

**SISTEMA PROTOTIPO DE INSTRUMENTACION BASADO EN LA ACCIÓN DE
UN CAMPO ELECTRICO**

JAIRO ANDRES ARIZA CASTAÑEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005**

**SISTEMA PROTOTIPO DE INSTRUMENTACION BASADO EN LA ACCIÓN DE
UN CAMPO ELECTRICO**

**EJECUTOR – AUTOR:
JAIRO ANDRES ARIZA CASTAÑEDA**

Trabajo de grado para optar al titulo de Ingeniero Electrónico.

Director-Autor
Carlos Rodrigo Correa C., Ph. D.

Codirectora-autora
Nidia Quintero Peña, Ing. Msc (c)

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1 COMPONENTE TEÓRICO	3
1.1 MEDICIÓN MEDIANTE CAMPO ELÉCTRICO.....	3
1.2 MODELADO DE LA INTERACCIÓN	4
2 PARTE EXPERIMENTAL	6
2.1 EL MC33794 ELECTRIC FIELD IMAGING DEVICE.....	6
2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO INTEGRADO	7
2.1.1.1 Aspectos generales.....	8
2.1.1.2 Eliminación de interferencias	9
2.1.1.3 Circuito de soporte para el LED indicador	9
2.1.1.4 Circuito oscilador.....	10
2.1.1.5 Soporte para MCU.....	10
2.1.1.6 Procesamiento y manipulación de la señal.....	11
2.1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MC33794.....	14
2.2 DISEÑO DE LOS ELECTRODOS	18
2.2.1 OBTENCIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA	18
2.2.1.1 Curva característica usando el KIT de Motorola	19
2.2.1.2 Caracterización usando el prototipo.....	21
2.2.1.3 Análisis de las diversas caracterizaciones.....	24
2.2.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS ELECTRODOS	26
2.2.2.1 Electrodo tipo cepillo	26
2.2.2.1.1 Análisis teórico de los electrodos tipo cepillo.....	26
2.2.2.1.2 Análisis experimental de los electrodos tipo cepillo	31
2.2.2.1.3 Comparación de los datos teóricos y experimentales.....	33
2.3 DISEÑO DEL SISTEMA PROTOTIPO DE INSTRUMENTACIÓN	34
2.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROTOTIPO.....	34
2.3.2 SELECCIÓN DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS.....	36
2.3.2.1 Selección del INA	36
2.3.2.2 Alimentación del INA.....	38
2.3.2.3 Selección del potenciómetro digital.....	39
2.3.2.4 Selección del DAC.....	43
2.3.2.5 Selección del microcontrolador	45
2.3.2.6 Interfaz de comunicación serial RS-232	47
2.3.3 ESQUEMÁTICO COMPLETO DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN	48
2.3.4 FIRMWARE DEL MC68HC908GP32	50
2.4 VISUALIZACIÓN Y CONTROL EN LABVIEW 6.1	54
2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PANEL DE CONTROL	55
2.4.2 ETAPA DE CONFIGURACIÓN.....	56
2.4.3 ETAPA DE LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS	58
2.4.4 ETAPA DE FINALIZACIÓN DE LA APLICACIÓN	64
3 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN	65

3.1 RESUMEN ACERCA DE LA METODOLOGIA DE MEDICIÓN.....72

CONCLUSIONES.....73

RECOMENDACIONES PARA FUTUROS MODELOS.....74

BIBLIOGRAFÍA.....75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de los pines de selección A, B, C, D.....	13
Tabla 2. Valores resultantes de la conversión usando el KIT de Motorola	19
Tabla 3. Valores de la caracterización en voltios usando el KIT de Motorola	20
Tabla 4. Valores en voltios de la caracterización usando el prototipo.....	22
Tabla 5. Datos de la caracterización de la respuesta del prototipo usando los condensadores de referencia	23
Tabla 6. Comparación entre las diferentes caracterizaciones obtenidas	24
Tabla 7. Datos experimentales de los electrodos construidos.....	31
Tabla 8. Datos teóricos de los electrodos construidos	32
Tabla 9. Comparación teórica y experimental de los electrodos	33
Tabla 10. Descripción de los pines del AD5220.....	40
Tabla 11. Tabla de verdad de AD5220	40
Tabla 12. Valores de ganancia del AD623 más relevantes.....	43
Tabla 13. Descripción de los pines de AD7801	45
Tabla 14. Configuración del puerto serial.....	57
Tabla 15. Valores que deben usarse para seleccionar el canal.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Circuito modelo de la medición mediante campo eléctrico.....	4
Figura 2. Campo imperturbado y perturbado en el receptor	5
Figura 3. Pines del MC33794 en 54-LEAD SOICW-EP	8
Figura 4. Diagrama de bloques del MC33794	14
Figura 5. Señal radiada por el electrodo.....	15
Figura 6. Señal detectada por el electrodo en presencia de una perturbación.....	16
Figura 7. Señal radiada en el SHIELD.....	17
Figura 8. Señal detectada por el SHIELD en presencia de una perturbación	17
Figura 9. Caracterización del resultado de la conversión con el KIT de Motorola	19
Figura 10. Caracterización con el KIT de Motorola en voltios.....	21
Figura 11. Caracterización del prototipo.....	22
Figura 12. Caracterización del prototipo teniendo en cuenta solo las referencias.....	23
Figura 13. Diseño del electrodo propuesto en el AN1985 de Motorola	26
Figura 14. Corte transversal del electrodo	27
Figura 15. Comparación entre el condensador de placas paralelas y el arreglo en el electrodo.....	28
Figura 16. Explicación del diseño del electrodo	29
Figura 17. Segunda contribución a la capacitancia del electrodo	30
Figura 18. Señal observada en la salida LEVEL.....	35
Figura 19. Diagrama de bloques del sistema	35
Figura 20. Conexión del AD623 y el AD5220	38
Figura 21. Inversor de tensión usando el LT1054	39
Figura 22. Configuración de pines del AD5220	40
Figura 23. Función de ganancia del AD623.....	42
Figura 24. Configuración del convertor	44
Figura 25. Conexión de MC68HC908GP32	46
Figura 26. Conexión del MAX232	47
Figura 27. Esquemático del sistema prototipo de instrumentación.....	49
Figura 28. Diagrama de flujo de la transmisión de datos por el MCU	50
Figura 29. Diagrama de flujo de la recepción de las ordenes enviadas desde LABVIEW hacia el MCU.	52
Figura 30. Panel de control	55
Figura 31. Etapa de configuración	58
Figura 32. Estructura de la secuencia de lecto/escritura de datos	58
Figura 33. Lectura de los datos	59
Figura 34. Control del offset.....	60
Figura 35. Control de los límites de conversión.	60
Figura 36. Obtención del valor de auto ajuste.....	61
Figura 37. Control de la ganancia	61
Figura 38. Control de la selección del canal	62
Figura 39. Control del SHIELD	63

Figura 40. Etapa de finalización de la aplicación	64
Figura 41. Comparación de la señal del electrodo con la referencia.	66
Figura 42. Señal del electrodo principal.	67
Figura 43. Señal del electrodo de ajuste.....	68
Figura 44. Señal resultante después del ajuste.....	69
Figura 45. Ampliación de la perturbación inducida por la presencia de la mano.....	69
Figura 46. Señales del electrodo principal y el de ajuste.	70
Figura 47. Señal resultante de la segunda prueba.	71

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1	5
Ecuación 2	20
Ecuación 3	25
Ecuación 4	28
Ecuación 5	29
Ecuación 6	30
Ecuación 7	30
Ecuación 8	33
Ecuación 9	37
Ecuación 10	41
Ecuación 11	41

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. INSTRUCCIONES ACERCA DEL USO DE LA TARJETA.....	76
ANEXO B. PROGRAMA EN MATLAB PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA TEÓRICA DE LOS ELECTRODOS.....	82
ANEXO C. KIT33794DWBEVM DE MOTOROLA	83
ANEXO D. PCB DEL SISTEMA.....	85
ANEXO E. FIRMWARE DEL GP32 CODEWARRIOR DEVELOPMENT STUDIO FOR HC08V3.1.....	87

RESUMEN

TITULO: Sistema prototipo de instrumentación basado en la acción de un campo eléctrico.*

EJECUTOR-AUTOR: Jairo Andrés Ariza Castañeda **

DIRECTOR-AUTOR: Carlos Rodrigo Correa C., Ph. D.

CODIRECTORA-AUTORA: Nidia Quintero Peña, Ing. Msc (c)

PALABRAS CLAVE: Campo eléctrico, Electrodo, MC33794 *Electric Field Imaging Device*, Instrumentación.

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo de grado tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema prototipo que basado en la interacción de un campo eléctrico (generado por el sistema) con los objetos y el medio circundante, permita la medición de parámetros asociados con la presencia de dichos objetos. El sistema a construir estará basado en la tecnología desarrollada por Motorola.

Para cumplir con el objetivo definido para este trabajo, se comenzará por entender dicha tecnología, esta comprensión abarca desde su funcionamiento, hasta su correcta manipulación. Teniendo en cuenta este aspecto, se construyó un sistema que en conjunto con otros dispositivos electrónicos, posee una serie de características que permiten al usuario tener un control sobre las diferentes variables que definen el sistema, y así poder llegar a utilizar el prototipo diseñado en algún tipo de aplicación específica.

Además de la construcción del sistema electrónico, también se presenta un análisis teórico, que trata acerca de la construcción de los electrodos que radian el campo eléctrico. Así mismo en este estudio, se observa como las características del electrodo, repercuten en este tipo de instrumentación.

Para finalizar, se plantea una metodología, una serie de pasos y recomendaciones a seguir, que ayudarán a usar, de manera adecuada y satisfactoria, el prototipo en una potencial aplicación.

* Trabajo de grado.

** Facultad Fisicomecánicas. Ing. Electrónica. Rodrigo Correa

ABSTRACT

TITLE: Prototype instrumentation system based in the action of an electric field.*

AUTHOR: Jairo Andrés Ariza Castañeda **

DIRECTOR-AUTHOR: Carlos Rodrigo Correa C., Ph. D.

CODIRECTOR-AUTHOR: Nidia Quintero Peña, Ing. Msc (c)

KEY WORDS: electric field, electrode, MC33794 Electric Field Imaging Device, Instrumentation.

DESCRIPTION:

The objective of this thesis is to design and to apply a prototype system that, based on the interaction of an electric field (generated by the system) with the objects and the surrounding environment, allows the measurement of parameters associated with the presence of these objects. The system will be based on the technology developed by Motorola.

To achieve the defined objective of this work, it is necessary to understand the technology first. This understanding goes from how it works, to the correct manipulation of the device. Bearing this in mind, a system, together with other electronic devices, were designed, with a group of characteristics which allow the user to have control on the different parameters that define the system, and in this way, permit the use of the prototype in some specific application.

Besides the construction of the electronic system, a theoretical analysis is shown, which explain the construction of the electrodes that radiate the electric field. Also, in this study, it can be seen how the electrode characteristics affect this type of instrumentation.

At the end of the document, a methodology and a group of steps and recommendations to follow are pointed out to help to use the prototype in a potential application, in an accurate and satisfactory way.

* Degree Project

** Facultad Fisicomecánicas. Ing. Electrónica. Rodrigo Correa

INTRODUCCIÓN

Aun cuando desde hace tiempo se conoce la existencia de los campos eléctricos y su relación con los objetos y el ambiente en que se encuentran, no se había profundizado en el desarrollo de un sistema, que aprovechando las características de los campos eléctricos, pudiera detectar los cambios que el entorno puede ejercer en él.

El presente trabajo de grado tiene como objetivo, diseñar e implementar un sistema prototipo que basado en la interacción de un campo eléctrico (generado por el sistema) con los objetos y el medio circundante, permita la medición de diversos parámetros asociados con la presencia de dichos objetos.

Se consideró que para completar el objetivo del trabajo de grado satisfactoriamente, se deben cumplir los siguientes logros:

- Un entendimiento de la manera en la que, un campo eléctrico, puede medir las características de un objeto que se encuentra bajo la influencia de dicho campo.
- Una comprensión de la tecnología que hace posible este tipo de medición.
- Estudiar formas y procedimientos que permitan realizar, de la mejor manera posible, la medición mediante la acción de un campo eléctrico.
- Construir un sistema que cumpla con las expectativas tecnológicas y metodológicas estudiadas, y así realizar la medida de una forma satisfactoria.

Para alcanzar los logros descritos, el documento comienza con un análisis de la técnica de medición empleada, es decir, la medición mediante el uso de un campo eléctrico, seguido del estudio del circuito integrado MC33794 de Motorola, la tecnología que hace posible

esta técnica de instrumentación; dicha sección incluye una descripción de las diversas características y funciones que posee el integrado, y la forma en la que funciona.

El punto de partida, en cuanto a establecer las formas y procedimientos para una adecuada medición, es el diseño de los electrodos a través de los cuales, el campo eléctrico generado por el MC33794, será radiado; los parámetros que se tendrán en cuenta incluyen el material en el que serán construidos, sus dimensiones y la forma que poseen. Además se observará la incidencia que estos parámetros poseen en el planteamiento teórico del diseño.

El siguiente paso en el proceso es la construcción del sistema; este dispositivo debe seguir la idea de crear la metodología de medición apropiada; para cumplir este objetivo se considerará la selección de cada uno de los componentes electrónicos que harán parte del sistema, dispositivos que ejercerán funciones de acondicionamiento de la señal, ejecución de ordenes de control, y comunicación con el PC que supervisará el proceso mediante la ayuda de una aplicación realizada en Labview 6.1.

1 COMPONENTE TEÓRICO

En esta primera parte del documento, se abordará un estudio de la teoría que explica la forma en la que mediante la acción de un campo eléctrico variante en el tiempo, se puede medir las diferentes propiedades, que caracterizan a un objeto que interactúa con el campo. Entre las características del objeto que se pueden medir se destacan la forma, el tamaño, el material que lo compone, además también se puede observar la distancia a la cual el objeto se encuentra del sitio de donde proviene el campo eléctrico.

1.1 MEDICIÓN MEDIANTE CAMPO ELÉCTRICO

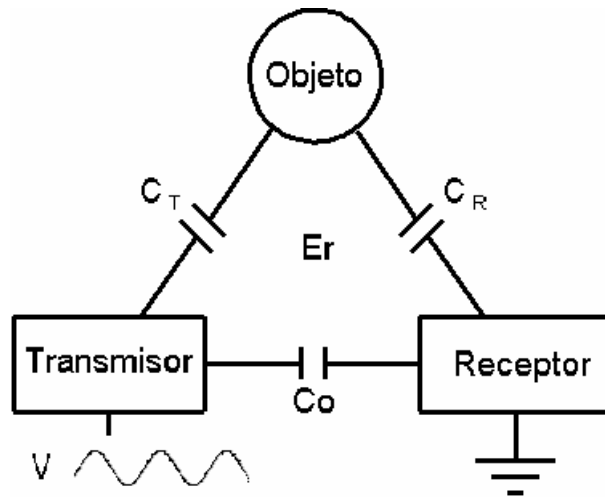
En esta sección se mostrará un modelo que explica como se realiza la medición mediante el uso de campos eléctricos.

El modelo consiste en dos placas conductoras separadas por un medio que posee una permitividad eléctrica definida. Una de las placas se encontrará conectada a tierra, mientras que en la otra habrá un potencial variante en el tiempo. Retomando los conceptos básicos del electromagnetismo, se sabe que si entre dos placas conductoras hay una diferencia de potencial, en ellas existirá una carga eléctrica, un campo eléctrico que fluye entre los dos conductores y una capacitancia asociada a este sistema.

A las placas conductoras se les llamará electrodos, y debido a que las líneas de campo fluyen del sitio de mayor al de menor potencial, el electrodo que está aterrizado será el electrodo receptor y el que posee el potencial es el electrodo transmisor.

Ahora, si un tercer objeto conductor hace su aparición, perturbará al sistema original, produciendo cambios en la capacitancia total del sistema, en él existirán 2 capacitancias adicionales entre cada uno de los electrodos y el objeto extraño. Esta es la forma en la que la presencia de un objeto puede ser detectada, ya que se producen variaciones en la

capacitancia del sistema, y ésta a su vez repercutirá en una variación en la corriente que fluye de un electrodo a otro, debido a que $I = C \frac{dV}{dt}$. En la figura 1 se ilustra el modelo descrito, aquí C_o es la capacitancia entre los electrodos, C_T es la capacitancia entre el electrodo transmisor y el objeto, y C_R es la capacitancia entre el electrodo receptor y el objeto.



Elaborado por el autor

Figura 1. Circuito modelo de la medición mediante campo eléctrico

1.2 MODELADO DE LA INTERACCIÓN

En este apartado se desea describir como el objeto a medir, interactúa con el campo eléctrico produciendo variaciones que afectan la forma en que éste se propaga.

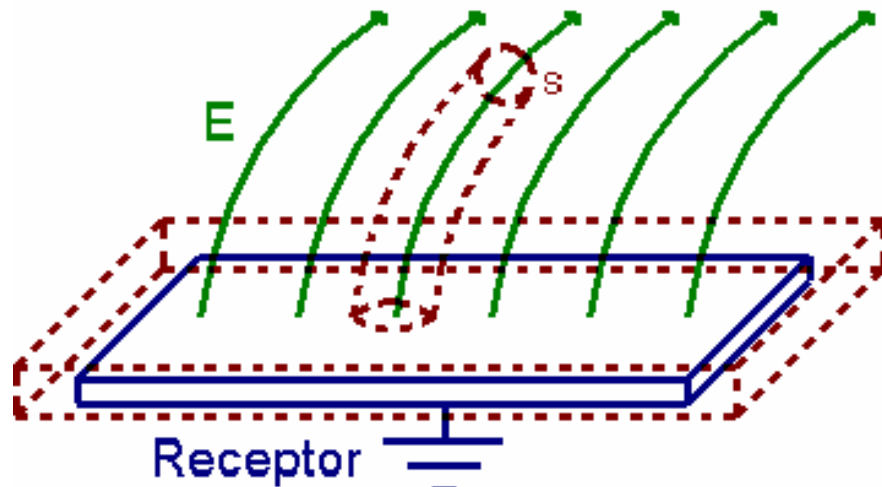
Como se mencionó en la sección anterior, el objeto a medir también es un conductor, para este modelo se supondrá que es un conductor perfecto que será llamado S , y que se encuentra en un punto en el espacio X . Como última suposición, se considera que el conductor solo afecta al campo eléctrico atenuando la intensidad del mismo, sin alterar el camino que siguen las líneas que lo conforman.

Teniendo en cuenta las pautas en las que se encuentra enmarcada la caracterización, se puede comenzar el análisis de la misma. Como ya se mencionó, el objeto a medir produce una variación en la capacitancia del sistema, lo que se traduce en un cambio en la corriente que fluye de un electrodo a otro. Hacia este punto es al que se va a llegar, mostrar como varía ésta corriente en relación al campo eléctrico existente entre los electrodos. Si se traza una superficie gaussiana, que se extiende alrededor del receptor hasta el objeto conductor, rodeando la línea de campo que se encuentra en contacto con el objeto, se puede observar que en toda esta superficie no existe un flujo que la atraviese, excepto en el punto en que el objeto interseca la línea de campo. El cambio de flujo que se produce es igual a la intensidad de campo original atenuado y multiplicado por el área que abarca la perturbación. Con lo descrito y con la ayuda de la ley de Gauss, se tiene como resultado que la corriente en el electrodo receptor (I_R), es igual a la corriente que existía antes de la perturbación (I_0), menos la corriente producida por el cambio de flujo. Con lo que se obtiene:

$$I_R = I_0 - \alpha E(x) \cdot dA$$

Ecuación 1

Donde α es el factor de atenuación del campo, cuyo valor se encuentra entre 0 y 1, $E(x)$ es el campo eléctrico y dA es el área de la perturbación. En la Figura 2 se muestra el modelo descrito.



Elaborado por el autor

Figura 2. Campo imperturbado y perturbado en el receptor

2 PARTE EXPERIMENTAL

En éste capítulo del documento, se encuentra la información necesaria para entender el uso y funcionamiento de la tecnología, que hace posible la medición mediante la influencia de un campo eléctrico. Se detalla además, el diseño de los electrodos que servirán como medio de transmisión de este campo hacia el ambiente y a los objetos. A continuación, se incluyen los detalles del diseño que se propuso para construir el sistema prototipo y la información relacionada con los dispositivos electrónicos necesarios para la realización del mismo. Finalmente, en el último segmento de este capítulo, se muestra el programa hecho en Labview 6.1, que cumple el propósito de ejercer acciones de control sobre el funcionamiento del sistema y la visualización de las medidas que éste toma.

2.1 EL MC33794 ELECTRIC FIELD IMAGING DEVICE

Este circuito integrado fue desarrollado por Motorola con la intención de realizar mediciones de proximidad, tamaño y forma de un objeto, (principalmente con el objetivo de mejorar los sistemas de airbag¹ de cualquier automóvil moderno) mediante la interacción de dicho objeto con el campo eléctrico generado por el circuito integrado, a través de uno o más electrodos conectados a éste.

Aunque el propósito con el que se desarrolló este circuito integrado es un poco específico, su aplicabilidad no está limitada sólo a este campo de acción, debido a que su funcionamiento que se basa en la acción de un campo eléctrico y al diseño del mismo integrado que posee una gran versatilidad en el momento de implementarlo en el diseño de un sistema electrónico.

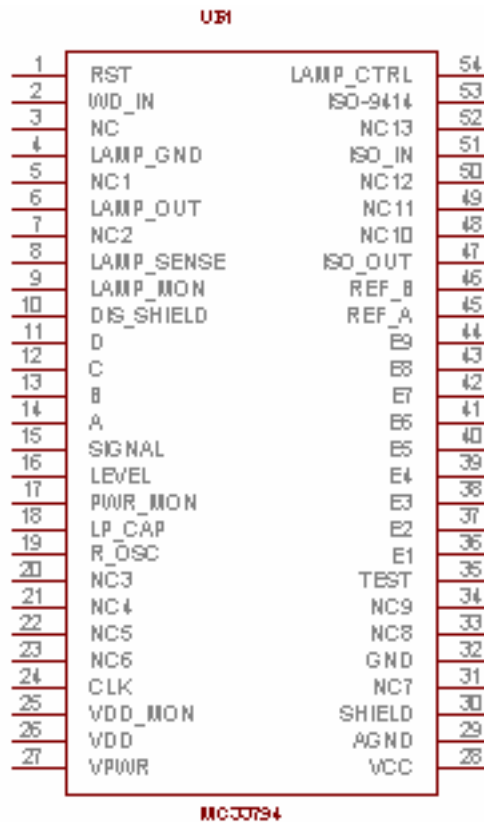
¹ Airbag: bolsas de aire que poseen ciertos automóviles para ofrecer seguridad a sus ocupantes en caso de choque del vehículo.

El MC33794 soporta hasta 9 electrodos conectados a él, los cuales no operan de manera simultánea, solo trabaja uno a la vez. Además posee dos entradas extras, a las que se recomienda conectar capacitancias de magnitud conocida, con el fin de establecer una referencia a las medidas tomadas por los electrodos. La selección del electrodo o de la referencia deseada, se realiza mediante la manipulación de 4 entradas en el circuito integrado que responden a la lógica digital del código BCD.

Otro aspecto que es importante resaltar y que es parte de las ventajas que ofrece el circuito integrado en el desarrollo de un diseño, es que posee una serie de componentes de soporte que permiten una sencilla y eficiente relación con un microcontrolador y poder realizar una aplicación que cumpla las expectativas del diseñador.

2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO INTEGRADO

El MC33794 se encuentra en dos tipos de empaquetados, de diferente tamaño, pero ambos de montura superficial. Los tipos de empaquetados son el 44-LEAD HSOP, y el 54-LEAD SOICW-EP. Ambos integrados poseen las mismas funciones, sólo se diferencian en tamaño, esto se debe a que en el futuro Motorola pretende introducir nuevas funciones en el empaquetado de 54 pines. En la Figura 3 se presenta un dibujo de la distribución de los pines del circuito integrado en su presentación de 54-LEAD SOICW-EP que fue la usada en la realización de este proyecto.



Elaborado por el autor

Figura 3. Pines del MC33794 en 54-LEAD SOICW-EP

A continuación se presentará una descripción de cada uno de los pines del circuito integrado y de las funciones que realiza el mismo, clasificadas por la función para la cual fueron diseñadas.

2.1.1.1 Aspectos generales

- **Positive power supply input (VPWR):** Aquí se conecta la fuente de alimentación del integrado, cuyo valor es de 12 V.
- **Vdd capacitor (VDD):** Es una fuente de tensión regulada que se deriva de VPWR y permite la operación correcta del circuito integrado. Un capacitor de 47 μ F se

conecta aquí para efectos de filtrado de la fuente. A diferencia de Vcc aquí no se deben conectar otros dispositivos.

- **Analog ground (AGND):** Es la tierra análoga. Debe mantenerse libre de respuestas transitorias como lo es el conmutado lógico. Su camino debe estar separado de la tierra digital.
- **Ground (GND):** Retorno a tierra.
- **Test mode control (TEST):** Este pin es usado por la fábrica como prueba de producción. Para motivos de diseño simplemente va conectado a tierra.

2.1.1.2 Eliminación de interferencias

- **Shield Driver (SHIELD):** Esta entrada fue diseñada para anular los efectos de capacitancias que pueden provocar interferencias indeseadas, como por ejemplo, la capacitancia que poseen los cables coaxiales con los que podrían conectarse los electrodos al circuito integrado.
- **Shield driver disable (DIS_SHIELD):** Mediante el uso de este pin se puede activar o desactivar la función ejercida por **SHIELD**, esto con el objetivo de conocer si **SHIELD** esta cumpliendo su función y de cuantificar la interferencia producida por las capacitancias indeseadas.

2.1.1.3 Circuito de soporte para el LED indicador

- **Lamp driver (LAMP_OUT):** Conexión para un LED que sirve como indicador de una correcta operación del integrado. El otro extremo del LED se conecta a un nivel de tensión positivo, como por ejemplo, la alimentación del integrado.

- **Lamp control (LAMP_CTRL):** Este es el pin de control del circuito del LED, y un nivel lógico alto permite el encendido del éste.
- **Lamp sense (LAMP_SENSE):** Normalmente conectado a LAMP_OUT para permitir un funcionamiento del circuito del LED.
- **Lamp ground (LAMP_GND):** Tierra del LED.

2.1.1.4 Circuito oscilador

- **Oscillator Resistor (R_OSC):** Un resistor entre tierra y este pin determina la frecuencia de operación del oscilador del MC33794, está optimizada a un valor de 120 kHz.
- **Clock (CLK):** Provee onda cuadrada de la misma frecuencia que la del oscilador.

2.1.1.5 Soporte para MCU

- **5.0 Regulator output (Vcc):** Esta salida requiere un capacitor de 47 μ F para efectos de filtrado y suministra una tensión regulada de 5 V con el propósito de ofrecer una fuente de alimentación para un MCU.
- **Reset (RST):** La señal dada por este pin genera una función de reset para el MCU. Dicha señal se genera cuando Vcc esta fuera del valor esperado (5 V), ó si WD_IN no recibe la señal de watchdog, (una señal periódica) que podría o no provenir del MCU.

- **Watchdog input (WD_IN):** Una señal de watchdog debe introducirse en este pin para evitar que se active la señal de reset. Se puede conectar este pin con la señal de reloj, si no se desea que esta señal sea suministrada por el MCU.
- **Vdd monitor (VDD_MON):** La señal que se genera en este pin sirve para monitorear el nivel de tensión de VDD y diagnosticar el correcto funcionamiento del circuito integrado. Esto se logra mediante una conversión análoga-digital de dicha señal.
- **Power monitor (PWR_MON):** Al igual que VDD_MON, la señal de este pin sirve para monitorear el funcionamiento del integrado, específicamente aquí se monitorea el nivel de tensión de la alimentación.
- **Lamp monitor (LAMP_MON):** Este pin esta conectado a LAMP_SENSE a través de un divisor de tensión, de modo que se obtiene una señal que posee los niveles manejados por un ADC y se tiene conocimiento del nivel de alimentación del circuito del LED.

2.1.1.6 Procesamiento y manipulación de la señal

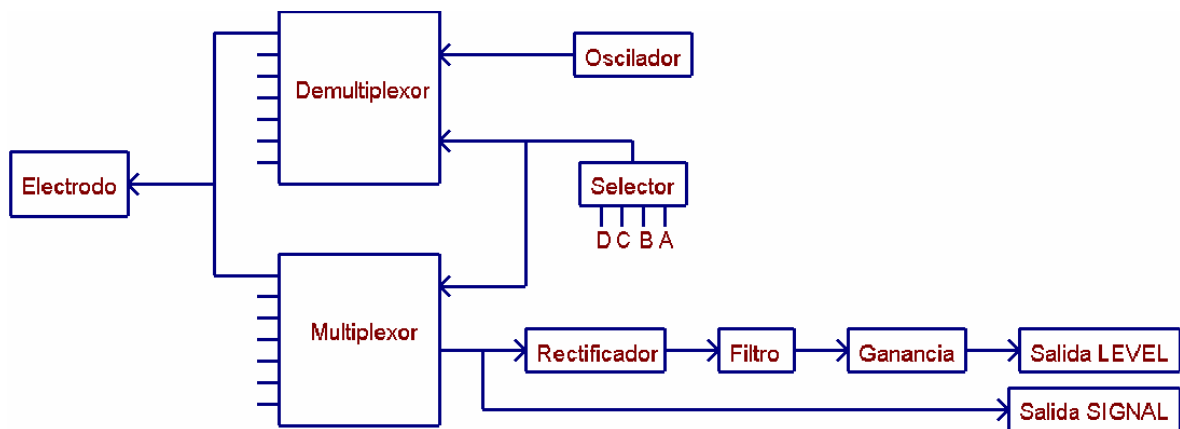
- **Undetected signal (SIGNAL):** Es la señal proveniente del electrodo, sin ninguna clase de procesamiento de señal. Esta es una de las salidas suministradas por el circuito integrado y se presenta esta señal sin procesar, con el objeto de ofrecer al diseñador la opción de realizar su propio algoritmo de procesamiento (por ejemplo con un DSP) y no el embebido en el integrado.
- **Detected level (LEVEL):** La señal proveniente del electrodo, que es la misma que se puede observar en SIGNAL, es procesada internamente por el MC33794 y como resultado final, se obtiene una señal DC que varía entre 0 y 5 voltios.

- **Low-Pass Filter capacitor (LP_CAP):** Un capacitor de 10 nF conectado a este pin, forma un filtro pasa bajas que hace parte del procesamiento de la señal obtenida del electrodo.
- **Electrode connections (E1-E9):** Estas son las entradas de los electrodos, pueden ser conectados de manera directa o mediante cables coaxiales. Cuando se selecciona uno de ellos mediante los pines de selección, los otros son conectados a tierra internamente por el integrado.
- **Reference connections (REF_A, REF_B):** Estos pines están destinados para ofrecer la posibilidad de calibración de las medidas obtenidas mediante los electrodos. Aquí deben ser situadas dos capacitancias de valores conocidos y mediante el uso de los pines de selección A, B, C, D se eligen estas capacitancias para observar la medida obtenida y realizar la calibración.
- **Selector inputs (A, B, C, D):** Controlan cual es la entrada deseada al circuito integrado, ya sea la de un electrodo o la de una de las referencias. La Tabla 1 ilustra los valores permitidos en estas entradas y su efecto en el circuito integrado.

Tabla 1. Valores de los pines de selección A, B, C, D.

Señal seleccionada	D	C	B	A
Fuente interna	0	0	0	0
E1	0	0	0	1
E2	0	0	1	0
E3	0	0	1	1
E4	0	1	0	0
E5	0	1	0	1
E6	0	1	1	0
E7	0	1	1	1
E8	1	0	0	0
E9	1	0	0	1
Referencia A	1	0	1	0
Referencia B	1	0	1	1
Oscilador interno	1	1	0	0
Oscilador interno después de 22 k Ω	1	1	0	1
Tierra interna	1	1	1	0
Reservado	1	1	1	1

2.1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MC33794

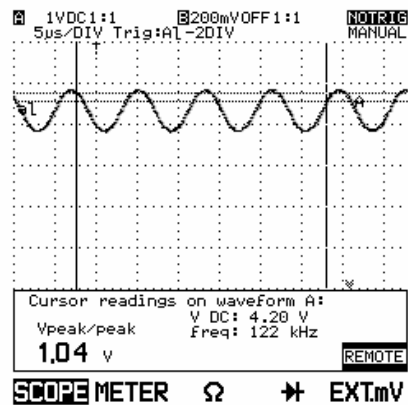


Elaborado por el autor

Figura 4. Diagrama de bloques del MC33794

La Figura 4 corresponde al diagrama de bloques que explica el funcionamiento del MC33794, y que se describirá en esta sección.

El funcionamiento del integrado comienza en el bloque del oscilador, allí se genera una señal senoidal de 122 kHz, que posee una componente de DC de 4.2 V y una amplitud pico a pico de 1.04 V. La Figura 5 muestra dicha señal, que puede ser observada en el pin **SIGNAL** del MC33794.

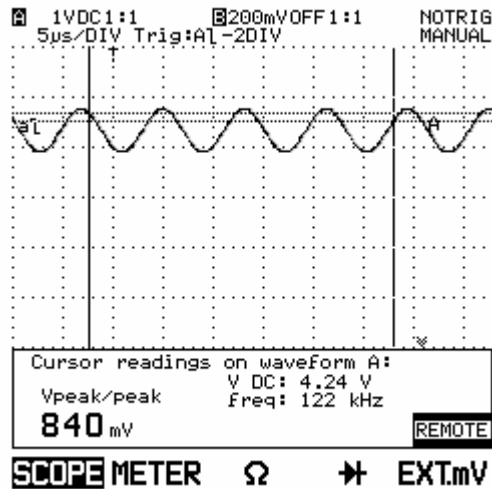


Elaborado por el autor

Figura 5. Señal radiada por el electrodo

Esta señal es enviada hacia un demultiplexor, allí con la ayuda del bloque de selección y del valor que es introducido mediante los pines A, B, C, D, se encamina la señal hacia uno de los nueve posibles electrodos, o a los dos condensadores de referencia, que se encuentran conectados al circuito integrado.

Cuando el electrodo radia la señal, ésta es perturbada por el medio y los objetos que rodean al electrodo, produciendo una variación únicamente en la amplitud pico a pico de la señal, pero no en su frecuencia, ni en su componente de continua; si se compara la Figura 5 con la Figura 6 se puede apreciar la situación descrita.



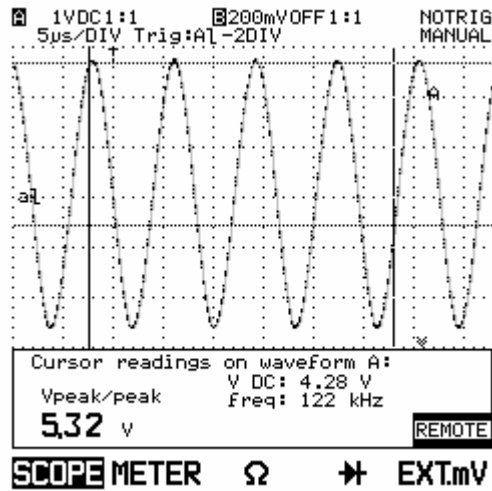
Elaborado por el autor

Figura 6. Señal detectada por el electrodo en presencia de una perturbación

Una vez más, con la ayuda del bloque selector y del multiplexor, la señal es enviada a la salida **SIGNAL** del MC33794.

En el mismo punto en donde se puede observar la señal **SIGNAL**, es donde comienza el procesamiento de señal que el MC33794 posee embebido. Este procesamiento consiste en una etapa de rectificación de onda completa de la señal, seguida de la acción de un filtro pasa bajos que posee un tiempo de asentamiento de 0.5 ms (si se le acopla una capacitancia de 10 nF), finalmente a esta señal se le otorga una ganancia y el **offset** que posee es eliminado. La señal de tensión que se obtiene después de este procesamiento es la observada en el pin de salida **LEVEL**.

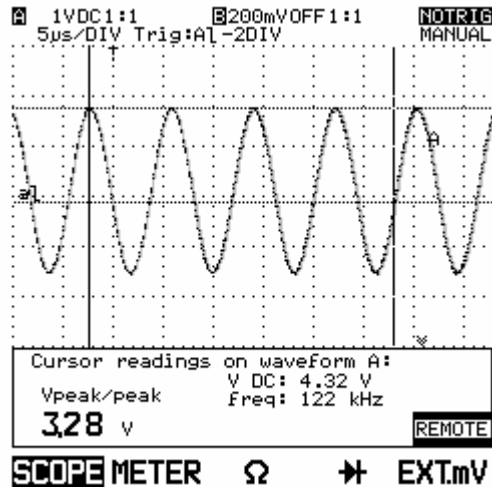
Con la señal de **SHIELD** ocurre el mismo tratamiento de la señal, primero la radiación de la senoidal, luego su rectificación y finalmente su filtrado. Dependiendo del estado lógico del pin **DIS_SHIELD**, se podrá observar en la salida **LEVEL**, el valor de capacitancia medida en **SHIELD**, que normalmente corresponde al valor de capacitancia del cable coaxial a través del cual se conecta el electrodo. El único aspecto que cambia en esta señal con respecto a la radiada en los electrodos, es la amplitud pico a pico que es de 5.32 V y se muestra en la Figura 7.



Elaborado por el autor

Figura 7. Señal radiada en el SHIELD

Al igual que en la señal de los electrodos, las perturbaciones a esta señal se ven reflejadas solo en cambios de amplitud de la misma, tal como se observa si se comparan la Figura 7 con la Figura 8.



Elaborado por el autor

Figura 8. Señal detectada por el SHIELD en presencia de una perturbación

2.2 DISEÑO DE LOS ELECTRODOS

Antes de mencionar cualquier aspecto referente al diseño de los electrodos, se debe tener en cuenta la caracterización de la respuesta dada por el circuito integrado, el MC33794, en presencia de una perturbación en una de sus entradas. Debido a que lo que finalmente se mide son valores de capacitancia, la curva característica obtenida es una curva de capacitancia contra la tensión observada en la salida LEVEL del integrado.

2.2.1 OBTENCIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA

Para la realización de esta curva característica se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. El uso del **KIT33794DWBEVM de Motorola** como patrón principal de caracterización y de comparación con otros dispositivos. Las características y funcionamiento de este dispositivo se comentan con más detalle en el ANEXO C.
- b. El uso de un prototipo de medición de campo eléctrico construido para el desarrollo de este trabajo de grado.
- c. El uso de capacitancias de valores conocidos que fueron conectadas entre una de las entradas del MC33794 y tierra, para así observar la tensión de salida y poder obtener la curva característica deseada.

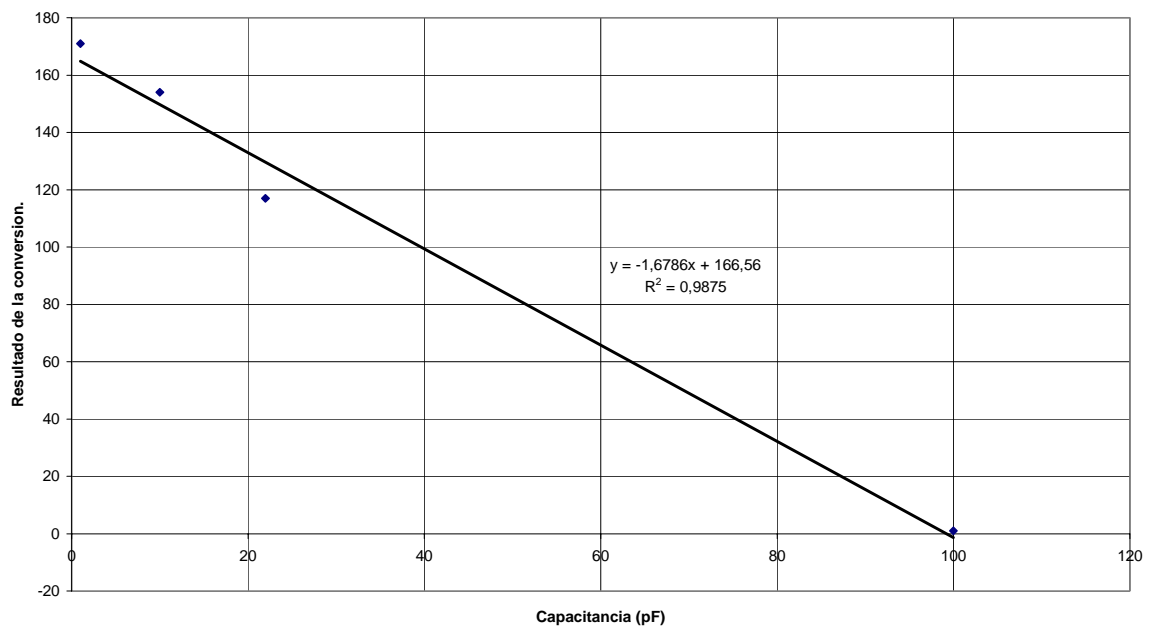
2.2.1.1 Curva característica usando el KIT de Motorola

Teniendo en cuenta los aspectos ya mencionados, se realizó la caracterización mediante el uso del **KIT**; como se detalla en el ANEXO C, los datos obtenidos corresponden al resultado de la conversión análoga-digital que realiza el **KIT**, que posee una resolución de 8 bits en un rango de 0 a 5 voltios.

En la Tabla 2 se muestran los datos obtenidos y en la Figura 9 se observa la gráfica de la xregresión lineal de estos datos, con su correspondiente ecuación y coeficiente de correlación.

Tabla 2. Valores resultantes de la conversión usando el KIT de Motorola

Capacitancia (pF)	Resultado de la conversión.
1	171
10	154
22	117
100	1



Elaborado por el autor

Figura 9. Caracterización del resultado de la conversión con el KIT de Motorola

La siguiente caracterización es igual a la anterior, solo se diferencia en que en ésta se presenta el valor en voltios que teóricamente está midiendo el conversor ADC, que está dado por la Ecuación 2:

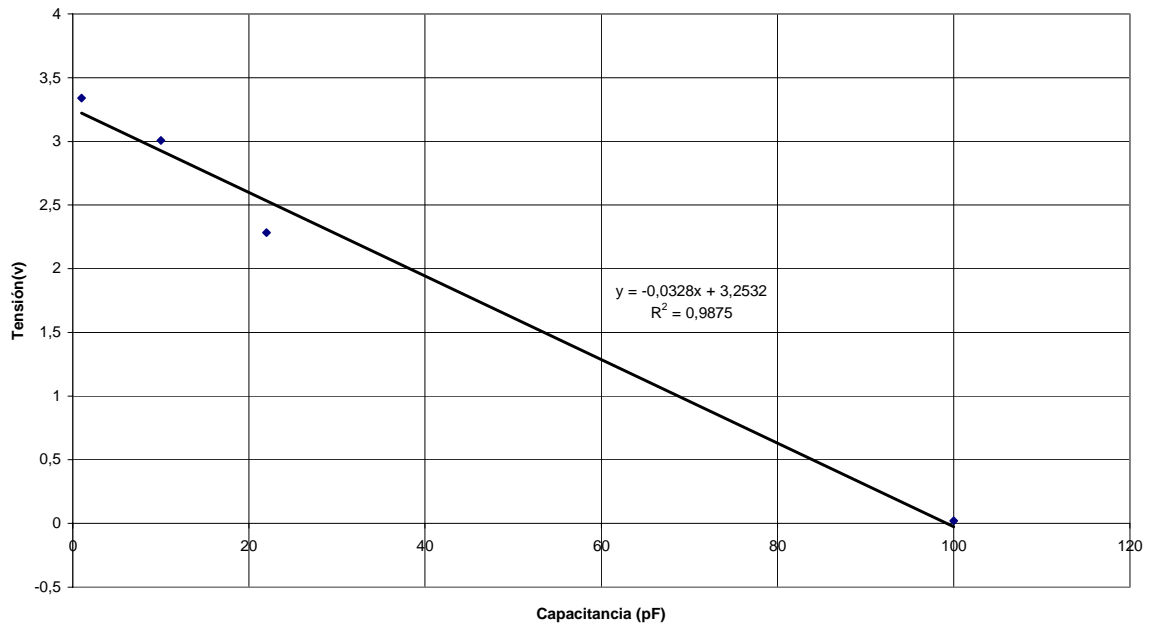
$$V = \frac{\text{magnitud} \times 5}{256} (V) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde magnitud es cada uno de los valores de la Tabla 2, 5 es el rango de tensión del conversor ADC y 256 corresponde al valor máximo de la escala en una conversión de 8 bits.

La Tabla 3 muestra los datos y la Figura 10 ilustra la gráfica y las características de la regresión lineal:

Tabla 3. Valores de la caracterización en voltios usando el KIT de Motorola

Capacitancia (pF)	Tensión (V)
1	3,33984375
10	3,0078125
22	2,28515625
100	0,01953125



Elaborado por el autor

Figura 10. Caracterización con el KIT de Motorola en voltios

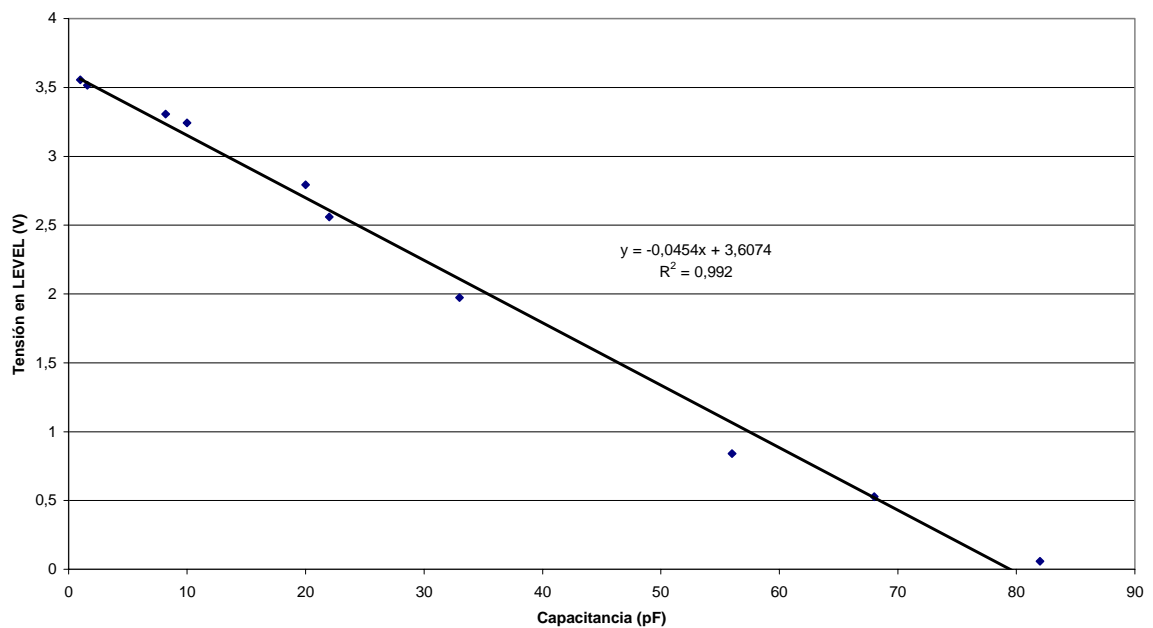
2.2.1.2 Caracterización usando el prototipo

Esta caracterización se realizó con el sistema prototipo que fue desarrollado en este trabajo de grado. Para tener una mayor información sobre el integrado se realizaron dos caracterizaciones.

La primera involucra una buena cantidad de datos que abarcan todo el rango de medida del MC33794 (entre 1 y 100 pF). La medida de la tensión corresponde a la salida **LEVEL** del integrado, que fue obtenida con un voltímetro ordinario. En la Tabla 4 se presenta la información concerniente a esta caracterización, seguido de la regresión lineal con sus correspondientes datos, los cuales se observan en la Figura 11.

Tabla 4. Valores en voltios de la caracterización usando el prototipo

Capacitancia (pF)	Tensión en LEVEL (V)
82	0.05859
68	0.52734
56	0.83984
33	1.97266
22	2.55859
20	2.79297
10	3.22266
8.2	3.32031
1.6	3.51563
1	3.55469
Ninguna capacitancia	3.61328



Elaborado por el autor

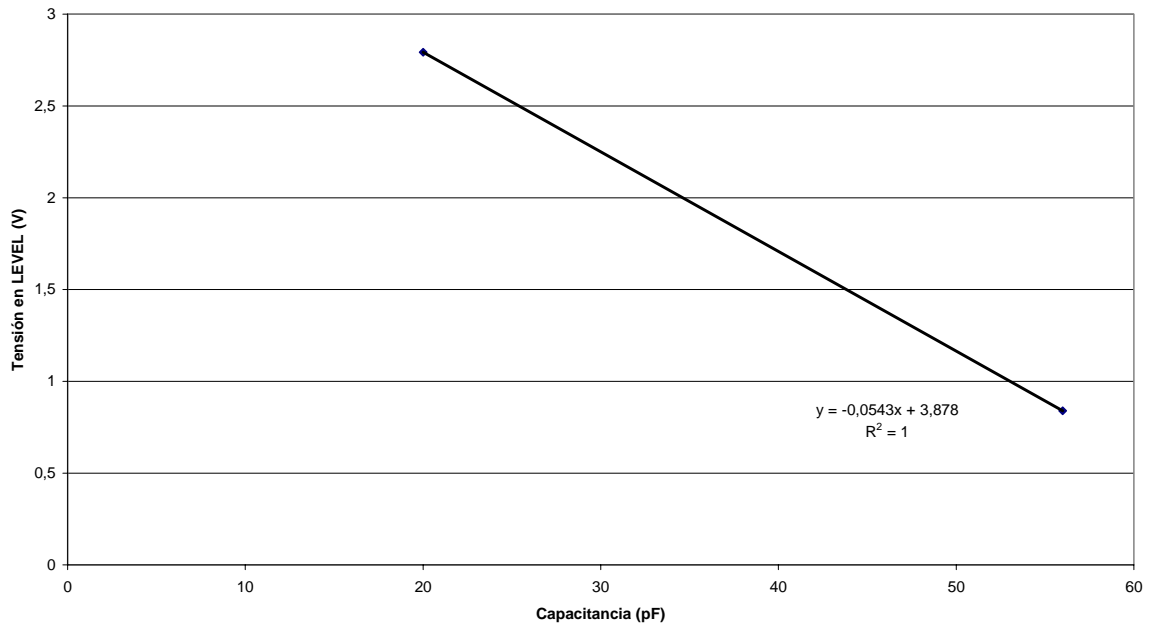
Figura 11. Caracterización del prototipo

En la segunda caracterización sólo se utilizaron los valores de capacitancia de las referencias conectadas al integrado, cuyos valores son de 20 y 56 pF. Esta caracterización se realizó, por que estos son los valores de capacitancia que siempre estarán disponibles

cuando se utilice el sistema y representan una rápida consulta en el momento de comparar la medida de los electrodos con un parámetro conocido. En la Figura 12 se muestra la regresión lineal y los parámetros de la misma y en la Tabla 5 se observa la información con la que se realizó la regresión.

Tabla 5. Datos de la caracterización de la respuesta del prototipo usando los condensadores de referencia

Capacitancia (pF)	Tensión (V)
56	0.83984
20	2.79297



Elaborado por el autor

Figura 12. Caracterización del prototipo teniendo en cuenta solo las referencias

2.2.1.3 Análisis de las diversas caracterizaciones

El objeto de este aparte es analizar y comparar cada una de las caracterizaciones obtenidas en las secciones anteriores, cuyos datos se encuentran en las tablas 2, 3, 4 y 5, y en las figuras 9, 10, 11 y 12. En la Tabla 6 se muestran las características más relevantes de esta comparación, como son el tipo de caracterización, la ecuación obtenida mediante la regresión lineal y su correspondiente coeficiente de correlación.

Tabla 6. Comparación entre las diferentes caracterizaciones obtenidas

Tipo de caracterización	Ecuación	Coefficiente de correlación (R^2)
Kit de Motorola (Magnitud)	$M = -1,6786C + 166,56$	0,9875
Kit de Motorola (Tensión)	$V = -0,0328C + 3,2532$	0,9875
Prototipo finalizado	$V = -0,0454C + 3,6074$	0,992
Prototipo usando las referencias	$V = -0,0543C + 3,878$	1

Del análisis de estos datos, de las gráficas y de la experiencia adquirida al caracterizar el funcionamiento del MC333794, se destacan las siguientes observaciones:

- El máximo valor de capacitancia que puede detectar este circuito integrado está entre el rango de 0 a 80 pF aproximadamente y como se estipula en la hoja de datos de éste, el comportamiento es altamente lineal. Para valores mayores a los 80 pF el circuito integrado arroja un valor de la medida de 0 V, esto debido a que no está capacitado para medir estos valores.

- Se decidió que la caracterización más conveniente a ser usada en el diseño de los electrodos, sería la realizada con el prototipo y con el mayor número de datos posible, es decir la caracterización realizada con la información de la Tabla 4 y la Figura 11. Las razones que impulsaron esta decisión van más allá de lo que se muestra en la Tabla 6. En todos los casos los coeficientes de correlación son altos, entonces éste no sería un parámetro de comparación determinante en la decisión tomada, de esta manera se consideró que la caracterización seleccionada fuera la realizada con el prototipo, ya que con éste es con el que se va a trabajar, y que se usaran el mayor número de datos en el proceso, esto con el fin de obtener un mejor modelo de la medida. La Ecuación 3 y la Figura 11 muestran la función seleccionada.

$$V = -0.0454 \times C + 3.6074(V) \quad \text{Ecuación 3}$$

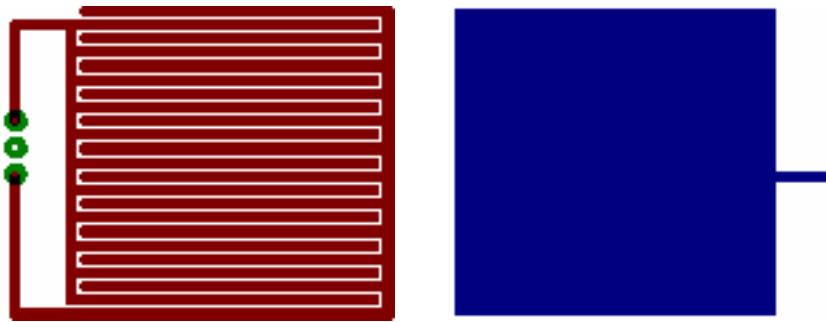
2.2.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS ELECTRODOS

Teniendo definida una curva característica adecuada, se puede empezar a estudiar el diseño de los electrodos que serán usados para la medición de las variables deseadas. Se decidió tomar como patrón inicial el tipo de electrodo mencionado en el AN1985 de Motorola que corresponde a la forma de un par de peines de cabello entrecruzados entre sí.

2.2.2.1 Electrodo tipo cepillo

2.2.2.1.1 Análisis teórico de los electrodos tipo cepillo

La Figura 13 ilustra el diseño realizado en fibra de vidrio.



Elaborado por el autor

Figura 13. Diseño del electrodo propuesto en el AN1985 de Motorola



Elaborado por el autor

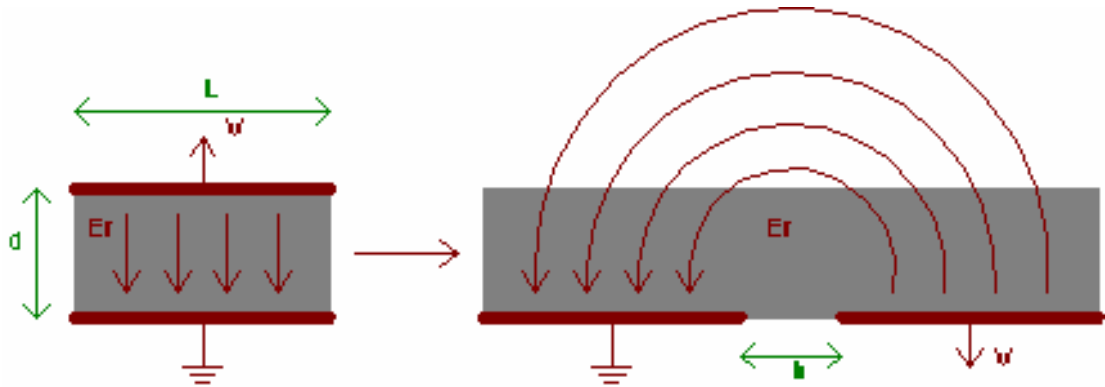
Figura 14. Corte transversal del electrodo

Estos tipos de electrodos pueden ser construidos como un circuito impreso, es decir, pueden ser diseñados con cualquier software destinado a este fin y hechos con los mismos materiales que se acostumbra, en este caso, fibra de vidrio. En el diseño cada “cepillo” es un conductor diferente, uno de ellos será conectado a una de las entradas E1 a E9 del MC33794 y el otro a tierra, para así formar una capacitancia cuyo valor será medido por el circuito integrado.

En la Figura 13 y en la Figura 14, lo que está dibujado con rojo, es la cara anterior del circuito impreso y es donde será radiado el campo eléctrico, el color azul corresponde a la cara posterior, y como se indica en el AN1985, esto se recomienda conectar a la entrada de **SHIELD** del circuito integrado, según el documento, el objetivo es cancelar el efecto del campo que se radia en esta dirección, no es que se inhiba la creación del campo sino que se cancela o no su efecto en la salida LEVEL del integrado. Otro aspecto a resaltar en la Figura 14, es que el gris representa la lámina de fibra de vidrio que separa las dos caras conductoras y posee una permitividad relativa ϵ_r .

Para explicar como se forma la capacitancia de los electrodos se debe retomar el diseño del capacitor de placas paralelas, el cual consiste en dos placas conductoras de igual área acomodadas en paralelo, separadas por un material dieléctrico y que existe una diferencia de potencial entre ellas, como se muestra en la Figura 15 de este documento.

En el caso de los electrodos, se puede aplicar el mismo diseño, excepto que las placas no están paralelas, sino que están ubicadas de manera adyacente, una después de otra; en la Figura 15 se puede observar la comparación mencionada:



Elaborado por el autor

Figura 15. Comparación entre el condensador de placas paralelas y el arreglo en el electrodo

El valor de capacitancia de un condensador de placas paralelas está dado por la ecuación:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r L \times A}{d} (F) \quad \text{Ecuación 4}$$

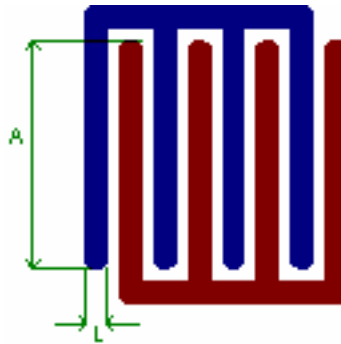
Donde **d** es la distancia entre placas, **L** el largo de la misma, **A** su ancho, ϵ_0 la permitividad del espacio libre y ϵ_r la permitividad relativa del material.

La expresión para calcular la capacitancia buscada se puede aproximar a la Ecuación 4, siempre que la dimensión de **L** y **h** no sean muy grandes, alrededor de 1 mm en cada caso. La única diferencia de la expresión deseada, con respecto a la brindada por la Ecuación 4, es la distancia de separación entre las placas **d**; experimentalmente se comprobó, que se puede considerar esta distancia, como aproximadamente la mitad del ancho de lámina de fibra en la que se halla hecho el impreso. Este nuevo parámetro será llamado **D**. En la Figura 15, la lámina correspondería a la zona de color gris y posee una permitividad relativa ϵ_r . Teniendo en cuenta lo descrito, se obtuvo la expresión que se busca para describir la capacitancia del arreglo que se muestra en la Figura 15. Esta expresión se encuentra en la Ecuación 5 y será nombrada como **C_L**, una vez más, ϵ_0 es la permitividad

del espacio libre, ϵ_r la permitividad relativa del material, L el largo del conductor y A el ancho del conductor.

$$C_L = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r L \times A}{D} (F) \quad \text{Ecuación 5}$$

El siguiente paso en el análisis, es considerar el electrodo en su totalidad como se muestra en la Figura 16.

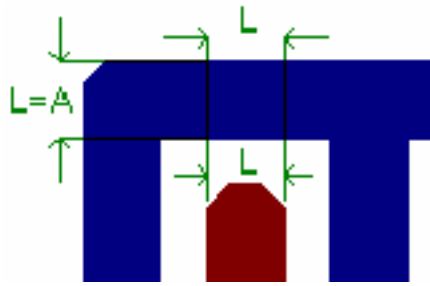


Elaborado por el autor

Figura 16. Explicación del diseño del electrodo

En la Figura 16 se aprecian los conductores que están conectados a tierra en color azul y los que están conectados a un potencial V en rojo. Se puede concluir que el electrodo está conformado por múltiples arreglos capacitivos C_L puestos en paralelo, de longitud L y ancho A ; obsérvese que A se mide desde la punta del segmento del conductor hasta la punta del siguiente conductor. El número total de capacitancias C_L , que hacen parte de electrodo de la Figura 16, es de 7 y como dichas capacitancias están puestas paralelo, son sumadas para conformar una capacitancia más grande.

Existe otra contribución adicional (del mismo tipo que la capacitancia C_L) a la capacitancia total del electrodo, aparte a la nombrada en el párrafo anterior y que se muestra en la Figura 17.



Elaborado por el autor

Figura 17. Segunda contribución a la capacitancia del electrodo

Como se puede observar, en cada una de las puntas se crea una capacitancia con el conductor perpendicular a ella y que obedece a la misma expresión de C_L , solo que A es igual a L . Si se detalla la Figura 16, en el ejemplo que se está tratando, existen 6 capacitancias de este tipo. A esta capacitancia se le llamará C_p y su expresión estará dada por la Ecuación 6:

$$C_p = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r L \times L}{D} (F) \quad \text{Ecuación 6}$$

Por lo tanto la capacitancia total del electrodo estará dada por la Ecuación 7, en donde C_{ele} es la capacitancia del electrodo y es la suma de las contribuciones hechas por las capacitancias C_L y C_p , donde N_L es el número de capacitancias tipo C_L y N_p el número de capacitancias tipo C_p . En el caso de la Figura 16 son N_L es igual a 7 y N_p es igual a 6.

$$C_{ele} = N_L \times C_L + N_p \times C_p (F) \quad \text{Ecuación 7}$$

Finalizado este análisis del diseño de los electrodos, se procedió a construir los electrodos. En la construcción de estos se tuvieron en cuenta parámetros como el ancho L de los conductores y la distancia h (ver Figura 15) de separación entre ellos. La forma de los electrodos es cuadrada y se decidió hacerlos de diferentes dimensiones, para poder realizar un análisis de los datos teóricos y observar su desempeño. En la Tabla 8, se muestran todos

los datos necesarios para calcular la capacitancia de los electrodos y el valor de la misma en cada caso; en el ANEXO B está el código de un programa en Matlab que se usó para realizar los cálculos.

2.2.2.1.2 Análisis experimental de los electrodos tipo cepillo

Este análisis simplemente consistió en medir el valor de capacitancia dado por el circuito integrado en su salida de LEVEL, cuando los electrodos fueron conectados a las entradas del integrado. Los datos se encuentran en la Tabla 7.

Tabla 7. Datos experimentales de los electrodos construidos

Electrodo (cm X cm)	Level (V)
1x1	3.47656
1.5x1.5	3.37981
2x2	3.12500
3x3	2.71484
5x5	1.09375

Tabla 8. Datos teóricos de los electrodos construidos

Electrodo (cm X cm)	C_{ele} (pF)	Tensión (V)	N_L	C_L (pF)	N_p	C_p (pF)	A (mm)	L (mm)	h (mm)	D (mm)	ε_r
1x1	1.8266	3.5245	7	0.2399	6	0.0246	9.2456	0.8128	0.508	0.713	3
1.5x1.5	4.2036	3.4166	11	0.3598	10		13.208				
2x2	8.6839	3.2131	16	0.5197	15		18.4912				
3x3	18.7273	2.7572	22	0.8278	21		28.67				
5x5	55.4019	1.0922	38	1.434	37		48.7				

- El valor de la columna 3, tensión corresponde al valor de la Ecuación 3, $V = -0.0454 \times C + 3.6074$, con valores de la columna número 2 de la Tabla 8.
- Los electrodos fueron hechos sobre fibra de vidrio, la cual posee una ϵ_r igual a 3 y su espesor era de 1.4 mm aproximadamente.
- $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m

2.2.2.1.3 Comparación de los datos teóricos y experimentales

En la Tabla 9 se aprecia, la comparación entre los cálculos teóricos del valor de capacitancia de los electrodos, con los datos teóricos de los mismos, es decir los valores de la columna 2 de a Tabla 7, con los valores de la columna 3 de la Tabla 8.

Tabla 9. Comparación teórica y experimental de los electrodos

Electrodo (cm X cm)	Level experimental (V)	Level teórico (V)	% Error
1x1	3.47656	3.5245	1.3594
1.5x1.5	3.37981	3.4166	1.0755
2x2	3.12500	3.2131	2.7434
3x3	2.71484	2.7572	1.5357
5x5	1.09375	1.0922	0.1460

La Ecuación 8, muestra la expresión usada para el cálculo del error entre los datos teóricos y los experimentales.

$$\%error = \frac{|teórico - experimental|}{teórico} \times 100 \quad \text{Ecuación 8}$$

2.3 DISEÑO DEL SISTEMA PROTOTIPO DE INSTRUMENTACIÓN

En esta sección se mostrarán los detalles de la construcción del sistema prototipo. Primero se abordará una idea general acerca de la estructura general del prototipo, que será ilustrada mediante un diagrama de bloques, luego se mostrarán los circuitos integrados que se eligieron para cumplir con la idea propuesta en el diagrama de bloques y finalmente se mostrará el circuito esquemático del sistema con su correspondiente circuito impreso.

2.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROTOTIPO

Al observar el funcionamiento del MC33794 conectado con uno de los electrodos nombrados en el capítulo 3, se notó que la señal de tensión expuesta en el pin LEVEL, presentaba unas variaciones bastante pequeñas cuando se perturbaba el entorno alrededor del electrodo.

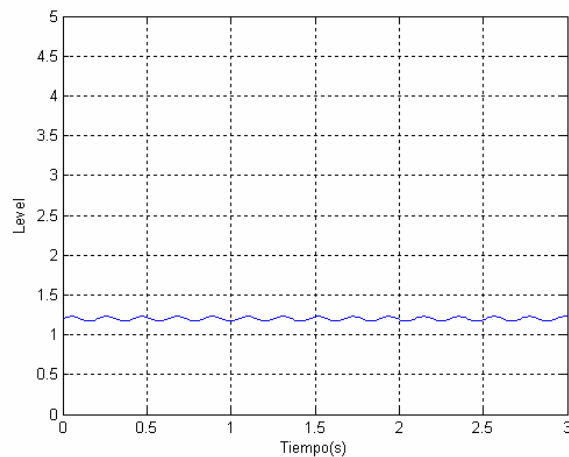
La señal que se observa en LEVEL, se puede comparar con una señal de tensión que posee variación pequeña y que se encuentra sobre una componente de continua, que corresponde a la capacitancia del electrodo conectado. Es de resaltar, que la pequeña variación se produce cuando el campo eléctrico es perturbado y esta se traduce en un cambio en la capacitancia detectada por el MC33794, es decir, en una variación en la tensión mostrada por el pin LEVEL.

En la Figura 18 se aprecia como es el funcionamiento de esta señal con el electrodo de 5 cm x 5 cm conectado a la entrada de MC33794.

Conociendo cómo es el comportamiento de la señal, se propuso que a esta señal debería restársele esta componente de DC, para luego amplificar las pequeñas variaciones que son las de mayor interés, después este nivel de tensión resultante será convertido a una cantidad

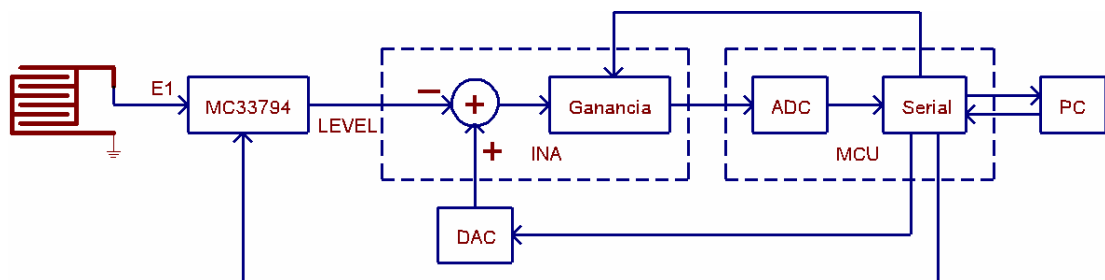
digital mediante un conversor análogo-digital y este valor digital será enviado a través de la interfaz de comunicación serial a un computador para su posterior análisis y monitoreo.

En la Figura 19 se observa el diagrama de bloques propuesto del sistema a construir.



Elaborado por el autor

Figura 18. Señal observada en la salida LEVEL



Elaborado por el autor

Figura 19. Diagrama de bloques del sistema

Como se aprecia en el diagrama, la conversión análoga-digital y la transmisión del resultado de la misma será realizada por un MCU², el valor deseado de DC a eliminar se

² MCU: Microcontrolador.

escogerá con la ayuda de un DAC³ y la amplificación se llevará a cabo con la ayuda de un INA⁴ y un potenciómetro digital.

Además de las funciones de conversión analógica/digital y de la transmisión serial, el MCU también estará encargado de controlar la ganancia del INA, el valor del DAC, y de diferentes parámetros que posee el MC33794, tales como la selección del canal y la activación de la señal **SHIELD**. Todas estas actividades de control se realizarán mediante órdenes suministradas desde el computador al que estará conectado el sistema.

2.3.2 SELECCIÓN DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS

En esta sección se exponen las razones por las cuales se seleccionaron cada uno de los circuitos integrados que conforman el sistema prototipo. Para más información acerca de cada circuito integrado remítase a las hojas de datos del fabricante.

2.3.2.1 Selección del INA

El uso del INA en diferentes aplicaciones de instrumentación se debe a varias características que estos poseen, entre las que se pueden nombrar el alto rechazo de modo común (CMRR), alta impedancia de entrada, una ganancia estable y variable y una impedancia de salida baja.

Para el desarrollo de este proyecto se seleccionó el AD623 de Analog Devices, y la principal razón de su selección es que posee un mejor funcionamiento en el rango de operación en el que se trabajó, el cual está entre -5 V y 5 V. A continuación se presentan las características más relevantes de AD623:

³ DAC: Conversor digital-análogo.

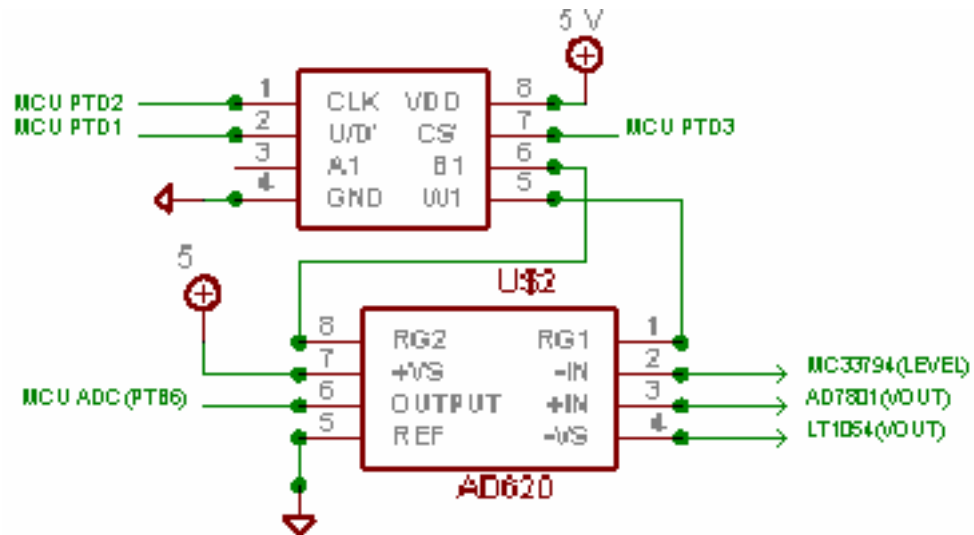
⁴ INA: Amplificador de instrumentación.

- Ganancia (G) ajustable con un resistor externo entre 1 y 1000.
- Función de la ganancia

$$G = 1 + \frac{100k}{R_g} \quad \text{Ecuación 9}$$

- CMRR de 90 dB con G=10.
- Ancho de banda de 800 kHz (G=1)
- Encapsulado en DIP, SOIC y μ SOIC, para esta aplicación se utilizó el empaquetado DIP, con el objeto de probablemente probar el funcionamiento del sistema con otro amplificador.
- Funcionamiento superior cuando se opera con una tensión de alimentación dual de ± 2.5 V a ± 6 V.
- Bajo consumo de potencia, 1.5 mW a 3 V.

En la Figura 20 se aprecia el circuito en el que se usa el AD623 para restar la señal de LEVEL del MC333794 y el tensión de salida VOUT del AD7801, para luego amplificar la señal resultante. También se observa que la resistencia R_g que determina la ganancia del AD623, está dada por un potenciómetro digital.



Elaborado por el autor

Figura 20. Conexión del AD623 y el AD5220

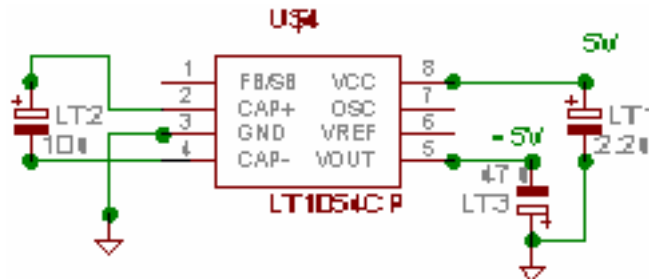
2.3.2.2 Alimentación del INA

Debido a la alimentación dual del INA, se requiere una forma de proveer la tensión negativa necesaria para esto. Se decidió usar un conversor de tensión con regulador basado en condensadores conmutados, específicamente el LT1054 de Linear Technology, que posee las siguientes características:

- Corriente de salida 100 mA.
- Caída de tensión de 1.1 V a 100 mA.
- Margen de operación de 3.5 V a 15 V
- Temperatura de operación: - 40 a 85 °C.
- Dispositivos del mismo tipo pueden ser conectados en paralelo para aumentar el suministro de corriente.

Este integrado posee diversas configuraciones, que cumplen diferentes objetivos, en este caso se requiere el uso de la configuración de inversor de tensión, el cual al alimentar el

circuito integrado con una tensión V_{in} , este proporciona una salida $V_{out} = -V_{in}$. La configuración como inversor de este circuito integrado se muestra a en la Figura 21.



Elaborado por el autor

Figura 21. Inversor de tensión usando el LT1054

2.3.2.3 Selección del potenciómetro digital

En cuanto al potenciómetro digital, éste determina la ganancia del amplificador de instrumentación. Se eligió el AD5220 de Analog Devices, posee las siguientes características:

- Posee 128 posiciones.
- Se encuentra en presentaciones de 10 kΩ, 50 kΩ y 100 kΩ.
- Bajo consumo de potencia: 40 μA max.
- Control mediante un contador binario de incremento/decremento.
- Encapsulado DIP y SOIC y μSOIC.
- Temperatura de operación: - 40 a 85 °C.
- Tensión de alimentación 0-3 a 7 V

Para la realización del prototipo, se seleccionó la presentación que posee una resistencia de 100 kΩ, magnitud con la que, de acuerdo a la función de ganancia del AD623, se pueden obtener valores de ganancia que abarcan todo el rango que el AD623 posee, es decir entre 1 y 1000. El encapsulado que se eligió fue el DIP, esto con el fin de, si se desea, reemplazar

el integrado por una de las presentaciones de 10 k Ω o 50 k Ω . La referencia específica del integrado seleccionado es el AD5220BN100.

En la Tabla 10 y la Figura 22 se muestran la descripción de los pines de este circuito integrado:



Elaborado por el autor

Figura 22. Configuración de pines del AD5220

Tabla 10. Descripción de los pines del AD5220

Nombre del pin.	Función
CLK	Señal de reloj con activación de flanco negativo.
U/D'	Control de incremento/decremento del contador binario.
A1	Terminal A1 de la resistencia.
GND	Tierra.
W1	Terminal móvil de la resistencia.
B1	Terminal B1 de la resistencia.
CS'	Activación del chip. Entrada activa baja.
Vdd	Alimentación del integrado.

El funcionamiento del circuito integrado se puede observar en la Tabla 11:

Tabla 11. Tabla de verdad de AD5220

CS'	CLK	U/D'	Operación
0	↓	1	Incrementa la resistencia R_{bw} .
0	↓	0	Decremento en la resistencia R_{bw} .
1	X	X	No cambia resistencia.

Hay que recordar que el valor de R_{AB} es de $100\text{ k}\Omega$, y como la resolución del integrado es de 128 posiciones, el valor de cada incremento es igual a $100\text{ k}\Omega/128=781.25\ \Omega$; en la Ecuación 10 se muestra el valor de la resistencia entre B y W, en la cual R_{BW} es el valor de la resistencia y VC el valor del contador binario, que tiene como dominio los números enteros entre 0 y 127.

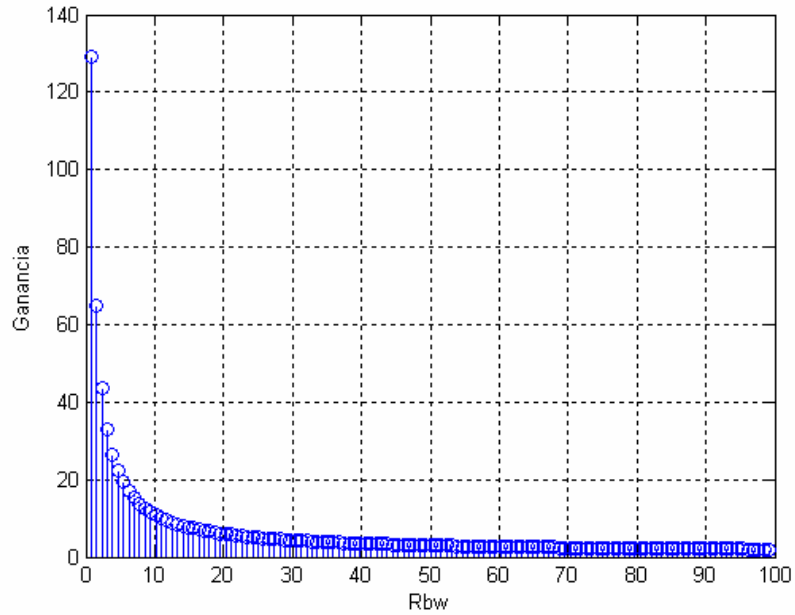
$$R_{BW} = 781.25 \times VC(\Omega) \quad \text{Ecuación 10}$$

Cuando el integrado es encendido, el contador binario de 7 bits que posee se encuentra en el número 40_H , según la Ecuación 10, el valor de R_{BW} es de $50\text{ k}\Omega$, o sea la mitad de la escala. Como se aprecia en la Tabla 11, cuando existe un flanco descendente en el pin de CLK, el valor del contador aumenta o disminuye dependiendo del valor lógico del pin U/D, y por consiguiente cambia el valor de la resistencia R_{BW} .

Retomando la relación de este integrado con el amplificador de instrumentación, que se muestra en la Figura 20, el valor de resistencia R_{BW} , determinará el valor de la ganancia del AD623, así reemplazando la Ecuación 10 en la Ecuación 9, se obtiene:

$$G = 1 + \frac{100k}{R_{BW}} \quad \text{Ecuación 11}$$

La Figura 23 muestra la gráfica de la Ecuación 11.



Elaborado por el autor

Figura 23. Función de ganancia del AD623

De los 128 valores de ganancia disponibles (debido al uso del potenciómetro digital), en esta aplicación sólo se tendrán en cuenta los valores más relevantes de ésta, estos están expuestos en la Tabla 12.

Tabla 12. Valores de ganancia del AD623 más relevantes

VC	$R_{BW}(k\Omega)$	Ganancia
1	0.78125	129
2	1.563	65
3	2.344	43.6667
4	3.125	33
5	3.906	26.6
6	4.688	22.3333
7	5.469	19.2857
8	6.250	17
9	7.031	15.2222
10	7.813	13.8
11	8.594	12.6364
12	9.375	11.6667
14	10.938	10.1429
16	12.500	9
18	14.063	8.1111
21	16.406	7.0952
25	19.531	6.12
32	25.000	5
42	32.813	4.0476
64	50.000	3
127	99.219	2.0079

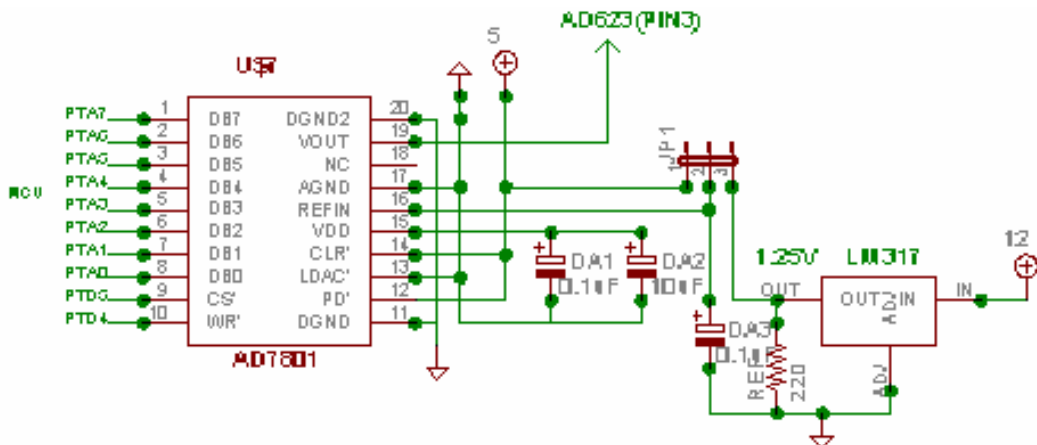
2.3.2.4 Selección del DAC

Los parámetros más relevantes a considerar en la selección del DAC son la resolución de éste y la tensión de salida que puede suministrar. En cuanto al primero se decidió usar un DAC con una resolución de 8 bits, que se consideró suficiente para hacer un ajuste aceptable de la componente de continua a compensar en la señal de LEVEL; en cuanto al rango de tensión que debe suministrar el DAC, este debe estar entre 0 y 5 V, es decir, el mismo rango que posee la señal de LEVEL del MC33794.

Teniendo en cuenta estas especificaciones se decidió usar el AD7801 de Analog Devices, entre las características más relevantes de éste se encuentran:

- Resolución de 8 bits.
- Empaquetado SOIC/TSSOP de 20 pines.
- Tensión de alimentación de 2.7 a 5.5 V
- Selección de referencia interna o externa.
- Función de bajo consumo de potencia.
- Bajo consumo de potencia. 1.7 mA a 3.3 V
- Interfaz paralela.

En la Figura 24, se muestra como va a estar conectado el AD7801 en el sistema a implementar:



Elaborado por el autor

Figura 24. Configuración del convertor

En Figura 24 se observa, que van a estar conectados condensadores de tantalio para efectos de desacople tanto en la alimentación de integrado, como en la entrada de referencia REF_IN. Dicha entrada de referencia se podrá seleccionar mediante la ayuda de un jumper a 5 V o a 1.25 V, lo que producirá una salida VOUT entre 0-5 V y 0-2.5 V respectivamente.

La tensión de 1.25 V es producido por en regulador de tensión ajustable, el LM317, que con la conexión de un resistencia de 220 Ω , produce la salida deseada.

En cuanto a la lógica digital del integrado, la mayor parte estará a cargo del MCU. A continuación en la Tabla 13, se presenta una explicación de las funciones de cada pin.

Tabla 13. Descripción de los pines de AD7801

Nombre del pin	Función
D7-D0	Entrada paralela de datos.
CS'	Habilitación del integrado. Entrada activa baja.
WR'	Escritura de la entrada. Entrada activa baja.
PD'	Entrada activa baja. Es usado para poner el integrado en modo de baja potencia.
LDAC'	Entrada activa baja. Carga el dato digital en el registro DAC del integrado. Si LDAC esta en estado bajo permanentemente el registro es actualizado con un flanco ascendente en WR.
CLR'	Entrada activa baja. Cuando esta en bajo, carga cero en el registro del DAC.

Como se ve en la Figura 24, D7-D0, CS y WR son controlados por el MCU, PD siempre estará en estado alto, o sea el integrado nunca se encontrará apagado, LDAC también está en bajo para permitir la continua actualización del registro del DAC y CLR está en alto para evitar el borrado del registro del DAC.

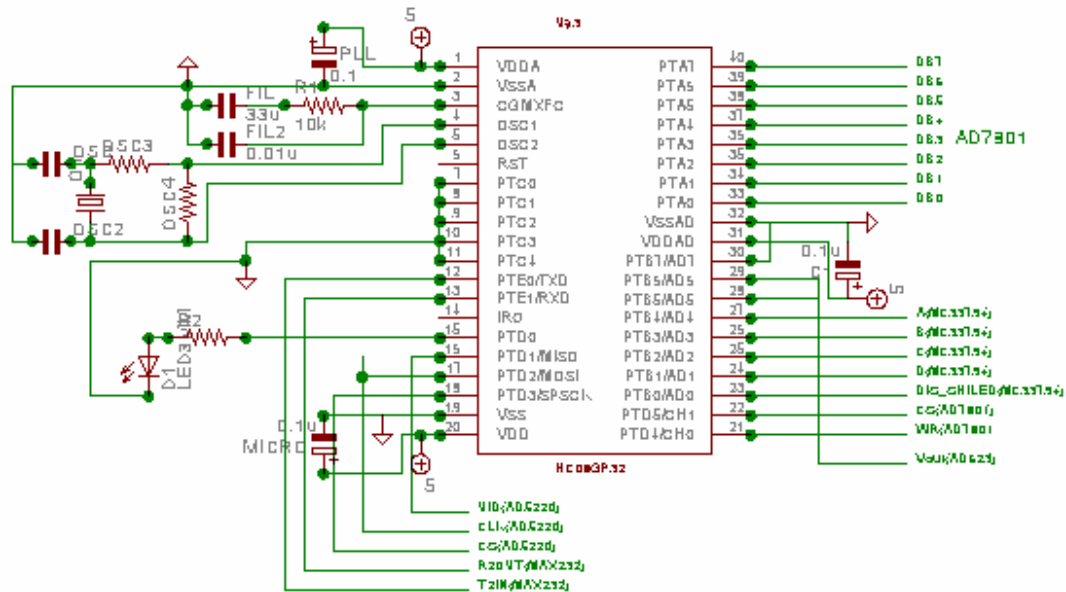
2.3.2.5 Selección del microcontrolador

El MCU que se eligió fue el MC68HC908GP32 de Motorola. Las razones que impulsaron esta decisión son las siguientes:

- La gran disponibilidad de la presentación DIP 40 de este MCU, en el mercado local.

- Posee módulos de conversión análoga-digital (ADC) y de comunicación serial asíncrona (SCI), necesarios para el desarrollo del sistema, así como un buen número de entradas y salidas digitales.
- Facilidad para adquirir la tarjeta de desarrollo necesaria para su programación.
- Se cuentan con herramientas de programación en alto nivel de fácil acceso y manejo, como es Codewarrior Development Studio for HC08V3.1.

A continuación, en la Figura 25, se muestra la conexión del GP32 en el sistema implementado.



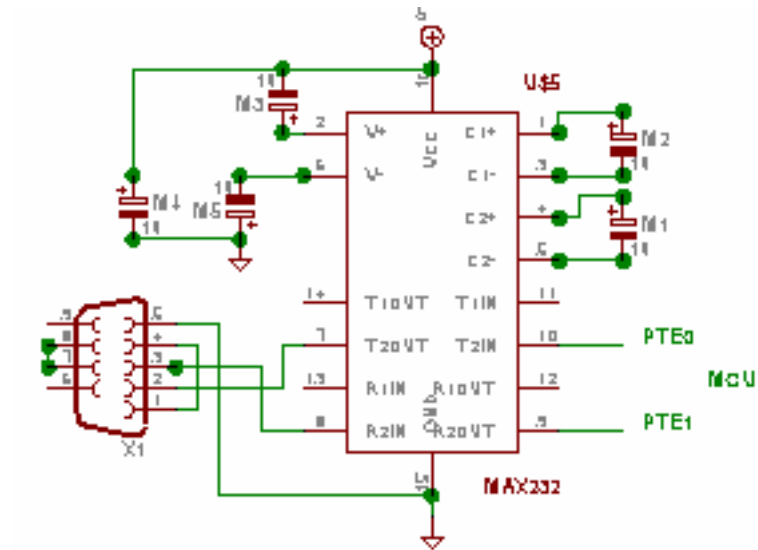
Elaborado por el autor

Figura 25. Conexión de MC68HC908GP32

En la Figura 25 se aprecia que se está utilizando el PLL de este MCU, con el cristal de 32.768 kHz, también se observan las conexiones con los circuitos integrados, y la conexión en el PTD0 de un LED para indicar el correcto funcionamiento del MCU. Finalmente nótese que el MCU no posee un botón de RESET; la razón se expone en la sección 2.3.4.

2.3.2.6 Interfaz de comunicación serial RS-232

Para la conversión de la comunicación serial de los niveles TTL del MCU, a los niveles RS-232 de los PC, se decidió usar el MAX232 del MAXIM debido a su gran disponibilidad en el mercado local. La conexión de este circuito integrado se muestra la Figura 26:



Elaborado por el autor

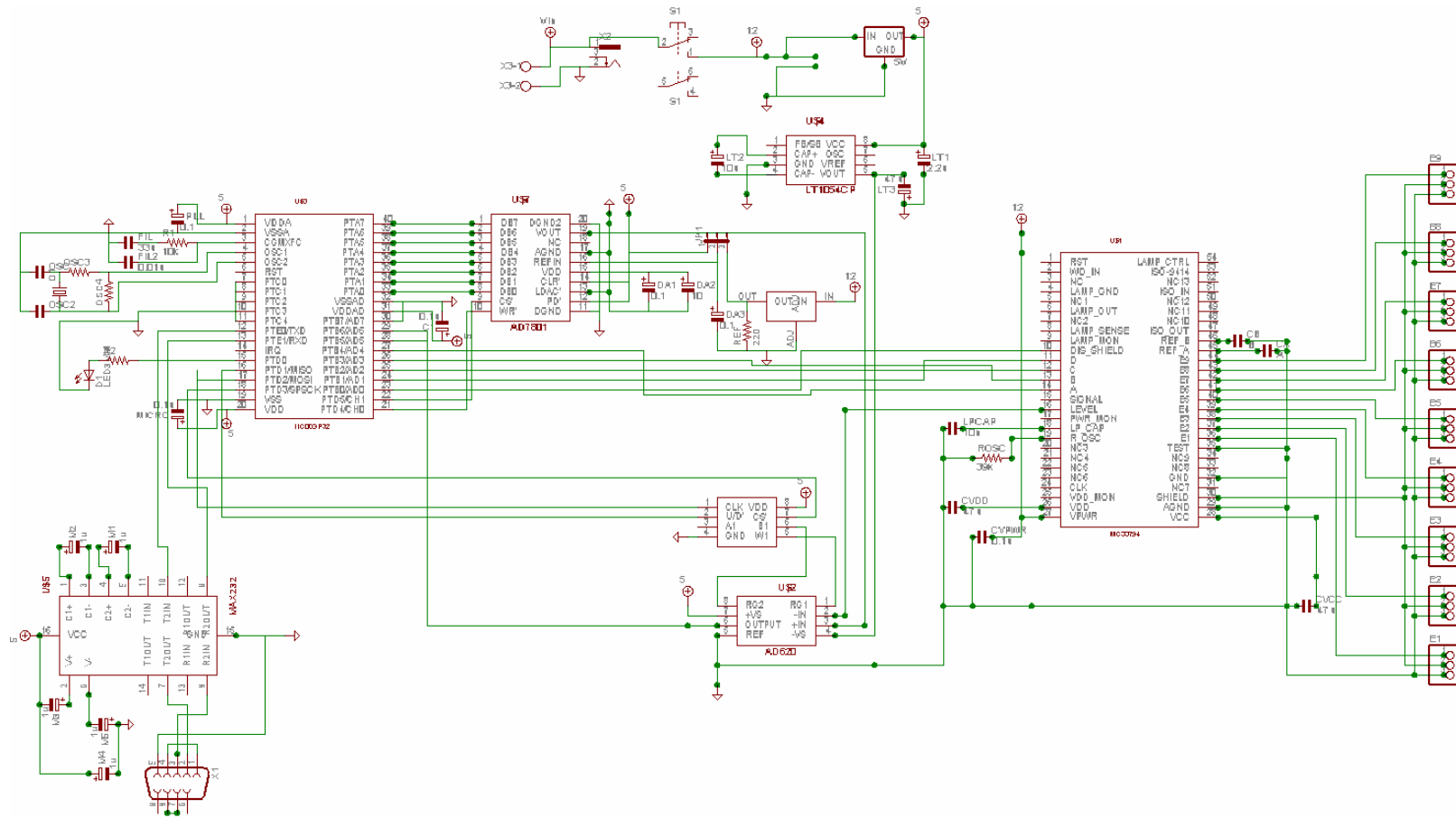
Figura 26. Conexión del MAX232

2.3.3 ESQUEMÁTICO COMPLETO DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN

En la sección anterior se mostró las conexiones de cada uno de los circuitos integrados que conforman el sistema, en esta sección se mostrará el esquemático completo del sistema, que se aprecia en la Figura 27.

Los aspectos a resaltar del sistema son los siguientes:

- Para la alimentación de 5 V de todos los circuitos integrados, no se usó la fuente regulada del MC33794, debido a que el sistema consumía una corriente total de aproximadamente 40 mA, valor cercano a la máxima corriente que puede proporcionar la fuente regulada del MC33794 con una alimentación de 12 V, y de esta manera prevenir algún daño en el MC33794; se utilizó un LM7805 para desempeñar esta función.
- En la conexión de los electrodos, se encuentra, junto a cada una de las entradas, tierra y **SHIELD**.
- El PCB del sistema se encuentra en el ANEXO D.
- El software usado para la realización del esquemático y del PCB fue Eagle 4.01.

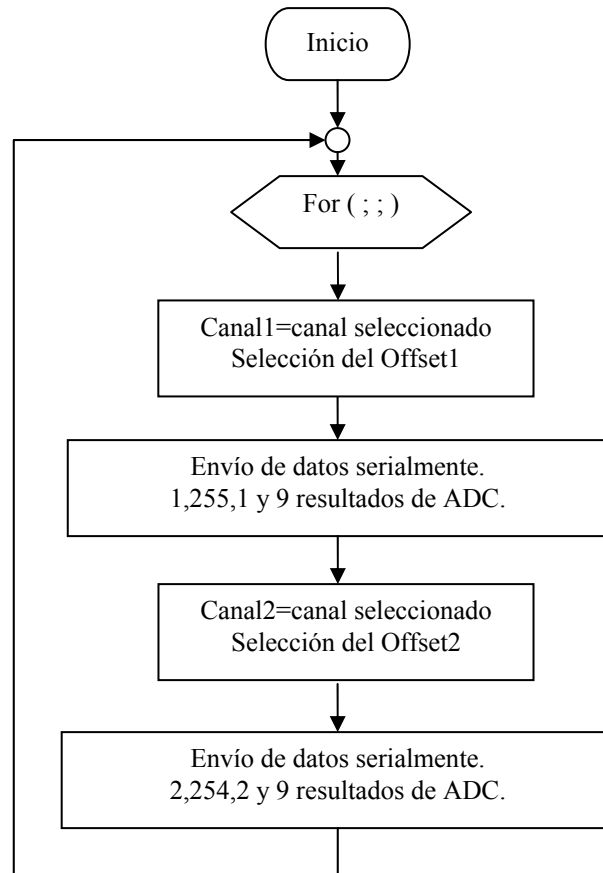


Elaborado por el autor

Figura 27. Esquemático del sistema prototipo de instrumentación

2.3.4 FIRMWARE DEL MC68HC908GP32

La programación del MCU se ilustra en el diagrama de flujo que está en la Figura 28:



Elaborado por el autor

Figura 28. Diagrama de flujo de la transmisión de datos por el MCU

El algoritmo comienza con la selección de la primera señal y su respectivo **offset**, luego son enviados los números identificadores 1,255 y 1, y las 9 conversiones correspondientes a través del módulo de comunicación serial asíncrona. Después será seleccionado el siguiente canal, se ajustará su **offset** y se enviará 2, 254, 2 como identificadores de que los datos siguientes corresponden a la conversión de dicha señal. Este ciclo se repite indefinidamente y se puede observar su diagrama de flujo en la Figura 28.

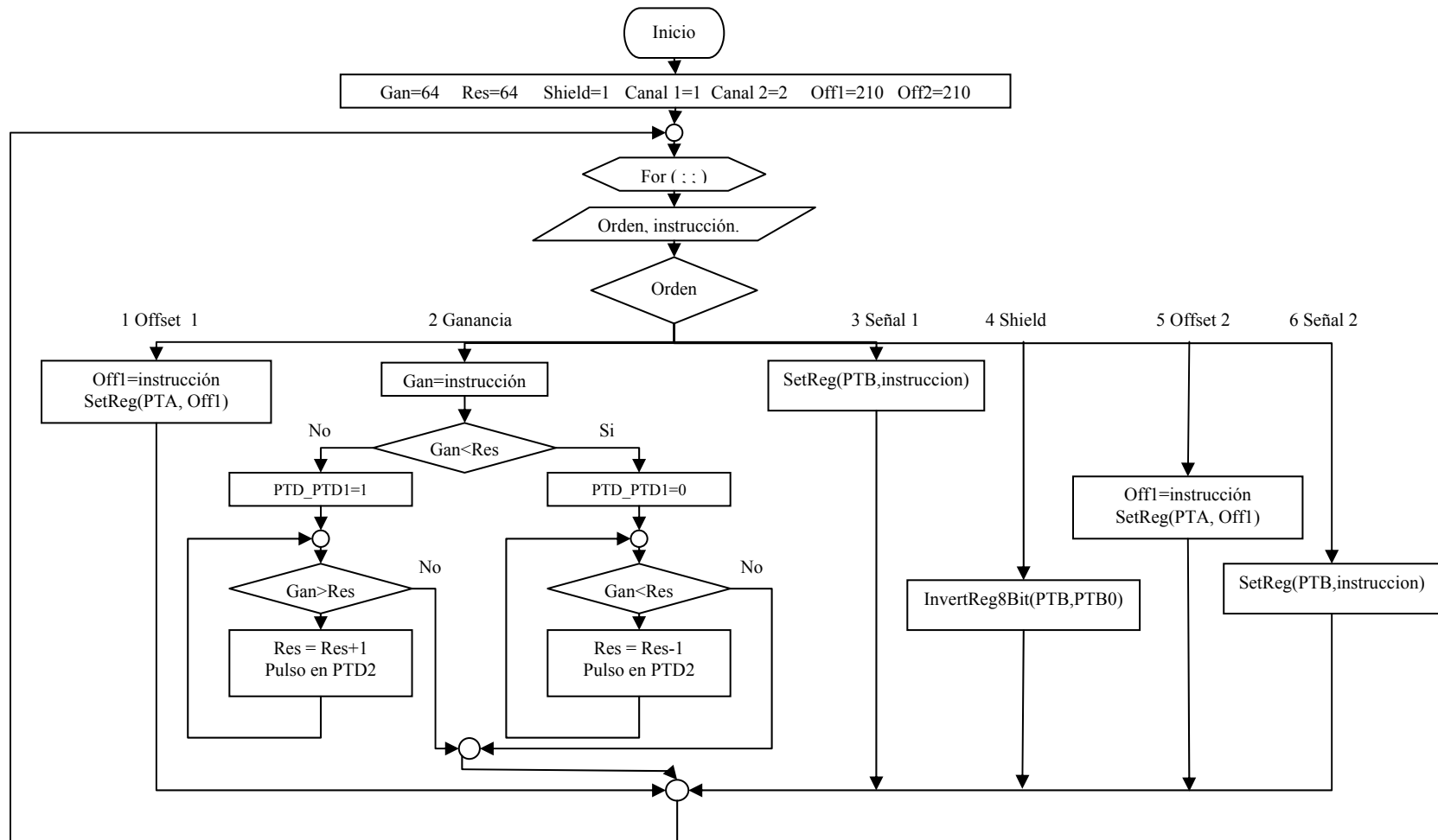
El diagrama de la Figura 29 complementa al anterior diagrama, y detalla como se realiza la recepción de las órdenes dadas al MCU desde Laview. Al iniciar el programa, se establecen unas constantes iniciales: los canales que se visualizan, que son el uno y el dos, los **offset** respectivos de estas señales (off1 y off2), el **SHIELD**, que se encuentra está activado, y dos contadores (Gan y Res) que se usan para como control del valor de resistencia de posee el potenciómetro digital y que es igual a 64, es decir la mitad de la escala del potenciómetro. A continuación el MCU esperará los datos de las órdenes provenientes del PC, estas instrucciones incluyen el control del **Offset** proporcionado por el AD7801 para la primer señal, el control de la ganancia, la selección del canal de la primera señal, la activación y desactivación del **SHIELD**, y el **offset** y el canal de la segunda señal. Estas órdenes serán llamadas orden 1, orden 2, orden 3, orden 4, orden 5 y orden 6 respectivamente.

El MCU recibe dos bits, el primero llamado **orden**, que identifica la instrucción a seguir, y el segundo es la **instrucción** que indica la operación a realizar en el dispositivo asociado a la orden de control.

En el caso de la **orden 1**, el MCU cambia el valor de Off1 por el valor de **instrucción**, para luego ser escrito en el PTA, y así cambiar el nivel de tensión del AD7801.

La **orden 2**, reemplaza el contador **Gan** por el valor de **instrucción**, al ocurrir este cambio el MCU incrementa o decrementa, según sea el caso, el valor **Res** en 1, hasta que estos dos valores sean de nuevo iguales. Por cada incremento o decremento, el MCU envía un pulso mediante el PTD2, al pin CLK del AD5220, y con el PTD1 establece el modo adecuado del pin U/D, para lograr que el potenciómetro se posicione en el valor de resistencia adecuado.

Mediante la **orden 3**, se selecciona el canal de la primera señal que se desea medir con el MC33794, esto se logra escribiendo **instrucción** en el PTB.



Elaborado por el autor

Figura 29. Diagrama de flujo de la recepción de las ordenes enviadas desde LABVIEW hacia el MCU.

La **orden 4** pone en alto o bajo el PTB0, que está conectado al pin **DIS_SHIELD** del MC33794.

La **orden 5** funciona igual que la orden 1, cambia el valor de off2, para luego escribir este valor en el PTA, y por consiguiente cambiar el valor de AD7801.

Por ultimo la **orden 6**, realiza una función idéntica a la orden 3, selecciona el canal de la señal 2, escribiendo el dato en el PTB.

Cabe resaltar que la razón por la que el MCU no posee RESET está relacionada con los contadores Gan y Res, estos poseen la información del valor de ganancia del AD623. Si se produjera una señal de reset, estos contadores volverían a su valor inicial o sea 64, pero el valor del contador del AD5220 permanecería inalterable, y como ya se mencionó en la sección 2.3.2.3, el contador sólo vuelve a 64 cuando es encendido este integrado, entonces finalmente se perdería un control exacto de la ganancia. Lo mejor en este caso es apagar el sistema y encenderlo de nuevo.

Por último, el código en Codewarrior Development Studio for HC08V3.1 del Firmware del MCU se encuentra en el ANEXO E.

2.4 VISUALIZACIÓN Y CONTROL EN LABVIEW 6.1

La aplicación que se desarrolló en LABVIEW, tiene como objeto visualizar la señal que existe en la salida del AD623, la cual fue digitalizada con el MCU. Además se deben efectuar las acciones de control ya estipuladas, como la determinación de la ganancia del amplificador, el valor de tensión del AD7801 y finalmente en el MC33794, la activación y desactivación del **SHIELD** y la selección de los canales en los que se realizará la medición.

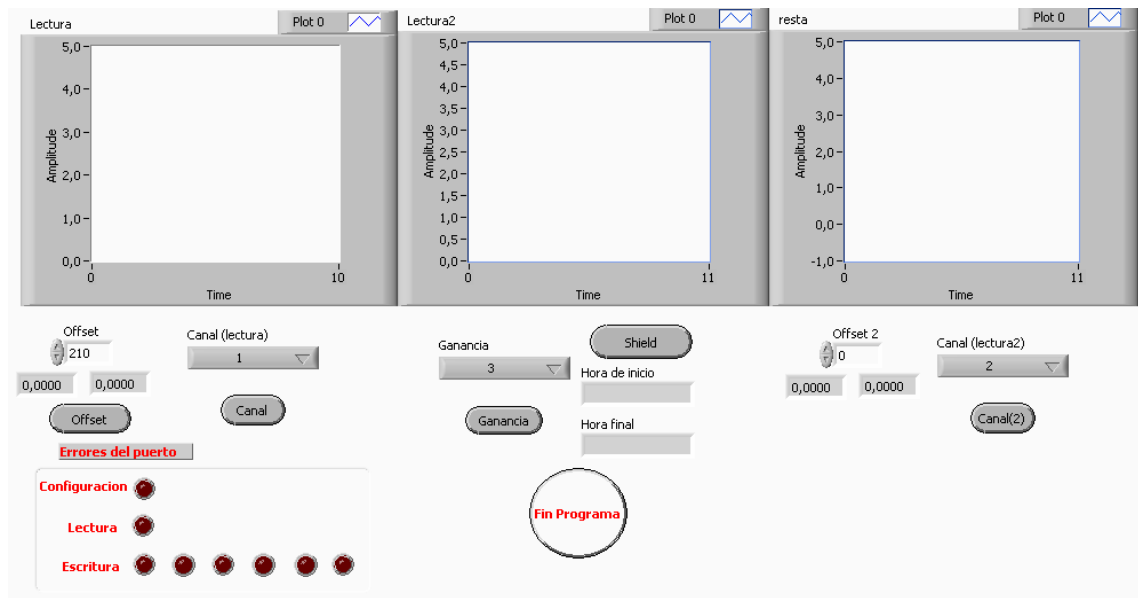
En el programa también se visualizará, de manera simultánea, la señal de dos canales del MC33794, y la resta entre ellos, esto con el objeto de visualizar posibles perturbaciones inducidas por cambios que no pertenecen a los esperados por las variables a medir, tales como un posible aumento en la temperatura del MC33794, lo que repercutiría en su normal funcionamiento.

Otra característica puesta en el programa, es el almacenamiento de las señales nombradas anteriormente y la hora de inicio y fin de la toma de datos.

El programa consiste en una estructura secuencial de tres etapas, la primera es una etapa de configuración, la segunda en la que se intercambian datos con el MCU, y en la final se cierran los puertos y se termina la aplicación.

2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PANEL DE CONTROL

La Figura 30 muestra el panel de control del programa realizado en Labview. Este panel se puede dividir en 3 aspectos generales, visualización de señales, control de las acciones y estado del puerto serie.



Elaborado por el autor

Figura 30. Panel de control

La visualización de las señales, consiste en tres waveform charts, en los que serán graficadas las señales de los canales seleccionados por el usuario y la correspondiente resta de los dos. Obsérvese que las señales poseen una escala de 0 a 5, correspondiente al rango del ADC del MCU.

En cuanto a las acciones de control, el control **offset**, proporciona valor del voltaje de **offset** de la primera señal. Los indicadores ubicados bajo este control muestran el valor de voltaje que el DAC tendrá, ya sea con la referencia de 2.5 V ó 5 V. Después de seleccionar el valor deseado se presiona el botón de **offset** para enviar la orden.

El control **offset 2**, determina el nivel de **offset** de la segunda señal. La forma en que funciona es un poco diferente a la anterior. Para empezar, la orden es enviada con el mismo botón que controla el **offset 1**, los indicadores bajo el control muestran el valor que se enviará, el cual es igual al valor del control **offset 1**, más el valor del control **offset 2**. El objetivo de esto es corregir de manera relativa el **offset 2** con respecto al **offset 1**.

La ganancia se escoge con el botón desplegable correspondiente, este posee los valores de ganancia más relevantes, nombrados en la Tabla 12, luego se envía la orden presionando el botón ganancia. En el caso del canal es igual al caso anterior, se selecciona éste con el botón desplegable y se ejecuta la orden con el botón correspondiente. El **SHIELD** se activa o desactiva simplemente presionando el botón respectivo. Finalmente se ven dos indicadores en los que se muestran la hora de inicio y fin de la toma de los datos.

El último aspecto por describir, es el del estado del puerto serie que consiste en un conjunto de leds que se encienden si ocurre algún error en las operaciones de configuración, lectura o escritura del puerto.

2.4.2 ETAPA DE CONFIGURACIÓN

En esta etapa se configura el puerto serie, la hora en que se inicia el proceso y los archivos en los que serán guardadas las señales que se están observando en las graficas, así como la hora de inicio y fin de la toma de los datos.

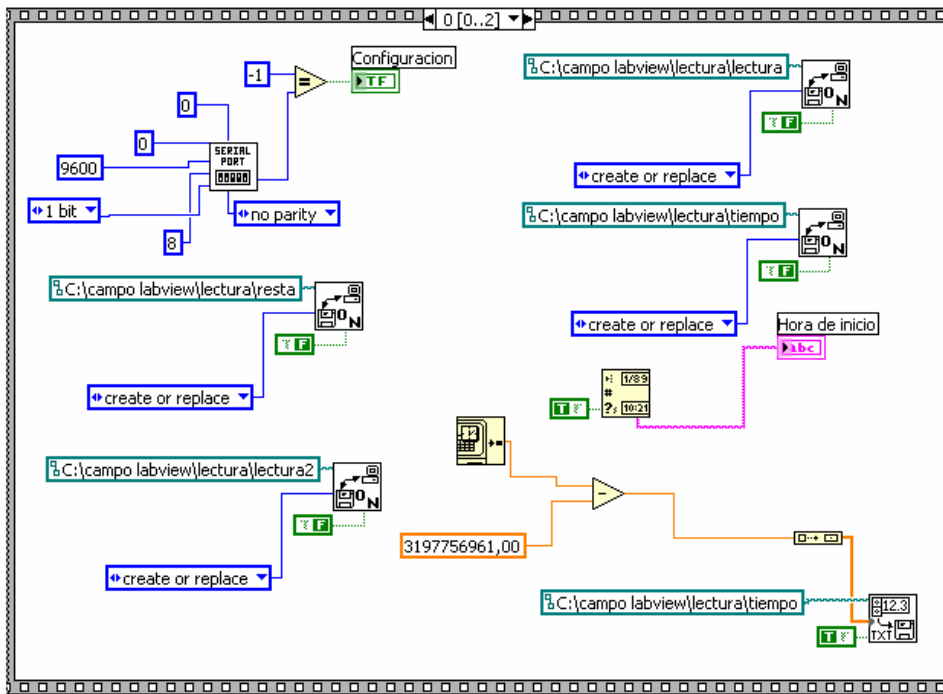
Como se observa en la Figura 31, en el primer paso de la estructura secuencial, se configura el puerto serie mediante la ayuda del VI **Serial Port Init**; en la Tabla 14 se muestran los datos específicos de esta configuración.

La configuración de los archivos, en los cuales serán guardados los datos anteriormente nombrados, se hizo con el VI **open/create/replace file**, en la Figura 31 se observa la forma en la que está configurado y los nombres de los respectivos archivos.

La visualización de la hora de inicio en la ventana principal es obtenida con la ayuda de la función **Get date/time string**, para guardar este dato se usa la función **Get date/time in seconds**, este valor se convierte en un *array* y se almacena en el archivo tiempo mediante el VI **Write to spreadsheet file**. Debido a que **Get date/time in seconds** es muy grande no es guardado de manera correcta, así que se le resta un número (un número grande arbitrario) para que el dato sea guardado correctamente.

Tabla 14. Configuración del puerto serial

Parámetro	Valor
Flow control	Ninguno
Tamaño del buffer	8
Número del puerto	0
Rata de Baudios	9600
Número de bits del dato	8
Bits de parada	1
Paridad	Ninguna

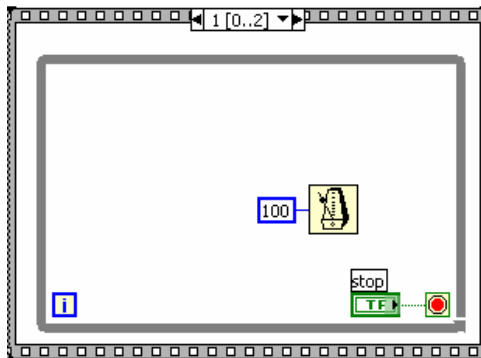


Elaborado por el autor

Figura 31. Etapa de configuración

2.4.3 ETAPA DE LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS

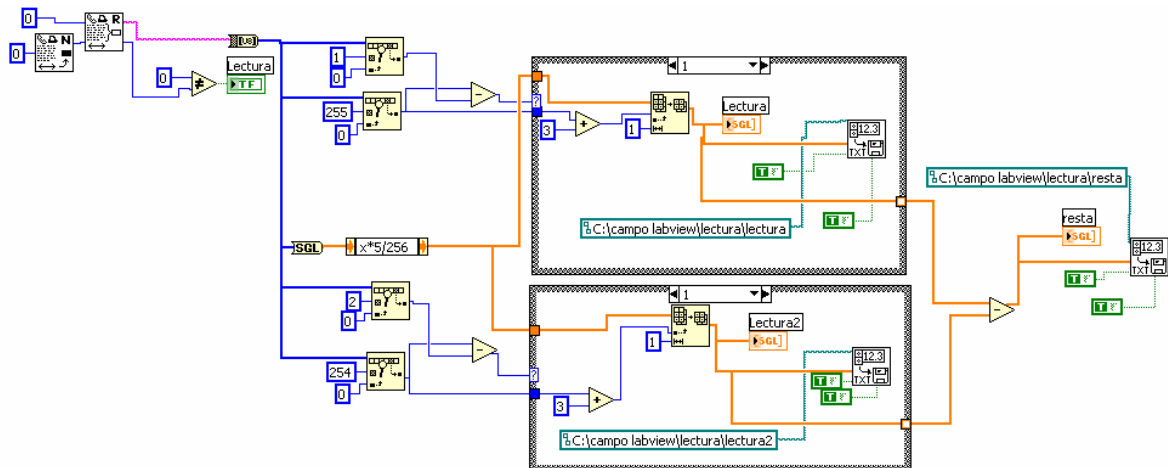
La Figura 32 muestra la segunda parte de la estructura secuencial; dentro de ella se aprecia un while loop que se detiene con la orden de un control digital. Dentro del while están las instrucciones de lectura y escritura deseadas y que se describen a continuación.



Elaborado por el autor

Figura 32. Estructura de la secuencia de lecto/escritura de datos

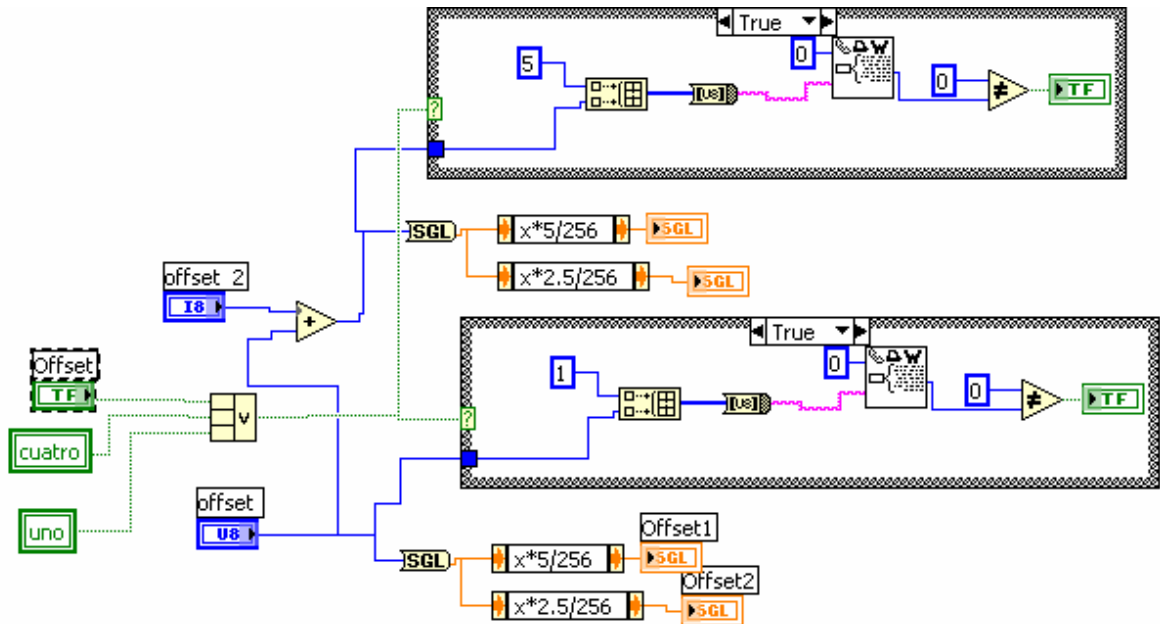
En cuanto a la lectura de los datos se usó el VI **Serial port read**, configurado en el com1 y con el VI **Bytes at serial port**. Los datos recibidos vienen en código ASCII, son convertidos a números en formato de precisión simple, luego son multiplicados por 5 y divididos por 256 para conocer el valor de voltaje que representan. Hay que recordar que entre los datos vienen valores de 2 señales diferentes (lectura 1 y lectura 2), las cuales poseen unos bytes de identificación; mediante el uso de **Search 1D array** se identifican dichos bytes para luego graficar y guardar los datos correspondientes a las señales. Después de esto se grafica la resta de las dos señales. Esta y todas las instrucciones de esta etapa son ejecutadas cada 100 ms, para así garantizar que se tomarán diez muestras cada segundo. En la Figura 33 se muestra lo descrito.



Elaborado por el autor

Figura 33. Lectura de los datos

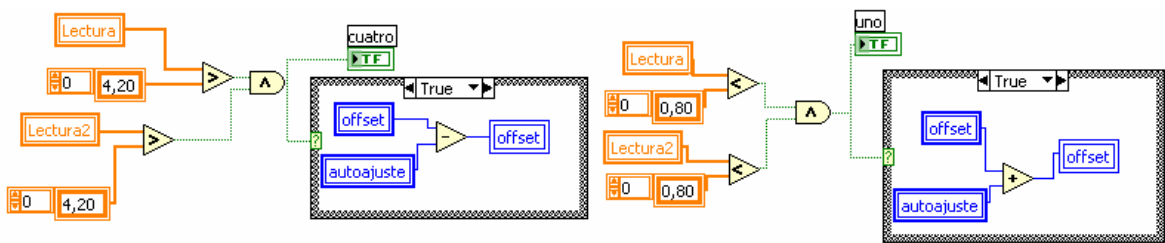
En la Figura 34 se muestra el control del **offset** y el **offset 2**. Cuando el botón de **offset** es presionado ordena, mediante el VI **Serial port write**, enviar los datos correspondientes a las ordenes 1 y 5 mencionadas en la sección 2.3.4. En la figura también se observa el que el dato enviado en la orden 5 corresponde a la suma del control **offset** más **offset2**. Hay que recordar que los números deben ser convertidos a carácter antes de ser enviados por el puerto. Por último es de resaltar que cuando el botón **offset** es presionado, solo ejecuta la orden una vez ya que su acción mecánica esta configurada como un match. Esta operación es común en las otras instrucciones de control.



Elaborado por el autor

Figura 34. Control del offset

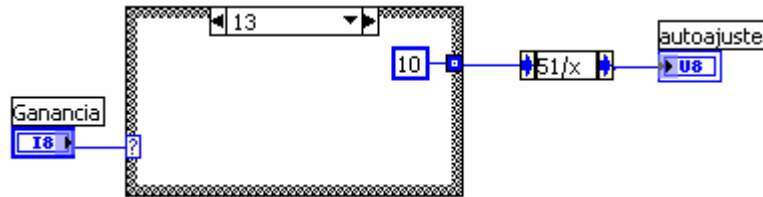
En la Figura 34 se aprecia que no solo el control digital **offset**, ordena un cambio en este valor, también lo realizan las instrucciones uno y cuatro, que además ejecutan cambios en el control **offset**, si las dos señales están a punto de salirse de manera simultanea del rango disponible, teniendo como limite superior los 4.2 V y como limite inferior 0.8 V, tal como se muestra en la Figura 35.



Elaborado por el autor

Figura 35. Control de los límites de conversión.

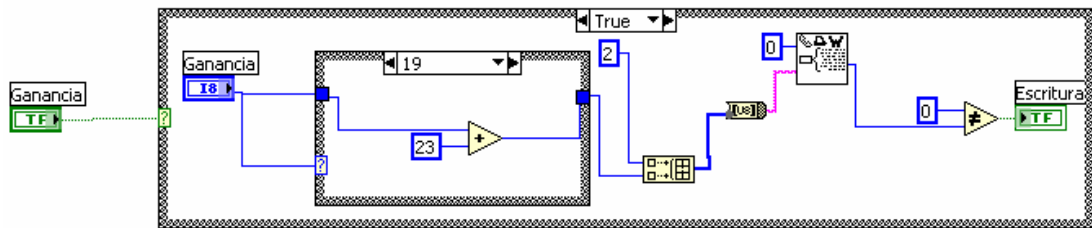
El valor de corrección auto ajuste se obtiene de la ganancia que se esta usando, y es igual a $51/\text{ganancia}$, para así proveer una variación de aproximadamente 1 V. En la Figura 36 se ve como se obtiene este valor.



Elaborado por el autor

Figura 36. Obtención del valor de auto ajuste.

El control de ganancia se realiza al presionar el botón ganancia, enviando el número de control 2 y el número VC que se muestra en la Tabla 12, correspondiente a la ganancia seleccionada. La Figura 37 muestra lo descrito.



Elaborado por el autor

Figura 37. Control de la ganancia

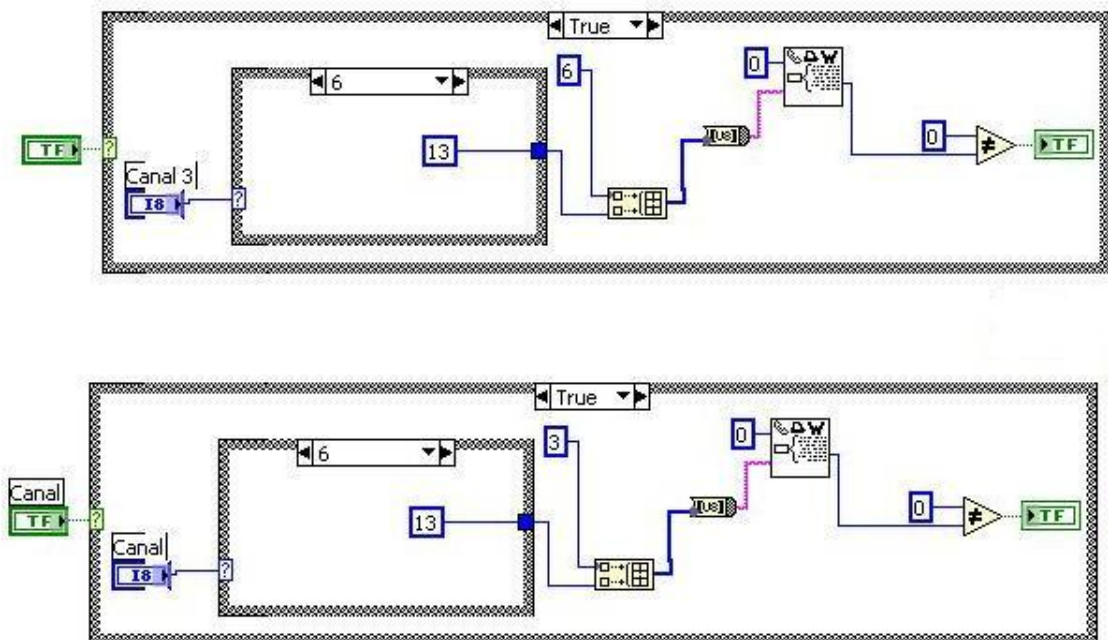
De manera similar a los casos anteriores, al presionar el botón de control **canal (lectura1)** es enviado el número 3, que identifica esta orden y la instrucción para la selección del canal. Lo mismo ocurre con **canal (lectura2)**. Esta sección del programa se detalla en la Figura 38.

Un aspecto para resaltar en los datos enviados para la selección del canal, es que debido a que los pines con los que se selecciona el canal del MC33794 están conectados de manera inversa en el PTB del GP32, mas exactamente, A con el PTB4, B con el PTB3, C con PTB2, D con PTB1 y **SHIELD** con PTB0; esto ocurrió por razones de diseño en el circuito

impreso, es decir que si se va a seleccionar el canal 1 sin desactivar **SHIELD**, se debe escribir en el PTB el número 17. En la Tabla 15, se indican los valores adecuados que deben ser enviados para la correcta selección del canal, sin desactivar la señal de **SHIELD**.

Tabla 15. Valores que deben usarse para seleccionar el canal

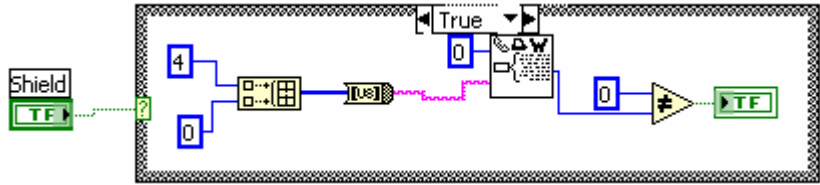
Canal	Valor
1	17
2	9
3	25
4	4
5	21
6	13
7	28
8	3
9	18
Ref A	11
Ref B	27



Elaborado por el autor

Figura 38. Control de la selección del canal

Por último tenemos el control del **SHIELD**, éste se realiza enviando el número de orden, en este caso 4 y un número cualquiera, esta instrucción será identificada por el MCU con un cambio de 1 a 0 ó viceversa, en el PTB0. La Figura 39 ilustra este segmento de programación.

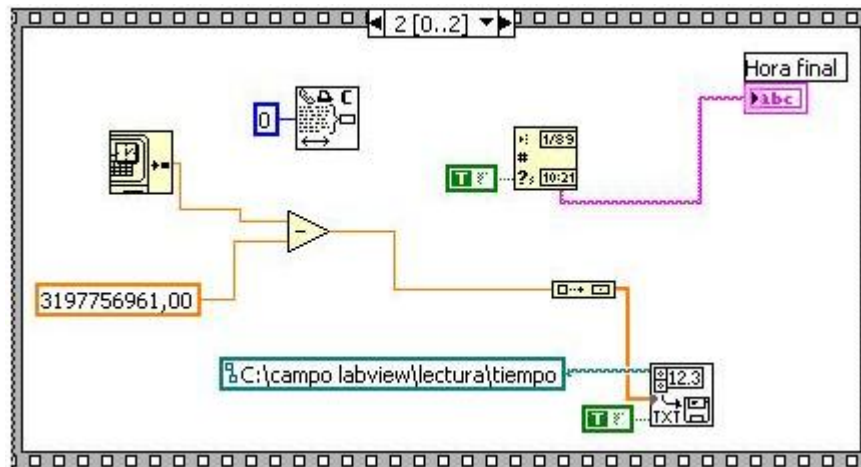


Elaborado por el autor

Figura 39. Control del SHIELD

2.4.4 ETAPA DE FINALIZACIÓN DE LA APLICACIÓN

Esta etapa corresponde a la tercera y última secuencia de la estructura de programación secuencial que se adoptó, en ella se cierra el puerto serie mediante el uso del VI **Close serial driver** y se registra la hora de finalización de la aplicación.



Elaborado por el autor

Figura 40. Etapa de finalización de la aplicación

3 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

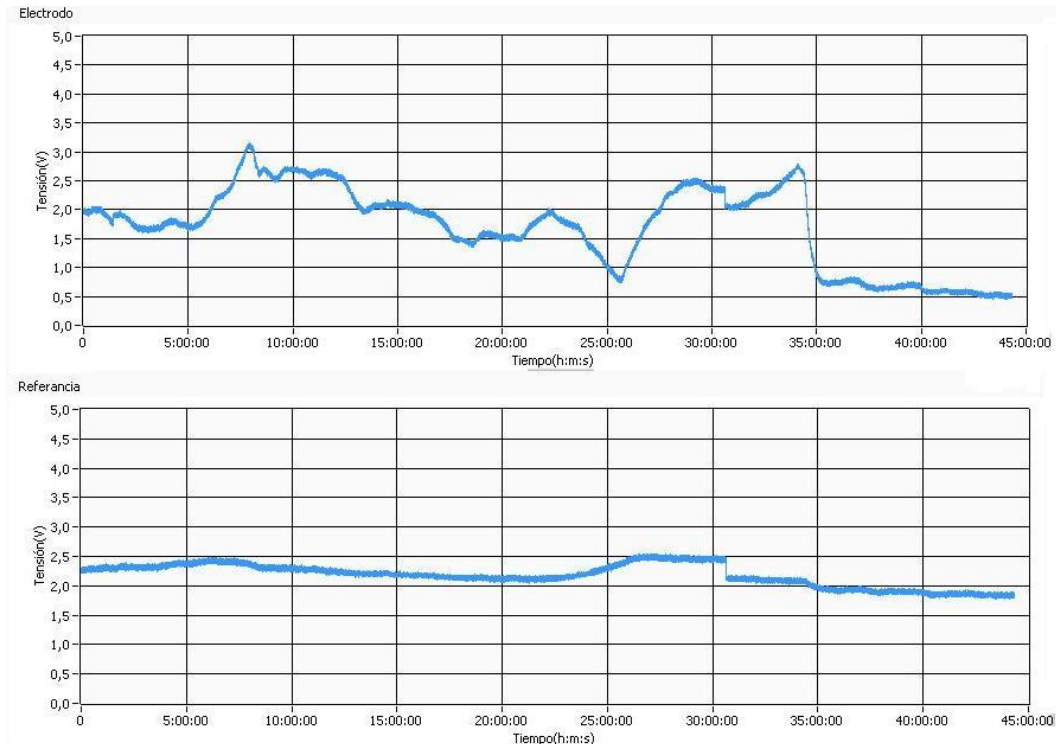
En este trabajo se ha descrito cómo se construyó el sistema electrónico y cómo se programó la aplicación de Labview, para crear un conjunto que permitiera un uso sencillo y funcional del sistema. En este capítulo, se profundizará acerca de las razones por las que este trabajo se realizó de esta forma y de cómo debe ser usado para obtener una medida adecuada.

El problema (pero también la ventaja) que se presenta con este tipo de medición, es su sensibilidad a diferentes parámetros, entre los que se incluyen, que tan cerca se encuentra el objeto del electrodo, su tamaño y las características eléctricas de dicho objeto y del medio en el que está el electrodo.

De los parámetros nombrados el que más afecta a los electrodos, son las características eléctricas del medio en el que se encuentra, en este caso, el aire. En varios escritos de los mencionados en la bibliografía de este trabajo, se afirma que este tipo de instrumentación es sensible a cambios en la humedad del aire, y aún cuando aquí, no se corroboró esta afirmación, si se observó que en transcurso del día ocurren cambios bruscos en las medidas dadas por el electrodo. Independiente de su origen, el problema con estos cambios, es que no se pueden distinguir fácilmente, de los cambios producidos por el parámetro que se desea medir, lo cual haría al sistema ineficiente.

En la bibliografía relacionada con el MC33794, se mencionan formas de compensar efectos de parámetros indeseados; ésta consiste en medir de manera simultánea el o los canales que se estén usando para la medida y la señal proveniente de los capacitores situados en los pines de referencia. Lo que ocurre es que la medida de las referencias cambia cuando ocurren variaciones imprevistas e indeseadas, y de esta manera ofrece al diseñador la opción de desarrollar un procedimiento de corrección. El problema con esta recomendación, es que las referencias no son igual de sensibles que los electrodos a este tipo de variaciones, entonces no es un método de compensación totalmente certero. En la

Figura 41, se muestra la diferencia que existe entre las variaciones indeseadas en el electrodo y las registradas por la referencia.



Elaborado por el autor

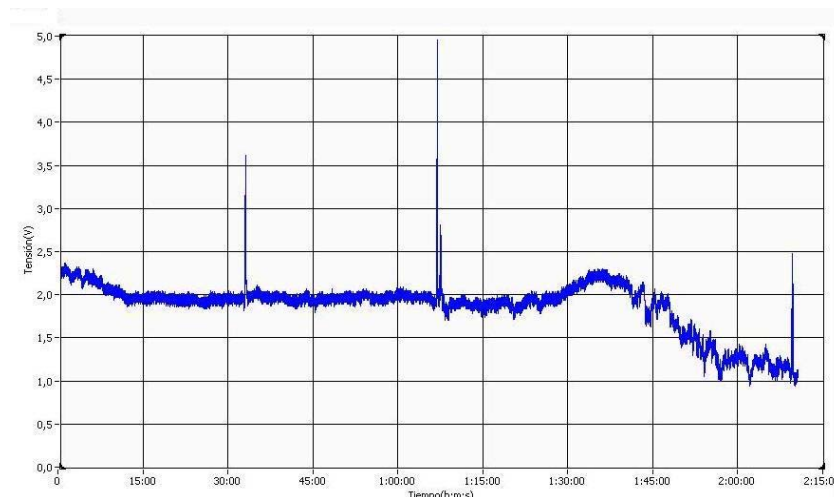
Figura 41. Comparación de la señal del electrodo con la referencia.

Observando la desventaja que presenta el método descrito anteriormente, se decidió plantear una metodología que cumpliera con las expectativas que se tienen en este trabajo. La técnica es similar a la anterior, tomar una medida adicional que detecte los cambios indeseados, para después efectuar algún tipo de ajuste. Se observó que la mejor opción, era realizar este ajuste, con otro electrodo de las mismas características al usado para la medida principal, de esta forma el primer electrodo percibiría todo tipo de cambios, deseados e indeseados, y el segundo detectaría de la misma forma que el primero las variaciones indeseadas. Ya conociendo la forma correcta de obtener la señal de compensación, se procede a realizar el ajuste necesario, que consiste en un resta de la señal principal con la señal de compensación, lo que dará origen a una señal que posee una componente DC que cambia sólo con las perturbaciones deseadas en el electrodo principal.

Como último paso del método de ajuste, se deben hacer variaciones del nivel de **offset** de las dos señales cuando éstas estén a punto de salirse del rango de conversión del ADC. Este ajuste debe realizarse de manera simultánea y la magnitud del cambio debe ser igual para las dos señales, de esta forma el cambio será imperceptible en la señal ajustada.

Ya descrita la metodología que se debe seguir, se aclaran los diferentes aspectos que determinan la forma en que fue estructurado el programa de control en labview; por eso se muestran dos señales seleccionables por el usuario, que poseen ajustes de **offset** independientes y una ganancia común, también se justifica la presencia de la tercera grafica en la que se muestra el ajuste correspondiente, y el almacenamiento de las tres señales para su posterior análisis. Un último aspecto, que ahora ya posee un mayor sentido, es el control automático del **offset**, ya que evita que las variaciones indeseadas se salgan del rango de medida permitido de 0 a 5 V.

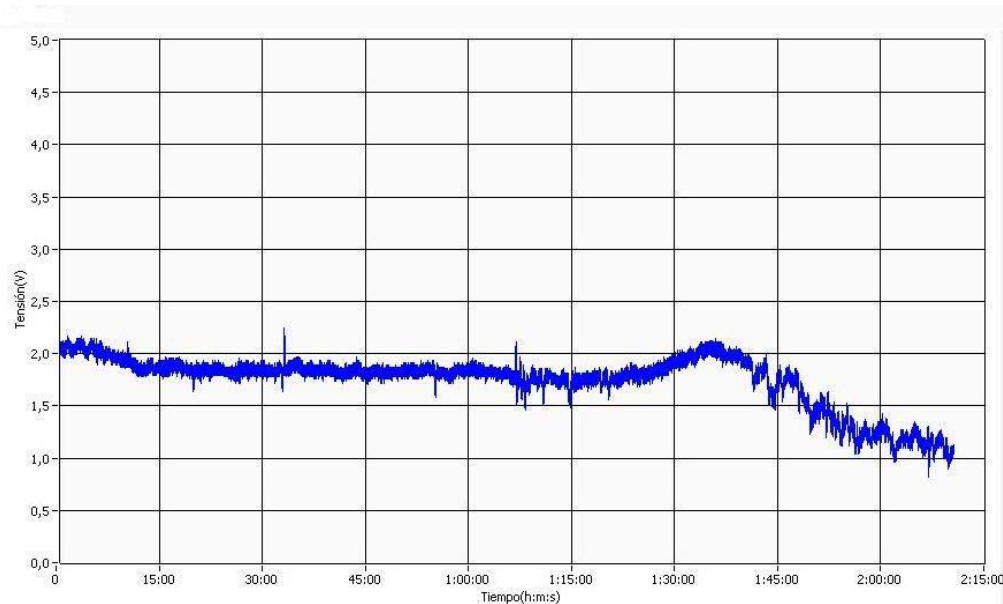
En las figuras 42, 43, 44 y 45, se muestra cómo, basado en la metodología planteada, se realiza la medición de la presencia de una mano en las proximidades del electrodo principal. En la Figura 42 se muestra lo registrado en este electrodo; los tres picos que se detallan, corresponden a instantes en los que la mano se acercó al electrodo.



Elaborado por el autor

Figura 42. Señal del electrodo principal.

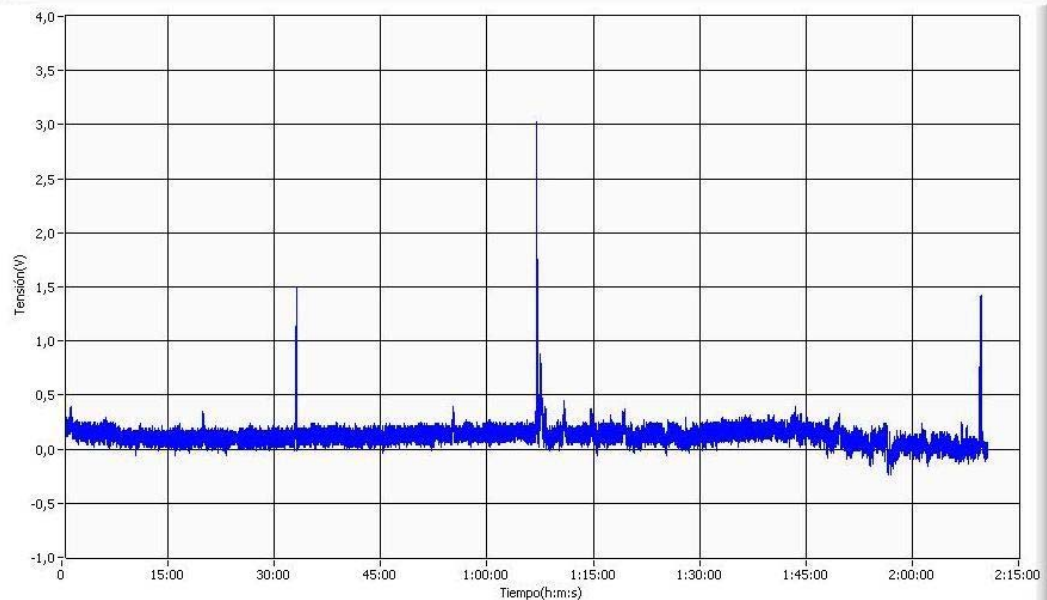
La Figura 43 muestra la señal del electrodo de ajuste. Si comparamos esta señal con la de la Figura 42, se ve que las dos señales presentaron el mismo comportamiento a través del tiempo, lo cual indica que la perturbación del medio ambiente fue igual para los dos electrodos.



Elaborado por el autor

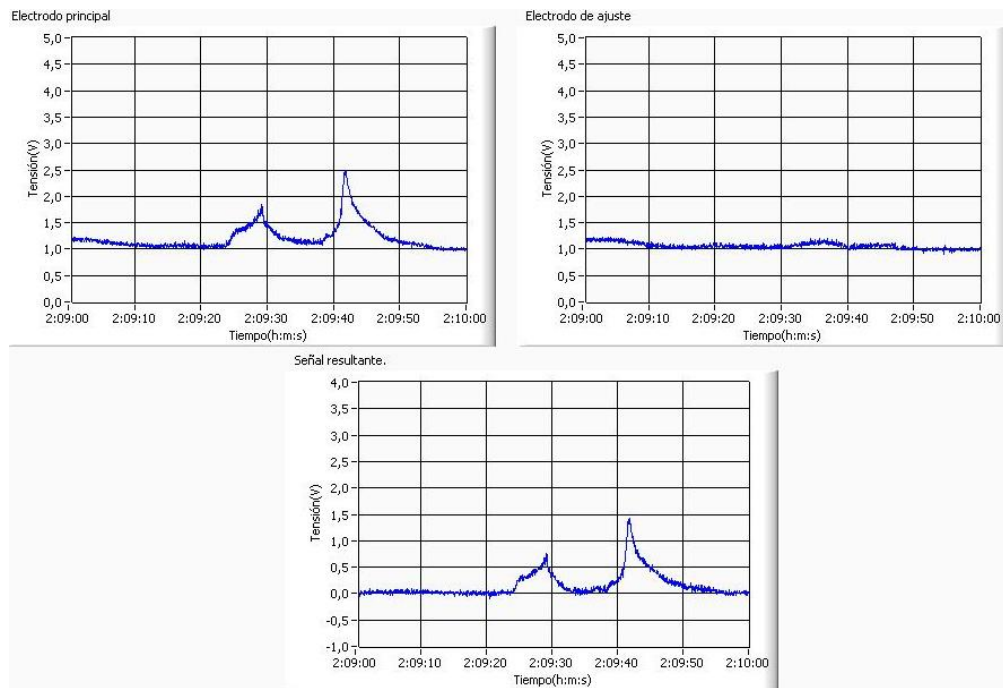
Figura 43. Señal del electrodo de ajuste.

En la Figura 44 se muestra la señal resultante del proceso, ésta es una señal que consiste en una componente de DC que sólo se altera en el momento en el que la mano se acerca al electrodo. Finalmente en la Figura 45, se ve un detalle de las tres señales en uno de los instantes en el que ocurre una perturbación inducida.



Elaborado por el autor

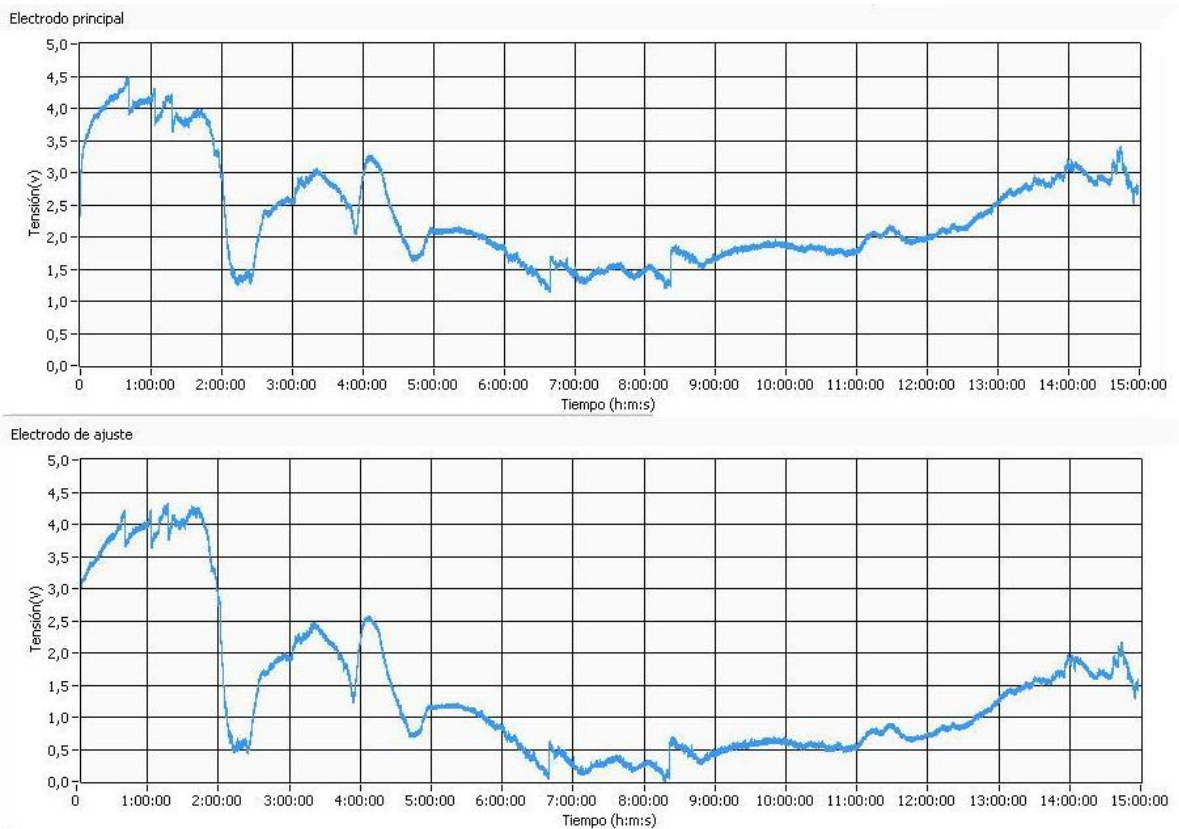
Figura 44. Señal resultante después del ajuste.



Elaborado por el autor

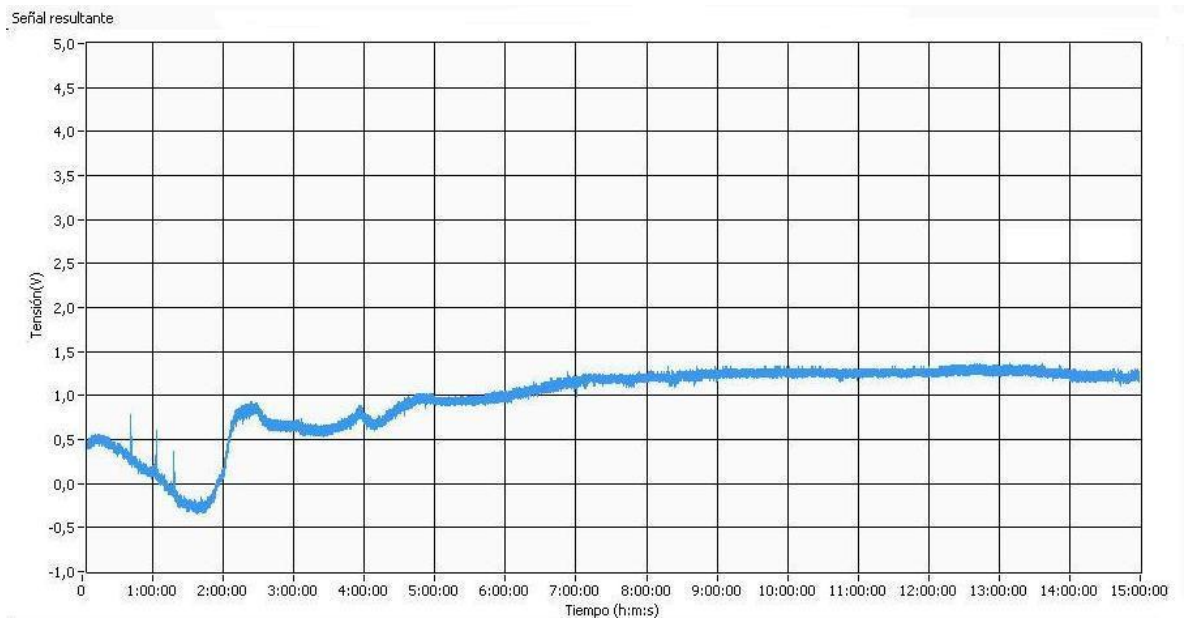
Figura 45. Ampliación de la perturbación inducida por la presencia de la mano.

A continuación se mostrará otra prueba en la que se aprecia un aspecto importante. Esta prueba, es igual que la anterior, sólo que ninguno de los electrodos fue perturbado de manera intencional. En la Figura 46 se ven las señales de los 2 electrodos, y en la Figura 47 se muestra la señal ajustada. Si se detalla la Figura 47 se ve que el ajuste fue muy bueno después de 7 horas del inicio de la prueba. Con esto no se quiere afirmar que después de cierto tiempo el sistema funcione bien, sino que la presencia de pequeñas diferencias de construcción, entre los dos electrodos, ocasiona que los electrodos reaccionen de la misma manera, pero no con la misma sensibilidad, a las condiciones que posee el entorno en un determinado instante.



Elaborado por el autor

Figura 46. Señales del electrodo principal y el de ajuste.



Elaborado por el autor

Figura 47. Señal resultante de la segunda prueba.

3.1 RESUMEN ACERCA DE LA METODOLOGIA DE MEDICIÓN.

Para concluir este capítulo, se presenta un resumen de los pasos a seguir al efectuar una medida:

1. Ajustar los **offsets** de las dos señales, de manera tal que las dos señales se encuentren en el rango de conversión, y con el control **offset 2**, reducir la diferencia entre las dos señales, casi a cero, para un mejor uso de la escala de medida.
2. Elegir la ganancia deseada.
3. Si se desea o es necesario, realizar un nuevo cambio en los **offsets**.
4. A partir de este punto ya se puede realizar la medida y si es necesario el control automático del **offset** se encargará de conservar las señales en el rango de medida.
5. **No realizar ajustes únicamente del *offset 2*, deben efectuarse un cambio de los dos *offset* simultáneamente y de la misma magnitud, tal como lo realiza el ajuste automático. Si se cambia solo el *offset 2*, esto es como si se indujeran cambios sólo en un electrodo, provocando así una compensación incorrecta.**
6. No realizar cambios de ganancia después de iniciada la prueba.

CONCLUSIONES

- Basado en la tecnología disponible, se diseñó un sistema de medición mediante campo eléctrico, que permite al usuario tener un control sobre los parámetros característicos del acondicionamiento de señal realizado por el sistema (ganancia, **offset**) y de las funciones que realizan la medida (canales de medida y la señal de **SHIELD**).
- Se diseñaron y construyeron los electrodos requeridos para la radiación del campo eléctrico necesario para poder realizar una medida. Además se apreció la influencia que ciertas características de electrodo, tienen en el desempeño del sistema y en la sensibilidad de la medida. Entre estas características se pueden destacar: su área total, el ancho de los caminos y el material en el que se fabricaron.
- Se estableció una metodología lógica y ordenada, que se encuentra documentada en el capítulo 3, que permite utilizar la instrumentación basada en campos eléctricos de manera satisfactoria. También se observó, que parte del éxito del método de medición, depende de los dos electrodos usados y de la gran similitud que debe existir entre sus características.

RECOMENDACIONES PARA FUTUROS MODELOS

- En la construcción de esta tarjeta, se usaron muchos integrados tipo DIP, esto fue para poder realizar pruebas con diferentes integrados fácilmente, por ejemplo, inicialmente se consideró el AD620 en lugar del AD623, y se concluyó que este último funcionaba mejor en el sistema, pero en un próximo diseño se deberá considerar el uso de integrados superficiales por las diferentes ventajas que estos ofrecen sobre los integrados DIP.
- Reemplazar el ADC de 8 bits por uno de mayor resolución y de mayor rango de conversión.
- En cuanto al DAC, la resolución debe ser aumentada para poder ejercer un mejor ajuste del **offset**, en especial, si se pretende utilizar el sistema en una aplicación en la que se requiera una alta ganancia, además la forma de ingreso de los datos debe realizarse de manera serial ya que ésta es más eficiente en cuanto al número de pines necesarios para su control.
- Teniendo en cuenta las dos recomendaciones anteriores, se puede reemplazar el MCU utilizado por otro más pequeño, que posea las características necesarias para controlar los dispositivos anteriormente recomendados. Además se obtendría un ahorro significativo de espacio en el circuito impreso.
- El criterio con el que se decide el auto ajuste del **offset**, no debe ser necesariamente el utilizado en este trabajo, puede realizarse de acuerdo a la aplicación en la que el sistema pueda ser usado.

BIBLIOGRAFÍA

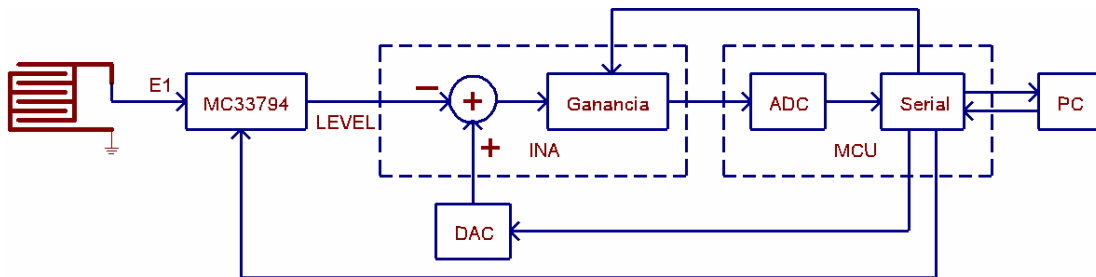
- Hayt, William. Teoría electromagnética. Editorial Mc Grall Hill 1991.
- Pallas Areny, Ramón. Sensores y acondicionamiento de la señal. Barcelona España 1998. Editorial Marcombo
- Joshua R. Smith. Electric Field Imaging. [Tesis de doctorado]. Massachusetts Institute of Technology 1999.
- Joshua R. Smith. Field Mice: Extracting hand geometry from electric field measurements. IBM systems journal, Volume 35, No. 3&4, 1996, pp 587-608.
- Lázaro, Manuel Antonio. Labview 6I Programación básica para el control de instrumentación. Madrid España 2001. Editorial Paraninfo.
- Motorola Inc. AN1985/D Touch Panel. Applications Using the MC33794 E-Field IC. 2003. Rev 0.

ANEXO A. INSTRUCCIONES ACERCA DEL USO DE LA TARJETA

Este anexo contiene un resumen referente al uso adecuado del sistema construido en este trabajo de grado. Las pautas que se plantean incluyen el manejo del programa en Labview y del dispositivo electrónico y la metodología que se debe seguir para medir correctamente.

Diagrama de bloques de la tarjeta prototipo

En la figura 1 de este anexo se ilustra el diagrama de bloques de la tarjeta. Se observa el electrodo conectado al MC33794 y su salida LEVEL; debido a que su variación es bastante pequeña, esta señal se resta de un nivel de tensión de continua (llamado **offset**) y luego es amplificada para tener una visión más extensa de las variaciones. La tensión resultante en la salida del INA es convertida por un ADC y el valor de la conversión es enviado por el puerto serie al PC para su visualización. El usuario puede controlar diferentes aspectos desde el PC, tales como la ganancia, el nivel de **offset**, la selección de los canales de entrada y la función de blindaje (**SHIELD**) que posee el MC33794.



Elaborado por el autor

Figura 1. Diagrama de bloques de la tarjeta

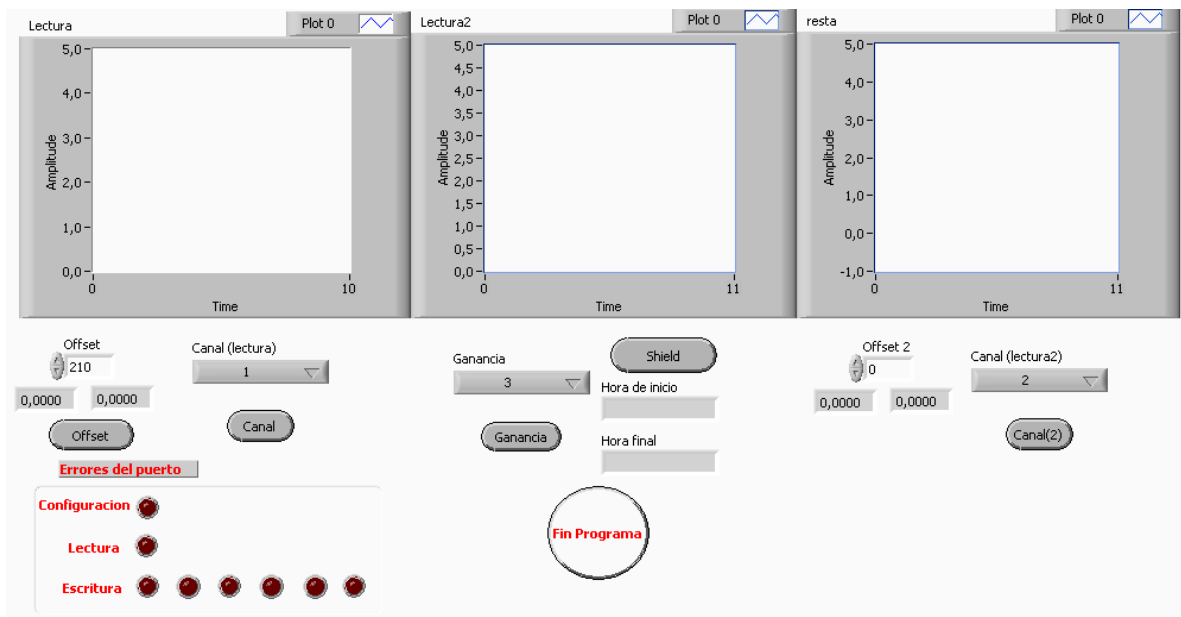
Programa de visualización en Labview

Como primer aspecto a resaltar, en el CD que contiene el trabajo de grado, existe una carpeta llamada **campo labview**, con el archivo de Labview que permite el control del sistema de instrumentación desde el PC. También en esta carpeta existe otra llamada **lectura**, en ella se encuentran los archivos que contienen las señales que son visualizadas al ejecutar el programa. Hay que resaltar que la carpeta **campo**, debe ser copiada en el disco duro, en la dirección C:\ del computador en el que se va a ejecutar la aplicación, esto debido a que el programa, en su código, tiene especificado que los archivos de las señales, deben ser guardados en la dirección C:\campo labview\lectura. Si la carpeta **campo labview** está copiada en otra dirección, ocurrirá un error en la ejecución del programa.

Las señales que el programa guarda son la que se muestran en el gráficos lectura, lectura 2, resta y el tiempo en que se inició y finalizó la aplicación (ver figura 2 del anexo). En cuanto a este último archivo, lo que guarda es un valor, en segundos, del instante de inicio y fin de la aplicación. Lo conveniente con este archivo, es restar el tiempo final con el inicial y de esta forma saber la duración de la toma de datos. Todos los archivos son sobrescritos cada vez que es ejecutado el programa, entonces se deben copiar en otra carpeta antes de volver a ejecutar el programa y de esta manera no perder la información recolectada.

Los archivos correspondientes a las lecturas pueden ser abiertos, para su posterior visualización, mediante el uso de programas Labview, Excel, bloc de notas o Matlab.

La figura 2 del presente anexo, muestra el panel de control del programa realizado en Labview, este panel se puede dividir en 3 aspectos generales, visualización de señales, control de las acciones y estado del puerto serie.



Elaborado por el autor

Figura 2. Panel de control de la aplicación

La visualización de las señales consiste en tres waveform charts, en los que serán graficadas las señales de los canales seleccionados y resta de estas dos señales. Obsérvese que las señales poseen una escala de 0 a 5, correspondiente al rango de conversión del ADC del MCU. La visualización de estas señales y el control automático del **offset** hacen parte de la metodología planteada en el capítulo 3, para realizar una medición adecuada.

En cuanto a las acciones de control, consisten en unos botones de acción y otros de ejecución. Primero la acción debe ser seleccionada y luego se presiona el botón de ejecución asociado para hacer efectiva la acción. Entre los controles se incluye la selección de los canales asociados a las gráficas lectura y lectura 2, la elección de la ganancia del amplificador, la activación y desactivación de la función **SHIELD** del MC33794, y finalmente la selección de los **offsets** de las dos señales leídas. Este último control merece una atención especial, ya que permite asignar **offsets** diferentes a cada señal, haciendo que las dos señales se mantengan en el rango de conversión del ADC. Hay que tener en cuenta que la orden de cambio de los dos **offsets** es simultanea, y que el control **offset 2** esta dispuesto de manera relativa al control **offset**, o sea el **offset** asignado a la segunda señal, es

la suma de la cantidad que muestra el control **offset** más la de control **offset 2**. Los indicadores bajo cada control muestran cual es el **offset** asignado para cada señal, dependiendo de la referencia usada en el DAC.

Cabe resaltar, que el programa de labview posee un control automático del **offset** que evita que la medida de las dos señales seleccionadas se salgan del rango de conversión. Dicho control se activa cuando las dos señales superan los 4.2 V o son inferiores a 0.8V.

La sección correspondiente al estado del puerto serie, consiste en un conjunto de leds que se encienden, si ocurre algún error en las operaciones de configuración, lectura o escritura del puerto.

Aspectos relacionados con el uso de la tarjeta

A continuación se nombran diferentes aspectos que se deben tener en cuenta en el momento de usar la tarjeta del sistema:

- La alimentación de la tarjeta es con 12 V DC, y en la tarjeta se muestra como debe ser su polaridad.
- El electrodo que presenta un mejor funcionamiento (mayor sensibilidad) es el de 5 cm X 5 cm, y es recomendable su uso en cualquier ocasión.
- Con el jumper que posee la tarjeta se puede establecer una referencia de la tensión de salida del AD7801 de 2.5 V ó 5 V. La utilidad de este aspecto resalta cuando se usan ganancias muy grandes y se tiene conectado el electrodo de 5 cm X 5 cm, ya que usando la referencia de 2.5 V se logran ajustes de **offset** más finos y se ejerce un mejor aprovechamiento del rango disponible de medida.

- Al encender la tarjeta la tensión dada por el conversor digital-análogo es de 2.05 V, si la referencia de éste está en 2.5 V ó de 4.1 V si la referencia es de 5 V, es decir en su entrada se ingresó el número 210.
- Otro aspecto referente al conversor digital/análogo es que es más conveniente usar la referencia de 2.5 V, debido a que se pueden lograr mejores ajustes del **offset**.
- Debido a que cuando se alimenta el potenciómetro digital, este se encuentra en la mitad de la escala (50 k Ω), la ganancia con la que inicia el sistema es de tres.
- La señal que mide el sistema cuando se enciende, es la que proviene del canal 1 y del canal 2 del MC33794.
- El MCU del sistema no posee opción de RESET, así que si ocurre un error en la tarjeta es mejor apagar el sistema y volverlo a encender. La razón de la ausencia del RESET en el MCU, es que éste lleva la cuenta del valor de resistencia que el potenciómetro digital posee, entonces si el MCU se reseteara perdería esta cuenta y se ejercería un control incorrecto de la ganancia que se está asignando.
- Conectar siempre los electrodos mediante cable coaxial para evitar la interferencia que estos producen en la medida.
- Los condensadores de referencia pueden ser cambiados fácilmente, para poder establecer un nivel de referencia adecuado al electrodo que se está usando.

Metodología de medición.

Estos son los pasos a seguir para realizar una medida adecuada:

1. Alimentar la tarjeta, encenderla mediante el interruptor azul que posee y ejecutar el programa.
2. Ajustar los **offsets** de las dos señales, de manera tal que las dos señales se encuentren en el rango de conversión, y con el control **offset 2**, reducir la diferencia entre las dos señales, casi a cero, para un mejor uso de la escala de medida.
3. Elegir la ganancia deseada.
4. Si se desea o es necesario, realizar un nuevo cambio en los **offsets**.
5. A partir de este punto ya se puede realizar la medida y si es necesario el control automático del **offset** se encargará de conservar las señales en el rango de medida.
6. **No realizar ajustes únicamente del *offset 2*, deben efectuarse un cambio de los dos *offset* simultáneamente y de la misma magnitud, tal como lo realiza el ajuste automático. Si se cambia solo el *offset 2*, esto es como si se indujeran cambios solo en un electrodo, provocando así una compensación incorrecta.**
7. No realizar cambios de ganancia después de iniciada la prueba.

ANEXO B. PROGRAMA EN MATLAB PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA TEÓRICA DE LOS ELECTRODOS

```
d=0.508;%distancia entre las placas
ancho=0.8128;%ancho de las placas
dis=d+0.205;
ep=8.85;%epsilon=8.85*10e-12, no se coloco el 10e-12 simplemente para obtener el valor
en pF
k=3;%constante del vidrio
L1=9.2456;%largo de la lamina de 1cm
L15=13.208;%largo de la lamina de 1.5cm
L2=18.4912;%largo de la lamina de 2cm
L3=28.67;%largo de la lamina de 3cm
L5=48.7;%largo de la lamina de 5cm

c2=ep*k*ancho*ancho/dis/1000;

c11=ep*k*ancho*(L1-ancho-d)/1000/dis;
c115=ep*k*ancho*(L15-ancho-d)/1000/dis;
c12=ep*k*ancho*(L2-ancho-d)/1000/dis;
c13=ep*k*ancho*(L3-ancho-d)/1000/dis;
c15=ep*k*ancho*(L5-ancho-d)/1000/dis;

c1x1=7*c11+6*c2;
c15x15=11*c115+10*c2;
c2x2=16*c12+15*c2;
c3x3=22*c13+21*c2;
c5x5=38*c15+37*c2;

teorico=[c1x1 c15x15 c2x2 c3x3 c5x5];%valor teórico capacitancia en picofaradios, de los
electrodos
experimental=[3.47656 3.37981 3.125 2.71484 1.09375]%valores experimentales de los
electrodos, ver Tabla 7

prototipo=-0.0454.*teorico+3.6074%caracterizacion con el prototipo
referencia=-0.0543.*teorico+3.878;%caracterizacion prototipo y referencias
motorola=-0.0328.*teorico+3.2532;%caracterizacion kit motorola

error_prototipo=100*(prototipo-experimental)./prototipo%error porcentual prototipo
```

ANEXO C. KIT33794DWBEVM DE MOTOROLA

Este KIT es fabricado por Motorola, con el fin de conocer el MC33794 *electric field imaging device*. Dicho conocimiento incluye: evaluar sus capacidades, observar el funcionamiento del integrado y lo más importante, ofrecer una guía para la realización de otros sistemas.

El KIT consiste en una tarjeta que contiene un MC33794 conectado a un MCU, el MC68HC908QY4; mediante este microcontrolador se realiza una conversión análoga/digital de 8 bits en un rango de 0 a 5 voltios, de la salida LEVEL y de las señales de monitoreo de los niveles de alimentación (VDD_MON, PWR_MON) que posee el MC33794. También el MCU posee control sobre los pines de selección del canal y la función **DIS_SHIELD**.

El resultado conversión análoga/digital del pin LEVEL es enviado por puerto serie a un PC, en donde, mediante la ayuda del software “**E-field**” (cuyos instaladores vienen con el KIT) se pueden visualizar y controlar los diferentes aspectos de la tarjeta.

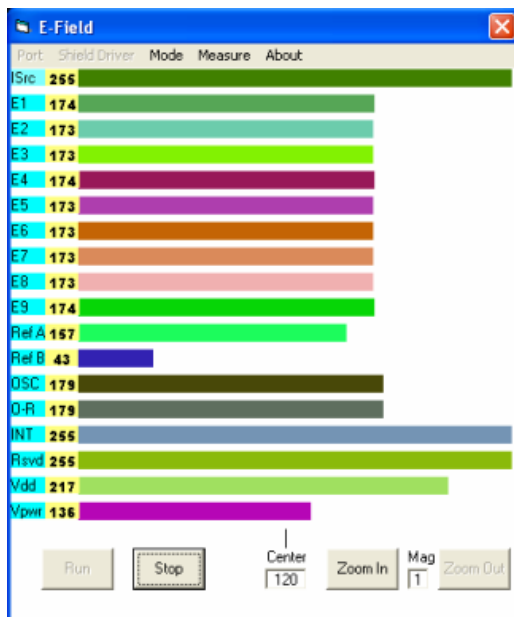
El software consiste en una interfaz visual de los resultados de conversión análoga/digital realizada por el MC68HC908QY4, en la que se destacan las lecturas de todos los canales disponible (E1-E9), las dos referencias, y las señales de monitoreo VDD_MON y PWR_MON.

Al encontrarse la tarjeta conectada al PC, con solo oprimir el botón RUN, se da inicio a la lectura de las señales. Entre las opciones que posee el programa, esta elegir el puerto de entrada, la activación y desactivación del **SHIELD**, la selección de las señales que se desean visualizar y finalmente selección del modo en la que los datos son vistos. En lo concerniente a este último aspecto, se pueden seleccionar dos formas de operación: el modo normal, en el que la escala de medida corresponde exactamente con la del resultado de la

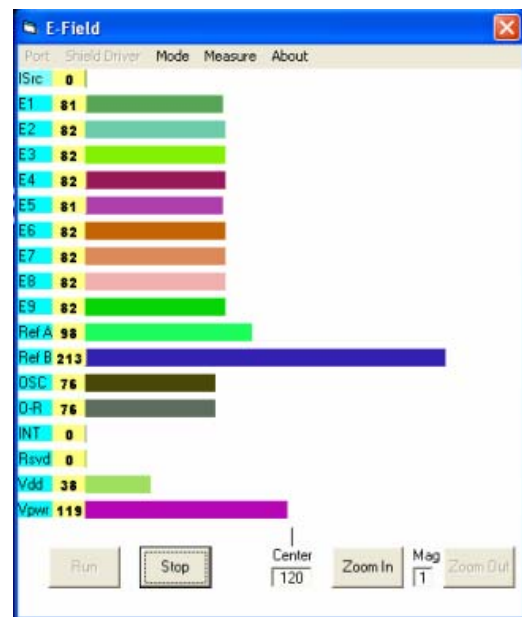
conversión analógica/digital, es decir, va de 0 a 255, siendo 0 el equivalente a 0 voltios y 255 a 5 voltios. El segundo modo de visualización es el modo invertido, en el que la escala de medida esta invertida, o sea, 0 corresponde a 5 voltios y 255 a 0 voltios.

El último aspecto por mencionar del software “E-field” es la opción de ZOOM, que simplemente ofrece una visión más amplia de las barras que simbolizan el resultado de la conversión analógica/digital.

Para finalizar este anexo se muestran las figuras del programa en funcionamiento en modo normal y modo inverso.



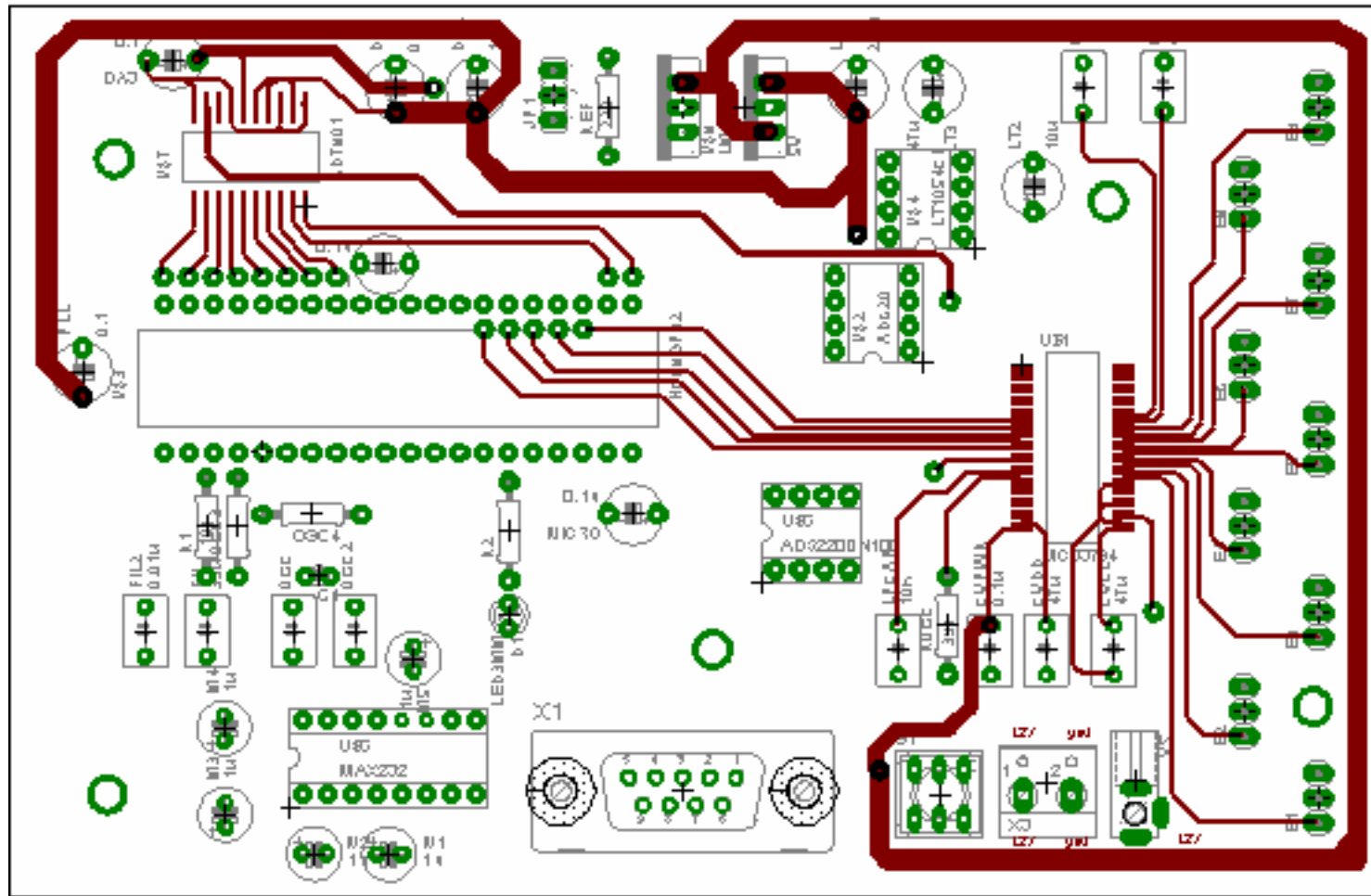
Modo de funcionamiento normal



Modo de funcionamiento inverso

ANEXO D. PCB DEL SISTEMA

Parte anterior



ANEXO E. FIRMWARE DEL GP32 CODEWARRIOR DEVELOPMENT STUDIO FOR HC08V3.1

Antes de ver el código hay que resaltar que se usó el processor expert para configuración de los diferentes aspectos del MCU. Se configuró una velocidad de bus de 7.3728 MHz, esta velocidad fue elegida porque permite la configuración de las ratas de baudios estándares. Para la configuración del SCI se usó el bean correspondiente y los datos de configuración son los mismos que los de la Tabla 14, además se habilitaron las interrupciones de transmisión y recepción. Para el ADC también se usó el bean correspondiente, se activó la interrupción de finalización de la conversión y el pin que se eligió para fue el PTB5.

Código del main

```

/**#####
##
**  Filename : tarjeta.C
**  Project  : tarjeta
**  Processor : MC68HC908GP32CP
**  Version  : Driver 01.08
**  Compiler : Metrowerks HC08 C
Compiler
**  Date/Time : 03/05/2005, 10:03 a.m.
**  Abstract  :
**    Main module.
**    Here is to be placed user's code.
**  Settings :
**  Contents  :
**    No public methods
**
**    (c) Copyright UNIS, spol. s r.o.
1997-2004
**    UNIS, spol. s r.o.
**    Jundrovska 33
**    624 00 Brno
**    Czech Republic
**    http   : www.processorexpert.com
**    mail   : info@processorexpert.com

**
#####
*/
/* MODULE tarjeta */

/* Including used modules for compilling
procedure */
#include "Cpu.h"
#include "Events.h"
#include "AD1.h"
#include "AS1.h"
/* Include shared modules, which are
used for whole project */
#include "PE_Types.h"
#include "PE_Error.h"
#include "PE_Const.h"
#include "IO_Map.h"

void main(void)
{ byte var;
/** Processor Expert internal
initialization. DON'T REMOVE THIS
CODE!!! ***/
PE_low_level_init();

```

```

    /** End of Processor Expert internal
    initialization.          */
    /**/

    /* Write your code here */
        setReg8(DDRA,255);
        setReg8(DDR0,63);
        setReg8(DDR1,31);
    setReg8(PTD,0);
        setReg8(PTA,210);
        setReg8(PTB,17);
        setReg8Bits(PTD,16);
        var=AD1_Measure(0);

#ifdef PE_OS_OSEK_SUPPORT
    for(;;){}
#else
    StartOS(Mode);          /* Jump to
    OSEKturbo OS startup */
    /*DO NOT WRITE CODE BELOW
    THIS LINE*/
#endif PE_OS_OSEK_SUPPORT
}

/* END tarjeta */
/*
**
#####
##
**
**      This file was created by UNIS
Processor Expert 03.51 for
**      the Motorola HC08 series of
microcontrollers.
**
**
#####
###
*/

```

Código de los eventos

```

/**
#####
**  Filename : Events.C
**  Project  : tarjeta
**  Processor : MC68HC908GP32CP
**  Beantype : Events
**  Version  : Driver 01.03
**  Compiler : Metrowerks HC08 C
Compiler
**  Date/Time : 03/05/2005, 10:03 a.m.
**  Abstract :
**      This is user's event module.
**      Put your event handler code here.
**  Settings :
**  Contents :
**      AS1_OnError - void
AS1_OnError(void);
**      AS1_OnRxChar - void
AS1_OnRxChar(void);
**      AS1_OnTxChar - void
AS1_OnTxChar(void);

**      AD1_OnEnd - void
AD1_OnEnd(void);
**      Cpu_OnSwINT - void
Cpu_OnSwINT(void);
**
**      (c) Copyright UNIS, spol. s r.o.
1997-2004
**      UNIS, spol. s r.o.
**      Jundrovska 33
**      624 00 Brno
**      Czech Republic
**      http   : www.processorexpert.com
**      mail   : info@processorexpert.com
** #####*/
/* MODULE Events */
unsigned char
off1=210,off2=210,indi=1,estado=1,gan=
64,res=64,analog=1,canal=17,canal2=9,ref=1;

```

```
#pragma MESSAGE DISABLE C1420 /*
WARNING C1420: Result of function-
call is ignored */
```

```
#include "Cpu.h"
#include "Events.h"
```

```
/*
**
```

```
=====
** Event      : AS1_OnError (module
Events)
**
**      From bean      : AS1
[AsynchroSerial]
** Description :
**      This event is called when a
channel error (not the error
**      returned by a given method)
occurs. The errors can be
**      read using <GetError> method.
** Parameters : None
** Returns    : Nothing
** =====
*/
```

```
void AS1_OnError(void)
{
/* Write your code here ... */
}
```

```
/*
**
```

```
=====
** Event      : AS1_OnRxChar
(module Events)
**
**      From bean      : AS1
[AsynchroSerial]
** Description :
**      This event is called after a correct
character is
**      received.
**      DMA mode:
```

```
**      If DMA controller is available on
selected CPU and
**      receiver is configured to use
DMA controller then this
**      event is disabled. Only method
OnFullRxBuf can be used in
**      DMA mode.
** Parameters : None
** Returns    : Nothing
**
```

```
=====
*/
void AS1_OnRxChar(void)
{
byte r;
AS1_RecvChar(&r);
```

```
if (indi==1){
estado=r;
indi=indi+1;
}else if (indi==2){
switch (estado){
case(1):
offl=r;
break;
case(2):
gan=r;
break;
case(3):
if (PTB_PTBO==0){
canal=r-1;
}
else {
canal=r;
}
break;
case(4):
invertReg8Bit(PTB,PTBO);
if (PTB_PTBO==0){
canal=canal-1;
canal2=canal2-1;
}else{
canal=canal+1;
canal2=canal2+1;
}
}
break;
```

```

case(5):
off2=r;
break;
case(6):
if (PTB_PTBO==0){
canal2=r-1;
}
else {
canal2=r;
}
break;
}

indi=1;
}

/* Write your code here ... */
}

/*
**
=====
**      Event      :  AS1_OnTxChar
(module Events)
**
**      From bean   :  AS1
[AsynchroSerial]
**      Description :
**      This event is called after a
character is transmitted.
**      Parameters  : None
**      Returns    : Nothing
**
=====
*/
void AS1_OnTxChar(void)
{AD1_Measure(0);
/* Write your code here ... */
}

/*
**
=====
**      Event      :  AD1_OnEnd (module
Events)
**
**      From bean   :  AD1 [ADC]
**      Description :
**      This event is called after a
measurements (which consists
**      of <1 or more conversions>) is
finished.
**      Parameters  : None
**      Returns    : Nothing
**
=====
*/
void AD1_OnEnd(void)
{ byte conv;
conv=ADR;

if(ref==1){
if(analog<4){
if (analog==2){
AS1_SendChar(255);
} else AS1_SendChar(1);
}
else {
AS1_SendChar(conv);
}
} else {
if(analog<4){
if (analog==2){
AS1_SendChar(254);
} else AS1_SendChar(2);
}
else {
AS1_SendChar(conv);
}
}
}

invertReg8Bit(PTD,PTD4);

if (gan<res){
clrRegBit(PTD,PTD1);
invertReg8Bit(PTD,PTD2);
if (PTD_PTD2==0)

```

```

res=res-1;
}

if (gan>res){
setRegBit(PTD,PTD1);
invertReg8Bit(PTD,PTD2);
if (PTD_PTD2==0)
res=res+1;
}

if (analog<13){
analog=analog+1;
if (ref==1){
setReg8(PTB,canal);
setReg8(PTA,off1);
}
if(ref==0){
setReg8(PTA,off2);
setReg8(PTB,canal2);
}
}

if (analog==13){
analog=1;
if (ref==1){
ref=0;
}else ref=1;

}
/* Write your code here ... */
}

```

```

/*
**

```

```

=====
**      Event      :  Cpu_OnSwINT
(module Events)
**
**      From bean   :  Cpu
[MC68HC908GP32_40]
**      Description :
**      This software event is called after
software reset.
**      Parameters : None

```

```

**      Returns    : Nothing
**

```

```

=====
*/

```

```

void Cpu_OnSwINT(void)
{
/* Write your code here ... */
}

```

```

/* END Events */

```

```

/*

```

```

**

```

```

#####

```

```

**

```

```

**      This file was created by UNIS
Processor Expert 03.51 for
**      the Motorola HC08 series of
microcontrollers.

```

```

**

```

```

**

```

```

#####

```

```

#

```

```

*/

```