

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

**“MEDICIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN  
BARRAS METÁLICAS UTILIZANDO GALGAS  
EXTENSOMÉTRICAS”**

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención de los títulos de:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones  
Ingeniero en Electricidad Especialización Electrónica

**JOSÉ ISRAEL ORELLANA GARCÍA**

**DAVID HÉCTOR TELLO SALAZAR**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2011

## **AGRADECIMIENTO**

*A mi madre, por su cariño y ser siempre mi soporte en este camino.*

*A mi esposa por siempre darme fuerzas y presionarme para terminar este trabajo.*

*Al Ing. Hugo Mora por su incondicional apoyo.*

*A mi director de tesis Ing. Miguel Yapur por sus sabios consejos.*

**José Israel Orellana G**

*A mi familia por su constante apoyo y profesor de la materia de graduación, por su constante ayuda y dedicación para la elaboración de este proyecto y sobre todo por la guía brindada en las diferentes etapas de desarrollo del mismo.*

**David Héctor Tello S.**

## **DEDICATORIA**

*A mi hijo*

*A mi madre*

*A mis hermanas*

**José Israel Orellana G.**

*Quiero dedicar este trabajo de titulación a todas las personas que hicieron esto posible.*

**David Héctor Tello S.**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

-----

MSc. Miguel Yapur Auad

**PROFESOR DE LA MATERIA DE GRADUACIÓN**

-----

MSc. Efrén Herrera Muentes

**PROFESOR DELEGADO POR EL DECANO**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este trabajo, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

-----  
José Israel Orellana García

-----  
David Héctor Tello Salazar

## **RESUMEN**

El proyecto que se ha desarrollado trata acerca de los esfuerzos físicos aplicados a un tipo de transductor muy utilizado: “las galgas extensométricas” y sus respectivas mediciones y aplicaciones.

Para la captura de mediciones de las galgas extensométricas, se involucra el sensado de cambios muy pequeños en su resistencia. Para esto se debe primero realizar el acondicionamiento de esta señal; las galgas están colocadas en una celda de carga y con el uso de un puente resistivo, además de un filtrado y un amplificador de la señal, se podrá visualizar el valor de la fuerza aplicada a la celda de carga en un despliegue visual.

En este trabajo práctico se verá su definición formal, el principio de funcionamiento y los parámetros más importantes que se deben conocer de estos sensores; además y como medida de prueba de este transductor, se realizará el prototipo de una balanza electrónica con visualización en una pantalla LCD, para la medición de gramos donde se utiliza para la adquisición de datos, el convertidor analógico digital de un PIC 16F877A.

El proyecto se lo realizó como medida de prueba de las galgas extensométricas, para que así, estudiantes del Laboratorio de Electrónica Médica comprendan mejor su funcionamiento. También el prototipo llenó todas las expectativas, ya que con él se apreciará una de sus funciones muy utilizadas, que es medir un peso por medio de la celda de carga. Además se verá sus aplicaciones en Medicina.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	1
1. GALGAS EXTENSOMÉTRICAS.....	1
1.1 Definición de Galga Extensométrica.....	2
1.1.1 Relación de Poisson.....	3
1.1.2 Principio de Funcionamiento.....	4
1.1.3 Factor de Galga.....	5
1.1.4 Efectos de la Temperatura.....	6
1.1.5 Clasificación.....	7
1.1.5.1 Galgas Metálicas.....	7
1.1.5.2 Galgas Semiconductoras.....	8
1.1.6 Características de las Galgas.....	9
1.1.7 Formas Constructivas de las Galgas.....	10
1.1.8 Circuito de Medida de las Galgas.....	11
1.1.8.1 Puente de Wheatstone.....	12
1.1.8.1.1 Diferentes Montajes de Puente.....	13
1.1.8.1.1.1 Puente de medida con una galga.....	14
1.1.8.1.1.2 Puente de medida con dos galgas.....	14
1.1.8.1.1.3 Puente de medida con cuatro galgas.....	15
1.1.9 Ajuste de Puente con Sensores.....	16
1.1.10 Celda de Carga.....	18

1.1.10.1	Tipos de Celda de Carga.....	19
1.1.10.2	Características de la Celda de Carga.....	20
1.1.11	Problemas de Ruido en las Galgas.....	22
1.1.11.1	Tipos de Ruido.....	22
1.1.11.1.1	Ruido Electrostático.....	23
1.1.11.1.2	Ruido Electromagnético.....	23
1.1.12	Técnicas de Reducción de Ruido.....	24
CAPÍTULO 2.....		26
2.	DESARROLLO DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL.....	26
2.1	Diseño del Circuito.....	27
2.1.1	Excitación.....	28
2.1.2	Filtrado.....	30
2.1.2.1	Filtro Pasa Bajo.....	31
2.1.2.2	Filtro Acondicionador de la Celda de Carga.....	31
2.1.2.3	Filtro Butterworth.....	34
2.1.3	Amplificación.....	37
2.1.3.1	Amplificador de Instrumentación.....	38
2.1.4	Relación de Rechazo al Modo Común.....	40
2.1.5	Anulación del offset.....	46
2.1.5.1	Compensación por Software.....	47
2.1.5.2	Ajuste a Cero en el Circuito Punteo.....	47
2.1.6	Microcontrolador PIC 16F877A.....	48
2.1.6.1	Puertos de Entrada y Salida.....	49
2.1.6.2	Módulos Analógicos.....	50
2.1.6.3	Selección del Reloj de Conversión.....	52
2.1.7	Pantalla LCD.....	52
2.1.7.1	Pines del Visualizador LCD.....	53
2.1.8	Esquemáticos del Circuito.....	55

CAPÍTULO 3.....	56
3. DISEÑO DEL SOFTWARE.....	56
3.1 Programa del Microcontrolador.....	56
3.1.1 Programa Principal.....	57
3.1.1.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal.....	59
3.1.1.2 Codificación del Programa Principal en C.....	60
3.1.2 Programación para el convertidor A/D.....	61
3.1.2.1 Filtrado Digital.....	62
3.1.2.1.1 Diagrama de Flujo de Filtrado Digital.....	63
3.1.2.1.2 Codificación de Muestreo y Filtrado en C.....	64
3.1.3 Programación para visualizar en el LCD.....	64
3.1.3.1 Codificación para visualizar el LCD.....	65
3.1.3.2 Programación para mostrar el voltaje.....	66
3.1.3.3 Programación para mostrar el peso.....	68
3.1.4 Programa completo.....	69
CAPÍTULO 4.....	74
4. APLICACIONES Y PRUEBAS REALIZADAS.....	74
4.1 Aplicaciones de las Galgas.....	74
4.1.1 Aplicaciones en Medicina.....	75
4.1.1.1 Aplicaciones en instrumentación médica.....	75
4.1.1.2 Aplicaciones en medición de potenciales bioeléctricos.....	76
4.1.1.2.1 Balistocardiógrafo.....	77
4.1.1.2.2 Plataforma de Fuerza.....	77
4.1.1.3 Aplicaciones en medición de flujo sanguíneo.....	78
4.1.1.3.1 Técnicas de medición de la presión sanguínea.....	78
4.1.1.4 Aplicaciones en sistemas de imágenes médicas.....	79
4.1.1.5 Aplicaciones en tratamiento de enfermedades y en investigaciones médicas.....	81
4.1.2 Otras aplicaciones.....	84

4.1.3 Prueba de funcionamiento de la celda de carga. ....	86
CONCLUSIONES: .....	92
RECOMENDACIONES: .....	95
ANEXOS .....	98
BIBLIOGRAFÍA .....	104
ANEXO 1: Tablas del Microcontrolador PIC 16F877A.....	A1
ANEXO 3: Diagrama Esquemático del Proyecto .....	A2
ANEXO 4: Simulación en ISIS Proteus.....	A3
ANEXO 2: Manual de Usuario .....	A4
ANEXO 5: Vista Frontal de la Tarjeta .....	A5
ANEXO 6: Foto del Proyecto .....	A6

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Definición de Galga Extensométrica.....	2
Figura 1.2 Galga Extensométrica Metálica. ....	4
Figura 1.3 (a) Uniaxial (b) Biaxial (c) Roseta. ....	11
Figura 1.4 Puente de Wheatstone. ....	12
Figura 1.5 Puente con una Galga. ....	14
Figura 1.6 Puente con Dos Galgas. ....	15
Figura 1.7 Puente con Cuatro Galgas.....	16
Figura 1.8 Ajuste Manual del Equilibrio a la Salida del Puente.....	17
Figura 1.9 Celda de Carga.....	18
Figura 1.10 Tipos de Celda de Carga. ....	19
Figura 1.11 Acoplamiento de Ruido Electrostático. ....	23
Figura 1.12 Acoplamiento de Ruido Electromagnético. ....	24
Figura 2.1 Diagramas de Bloques del Circuito.....	27
Figura 2.2 Alimentación del Puente Resistivo.....	29
Figura 2.3 Repuesta de Frecuencia de los Filtros Pasa Bajos .....	31
Figura 2.4. Circuito Pasa Bajos. ....	32
Figura 2.5 Filtro de Segundo Orden Tipo Butterworth. ....	35
Figura 2.6. Amplificador de Instrumentación. ....	38
Figura 2.7. Esquema Básico de Medición. ....	41
Figura 2.8 Modo de Rechazo Común vs Frecuencia. ....	44
Figura 2.9 Microcontrolador PIC 16F887A.....	48
Figura 2.10 Función de Transferencia del Conversor A/D .....	51
Figura 2.11 Pantalla LCD 2x16. ....	53
Figura 2.12 Diagrama del Amplificador de Instrumentación y el Filtro.....	55
Figura 2.13 Diagrama del PIC 16F877A y la Pantalla LCD .....	55
Figura 3.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal. ....	59
Figura 3.2 Diagrama de Flujo del Muestreo y Filtrado de la Señal .....	63
Figura 3.3 Mensaje de Inicio.....	65

Figura 3.4 Visualización del Voltaje .....	67
Figura 3.5 Visualización del Peso .....	68
Figura 4.1 Acelerómetro .....	85
Figura 4.2 Respuesta de las Celdas de Carga .....	89
Figura 4.3 Curvas de Funcionamiento Calculada .....	90
Figura 4.4 Curva Medida vs Curva Calculada.....	91

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 Factores de Galgas Comunes .....	6
Tabla 2.1 Descripción de los Pines del LCD.....	55
Tabla 4.1 Mediciones de Respuesta de la Celda de Carga .....	88

## **INTRODUCCIÓN**

Lord Kelvin en 1856 descubrió que al aplicar una fuerza mecánica sobre un conductor se presentaba una variación en su resistencia eléctrica.

La utilidad de este principio se manifiesta en la construcción de las galgas extensométricas. Estos dispositivos son transductores pasivos, que aplicados sobre un algún material fijo o elástico, permiten medir la fuerza ejercida sobre él a partir de la deformación resultante. Así, fuerzas de compresión o torsión, aplicadas sobre algún material, generan deformaciones que son transmitidas a la galga extensométrica, respondiendo ésta con una variación de su propia resistencia.

Las galgas se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones a nivel industrial, de investigación, ingeniería, instrumentación biomédica, en sistemas de pesaje automático y en todos los campos donde se requieran mediciones precisas de fuerza aplicada sobre alguna superficie.

En el capítulo 1 se detalla generalmente la definición de las galgas extensométricas, ecuaciones involucradas en su comportamiento, tipos de galgas, el puente acondicionador, la celda de carga y técnicas de reducción de ruido.

En el capítulo 2 se describe el acondicionamiento de la señal por la deformación de la galga, las diferentes etapas del circuito como el amplificador de instrumentación y el filtrado, además de los cálculos teóricos y prácticos presentes en el circuito.

En el capítulo 3 se detalla la implementación del software, así como el programa principal y las respectivas funciones que se diseñaron, cada cual con sus respectivos diagramas de flujo.

El capítulo 4 consta de las pruebas realizadas con en el proyecto y las diferentes aplicaciones de las galgas extensométricas.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

**“MEDICIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN  
BARRAS METÁLICAS UTILIZANDO GALGAS  
EXTENSOMÉTRICAS”**

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención de los títulos de:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones  
Ingeniero en Electricidad Especialización Electrónica

**JOSÉ ISRAEL ORELLANA GARCÍA**

**DAVID HÉCTOR TELLO SALAZAR**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2011

## **AGRADECIMIENTO**

*A mi madre, por su cariño y ser siempre mi soporte en este camino.*

*A mi esposa por siempre darme fuerzas y presionarme para terminar este trabajo.*

*Al Ing. Hugo Mora por su incondicional apoyo.*

*A mi director de tesis Ing. Miguel Yapur por sus sabios consejos.*

**José Israel Orellana G**

*A mi familia por su constante apoyo y profesor de la materia de graduación, por su constante ayuda y dedicación para la elaboración de este proyecto y sobre todo por la guía brindada en las diferentes etapas de desarrollo del mismo.*

**David Héctor Tello S.**

## **DEDICATORIA**

*A mi hijo*

*A mi madre*

*A mis hermanas*

**José Israel Orellana G.**

*Quiero dedicar este trabajo de titulación a todas las personas que hicieron esto posible.*

**David Héctor Tello S.**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

-----

MSc. Miguel Yapur Auad

**PROFESOR DE LA MATERIA DE GRADUACIÓN**

-----

MSc. Efrén Herrera Muentes

**PROFESOR DELEGADO POR EL DECANO**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este trabajo, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

-----  
José Israel Orellana García

-----  
David Héctor Tello Salazar

## **RESUMEN**

El proyecto que se ha desarrollado trata acerca de los esfuerzos físicos aplicados a un tipo de transductor muy utilizado: “las galgas extensométricas” y sus respectivas mediciones y aplicaciones.

Para la captura de mediciones de las galgas extensométricas, se involucra el sensado de cambios muy pequeños en su resistencia. Para esto se debe primero realizar el acondicionamiento de esta señal; las galgas están colocadas en una celda de carga y con el uso de un puente resistivo, además de un filtrado y un amplificador de la señal, se podrá visualizar el valor de la fuerza aplicada a la celda de carga en un despliegue visual.

En este trabajo práctico se verá su definición formal, el principio de funcionamiento y los parámetros más importantes que se deben conocer de estos sensores; además y como medida de prueba de este transductor, se realizará el prototipo de una balanza electrónica con visualización en una pantalla LCD, para la medición de gramos donde se utiliza para la adquisición de datos, el convertidor analógico digital de un PIC 16F877A.

El proyecto se lo realizó como medida de prueba de las galgas extensométricas, para que así, estudiantes del Laboratorio de Electrónica Médica comprendan mejor su funcionamiento. También el prototipo llenó todas las expectativas, ya que con él se apreciará una de sus funciones muy utilizadas, que es medir un peso por medio de la celda de carga. Además se verá sus aplicaciones en Medicina.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	1
1. GALGAS EXTENSOMÉTRICAS.....	1
1.1 Definición de Galga Extensométrica.....	2
1.1.1 Relación de Poisson.....	3
1.1.2 Principio de Funcionamiento.....	4
1.1.3 Factor de Galga.....	5
1.1.4 Efectos de la Temperatura.....	6
1.1.5 Clasificación.....	7
1.1.5.1 Galgas Metálicas.....	7
1.1.5.2 Galgas Semiconductoras.....	8
1.1.6 Características de las Galgas.....	9
1.1.7 Formas Constructivas de las Galgas.....	10
1.1.8 Circuito de Medida de las Galgas.....	11
1.1.8.1 Puente de Wheatstone.....	12
1.1.8.1.1 Diferentes Montajes de Puente.....	13
1.1.8.1.1.1 Puente de medida con una galga.....	14
1.1.8.1.1.2 Puente de medida con dos galgas.....	14
1.1.8.1.1.3 Puente de medida con cuatro galgas.....	15
1.1.9 Ajuste de Puente con Sensores.....	16
1.1.10 Celda de Carga.....	18

1.1.10.1	Tipos de Celda de Carga.....	19
1.1.10.2	Características de la Celda de Carga.....	20
1.1.11	Problemas de Ruido en las Galgas.....	22
1.1.11.1	Tipos de Ruido.....	22
1.1.11.1.1	Ruido Electrostático.....	23
1.1.11.1.2	Ruido Electromagnético.....	23
1.1.12	Técnicas de Reducción de Ruido.....	24
CAPÍTULO 2.....		26
2.	DESARROLLO DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL.....	26
2.1	Diseño del Circuito.....	27
2.1.1	Excitación.....	28
2.1.2	Filtrado.....	30
2.1.2.1	Filtro Pasa Bajo.....	31
2.1.2.2	Filtro Acondicionador de la Celda de Carga.....	31
2.1.2.3	Filtro Butterworth.....	34
2.1.3	Amplificación.....	37
2.1.3.1	Amplificador de Instrumentación.....	38
2.1.4	Relación de Rechazo al Modo Común.....	40
2.1.5	Anulación del offset.....	46
2.1.5.1	Compensación por Software.....	47
2.1.5.2	Ajuste a Cero en el Circuito Punteo.....	47
2.1.6	Microcontrolador PIC 16F877A.....	48
2.1.6.1	Puertos de Entrada y Salida.....	49
2.1.6.2	Módulos Analógicos.....	50
2.1.6.3	Selección del Reloj de Conversión.....	52
2.1.7	Pantalla LCD.....	52
2.1.7.1	Pines del Visualizador LCD.....	53
2.1.8	Esquemáticos del Circuito.....	55

CAPÍTULO 3.....	56
3. DISEÑO DEL SOFTWARE.....	56
3.1 Programa del Microcontrolador.....	56
3.1.1 Programa Principal.....	57
3.1.1.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal.....	59
3.1.1.2 Codificación del Programa Principal en C.....	60
3.1.2 Programación para el convertidor A/D.....	61
3.1.2.1 Filtrado Digital.....	62
3.1.2.1.1 Diagrama de Flujo de Filtrado Digital.....	63
3.1.2.1.2 Codificación de Muestreo y Filtrado en C.....	64
3.1.3 Programación para visualizar en el LCD.....	64
3.1.3.1 Codificación para visualizar el LCD.....	65
3.1.3.2 Programación para mostrar el voltaje.....	66
3.1.3.3 Programación para mostrar el peso.....	68
3.1.4 Programa completo.....	69
CAPÍTULO 4.....	74
4. APLICACIONES Y PRUEBAS REALIZADAS.....	74
4.1 Aplicaciones de las Galgas.....	74
4.1.1 Aplicaciones en Medicina.....	75
4.1.1.1 Aplicaciones en instrumentación médica.....	75
4.1.1.2 Aplicaciones en medición de potenciales bioeléctricos.....	76
4.1.1.2.1 Balistocardiógrafo.....	77
4.1.1.2.2 Plataforma de Fuerza.....	77
4.1.1.3 Aplicaciones en medición de flujo sanguíneo.....	78
4.1.1.3.1 Técnicas de medición de la presión sanguínea.....	78
4.1.1.4 Aplicaciones en sistemas de imágenes médicas.....	79
4.1.1.5 Aplicaciones en tratamiento de enfermedades y en investigaciones médicas.....	81
4.1.2 Otras aplicaciones.....	84

4.1.3 Prueba de funcionamiento de la celda de carga. ....	86
CONCLUSIONES: .....	92
RECOMENDACIONES: .....	95
ANEXOS .....	98
BIBLIOGRAFÍA .....	104
ANEXO 1: Tablas del Microcontrolador PIC 16F877A.....	A1
ANEXO 3: Diagrama Esquemático del Proyecto .....	A2
ANEXO 4: Simulación en ISIS Proteus.....	A3
ANEXO 2: Manual de Usuario .....	A4
ANEXO 5: Vista Frontal de la Tarjeta .....	A5
ANEXO 6: Foto del Proyecto .....	A6

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Definición de Galga Extensométrica.....	2
Figura 1.2 Galga Extensométrica Metálica. ....	4
Figura 1.3 (a) Uniaxial (b) Biaxial (c) Roseta. ....	11
Figura 1.4 Puente de Wheatstone. ....	12
Figura 1.5 Puente con una Galga. ....	14
Figura 1.6 Puente con Dos Galgas. ....	15
Figura 1.7 Puente con Cuatro Galgas.....	16
Figura 1.8 Ajuste Manual del Equilibrio a la Salida del Puente.....	17
Figura 1.9 Celda de Carga.....	18
Figura 1.10 Tipos de Celda de Carga. ....	19
Figura 1.11 Acoplamiento de Ruido Electrostático. ....	23
Figura 1.12 Acoplamiento de Ruido Electromagnético. ....	24
Figura 2.1 Diagramas de Bloques del Circuito.....	27
Figura 2.2 Alimentación del Puente Resistivo.....	29
Figura 2.3 Repuesta de Frecuencia de los Filtros Pasa Bajos .....	31
Figura 2.4. Circuito Pasa Bajos. ....	32
Figura 2.5 Filtro de Segundo Orden Tipo Butterworth. ....	35
Figura 2.6. Amplificador de Instrumentación. ....	38
Figura 2.7. Esquema Básico de Medición. ....	41
Figura 2.8 Modo de Rechazo Común vs Frecuencia. ....	44
Figura 2.9 Microcontrolador PIC 16F887A.....	48
Figura 2.10 Función de Transferencia del Conversor A/D .....	51
Figura 2.11 Pantalla LCD 2x16. ....	53
Figura 2.12 Diagrama del Amplificador de Instrumentación y el Filtro.....	55
Figura 2.13 Diagrama del PIC 16F877A y la Pantalla LCD .....	55
Figura 3.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal. ....	59
Figura 3.2 Diagrama de Flujo del Muestreo y Filtrado de la Señal .....	63
Figura 3.3 Mensaje de Inicio.....	65

Figura 3.4 Visualización del Voltaje .....	67
Figura 3.5 Visualización del Peso .....	68
Figura 4.1 Acelerómetro .....	85
Figura 4.2 Respuesta de las Celdas de Carga .....	89
Figura 4.3 Curvas de Funcionamiento Calculada .....	90
Figura 4.4 Curva Medida vs Curva Calculada.....	91

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 Factores de Galgas Comunes .....	6
Tabla 2.1 Descripción de los Pines del LCD.....	55
Tabla 4.1 Mediciones de Respuesta de la Celda de Carga .....	88

## **INTRODUCCIÓN**

Lord Kelvin en 1856 descubrió que al aplicar una fuerza mecánica sobre un conductor se presentaba una variación en su resistencia eléctrica.

La utilidad de este principio se manifiesta en la construcción de las galgas extensométricas. Estos dispositivos son transductores pasivos, que aplicados sobre un algún material fijo o elástico, permiten medir la fuerza ejercida sobre él a partir de la deformación resultante. Así, fuerzas de compresión o torsión, aplicadas sobre algún material, generan deformaciones que son transmitidas a la galga extensométrica, respondiendo ésta con una variación de su propia resistencia.

Las galgas se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones a nivel industrial, de investigación, ingeniería, instrumentación biomédica, en sistemas de pesaje automático y en todos los campos donde se requieran mediciones precisas de fuerza aplicada sobre alguna superficie.

En el capítulo 1 se detalla generalmente la definición de las galgas extensométricas, ecuaciones involucradas en su comportamiento, tipos de galgas, el puente acondicionador, la celda de carga y técnicas de reducción de ruido.

En el capítulo 2 se describe el acondicionamiento de la señal por la deformación de la galga, las diferentes etapas del circuito como el amplificador de instrumentación y el filtrado, además de los cálculos teóricos y prácticos presentes en el circuito.

En el capítulo 3 se detalla la implementación del software, así como el programa principal y las respectivas funciones que se diseñaron, cada cual con sus respectivos diagramas de flujo.

El capítulo 4 consta de las pruebas realizadas con en el proyecto y las diferentes aplicaciones de las galgas extensométricas.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

**“MEDICIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN  
BARRAS METÁLICAS UTILIZANDO GALGAS  
EXTENSOMÉTRICAS”**

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención de los títulos de:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones  
Ingeniero en Electricidad Especialización Electrónica

**JOSÉ ISRAEL ORELLANA GARCÍA**

**DAVID HÉCTOR TELLO SALAZAR**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2011

## **AGRADECIMIENTO**

*A mi madre, por su cariño y ser siempre mi soporte en este camino.*

*A mi esposa por siempre darme fuerzas y presionarme para terminar este trabajo.*

*Al Ing. Hugo Mora por su incondicional apoyo.*

*A mi director de tesis Ing. Miguel Yapur por sus sabios consejos.*

**José Israel Orellana G**

*A mi familia por su constante apoyo y profesor de la materia de graduación, por su constante ayuda y dedicación para la elaboración de este proyecto y sobre todo por la guía brindada en las diferentes etapas de desarrollo del mismo.*

**David Héctor Tello S.**

## DEDICATORIA

*A mi hijo*

*A mi madre*

*A mis hermanas*

**José Israel Orellana G.**

*Quiero dedicar este trabajo de titulación a todas las personas que hicieron esto posible.*

**David Héctor Tello S.**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

-----

MSc. Miguel Yapur Auad

**PROFESOR DE LA MATERIA DE GRADUACIÓN**

-----

MSc. Efrén Herrera Muentes

**PROFESOR DELEGADO POR EL DECANO**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este trabajo, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

-----  
José Israel Orellana García

-----  
David Héctor Tello Salazar

## **RESUMEN**

El proyecto que se ha desarrollado trata acerca de los esfuerzos físicos aplicados a un tipo de transductor muy utilizado: “las galgas extensométricas” y sus respectivas mediciones y aplicaciones.

Para la captura de mediciones de las galgas extensométricas, se involucra el sensado de cambios muy pequeños en su resistencia. Para esto se debe primero realizar el acondicionamiento de esta señal; las galgas están colocadas en una celda de carga y con el uso de un puente resistivo, además de un filtrado y un amplificador de la señal, se podrá visualizar el valor de la fuerza aplicada a la celda de carga en un despliegue visual.

En este trabajo práctico se verá su definición formal, el principio de funcionamiento y los parámetros más importantes que se deben conocer de estos sensores; además y como medida de prueba de este transductor, se realizará el prototipo de una balanza electrónica con visualización en una pantalla LCD, para la medición de gramos donde se utiliza para la adquisición de datos, el convertidor analógico digital de un PIC 16F877A.

El proyecto se lo realizó como medida de prueba de las galgas extensométricas, para que así, estudiantes del Laboratorio de Electrónica Médica comprendan mejor su funcionamiento. También el prototipo llenó todas las expectativas, ya que con él se apreciará una de sus funciones muy utilizadas, que es medir un peso por medio de la celda de carga. Además se verá sus aplicaciones en Medicina.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	1
1. GALGAS EXTENSOMÉTRICAS.....	1
1.1 Definición de Galga Extensométrica.....	2
1.1.1 Relación de Poisson.....	3
1.1.2 Principio de Funcionamiento.....	4
1.1.3 Factor de Galga.....	5
1.1.4 Efectos de la Temperatura.....	6
1.1.5 Clasificación.....	7
1.1.5.1 Galgas Metálicas.....	7
1.1.5.2 Galgas Semiconductoras.....	8
1.1.6 Características de las Galgas.....	9
1.1.7 Formas Constructivas de las Galgas.....	10
1.1.8 Circuito de Medida de las Galgas.....	11
1.1.8.1 Puente de Wheatstone.....	12
1.1.8.1.1 Diferentes Montajes de Puente.....	13
1.1.8.1.1.1 Puente de medida con una galga.....	14
1.1.8.1.1.2 Puente de medida con dos galgas.....	14
1.1.8.1.1.3 Puente de medida con cuatro galgas.....	15
1.1.9 Ajuste de Puente con Sensores.....	16
1.1.10 Celda de Carga.....	18

1.1.10.1	Tipos de Celda de Carga.....	19
1.1.10.2	Características de la Celda de Carga.....	20
1.1.11	Problemas de Ruido en las Galgas.....	22
1.1.11.1	Tipos de Ruido.....	22
1.1.11.1.1	Ruido Electrostático.....	23
1.1.11.1.2	Ruido Electromagnético.....	23
1.1.12	Técnicas de Reducción de Ruido.....	24
CAPÍTULO 2.....		26
2.	DESARROLLO DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL.....	26
2.1	Diseño del Circuito.....	27
2.1.1	Excitación.....	28
2.1.2	Filtrado.....	30
2.1.2.1	Filtro Pasa Bajo.....	31
2.1.2.2	Filtro Acondicionador de la Celda de Carga.....	31
2.1.2.3	Filtro Butterworth.....	34
2.1.3	Amplificación.....	37
2.1.3.1	Amplificador de Instrumentación.....	38
2.1.4	Relación de Rechazo al Modo Común.....	40
2.1.5	Anulación del offset.....	46
2.1.5.1	Compensación por Software.....	47
2.1.5.2	Ajuste a Cero en el Circuito Punteo.....	47
2.1.6	Microcontrolador PIC 16F877A.....	48
2.1.6.1	Puertos de Entrada y Salida.....	49
2.1.6.2	Módulos Analógicos.....	50
2.1.6.3	Selección del Reloj de Conversión.....	52
2.1.7	Pantalla LCD.....	52
2.1.7.1	Pines del Visualizador LCD.....	53
2.1.8	Esquemáticos del Circuito.....	55

CAPÍTULO 3.....	56
3. DISEÑO DEL SOFTWARE.....	56
3.1 Programa del Microcontrolador.....	56
3.1.1 Programa Principal.....	57
3.1.1.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal.....	59
3.1.1.2 Codificación del Programa Principal en C.....	60
3.1.2 Programación para el convertidor A/D.....	61
3.1.2.1 Filtrado Digital.....	62
3.1.2.1.1 Diagrama de Flujo de Filtrado Digital.....	63
3.1.2.1.2 Codificación de Muestreo y Filtrado en C.....	64
3.1.3 Programación para visualizar en el LCD.....	64
3.1.3.1 Codificación para visualizar el LCD.....	65
3.1.3.2 Programación para mostrar el voltaje.....	66
3.1.3.3 Programación para mostrar el peso.....	68
3.1.4 Programa completo.....	69
CAPÍTULO 4.....	74
4. APLICACIONES Y PRUEBAS REALIZADAS.....	74
4.1 Aplicaciones de las Galgas.....	74
4.1.1 Aplicaciones en Medicina.....	75
4.1.1.1 Aplicaciones en instrumentación médica.....	75
4.1.1.2 Aplicaciones en medición de potenciales bioeléctricos.....	76
4.1.1.2.1 Balistocardiógrafo.....	77
4.1.1.2.2 Plataforma de Fuerza.....	77
4.1.1.3 Aplicaciones en medición de flujo sanguíneo.....	78
4.1.1.3.1 Técnicas de medición de la presión sanguínea.....	78
4.1.1.4 Aplicaciones en sistemas de imágenes médicas.....	79
4.1.1.5 Aplicaciones en tratamiento de enfermedades y en investigaciones médicas.....	81
4.1.2 Otras aplicaciones.....	84

4.1.3 Prueba de funcionamiento de la celda de carga. ....	86
CONCLUSIONES: .....	92
RECOMENDACIONES: .....	95
ANEXOS .....	98
BIBLIOGRAFÍA .....	104
ANEXO 1: Tablas del Microcontrolador PIC 16F877A.....	A1
ANEXO 3: Diagrama Esquemático del Proyecto .....	A2
ANEXO 4: Simulación en ISIS Proteus.....	A3
ANEXO 2: Manual de Usuario .....	A4
ANEXO 5: Vista Frontal de la Tarjeta .....	A5
ANEXO 6: Foto del Proyecto .....	A6

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Definición de Galga Extensométrica.....	2
Figura 1.2 Galga Extensométrica Metálica. ....	4
Figura 1.3 (a) Uniaxial (b) Biaxial (c) Roseta. ....	11
Figura 1.4 Puente de Wheatstone. ....	12
Figura 1.5 Puente con una Galga. ....	14
Figura 1.6 Puente con Dos Galgas. ....	15
Figura 1.7 Puente con Cuatro Galgas.....	16
Figura 1.8 Ajuste Manual del Equilibrio a la Salida del Puente.....	17
Figura 1.9 Celda de Carga.....	18
Figura 1.10 Tipos de Celda de Carga. ....	19
Figura 1.11 Acoplamiento de Ruido Electrostático. ....	23
Figura 1.12 Acoplamiento de Ruido Electromagnético. ....	24
Figura 2.1 Diagramas de Bloques del Circuito.....	27
Figura 2.2 Alimentación del Puente Resistivo.....	29
Figura 2.3 Repuesta de Frecuencia de los Filtros Pasa Bajos .....	31
Figura 2.4. Circuito Pasa Bajos. ....	32
Figura 2.5 Filtro de Segundo Orden Tipo Butterworth. ....	35
Figura 2.6. Amplificador de Instrumentación. ....	38
Figura 2.7. Esquema Básico de Medición. ....	41
Figura 2.8 Modo de Rechazo Común vs Frecuencia. ....	44
Figura 2.9 Microcontrolador PIC 16F887A.....	48
Figura 2.10 Función de Transferencia del Conversor A/D .....	51
Figura 2.11 Pantalla LCD 2x16. ....	53
Figura 2.12 Diagrama del Amplificador de Instrumentación y el Filtro.....	55
Figura 2.13 Diagrama del PIC 16F877A y la Pantalla LCD .....	55
Figura 3.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal. ....	59
Figura 3.2 Diagrama de Flujo del Muestreo y Filtrado de la Señal .....	63
Figura 3.3 Mensaje de Inicio.....	65

Figura 3.4 Visualización del Voltaje .....	67
Figura 3.5 Visualización del Peso .....	68
Figura 4.1 Acelerómetro .....	85
Figura 4.2 Respuesta de las Celdas de Carga .....	89
Figura 4.3 Curvas de Funcionamiento Calculada .....	90
Figura 4.4 Curva Medida vs Curva Calculada.....	91

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 Factores de Galgas Comunes .....	6
Tabla 2.1 Descripción de los Pines del LCD.....	55
Tabla 4.1 Mediciones de Respuesta de la Celda de Carga .....	88

## **INTRODUCCIÓN**

Lord Kelvin en 1856 descubrió que al aplicar una fuerza mecánica sobre un conductor se presentaba una variación en su resistencia eléctrica.

La utilidad de este principio se manifiesta en la construcción de las galgas extensométricas. Estos dispositivos son transductores pasivos, que aplicados sobre un algún material fijo o elástico, permiten medir la fuerza ejercida sobre él a partir de la deformación resultante. Así, fuerzas de compresión o torsión, aplicadas sobre algún material, generan deformaciones que son transmitidas a la galga extensométrica, respondiendo ésta con una variación de su propia resistencia.

Las galgas se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones a nivel industrial, de investigación, ingeniería, instrumentación biomédica, en sistemas de pesaje automático y en todos los campos donde se requieran mediciones precisas de fuerza aplicada sobre alguna superficie.

En el capítulo 1 se detalla generalmente la definición de las galgas extensométricas, ecuaciones involucradas en su comportamiento, tipos de galgas, el puente acondicionador, la celda de carga y técnicas de reducción de ruido.

En el capítulo 2 se describe el acondicionamiento de la señal por la deformación de la galga, las diferentes etapas del circuito como el amplificador de instrumentación y el filtrado, además de los cálculos teóricos y prácticos presentes en el circuito.

En el capítulo 3 se detalla la implementación del software, así como el programa principal y las respectivas funciones que se diseñaron, cada cual con sus respectivos diagramas de flujo.

El capítulo 4 consta de las pruebas realizadas con en el proyecto y las diferentes aplicaciones de las galgas extensométricas.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

**“MEDICIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN  
BARRAS METÁLICAS UTILIZANDO GALGAS  
EXTENSOMÉTRICAS”**

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención de los títulos de:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones  
Ingeniero en Electricidad Especialización Electrónica

**JOSÉ ISRAEL ORELLANA GARCÍA**

**DAVID HÉCTOR TELLO SALAZAR**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2011

## **AGRADECIMIENTO**

*A mi madre, por su cariño y ser siempre mi soporte en este camino.*

*A mi esposa por siempre darme fuerzas y presionarme para terminar este trabajo.*

*Al Ing. Hugo Mora por su incondicional apoyo.*

*A mi director de tesis Ing. Miguel Yapur por sus sabios consejos.*

**José Israel Orellana G**

*A mi familia por su constante apoyo y profesor de la materia de graduación, por su constante ayuda y dedicación para la elaboración de este proyecto y sobre todo por la guía brindada en las diferentes etapas de desarrollo del mismo.*

**David Héctor Tello S.**

## **DEDICATORIA**

*A mi hijo*

*A mi madre*

*A mis hermanas*

**José Israel Orellana G.**

*Quiero dedicar este trabajo de titulación a todas las personas que hicieron esto posible.*

**David Héctor Tello S.**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

-----

MSc. Miguel Yapur Auad

**PROFESOR DE LA MATERIA DE GRADUACIÓN**

-----

MSc. Efrén Herrera Muentes

**PROFESOR DELEGADO POR EL DECANO**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este trabajo, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

-----  
José Israel Orellana García

-----  
David Héctor Tello Salazar

## **RESUMEN**

El proyecto que se ha desarrollado trata acerca de los esfuerzos físicos aplicados a un tipo de transductor muy utilizado: “las galgas extensométricas” y sus respectivas mediciones y aplicaciones.

Para la captura de mediciones de las galgas extensométricas, se involucra el sensado de cambios muy pequeños en su resistencia. Para esto se debe primero realizar el acondicionamiento de esta señal; las galgas están colocadas en una celda de carga y con el uso de un puente resistivo, además de un filtrado y un amplificador de la señal, se podrá visualizar el valor de la fuerza aplicada a la celda de carga en un despliegue visual.

En este trabajo práctico se verá su definición formal, el principio de funcionamiento y los parámetros más importantes que se deben conocer de estos sensores; además y como medida de prueba de este transductor, se realizará el prototipo de una balanza electrónica con visualización en una pantalla LCD, para la medición de gramos donde se utiliza para la adquisición de datos, el convertidor analógico digital de un PIC 16F877A.

El proyecto se lo realizó como medida de prueba de las galgas extensométricas, para que así, estudiantes del Laboratorio de Electrónica Médica comprendan mejor su funcionamiento. También el prototipo llenó todas las expectativas, ya que con él se apreciará una de sus funciones muy utilizadas, que es medir un peso por medio de la celda de carga. Además se verá sus aplicaciones en Medicina.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	1
1. GALGAS EXTENSOMÉTRICAS.....	1
1.1 Definición de Galga Extensométrica.....	2
1.1.1 Relación de Poisson.....	3
1.1.2 Principio de Funcionamiento.....	4
1.1.3 Factor de Galga.....	5
1.1.4 Efectos de la Temperatura.....	6
1.1.5 Clasificación.....	7
1.1.5.1 Galgas Metálicas.....	7
1.1.5.2 Galgas Semiconductoras.....	8
1.1.6 Características de las Galgas.....	9
1.1.7 Formas Constructivas de las Galgas.....	10
1.1.8 Circuito de Medida de las Galgas.....	11
1.1.8.1 Puente de Wheatstone.....	12
1.1.8.1.1 Diferentes Montajes de Puente.....	13
1.1.8.1.1.1 Puente de medida con una galga.....	14
1.1.8.1.1.2 Puente de medida con dos galgas.....	14
1.1.8.1.1.3 Puente de medida con cuatro galgas.....	15
1.1.9 Ajuste de Puente con Sensores.....	16
1.1.10 Celda de Carga.....	18

1.1.10.1	Tipos de Celda de Carga.....	19
1.1.10.2	Características de la Celda de Carga.....	20
1.1.11	Problemas de Ruido en las Galgas.....	22
1.1.11.1	Tipos de Ruido.....	22
1.1.11.1.1	Ruido Electrostático.....	23
1.1.11.1.2	Ruido Electromagnético.....	23
1.1.12	Técnicas de Reducción de Ruido.....	24
CAPÍTULO 2.....		26
2.	DESARROLLO DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL.....	26
2.1	Diseño del Circuito.....	27
2.1.1	Excitación.....	28
2.1.2	Filtrado.....	30
2.1.2.1	Filtro Pasa Bajo.....	31
2.1.2.2	Filtro Acondicionador de la Celda de Carga.....	31
2.1.2.3	Filtro Butterworth.....	34
2.1.3	Amplificación.....	37
2.1.3.1	Amplificador de Instrumentación.....	38
2.1.4	Relación de Rechazo al Modo Común.....	40
2.1.5	Anulación del offset.....	46
2.1.5.1	Compensación por Software.....	47
2.1.5.2	Ajuste a Cero en el Circuito Punteo.....	47
2.1.6	Microcontrolador PIC 16F877A.....	48
2.1.6.1	Puertos de Entrada y Salida.....	49
2.1.6.2	Módulos Analógicos.....	50
2.1.6.3	Selección del Reloj de Conversión.....	52
2.1.7	Pantalla LCD.....	52
2.1.7.1	Pines del Visualizador LCD.....	53
2.1.8	Esquemáticos del Circuito.....	55

CAPÍTULO 3.....	56
3. DISEÑO DEL SOFTWARE.....	56
3.1 Programa del Microcontrolador.....	56
3.1.1 Programa Principal.....	57
3.1.1.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal.....	59
3.1.1.2 Codificación del Programa Principal en C.....	60
3.1.2 Programación para el convertidor A/D.....	61
3.1.2.1 Filtrado Digital.....	62
3.1.2.1.1 Diagrama de Flujo de Filtrado Digital.....	63
3.1.2.1.2 Codificación de Muestreo y Filtrado en C.....	64
3.1.3 Programación para visualizar en el LCD.....	64
3.1.3.1 Codificación para visualizar el LCD.....	65
3.1.3.2 Programación para mostrar el voltaje.....	66
3.1.3.3 Programación para mostrar el peso.....	68
3.1.4 Programa completo.....	69
CAPÍTULO 4.....	74
4. APLICACIONES Y PRUEBAS REALIZADAS.....	74
4.1 Aplicaciones de las Galgas.....	74
4.1.1 Aplicaciones en Medicina.....	75
4.1.1.1 Aplicaciones en instrumentación médica.....	75
4.1.1.2 Aplicaciones en medición de potenciales bioeléctricos.....	76
4.1.1.2.1 Balistocardiógrafo.....	77
4.1.1.2.2 Plataforma de Fuerza.....	77
4.1.1.3 Aplicaciones en medición de flujo sanguíneo.....	78
4.1.1.3.1 Técnicas de medición de la presión sanguínea.....	78
4.1.1.4 Aplicaciones en sistemas de imágenes médicas.....	79
4.1.1.5 Aplicaciones en tratamiento de enfermedades y en investigaciones médicas.....	81
4.1.2 Otras aplicaciones.....	84

4.1.3 Prueba de funcionamiento de la celda de carga. ....	86
CONCLUSIONES: .....	92
RECOMENDACIONES: .....	95
ANEXOS .....	98
BIBLIOGRAFÍA .....	104
ANEXO 1: Tablas del Microcontrolador PIC 16F877A.....	A1
ANEXO 3: Diagrama Esquemático del Proyecto .....	A2
ANEXO 4: Simulación en ISIS Proteus.....	A3
ANEXO 2: Manual de Usuario .....	A4
ANEXO 5: Vista Frontal de la Tarjeta .....	A5
ANEXO 6: Foto del Proyecto .....	A6

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Definición de Galga Extensométrica.....	2
Figura 1.2 Galga Extensométrica Metálica. ....	4
Figura 1.3 (a) Uniaxial (b) Biaxial (c) Roseta. ....	11
Figura 1.4 Puente de Wheatstone. ....	12
Figura 1.5 Puente con una Galga. ....	14
Figura 1.6 Puente con Dos Galgas. ....	15
Figura 1.7 Puente con Cuatro Galgas.....	16
Figura 1.8 Ajuste Manual del Equilibrio a la Salida del Puente.....	17
Figura 1.9 Celda de Carga.....	18
Figura 1.10 Tipos de Celda de Carga. ....	19
Figura 1.11 Acoplamiento de Ruido Electrostático. ....	23
Figura 1.12 Acoplamiento de Ruido Electromagnético. ....	24
Figura 2.1 Diagramas de Bloques del Circuito.....	27
Figura 2.2 Alimentación del Puente Resistivo.....	29
Figura 2.3 Repuesta de Frecuencia de los Filtros Pasa Bajos .....	31
Figura 2.4. Circuito Pasa Bajos. ....	32
Figura 2.5 Filtro de Segundo Orden Tipo Butterworth. ....	35
Figura 2.6. Amplificador de Instrumentación. ....	38
Figura 2.7. Esquema Básico de Medición. ....	41
Figura 2.8 Modo de Rechazo Común vs Frecuencia. ....	44
Figura 2.9 Microcontrolador PIC 16F887A.....	48
Figura 2.10 Función de Transferencia del Conversor A/D .....	51
Figura 2.11 Pantalla LCD 2x16. ....	53
Figura 2.12 Diagrama del Amplificador de Instrumentación y el Filtro.....	55
Figura 2.13 Diagrama del PIC 16F877A y la Pantalla LCD .....	55
Figura 3.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal. ....	59
Figura 3.2 Diagrama de Flujo del Muestreo y Filtrado de la Señal .....	63
Figura 3.3 Mensaje de Inicio.....	65

Figura 3.4 Visualización del Voltaje .....	67
Figura 3.5 Visualización del Peso .....	68
Figura 4.1 Acelerómetro .....	85
Figura 4.2 Respuesta de las Celdas de Carga .....	89
Figura 4.3 Curvas de Funcionamiento Calculada .....	90
Figura 4.4 Curva Medida vs Curva Calculada.....	91

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 Factores de Galgas Comunes .....	6
Tabla 2.1 Descripción de los Pines del LCD.....	55
Tabla 4.1 Mediciones de Respuesta de la Celda de Carga .....	88

## **INTRODUCCIÓN**

Lord Kelvin en 1856 descubrió que al aplicar una fuerza mecánica sobre un conductor se presentaba una variación en su resistencia eléctrica.

La utilidad de este principio se manifiesta en la construcción de las galgas extensométricas. Estos dispositivos son transductores pasivos, que aplicados sobre un algún material fijo o elástico, permiten medir la fuerza ejercida sobre él a partir de la deformación resultante. Así, fuerzas de compresión o torsión, aplicadas sobre algún material, generan deformaciones que son transmitidas a la galga extensométrica, respondiendo ésta con una variación de su propia resistencia.

Las galgas se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones a nivel industrial, de investigación, ingeniería, instrumentación biomédica, en sistemas de pesaje automático y en todos los campos donde se requieran mediciones precisas de fuerza aplicada sobre alguna superficie.

En el capítulo 1 se detalla generalmente la definición de las galgas extensométricas, ecuaciones involucradas en su comportamiento, tipos de galgas, el puente acondicionador, la celda de carga y técnicas de reducción de ruido.

En el capítulo 2 se describe el acondicionamiento de la señal por la deformación de la galga, las diferentes etapas del circuito como el amplificador de instrumentación y el filtrado, además de los cálculos teóricos y prácticos presentes en el circuito.

En el capítulo 3 se detalla la implementación del software, así como el programa principal y las respectivas funciones que se diseñaron, cada cual con sus respectivos diagramas de flujo.

El capítulo 4 consta de las pruebas realizadas con en el proyecto y las diferentes aplicaciones de las galgas extensométricas.