or 28-pin DIP package
- 30 Pin Masked Chip Carrier Package (ADC0838 only)
- Surface-Mount Package

### Key Specifications

- |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| ■ Resolution             | 8 bits                |
| ■ Total Unadjusted Error | ± 1/2 LSB and ± 1 LSB |
| ■ Single Supply          | 5 V <sub>CC</sub>     |
| ■ Low Power              | 15 mW                 |
| ■ Conversion Time        | 32 μs                 |

### Typical Application



© 1985 National Semiconductor Corporation. All rights reserved. This document is the property of National Semiconductor Corporation. No part of this document may be reproduced without written permission from National Semiconductor Corporation.

NSC0831, NSC0832, NSC0834, NSC0838

NSC0831, NSC0832, NSC0834, NSC0838

ADC0831/ADC0832/ADC0834 and ADC0838  
8-Bit Serial I/O A/D Converters with Multiplexer Options

## DAC1020/DAC1021/DAC1022

### 10-Bit Binary Multiplying D/A Converter

## DAC1220/DAC1222

### 12-Bit Binary Multiplying D/A Converter

#### General Description

The DAC1020 and the DAC1220 are, respectively, 10 and 12-bit binary multiplying digital-to-analog converters. A digital input (an 8-bit resistor ladder) drives the reference current and provides the control via multiplexed temperature trimming (0.025%/°C) trimmer error temperature coefficient measurement. The circuit uses CMOS current sources and drain resistors to achieve low power consumption (200 mW total) and low output impedances (200 nA max). The digital inputs are compatible with DTL/TTL logic levels as well as full CMOS logic level inputs. The start, combined with an external amplifier and voltage reference, can be used as a standard D/A converter; however, it is also very attractive for multiplexed applications such as digitally controlled gain amplifiers since its trimmer error is essentially independent of the voltage reference. All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V<sup>+</sup> and ground.

The start is available with 10-bit (0.05%), 8-bit (0.10%), and 6-bit (0.20%) non-binary guaranteed error temperature

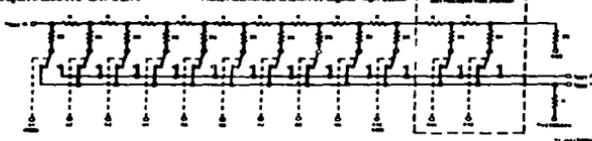
(note 1 of electrical characteristics). The DAC1020, DAC1021 and DAC1022 are direct replacements for the 10-bit resolution AD7590 and AD7530 and equivalent to the AD7533 family. The DAC1220 and DAC1222 are direct replacements for the 12-bit resolution AD7581 and AD7521 family.

#### Features

- Latchably specified with zero and full-scale adjust only
- Non-binary guaranteed error temperature
- Integrated trim trim on CMOS structure
- 10-bit or 12-bit resolution
- Low power dissipation 10 mW @15V typ
- Accepts variables or fixed reference—25V CMOS < 25V
- 4-quadrant multiplying capability
- Inherently steady state DTL, TTL and CMOS
- Fast settling time—500 ns typ
- Low feedthrough error— $\frac{1}{2}$  LSB @100 MHz typ

#### Equivalent Circuit

Note: Switches shown in digital high state



#### Ordering Information

Temperature Range		10-BIT D/A CONVERTERS		
		0°C to 75°C		0°C to 85°C
Non-Linearity	0.05%	DAC1020LCN	AD7590J,AD7530LN	DAC1020CV
	0.10%	DAC1021LCN	AD7590N,AD7530KN	DAC1021CV
	0.20%	DAC1022LCN	AD7590JN,AD7530JN	
Package Outline		N18A		V20A
Temperature Range		12-BIT D/A CONVERTERS		
		0°C to 75°C		0°C to -85°C
Non-Linearity	0.05%	DAC1220LCN	AD7581N,AD7531LN	DAC1220LCJ
	0.10%	DAC1221LCN	AD7581JN,AD7531JN	AD7581LD,AD7531LD
	0.20%	DAC1222LCN	AD7581JN,AD7531JN	DAC1222LCJ
Package Outline		N18A		J18A

Note: Complete data sheet will specify all other part numbers.

 DAC1020/DAC1021/DAC1022 10-Bit Binary Multiplying D/A Converter  
 DAC1220/DAC1222 12-Bit Binary Multiplying D/A Converter

## 54LS245/DM54LS245/DM74LS245 TRI-STATE® Octal Bus Transceiver

### General Description

These octal bus transceivers are designed for synchronous two-way communication between data buses. The control function implementation minimizes external buffer requirements.

The device allows data transmission from the A bus to the B bus or from the B bus to the A bus depending upon the logic level at the direction control (DIR) input. The enable input (OE) can be used to disable the device so that the buses are effectively isolated.

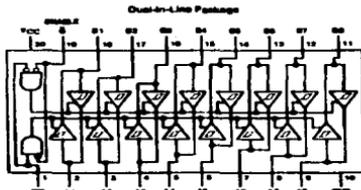
- PNP inputs reduce DC loading on bus lines
- Hysteresis at bus inputs improves noise margins
- Typical propagation delay times, per-direction 8 ns
- Typical enable/disable times 17 ns
- $I_{OL}$  (sink current)
  - 54LS 12 mA
  - 74LS 24 mA
- $I_{OH}$  (source current)
  - 54LS -12 mA
  - 74LS -15 mA

- Alternate Military/Aerospace device (54LS245) is available. Contact a National Semiconductor Sales Office/Distributor for specifications.

### Features

- Bi-Directional bus transceiver in a high-density 20-pin package
- TRI-STATE outputs drive bus lines directly

### Connection Diagram



Order Number 54LS245DIP20, 54LS245P20, 54LS245M20,  
DM54LS245, DM54LS245P, DM74LS245P or DM74LS245P  
See NS Package Number 230A, J30A, 620B, 620A or W20A

TL77015-1

### Function Table

Enable OE	Direction Control DIR	Operation
L	L	B data to A bus
L	H	A data to B bus
H	X	Isolation

H = High, L = Low, X = Unspecified

© 1989 National Semiconductor Corporation

NS 54LS245 is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

DM54LS245 is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

**DM54LS373/DM74LS373,  
DM54LS374/DM74LS374  
TRI-STATE® Octal D-Type Transparent  
Latches and Edge-Triggered Flip-Flops**

**General Description**

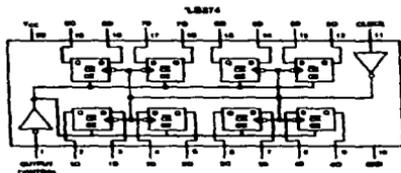
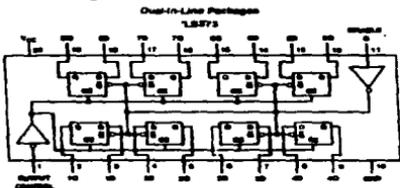
These 8-bit registers feature tri-state outputs designed specifically for driving high-impedance or relatively low-impedance loads. The high-impedance state and increased high-level drive provide these registers with the capability of being connected directly to and driving the bus lines in a bus-oriented system without need for interface or buffer components. They are particularly attractive for implementing buffer registers, I/O ports, bidirectional bus drivers, and storage registers.

(Continued)

**Features**

- Choice of 8 latches or 8 D-type flip-flops in a single package
- TRI-STATE bus-driving outputs
- Full parallel-access for loading
- Buffered control inputs
- P-M-P inputs reduce D-C loading on data lines

**Connection Diagrams**



Order Number  
DM54LS373A,  
DM74LS373W,  
DM74LS373N or  
DM74LS373D  
See MS Package Number  
J76A, 8288A, 828A or  
W26A

10-10031-1

Order Number  
DM54LS374A,  
DM74LS374W,  
DM74LS374N or  
DM74LS374D  
See MS Package Number  
J76A, 8288B, 828A or  
W26A

10-10031-1

DM54LS373/DM74LS373, DM54LS374/DM74LS374  
TRI-STATE Octal D-Type Transparent Latches and Edge-Triggered Flip-Flops

## LM723/LM723C Voltage Regulator

### General Description

The LM723/LM723C is a voltage regulator designed primarily for series regulator applications. By itself, it can supply output currents up to 100 mA; but external transistors can be added to provide any desired load current. The circuit features extremely low standby current drain, and precision is made for either linear or foldback current limiting.

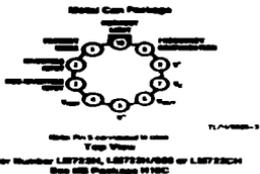
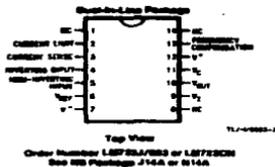
The LM723/LM723C is also useful in a wide range of other applications such as a current regulator, a current regulator or a temperature controller.

The LM723C is identical to the LM723 except that the LM723C has its performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -50°C to +125°C.

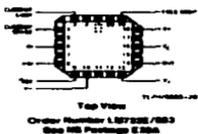
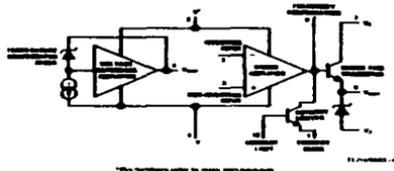
### Features

- 100 mA output current without external pass transistor
- Output currents in excess of 10A possible by adding external transistors
- Input voltage 45V max
- Output voltage adjustable from 2V to 37V
- Can be used as either a linear or a switching regulator

### Connection Diagrams



### Equivalent Circuit\*



## MF10 Universal Monolithic Dual Switched Capacitor Filter

### General Description

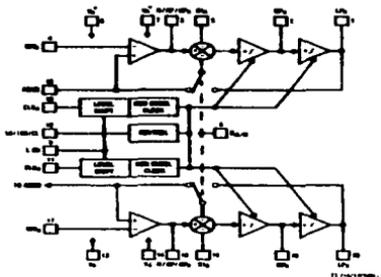
The MF10 consists of 2 independent and externally easy to use, general purpose CMOS active filter building blocks. Each block, together with an external clock and 2 to 4 resistors, can produce various 2nd order functions. Each building block has 3 output pins. One of the outputs can be configured to perform either an allpass, highpass or a notch function, the remaining 2 output pins perform lowpass and bandpass functions. The corner frequency of the allpass and bandpass 2nd order functions can be either directly dependent on the clock frequency, or they can depend on both clock frequency and external resistor ratios. The corner frequency of the notch and allpass functions is directly dependent on the clock frequency, while the allpass corner frequency depends on both resistor ratio and clock. Up to 4th order functions can be performed by cascading the two 2nd order building blocks of the MF10; higher than 4th order functions can be obtained by cascading MF10 packages.

Any of the classical filter configurations (such as Butterworth, Bessel, Chebyshev and Cauer) can be formed. For pass-compatible devices with improved performance ratio to LMP100 differential.

### Features

- Easy to use
- Clock to corner frequency ratio accuracy 10.6%
- Filter cutoff frequency stability directly dependent on external clock quality
- Low sensitivity to external component variation
- Separate highpass (or notch or allpass), bandpass, lowpass outputs
- $f_c \times Q$  range up to 200 kHz
- Operation up to 30 MHz
- 20-pin 0.3" wide Quad-In-Line package
- 20-pin Surface Mount (SO) wide-body package

### System Block Diagram



### Connection Diagram

Surface Mount and Dual-In-Line Packages



Top View

- Order Number MF10A or MF10CCJ
- See NS Package Number J25A
- Order Number MF10ACW92 or MF10CCW92
- See NS Package Number 62259
- Order Number MF10ACH or MF10CCCH
- See NS Package Number N30A

## TL081 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

### General Description

The TL081 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BJT-BJT) technology. The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The TL081 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment concurrently. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

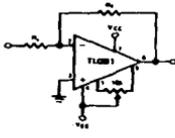
The TL081 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements

are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply current is important, however, the TL081C is the better choice.

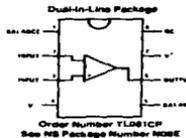
### Features

- Internally trimmed offset voltage 15 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 25 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 1.8 mA (10V)
- High input impedance
- Low total harmonic distortion  $A_v = 10$ ,  $<0.05\%$   
 $R_L = 10k, V_O = 20 V_{pp}$
- $SR = 20 Hz - 20 kHz$
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

### Typical Connection

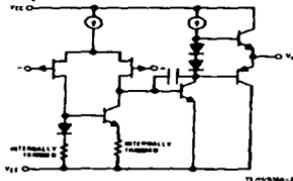


### Connection Diagram



Order Number TL081CIP  
See MS Package Number 108E

### Simplified Schematic



## TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

### General Description

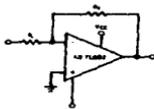
These devices are low cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BISET ITM technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The TL082 is pin compatible with the standard LM158 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM158 and most LM058 designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, narrow and broad circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The devices also exhibit low noise and offset voltage drift.

### Features

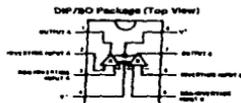
- Internally trimmed offset voltage
  - Low input bias current
  - Low input noise voltage
  - Low input noise current
  - Wide gain bandwidth
  - High slew rate
  - Low supply current
  - High input impedance
  - Low total harmonic distortion  $A_V = 10$ ,  $R_L = 10k, V_O = 20Vp - p$ ,  $f_{BW} = 20Hz - 20kHz$
  - Low 1/f noise corner
  - Fast settling time to 0.01%
- |                    |
|--------------------|
| 15 mV              |
| 50 pA              |
| 18nV/√Hz           |
| 0.01 pA/√Hz        |
| 4 MHz              |
| 12 V/μs            |
| 3.8 mA             |
| 10 <sup>11</sup> Ω |
| <0.02%             |
| 50 Hz              |
| 2 μs               |

### Typical Connection

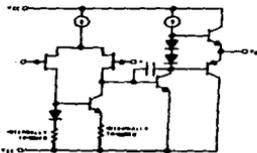


TL082B-1

### Connection Diagram


 Order Number TL082B or TL082CP  
 See 80 Package Number 00058 or 00062

### Simplified Schematic



TL082B-2



- Harry N. Norton. *Sensores y analizadores*, colección electrónica/informática, 1984
- Antonio Creus. *Instrumentación industrial*, 5ª edición, alfaomega.
- Ramón Pallas Areny. *Sensores y acondicionadores de señal*, 2ª edición, macombo.
- V. Carl Hamacher. *Organización de computadoras*, 2ª edición, McGraw-Hill, 1990
- Gene E. Tobey. *Amplificadores operacionales, diseño y aplicación*, 4a. reimpresión, 1985.
- J.V.Wait/L.P. Huelsman/G.A. Korn. *Introducción al amplificador operacional, teoría y aplicaciones*, colección electrónica/informática. 1983.
- Erik Molino Minero Re. *Acondicionador para servos:elerómetros controlado digitalmente*, Tesis, Facultad de Ingeniería , 1994.
- A. Sedra, K.C. Smith. *Dispositivos electrónicos y amplificación de señales*, Interamericana, México, D.F., 1987
- National Instruments, *Instrumentation, reference and catalogue*, 1996.