



**Universidad Autónoma de
Querétaro
Facultad de Ingeniería**



Desarrollo de un módulo de adquisición de datos para
medición de fuerza tangencial de corte, en procesos de
torneado

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el título de:
Ingeniero Electromecánico

Presenta

Miguel Ángel Mendoza Cortes



Director

M. en C. Alejandra Rodríguez Gonzales

San Juan del Río, Qro., 30 Marzo de 2015.

RESUMEN

El presente trabajo, describe el diseño, instrumentación e implementación de un módulo que permita el monitoreo y la medición de las fuerza de corte que se generan durante una operación de cilindrado, de torneado, mediante el uso de galgas extensiométricas (strain-gauge).

En esta investigación se describe cómo a través de la instrumentación de galgas extensiométricas en herramientas de corte de torno, se logra determinar las fuerza generadas en la herramienta, al momento de realizar una operación de maquinado. Por tal motivo se pretende desarrollar un sistema el cual nos permita adquirir, acondicionar y almacenar los datos obtenidos durante cada maquinado. Esto se lleva a cabo a través de pruebas de laboratorio, para las cuales se realizaran diversos maquinados.

Al realizar cada prueba se obtendrá la gráfica de fuerza, la cual mostrará el comportamiento de la herramienta de corte, así como determinar las ventajas y desventajas al utilizar galgas extensiométricas.

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Deseo expresar de todo corazón mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que me brindaron sus conocimientos, su ayuda incondicional su amistad y por sobre todo su apoyo durante la realización de esta investigación. A cada uno de ellos: Gracias ☺.

A la institución

Mi sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma de Querétaro y a la Facultad de Ingeniería, y en ella a los distinguidos docentes quienes con su profesionalismo y ética puesto de manifiesto en las aulas, brindando a cada uno de los que acudimos sus conocimientos, mismos que nos harán personas útiles al desarrollo de una mejor sociedad.

A mi asesor de tesis

A la maestra en ciencias Alejandra Rodríguez Gonzales, quien con su experiencia y conocimientos ha sido la guía idónea durante el proceso de realización de esta tesis, me ha brindado el tiempo necesario y la información para que este anhelo llegue a ser felizmente culminado.

A MI FAMILIA:

Dedico el éxito y la satisfacción de esta investigación, a mis padres y hermanos quienes siempre han estado conmigo. Por su gran calidad humana, apoyo incondicional, amor, alegría y ánimo contagioso, que no me dejaron desfallecer para así poder llevar acabo la culminación de este proyecto.

A Todos de nuevo, gracias...

Miguel Angel Mendoza Cortés

ÍNDICE

	Página
1 Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación de la tesis.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Planteamiento general.....	5
2 Fundamentación teórica.....	7
2.1 Estado del arte.....	8
2.2 Microcontroladores PIC´s.....	10
2.3 Proceso de maquinado por arranque de viruta (Torneado).....	12
2.3.1 Relaciones de velocidad.....	13
2.3.2 Fuerzas de corte:.....	14
2.3.3 Corte ortogonal:.....	14
2.3.4 Potencia y energía.....	18
2.3.5 Características de las herramientas de corte.....	19
2.4 Características de las galgas extensiométricas.....	26
2.4.1 Construcción de una galga extensiométricas.....	27
2.4.2 Parámetros de selección de la galga extensiométricas.....	28
2.4.2.1 Sensibilidad a la tensión de la rejilla.....	29
2.4.2.2 Longitud de la galga.....	29
2.4.2.3 Modelo de la galga.....	30
2.4.2.4 Resistencia de la galga.....	31
2.5 Funcionamiento del puente de Wheatstone.....	32
2.5.1 Análisis del puente de Wheatstone.....	33
2.5.2 Diferentes configuraciones.....	34
2.5.2.1 Viga de flexión- cuarto puente.....	35
2.5.2.2 Viga de flexión_ puente medio_ poisson.....	36
2.5.2.3 Viga en flexión medio puente.....	37
2.5.2.4 Viga en flexión puente entero.....	39
2.5.2.5 Columna axial dos galgas en brazos opuestos.....	40
2.5.2.6 Columna axial puente lleno poisson.....	41
2.5.3 Excitación del puente de Wheatstone.....	42

2.6	Acondicionamiento de señal.....	43
2.6.1	Amplificador de instrumentación.....	43
2.6.1.1	Amplificador de instrumentación AD620.....	44
2.6.2	Filtros.....	47
3	Metodología.....	50
3.1	Instrumentación de la herramienta.....	52
3.1.1	Pegado de la galga extensiométrica.....	52
3.1.2	Diseño análisis y fabricación de portaherramientas.....	54
3.1.2.1	Cálculo de la fuerza de corte.....	55
3.2	Diseño e implementación de la tarjeta para la adquisición de datos.....	58
3.3	Interfaz gráfica.....	59
3.4	Implementación y pruebas preliminares.....	62
3.4.1.1	Primera prueba estática.....	62
3.4.2	Puesta en ceros del puente de Wheatstone.....	66
3.4.3	Prueba de acondicionamiento de señal.....	68
3.4.4	Programación del PIC.....	71
4	Resultados y análisis de resultados.....	73
4.1	Matriz de experimentos.....	73
4.2	Adquisición de datos fuerza.....	75
5	Conclusiones.....	82
5.1	Trabajo futuro.....	84
6	Anexos.....	87
	Anexo 1 Código fuente PIC.....	87
	Anexo 2 Hojas de datos.....	89
	Anexo 3 Código fuente interfaz gráfica.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 2.1 Pines del micro-controlador Pic16F877A.....	11
Figura 2.2 Sección transversal del proceso de arranque en una herramienta elemental (Kalpakjian, 2002).....	13
Figura 2.3 Diagrama de velocidad en la zona de corte.....	14
Figura 2.4 Modelo de corte ortogonal (Kalpakjian, 2002)	15
Figura 2.5 Diagrama de cuerpo libre de la viruta.....	16
Figura 2.6 Fuerza de corte en el modelo ortogonal.....	16
Figura 2.7 Relación entre las fuerzas de corte.	17
Figura 2.8 Fuerzas de cilindrado.	18
Figura 2.9 Nomenclatura de ángulos de corte. (Kalpakjian, 2002).....	21
Figura 2.10 Partes que componen la galga.	28
Figura 2.11 Longitud de la galga.....	30
Figura 2.12 Diagrama básico de un circuito puente de Wheatstone.	32
Figura 2.13 Representación del puente de Wheatstone “Voltaje de salida”	33
Figura 2.14 Configuración en viga de flexión- cuarto puente.....	35
Figura 2.15 Diagrama de cuarto puente.....	35
Figura 2.16 Configuración en viga de flexión_ puente medio_ poisson.....	36
Figura 2.17 Diagrama de medio Poisson.	37
Figura 2.18 Configuración en viga en flexión medio puente.....	38
Figura 2.19 Diagrama de medio puente.	38
Figura 2.20 Configuración de viga en flexión puente entero.	39
Figura 2.21 Diagrama de puente entero.....	39
Figura 2.22 Configuración de Columna axial dos galgas en brazos opuestos.....	40
Figura 2.23 Diagrama en brazos opuestos.	40
Figura 2.24 Configuración de Columna axial lleno poisson.....	41
Figura 2.25 Diagrama de puente lleno-Poisson.....	41
Figura 2.26 Amplificador de instrumentación.....	44
Figura 2.27 Diagrama del amplificador de instrumentación. (Datasheet AD620, 2012)	46

Figura 2.28 Filtro pasivo pasa bajas	48
Figura 2.29 Filtro activo pasa bajas (Bolton, 2001)	48
Figura 3.1 Instrumentación general.....	51
Figura 3.2 Galga colocada en la superficie de la herramienta.....	54
Figura 3.3 Diseño del portaherramientas.	55
Figura 3.4 Ventana de interfaz gráfica.....	59
Figura 3.5 Sistema sometido a carga.	63
Figura 3.6 Relación peso vs volts.....	64
Figura 3.7 Comprobación de la ecuación y el muestreo.....	65
Figura 3.8 Prueba fuerza de avance.....	66
Figura 3.9 Balanceo de puente de Wheatstone.....	67
Figura 3.10 Prueba experimental con puente de Wheatstone.....	68
Figura 3.11 Esquema para el acondicionamiento de señal.....	69
Figura 3.12 Prueba de amplificación.....	70
Figura 3.13 Barra empleada para pruebas preliminares.....	70
Figura 3.14 Barra deformada con dos pesas.....	71
Figura 3.15 Voltaje obtenido después de deformar la barra.....	71
Figura 4.1 Datos de prueba acero.....	75
Figura 4.2 Prueba de maquinado No. 1 Fuerza en función del tiempo.....	76
Figura 4.3 Prueba de maquinado No. 2 Fuerza en función del tiempo.....	76
Figura 4.4 Prueba de maquinado No. 3 Fuerza en función del tiempo.....	77
Figura 4.5 Prueba de maquinado No. 4 Fuerza en función del tiempo.....	77
Figura 4.6 Prueba de maquinado No. 5 Fuerza en función del tiempo.....	78
Figura 4.7 Prueba de maquinado No. 6 Fuerza en función del tiempo.....	78
Figura 4.8 Comparativa de fuerza tangencia en función del tiempo.....	81

Capítulo 1

1 Introducción.

Exigencias de calidad, reducción de costos y rápida respuesta a los actuales mercados requieren de máquinas herramientas con mayor y mejores prestaciones para cumplir estas exigencias se hace cada vez más necesario el uso de la automatización, existiendo dentro de esta última el uso de las máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC). Esta tecnología se aplica en la industria para la fabricación de piezas, partes y conjuntos para distintas áreas de producción.

Los procesos de maquinado son extensivamente utilizados en la industria manufacturera, por lo que un mayor conocimiento y control del proceso originarán beneficios significativos. Particularmente el conocimiento de la fuerza de corte es de gran importancia tanto para el monitoreo del estado de la herramienta (desgaste, rotura del filo de corte, etc.) como para el diseño de máquinas-herramienta. (B. González Abril 2005)

En este trabajo se presenta el diseño de un módulo para la medición de las fuerza tangencial presente en procesos de maquinado, su fabricación y resultados experimentales. Este dispositivo permite medir fuerza a partir de la deformación captada por galgas extensiométricas (strain-gauge) pegadas en la superficie de la herramienta de corte. Las pruebas serán realizadas en un torno convencional y se pretende captar las principales componentes de la fuerza de corte

1.1 Descripción del problema.

Actualmente, se han llevado a cabo diversos análisis y estudios, en los cuales fue posible la adquisición de datos de diversas variables mecánicas, (posición, velocidad, aceleración, vibración, etc.), el estudio de estas, ha sido relevante para la caracterización de los distintos parámetros de sistemas.

Actualmente en la facultad de ingeniería no se cuenta con un módulo que nos permita detectar la fuerza ejercida en una herramienta de corte, durante un proceso de maquinado. Con este estudio se pretende implementar un módulo de adquisición de datos, empleando como sensor de fuerza galgas extensiométricas (strain-gauge), para obtener las magnitudes de dichas fuerza, esperando que dicho estudio pueda ser aplicado en investigaciones futuras, para obtener una caracterización del proceso y los parámetros que se ven involucrados en el mismo.

La realización de un módulo de monitoreo para obtener mediciones de fuerza, será de gran ayuda para el análisis de diversos sistemas, en las distintas herramienta de corte empleadas en un torno, implica llevar a cabo una valoración cuali-cuantitativa del desgaste generado en la herramienta de corte.

1.2 Justificación de la tesis.

Al desarrollar un equipo para la medición de la fuerza de corte generada en un proceso de torneado, es de gran importancia para realizar una caracterización de las fuerza y la valoración del estado de las herramientas de corte, durante diferentes procesos de maquinado y de materiales. Por otra parte, este módulo tiene la característica en cuanto a la versatilidad y la portabilidad de este. La realización del presente trabajo de investigación involucró la aplicación de diversas áreas de la ingeniería, tales como: la electrónica, programación, mecánica, instrumentación, mecánica de materiales por mencionar algunas, las cuales conjuntan los conocimientos adquiridos durante la formación académica de un Ingeniero Electromecánico, con la finalidad de que tanto la institución y las nuevas generaciones, cuenten con herramientas que les permitan un mejor desarrollo y elementos para nuevas investigaciones.

En la Universidad Autónoma de Querétaro en la actualidad no se cuenta con ningún instrumento que nos permitiera medir las fuerzas que actúan en el buril durante una operación de cilindrado, es por eso que se planteó el desarrollo de este trabajo.

La fabricación de este equipo tuvo el costo de \$1,500.00 sin considerar mano de obra, mientras que los existentes en el mercado cuestan en alrededor de \$ 6,000.00 Es por tal motivo que fue necesario el desarrollo de dicho equipo para minimizar costos

1.3 Objetivos.

Generales

- Implementar un módulo prototipo para la adquisición de datos de la fuerza tangencial generada en herramientas de corte, empleadas en un proceso de torneado empleando como sensor una galga extensiométrica.

Particulares.

- Instrumentar la herramienta de corte con el sensor de fuerza, para la medición de esfuerzos.
- Implementar de una tarjeta de adquisición de datos que permita la conversión analógica a digital, para el procesamiento de señales, utilizando un microcontrolador.
- Desarrollar un programa de interfaz para la visualización de los parámetros que interactúan con el proceso de torneado mediante la plataforma Visual Studio.

1.4 Planteamiento general.

Como ya se mencionó con anterioridad, este trabajo de investigación consiste en la implementación de un equipo que permita el monitoreo y medición de la principal fuerza de corte que se genera durante un maquinado. Este proyecto parte de una revisión de la literatura referente al desarrollo y aportes relacionados a este tipo de equipo, tomando en cuenta los modelos existentes en el mercado. De esta etapa inicial, se pasó a la identificación y se establecieron los requerimientos que tendrá que cubrir el equipo a desarrollar.

El identificar y establecer los requerimientos que tendrá que cubrir el equipo es trascendental, para realizar una evaluación de los resultados del módulo desarrollado, una vez concluido, en una segunda etapa se establecen los principios de operación a considerar en la investigación, para satisfacer las necesidades, asociadas a la investigación se realizara el estudio de los diferentes sub-sistemas que componen al equipo, lo cual se formalizara a través de modelos experimentales que nos permitan comprobar los principios de operación considerados para cada uno de los módulos propuestos, consecutivamente se procederá a la implementación de un prototipo, en el cual se tengan integrados los módulos con sus principios de operación ya validados. A esta etapa le siguen las pruebas para la certificación de los resultados obtenidos del equipo bajo condiciones controladas, (avance y profundidad de corte) al igual que el registro documental del proceso.

El Capítulo 1, presenta los antecedentes acerca de las estaciones de monitoreo a nivel estatal, nacional y mundial. También se presentan antecedentes referentes instrumentación de herramientas de corte. Así mismo hace referencia al estado del arte, se menciona la justificación y la descripción del problema a tratar.

El Capítulo 2, se plantea la fundamentación teórica que sustenta este trabajo de investigación; y los componentes que la integran.

El Capítulo 3, muestra la metodología, la cual comprende la implementación de un módulo de adquisición de datos, la instrumentación de la herramienta de corte, pruebas y análisis experimental, pruebas de maquinados.

El Capítulo 4, serán analizados los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas; y se llevarán a cabo pruebas de funcionalidad. Por último se realizara una recapitulación del trabajo realizado, se plantearan las actividades futuras, las observaciones finales a manera de conclusiones.

Capítulo 2

2 Fundamentación teórica.

El objetivo de este capítulo es ofrecer una visión global de los aspectos teóricos más relevantes tratados a lo largo de este trabajo de investigación. Creyendo que son útiles y necesarios para un correcto seguimiento del trabajo, eliminando así, posibles elementos de confusión o duda.

En primer lugar, se describen los conceptos teóricos que se ven involucrados en la implementación del proyecto “Módulo de adquisición de datos para medición de fuerza, en procesos de torneado” aquí se ha considerado importante destacar tanto el funcionamiento del elemento principal del módulo interfaz, el (PIC16f877A) que pertenece a una gran familia de microcontroladores de 8 bits el cual posee características generales que lo distinguen de otros microcontroladores y lo hacen un dispositivo altamente eficiente para este proyecto.

Como segundo punto a retomar en este capítulo, se describen los conceptos teóricos del sensor de fuerza que se empleara a lo largo de esta investigación; conceptos que destacan el funcionamiento del sensor de fuerza y sus distintas configuraciones.

Por último, se retoman algunos conceptos acerca del procesos de maquinado por arranque de viruta (Cilindrado); son señaladas algunas consideraciones teóricas de dicho proceso y las fuerzas que se presentan durante este.

2.1 Estado del arte.

La tecnología de Control Numérico se genera como una necesidad para manufacturar gran cantidad de piezas mecánicas, que con técnicas previas eran difíciles de crear manualmente en poco tiempo.

A mitad del siglo XX, para ser más exacto en el año de 1952, John Parsons crea la primera máquina de Control Numérico en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en Cambridge, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de Norte América introduce el concepto para la realización de hélices de helicópteros de diferentes configuraciones y también con fines bélicos, pero la técnica no fue aplicada en los procesos de manufactura sino hasta los 60's, para 1972 el CN (Numeric Control, Control Numérico) se convierte en CNC (Computer Numeric Control, Control Numérico Computarizado) con la introducción de la micro-computadora (Smid, 2003).

A través de los años el control numérico fue evolucionando e integrando diferentes herramientas científicas para crear nuevas tecnologías, logrando con esto la instrumentación de la máquina para detectar fallas en el sistema tanto mecánicas como eléctricas, en casos especiales. [Trejo \(2006\)](#) implementó un módulo de maquinado y monitoreo en un proceso de torneado aplicando control difuso con el objetivo de reducir el tiempo de maquinado y aumentar el nivel de producción. [Franco \(2007\)](#) desarrolló un sistema de monitoreo para detectar el desgaste de la herramienta en procesos de taladrado. [Lemielniak \(2010\)](#) creó una aplicación con la transformada de wavelet monitoreando una señal de transmisión acústica y fuerza de corte en procesos de torneado en metales Inconel 625 para el desbaste, TKX 50N como sensor del sonido y Kistler 8152B121 como sensor de fuerza y estos montados sobre la torreta. [Sarma, et al, \(2008\)](#) Realizó investigaciones sobre los efectos de la fuerza de corte en herramientas de nitruro de boro cubico, aplicado a polímeros compuestos de fibra de vidrio reforzada utilizando como sensor de fuerza un dinamómetro. [N. S. Mohan, et al, \(2005\)](#) Realizó trabajos respecto al monitoreo e instrumentación de máquinas CNC, donde instrumento la mesa de trabajo de un taladro para medir la fuerza con la ayuda de

un dinamómetro. **González, et al, (2005)**. Diseñó y Construyó un dinamómetro, el cual le permitiera medir la fuerza de corte en un proceso de arranque de viruta en un torno. **R. Silva, et al, (2009)** Estudió el efecto de la geometría de la herramienta de corte, la fuerza y la temperatura de esta en el proceso de torneado de precisión.

2.2 Microcontroladores PIC's.

Los PIC son una familia de microcontroladores (μ C) fabricados por Microchip Technology Inc. Se eligió este tipo de μ C debido a su bajo precio, sencillo manejo y programación, a la cantidad de documentación y usuarios que hay detrás de ellos. Aunque no son los μ C que más prestaciones ofrecen, sus características se ajustan perfectamente a las intenciones y desarrollo del proyecto, entre las que destacan:

- Arquitectura Harvard
- Tecnología RISC
- Tecnología CMOS

Estas características se conjugan para lograr un dispositivo altamente eficiente en el uso de la memoria de datos y programa y por lo tanto en la velocidad de ejecución.

Para que el PIC pueda realizar sus funciones, lo primero que se ha de hacer es desarrollar un programa que contenga los procesos que el PIC deba ejecutar. Este programa se puede escribir en varios lenguajes de programación, pero los más utilizados son el 'Assembler' (ensamblador) y el C. Aun así faltaría un último paso para que el PIC pueda entender lo que se le ha escrito, para esto se ha de traducir este programa a lenguaje máquina (1's y 0's). Gracias a los compiladores, este proceso es bastante directo. En este trabajo de investigación se ha programado en C y el compilador utilizado es el proporcionado por la empresa CCS (Custom Computer Services, Inc.).

Para finalizar se consideró importante destacar que el uso de los PIC's pueden ser muy variados, tanto para la instrumentación y control y en la industria.

Una vez vistas las características generales de los PIC, hace falta conocer las especificaciones del PIC para el diseño a implementar. El PIC elegido para este trabajo es el PIC18F877A Este PIC tiene 40 pines que se distribuyen como se muestra en la Figura 2.1.

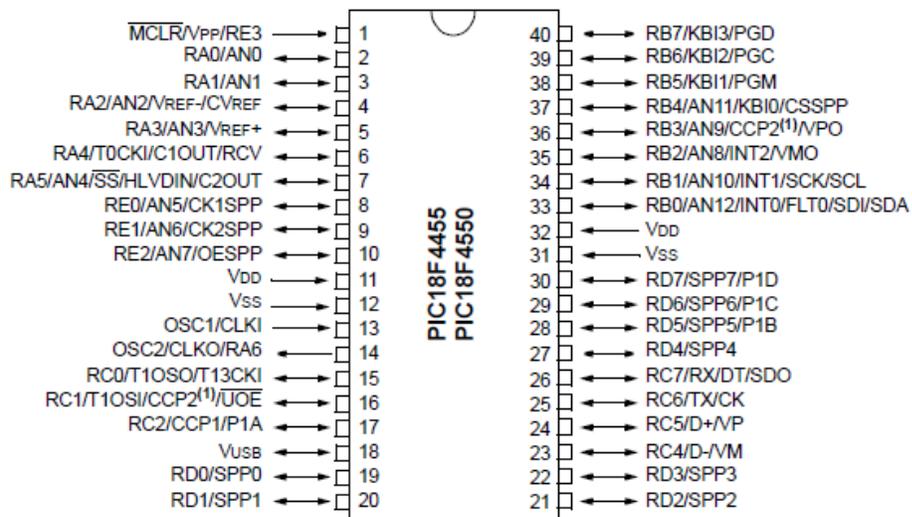


Figura 2.1 Pines del micro-controlador Pic16F877A

2.3 Proceso de maquinado por arranque de viruta (Torneado).

El torno es la máquina-herramienta más antigua e importante, en él la pieza tiene el movimiento de corte mientras que la herramienta tiene el movimiento de avance. En esta máquina el arranque de viruta se produce al acercarse la herramienta a la pieza que rota sobre el eje del torno. *(B. González, 2005)*

Los trabajos principales del torno son de tres clases: de superficie plana, de superficie de revolución circular y de superficie de revolución helicoidal. *(Tecnología mecánica, 2013)* El torneado es un proceso de arranque de viruta en el cual un borde o filo, deforma cierta parte de material hasta que esta se separa de la pieza de trabajo mientras gira, para dar forma a un cilindro. A la parte de material que es removida se le da el nombre de viruta; la cual se forma de un proceso de cizalladura el cual se desarrolla en zonas muy pequeñas; se trata de una deformación plástica bajo condiciones de gran tensión y altas velocidades de deformación, que se generan a partir de una región sometida a compresión radial que se mueve por delante de la herramienta de corte, cuando esta se desplaza por la pieza. En este proceso se generan grandes esfuerzos en la capa del material que se convertirán en virutas, de manera que el material se acerca a su esfuerzo de cedencia y luego al esfuerzo último del material, para así ser desprendido de la pieza a maquinar. *(B. González, 2005)*

El torno es una de las máquina-herramienta más versátiles utilizadas en la industria. Con los aditamentos adecuados puede utilizarse para diversas operaciones que pueden producir una gran variedad de formas.

La remoción de material se lleva a cabo en el plano de corte que es una línea imaginaria generada entre la viruta deformada y la no deformada. Este tiene un ángulo llamado ángulo del plano de corte, a la derecha de ese plano se encuentra la viruta deformada y a la izquierda se encuentra la no deformada. Para formar la viruta es necesario vencer la fuerza de corte y de fricción causante de la compresión, tal y como se muestra en la Figura 2.2. que muestra el corte ortogonal *(Kalpakjian, 2002)*

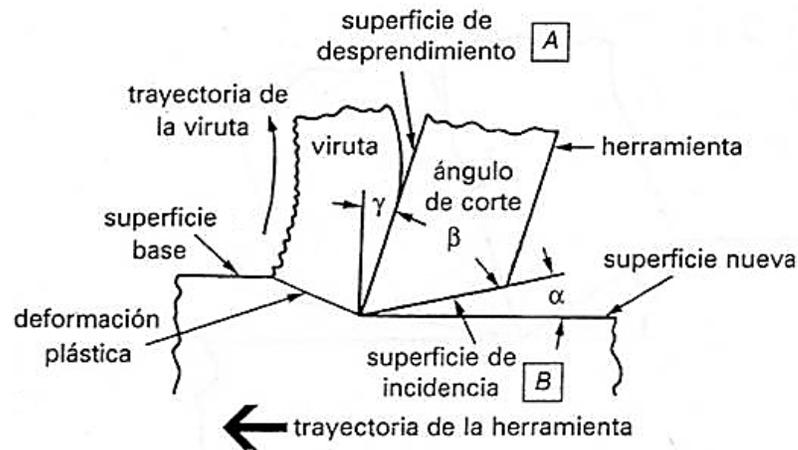


Figura 2.2 Sección transversal del proceso de arranque en una herramienta elemental (Kalpakjian, 2002)

2.3.1 Relaciones de velocidad.

En un proceso de mecanizado hay tres velocidades de interés:

La velocidad de corte V , es la velocidad de la herramienta relativa a la velocidad de trabajo y paralela a la fuerza de corte (Kalpakjian, 2002)

La velocidad de viruta V_c , que es La velocidad de la viruta relativa a la de la herramienta dirigida a lo largo de la cara de herramienta. (Kalpakjian, 2002)

La velocidad cortante V_s correspondiente a la viruta relativa a la pieza de trabajo y dirigida a lo largo del plano de corte, estas velocidades se observan claramente en la Figura 2.3 y se pueden calcular cada una de las velocidades con las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3. (Kalpakjian, 2002)

Dónde:

$$V_c = \frac{\text{sen}\varphi}{\cos(\varphi-\alpha)} = V_r \quad 2.1$$

$$V_s = \frac{\text{cos}\alpha}{\cos(\varphi-\alpha)} = \gamma \text{sen}\varphi V \quad 2.2$$

$$\frac{V}{\cos(\phi-\alpha)} = \frac{V_s}{\cos \alpha} = \frac{V_c}{\sin \phi}$$

2.3

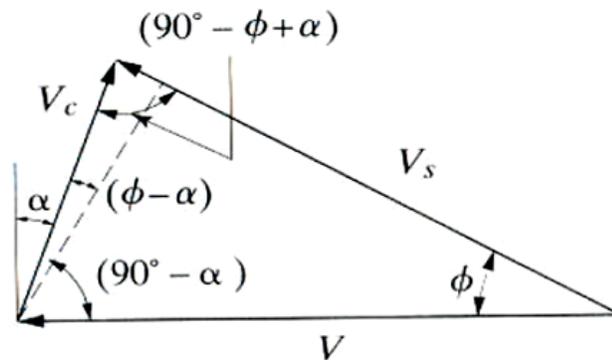


Figura 2.3 Diagrama de velocidad en la zona de corte
(Kalpakjian, 2002)

2.3.2 Fuerzas de corte:

Los tres métodos más usados para el estudio de las fuerzas de corte son:

- Ortogonal.
- Presión de corte.
- Oblicuo.

Para efectos de esta investigación será suficiente, repasar los dos primeros métodos, debido a que estos son más sencillos y estudian las fuerzas más importantes del proceso, eliminando así la fuerza radial, puesto que su magnitud es menor que el 6% de la fuerza total. (M. San Juan, 2010).

2.3.3 Corte ortogonal:

En la vida real el proceso de corte es tridimensional (oblicuo), pero para entender el concepto se propone un modelo bidimensional llamado de corte ortogonal, como se muestra en la Figura 2.4. (Kalpakjian, 2002)

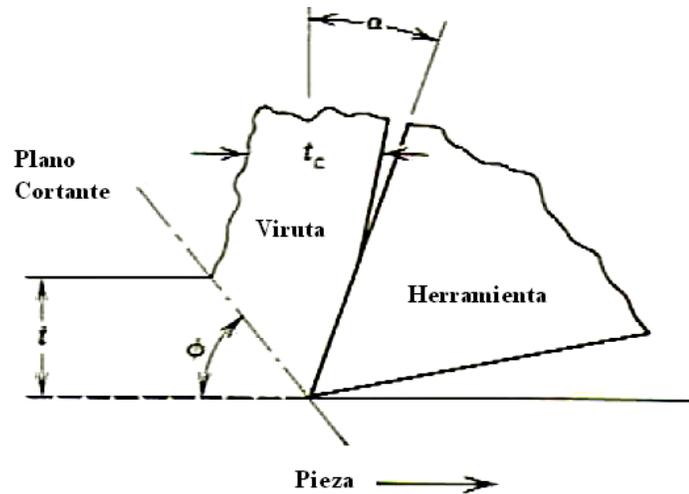


Figura 2.4 Modelo de corte ortogonal (Kalpakjian, 2002)

En este modelo las fuerzas que actúan en la viruta son:

F_s : Resistencia al corte y actúa sobre el plano de corte.

F_n : Fuerza normal al plano de corte; es la resistencia que ofrece la pieza o el material.

N : Fuerza que ofrece la herramienta de corte y actúa sobre la viruta normal a la cara de corte.

F : Fuerza de fricción de la herramienta actuando sobre el metal, actúa en contra del movimiento de la viruta sobre la cara de la herramienta.

En la Figura 2.5, se muestra un diagrama de cuerpo libre de la viruta con las fuerzas actuales.

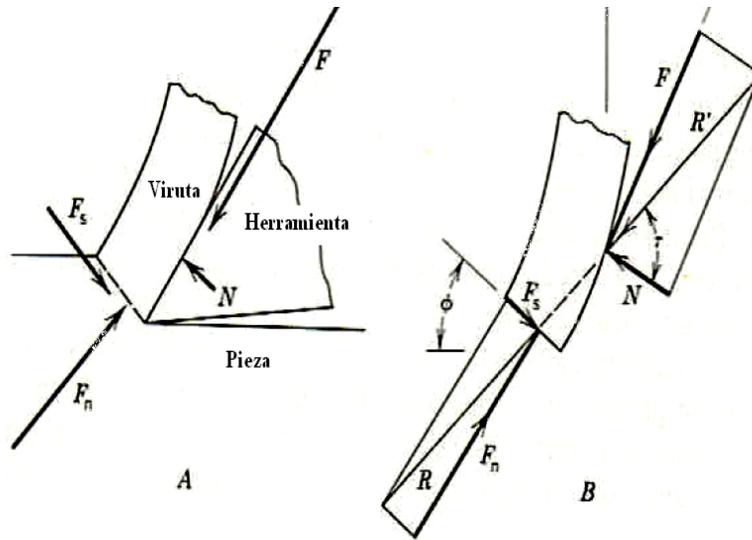


Figura 2.5 Diagrama de cuerpo libre de la viruta.
(Kalpakjian, 2002)

Como se puede ver existe un equilibrio entre las dos fuerzas resultantes $R=R'$, así que las componentes de la fuerza de la pieza sobre la viruta son la fuerza de corte F_s y la fuerza normal de compresión F_n . Las fuerzas de herramienta sobre la viruta son: F y N . (Kalpakjian, 2002)

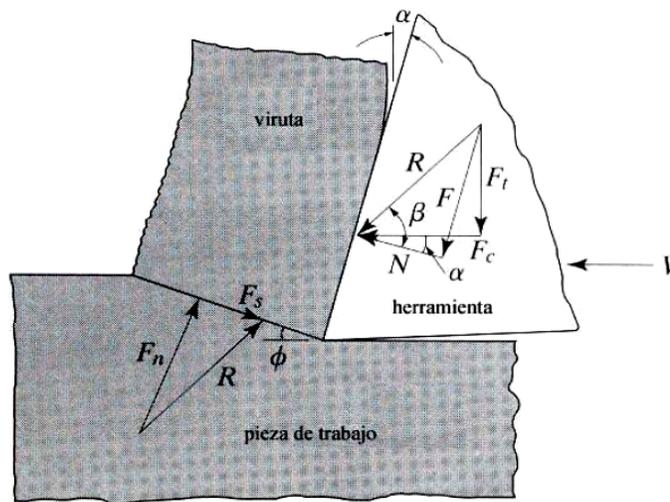


Figura 2.6 Fuerza de corte en el modelo ortogonal.

Estas fuerzas se pueden relacionar con las fuerzas necesarias en la herramienta F_t y F_c , siendo la primera la fuerza de empuje en dirección perpendicular a la velocidad de corte y a la superficie de trabajo, la segunda la fuerza en dirección de la velocidad de corte. F_c es la fuerza horizontal de corte en la herramienta y F_t la Fuerza en dirección vertical necesaria para soportar la fuerza vertical que actúa sobre la herramienta, tal y como se muestra en la Figura 2.7. (Kalpakjian, 2002)

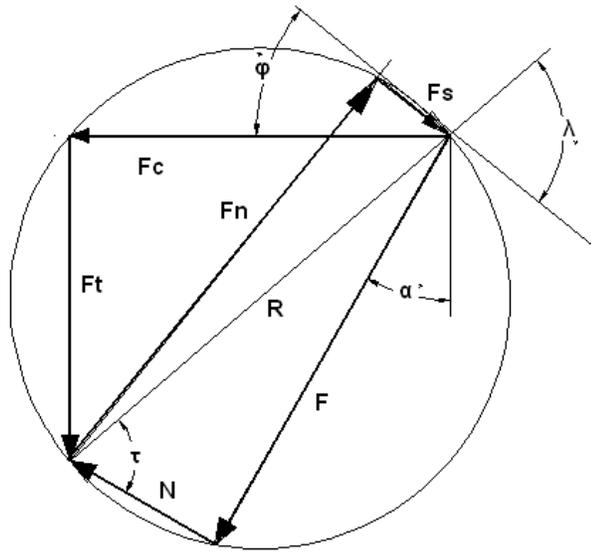


Figura 2.7 Relación entre las fuerzas de corte.

Obteniendo así que:

$$F = F_t \cos \varphi + F_c \sin \varphi \quad 2.4$$

$$N = F_c \cos \varphi - F_t \sin \varphi \quad 2.5$$

$$\mu = \tan \tau = F/N \quad 2.6$$

(Kalpakjian, 2002)

2.3.4 Potencia y energía.

El sistema de fuerzas que intervienen en un proceso de corte tridimensional como el cilindrado consta de tres componentes, las cuales se muestran en la Figura 2.8: (Kalpakjian, 2002)

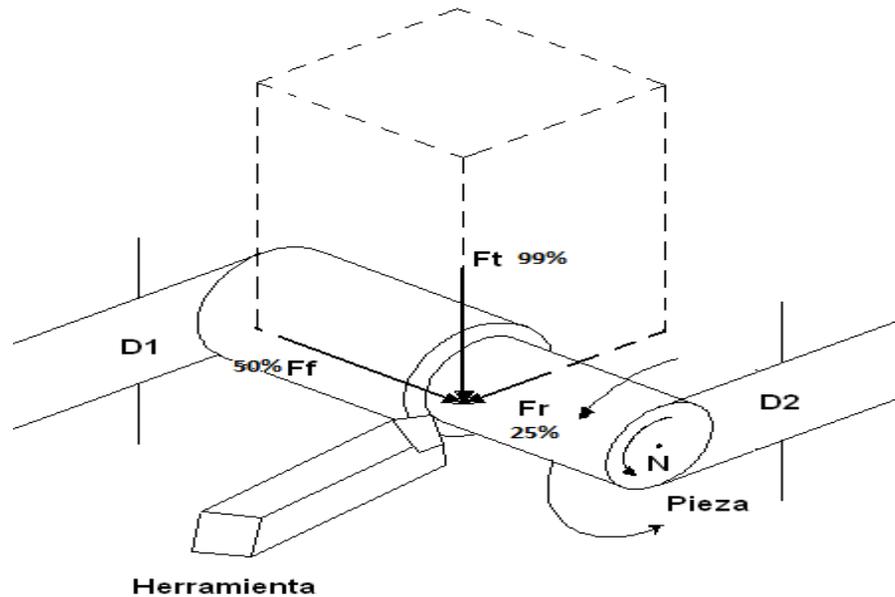


Figura 2.8 Fuerzas de cilindrado.
(De Garmo, 2002)

F_t Fuerza de corte tangencial, que actúa en la dirección del vector Velocidad de Corte. Esta fuerza es la de mayor magnitud y responde al 99% de la potencia que se requiere en el proceso. (De Garmo, 2002)

F_f o F_t . Fuerza de avance, actúa en la dirección del avance de la herramienta. Esta suele ser el 50% de F_c pero solo responde a un pequeño porcentaje de la potencia necesaria, ya que las velocidades de avance suelen ser pequeñas en comparación a las de corte. (De Garmo, 2002)

F_r . Fuerza radial, perpendicular a la superficie maquinada es del 50 % de F_f y contribuye muy poco a las necesidades de potencia. (De Garmo, 2002)

2.3.5 Características de las herramientas de corte

En la mayoría de los procesos de torneado, en los cuales el proceso de corte de los metales se logra por medio de herramientas de un solo filo las cuales poseen una geometría adecuada para este proceso. Una herramienta sin los filos o ángulos adecuados ocasionara gastos excesivos y pérdidas de tiempo. (Heinrich, 2002)

Para todas las herramientas de corte empleadas en los procesos de torneados, existen superficies, ángulos y filos definidos.

Las superficies de las herramientas son:

Superficie de ataque: Parte por la que una viruta sale de la herramienta.

Superficie de incidencia: Es la cara de la útil que se dirige en contra de la superficie de corte de la pieza. (Heinrich, 2002)

Los ángulos son:

Ángulo de incidencia α (alfa). Es el que se forma con la tangente de la pieza y la superficie de incidencia del útil. Sirve para disminuir la fricción entre la pieza y la herramienta.

Ángulo de filo β (beta). Es el que se forma con las superficies de incidencia y ataque del útil. Establece que tan punzante es la herramienta y al mismo tiempo que tan débiles.

Ángulo de ataque γ (gama). Es el ángulo que se forma entre la línea radial de la pieza y la superficie de ataque del útil. Sirve para el desalojo de la viruta, por lo que también disminuye la fricción de esta con la herramienta.

Ángulo de punta δ (delta). Es el formado por la tangente de la pieza y la superficie del ataque del útil. Define el ángulo de la fuerza resultante que actúa sobre el buril.

Ángulo de punta ϵ (épsilon). Se forma en la punta del útil por lo regular por el filo primario y el secundario. Permite definir el ancho de la viruta obtenida.

Ángulo de posición χ (xi).se obtiene por el filo principal de la herramienta y el eje de simetría de la pieza. Aumente o disminuye la acción del filo principal de la herramienta.

Ángulos de posición λ (lamda). Es el que forma con el eje de la herramienta y la dirección radial de la pieza. Permite dar inclinación a la herramienta con respecto de la pieza. (Heinrich, 2002)

Filos de la herramienta:

Filo principal. Es la que se encuentra en contacto con la superficie devastada y trabajada.

Filo secundario. Por lo regular se encuentra junto al filo primario y se utiliza para evitar la fricción de la herramienta con la pieza.

Siendo la suma de dichos ángulos, β y igual a 90° .

Para la definición de los valores de los ángulos se han establecido tablas producto de la experimentación. (Heinrich, 2002)

En la Tabla 2-1, se muestran los valores prácticos para los ángulos de corte en el torneado con herramientas de acero rápido y metal duro.

Tabla 2-1 Valores practicos para angulos de corte (Heinrich, 2002)

Aceros rápidos			Materiales	Metales duros		
Alfa	Beta	Gama		Alfa	Beta	Gama
8	68	14	Acero sin alear hasta 70 kg/mm ²	5	75	10
8	72	10	Acero moldeado 50 kg/mm ²	5	79	6
8	68	14	Acero aleado hasta 85 kg/mm ²	5	75	10
8	72	10	Acero aleado hasta 100 kg/mm ²	5	77	8
8	72	10	Fundición maleable	5	75	10
8	82	0	Fundición gris	5	85	0
8	64	18	Cobre	6	64	18
8	82	0	Latón ordinario, latón rojo, fundición de bronce	5	79	6

12	48	30	Aluminio puro	12	48	30
12	64	14	Aleaciones de aluminio para fundir y forjar	12	60	18
8	76	6	Aleaciones de magnesio	5	79	6
12	64	14	Materiales prensados aislantes (novotex baquelita)	12	64	14
12	68	10	Goma dura, papel duro	12	68	10
Porcelana				5	85	0

Cada grupo de materias y herramientas de corte, tiene un grupo o juego óptimo de ángulos, que se han desarrollado y aplicado a través de la experiencia. En la Figura 2.9, se muestra una geometría típica de la herramienta. (Kalpakjian, 2002)

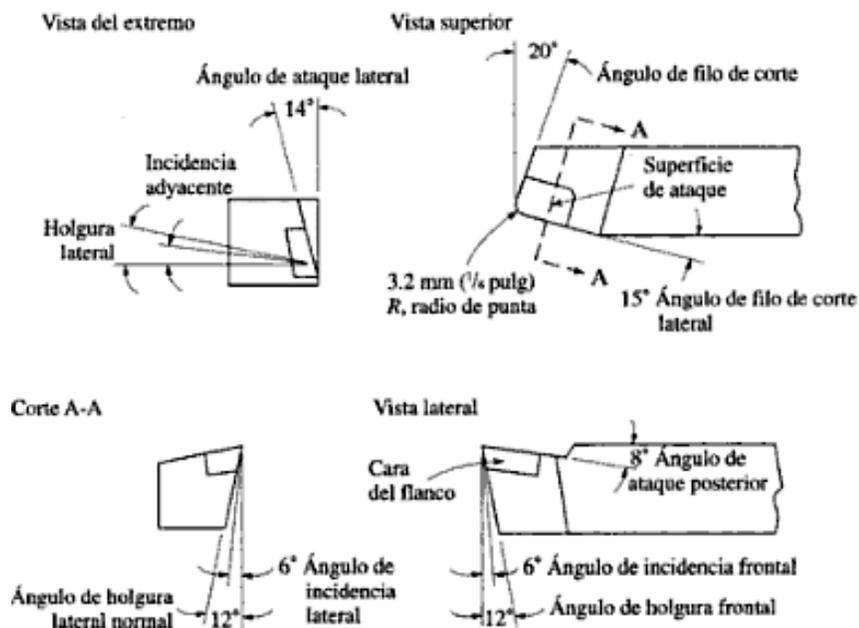


Figura 2.9 Nomenclatura de ángulos de corte. (Kalpakjian, 2002)

Ya que la finalidad de este proyecto es la obtención de medidas experimentales de las fuerza en el torneado se necesita una fuerza de comparación y de inicio. Para el desarrollo de esto es necesario definir algunos parámetros del proceso.

PARAMETROS

D_{wi} Diámetro inicial de la pieza.

D_{wf} Diámetro final de la pieza.

V_c Velocidad de corte (periférica)

N_w Velocidad angular de la pieza: Es la velocidad del husillo, está dada en rpm y se calcula de acuerdo con la Ecuación 2.7. (Kalpakjian, 2002)

$$N_w = \frac{V_c}{\pi D_{wi}} \quad 2.7$$

f_t Avance por revolución: En un torno puede definirse como la distancia que la herramienta de corte avanza a lo largo de la pieza por cada revolución del husillo. El avance de un torno mecánico está controlado por la velocidad del tornillo principal o varilla de avance. Esta velocidad puede estar dada por los cambios de engranes en la caja de cambio rápido como se puede calcular con la Ecuación 2.8. (Kalpakjian, 2002)

$$D_{avg} = \frac{D_{wi} + D_{wf}}{2} \quad 2.8$$

V_{ft} Velocidad de avance: Es la velocidad axial de la herramienta al recorrer la longitud de la pieza, se expresa en pulgadas por minuto (mm/min) y se calcula con la Ecuación 2.9. (Kalpakjian, 2002)

$$V_{ft} = N_w f_t \quad 2.9$$

t_m Tiempo por pasada: Es el tiempo que se requiere para maquinarse la distancia l , está dado en segundos o minutos y se calcula con la Ecuación 2.10. Para conocer el tiempo total de maquinado T_t es la sumatoria de los tiempos individuales por pasada. (Kalpakjian, 2002)

$$tm = \frac{lm}{V_{ft}} \quad 2.10$$

Z_w Rapidez de remoción de material: Es el volumen de material retirado por unidad de tiempo (mm^3/min o pulg^3/min) y se deduce con la Ecuación 2.11, es importante ver que para cada revolución de la pieza se retira una capa anular de material, con una área transversal igual al producto de la distancia que recorre la herramienta en una revolución (avance f_t) por la profundidad de corte del volumen de dicho anillo es el producto del área transversal $f_t \cdot d$ por la circunferencia promedio del anillo D_{prom} . Este diámetro promedio es el diámetro inicial D_i menos diámetro final D_f entre dos. (Kalpakjian, 2002)

$$Z_w = \left(\frac{\pi D_{wi}^2}{4} - \frac{\pi D_{wf}^2}{4} \right) V_{ft} \quad 2.11$$

P_w Potencia de maquinado: Es la potencia que ha de aplicarse a la pieza y se puede deducir con la Ecuación 2.12. (Kalpakjian, 2002)

$$P_w = Z_w Cte. \quad 2.12$$

En la

Tabla 2-2, se muestra la energía necesaria aproximada para operaciones de corte, con una eficiencia del 80%. (*Kalpakjian, 2002*)

Tabla 2-2 Energía necesaria para la remoción de materiales.

Material	W S/mm ³	hp S/pulg ³
Aleaciones de aluminio	0.4 – 1.1	0.15 – 0.4
Hierros fundidos	1.6 – 5.5	0.6 – 0.2
Aleaciones de cobre	1.4 – 3.3	0.5 – 1.2
Aleaciones de alta temperatura	3.3 – 8.5	1.2 – 3.1
Aleaciones de magnesio	0.4 – 0.6	0.15 – 0.2
Aleaciones de níquel	4.9 – 6.8	1.8 – 2.5
Aleaciones refractarias	3.8 -9.6	1.1 – 3.5
Aceros inoxidable	3.0 – 5.2	1.1 – 1.9
Aceros	2.7 – 9.3	1.0 – 3.4
Aleaciones de titanio	3.0 – 4.1	1.1 – 1.5

Nota: Multiplíquese por 1.25 con herramientas desafiladas. (Kalpakjian, 2002)

τ Torque requerido.

$$\tau = \frac{P_w}{2\pi N_w} \quad 2.13$$

La potencia también es el producto del torque por la velocidad de rotación en radianes y se deduce de la Ecuación 2.13. (Kalpakjian, 2002)

2.4 Características de las galgas extensiométricas

A lo largo del tiempo y con los avances en la tecnología, se ha requerido de instrumentos de medición que nos proporcionan datos para estudiar, evaluar, cuantificar variables y datos para ponerlos al servicio de la tecnología.

Al hablar de procesos que involucren movimiento es necesario hablar de las fuerzas que en ello actúan. Las fuerzas realizan trabajos y estos se realizan en un tiempo, esto es considerado como potencia y sus unidades de medición son los watts (W) y caballos de fuerza (Hp).

Como antecedentes de los instrumentos de medición actuales se pueden encontrar, los dinamómetros, los cuales fueron usados durante mucho tiempo y con los cuales fueron obtenidos de ellos datos significativos de fuerzas en determinados procesos. (*C. Pereira, 2007*).

Con el avance en la electrónica, se han podido desarrollar elementos de medición mucho más precisos, pequeños, ligeros y con una mayor facilidad para la obtención de datos, algunos de estos elementos son los sensores piezoeléctricos y las galgas extensiométricas. (*Pallás, 2003*)

Las galgas extensiométricas o transductores de deformación, para la medición indirecta de esfuerzos, fue inventada por Edward E. Simmons en 1938, consiste de un hilo de resistencia eléctrica, el cual es firmemente adherido a la superficie de un objeto o material, sirve para medir la deformación que sufre la pieza sobre la cual se encuentra sujeta, el hilo de la resistencia pegado a la superficie del objeto, se deforma con el objeto al cual se adhiere, provocando esta deformación un cambio en la resistencia eléctrica, el cual se traduce a una variación de voltaje a través de un puente de Wheatstone. Este efecto se usa para hacer la medición de diferentes parámetros, común son: Vibración, torsión, compresión, tensión, peso, etc. (*Camacho, 1992*)

A este cambio en la resistencia del hilo por efecto de su deformación, se adiciona el efecto del cambio en la sección transversal, con lo que el efecto de la deformación se ve amplificado. La variación en la resistencia sigue una variación

unitaria, de manera semejante con la deformación unitaria del material instrumentado. Al medir la deformación unitaria ε se puede establecer el nivel de esfuerzo al que está siendo sometida una parte del objeto por lo tanto, la deformación unitaria de una galga se puede traducir directamente a un nivel de esfuerzo, una vez que se conozca el módulo de elasticidad E del material, mediante la ley de Hooke de acuerdo a la Ecuación 2.14. (Popov, 1990)

$$\frac{F}{A} = E\varepsilon = E \frac{dL}{L_0} \quad 2.14$$

Donde A es el área de la sección del objeto E es el módulo de Young, el cual depende del tipo de material del cual este hecho el objeto; y ε la deformación unitaria del material, la cual es el cambio de longitud por unidad de longitud original, es adimensional, pero suele darse en microdeformaciones. La letra F indica el valor de la fuerza aplicada al objeto (en la dirección de la deformación); el cambio en la longitud del objeto dependerá del valor de la fuerza que se aplica y que posee una correspondencia uno a uno. (Popov, 1990)

Debido a su bajo costo, linealidad, amplio rango de temperatura y condiciones de operación, las galgas se emplean en los sectores industrial y comercial. (B. González, 2005.)

2.4.1 Construcción de una galga extensiométrica.

La construcción de una galga extensiométrica involucra la unión de sus tres partes principales, las cuales son: la rejilla, la base y las etiquetas mostradas en la Figura 2.10. La rejilla de la galga es la parte metálica que cambia su resistencia en función de la compresión o tensión, la base es el soporte portador de la rejilla y es fabricada en diferentes materiales aislantes, por último, las etiquetas de la galga sirven para conectar la galga extensiométrica con el circuito acondicionador de señal. (Camacho, 1992)

La rejilla requiere de una protección contra el medio ambiente, debido a esto se utiliza un encapsulado de la galga. El encapsulado consiste en cubrir con un

cemento de nitrocelulosa a la rejilla y su base. La rejilla se cubre con varias capas de nitrocelulosa para dar firmeza y flexibilidad a la galga. Para proporcionar características especiales a la rejilla y mejorar el rango de temperatura de operación de la galga, se reemplaza el encapsulado de nitrocelulosa por fibra de vidrio y resina térmica. (Camacho, 1992)

Las etiquetas de la galga son los soportes usados para fijar (soldar) los alambres usados para conectar la galga con la instrumentación requerida para acondicionar la señal. La base de la galga sirve para aislar la rejilla de la superficie de pegado. En la galga se observan cuatro triángulos que sirven para orientar la galga en la superficie de estudio. (Camacho, 1992)

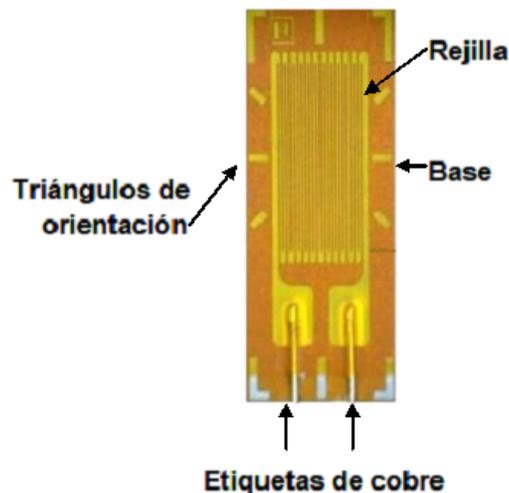


Figura 2.10 Partes que componen la galga.

2.4.2 Parámetros de selección de la galga extensiométricas.

Los criterios de selección de la galga extensiométricas involucran el evaluar los diferentes parámetros como son: Variable física a estudiar (tensión, aceleración, desplazamiento, etc.); superficie sobre la cual se va a adherir (metal, concreto, madera, plástico, etc.) y la temperatura de operación (medio ambiente o ambientes industriales). (Instrumentación electrónica, 2014)

La correcta selección del sensor garantiza el óptimo funcionamiento de la galga para las condiciones ambientales de operación, medidas exactas y confiables, además de reducir al mínimo el costo de la galga.

Para mediciones de tensión, las características con las que deberá contar una galga, se ven afectadas por los siguientes parámetros:

Sensibilidad a la tensión de la rejilla.

Longitud de la galga.

Modelo de la galga.

Resistencia de la galga.

Es necesario el conocer los efectos de dichos parámetros sobre la galga y la medición, para poder cumplir con los requisitos de la instalación y operación. En los apartados siguientes se hace la descripción con más detalle de cada uno de estos parámetros. (*Instrumentación electrónica, 2014*)

2.4.2.1 Sensibilidad a la tensión de la rejilla.

La galga posee una relación entre la tensión aplicada al objeto de estudio y a las variaciones de resistencia, esta relación es llamada sensibilidad a la tensión o factor de galga; se define como el cambio de la resistencia eléctrica del conductor al cambiar la longitud relativa. Este valor es adimensional y es de gran importancia; ya que a medida que su valor es más grande ante la misma tensión mecánica, las variaciones de resistencia serán mayores. (*Instrumentación electrónica, 2014*)

2.4.2.2 Longitud de la galga.

La longitud de la galga es una consideración importante en la selección de la misma. A menudo es el primer parámetro que se define. Debido a que las mediciones de tensión usualmente se realizan en máquinas o estructuras con dimensiones pequeñas; las galgas con longitudes superiores a los 13mm se consideran largas, ofrecen ventajas comparadas con las galgas pequeñas (con longitud de 5 mm), debido a que son fáciles de manejar y a que poseen una buena disipación del calor esta última consideración es muy importante cuando la galga es

instalada sobre plástico u otro material con propiedad de baja transferencia de calor. La longitud de la galga es el promedio existente entre el número de líneas de la rejilla, sin considerar la longitud de las etiquetas, como se muestra en la Figura 2.11 (*Instrumentación electrónica, 2014*)

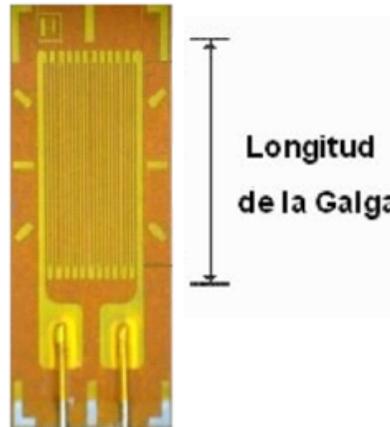


Figura 2.11 Longitud de la galga.

2.4.2.3 Modelo de la galga.

El modelo de la galga es la forma, figura o patrón que se observa en la galga. Debido a la variedad de aplicaciones y usos, existen diferentes modelos de galgas. El modelo incluye: la forma de la rejilla, el número de rejillas y orientación de las mismas (en galgas con múltiples rejillas) y la configuración de las etiquetas de soldado.

Cuando la dirección de la tensión es uniaxial y conocida con precisión, se usa una sola galga con una rejilla alineada en la dirección de la tensión. Para estados de tensión de dos ejes (biaxial) son requeridas de dos a tres galgas en forma de rosa para poder determinar la tensión principal. Cuando la dirección del eje principal es conocida, se pueden ocupar dos elementos "roseta tee" 90°, con una galga alineada para coincidir con el eje principal.

Cuando se conoce la dirección del eje principal de la tensión de estados biaxiales, se usa una galga con tres elementos en forma de rosa, con este arreglo

se obtienen: la dirección y magnitud de las tensiones principales. La rosa puede ser instalada en cualquier orientación, usualmente una de las rejillas es alineada con alguno de los ejes significativos del objeto de estudio. Hay galgas con tres elementos en configuración rectangular a 45° o configuración delta a 60°. La configuración rectangular simplifica el análisis. Existe una gran variedad de galgas con más de dos rejillas, dependiendo de la aplicación se elige la más adecuada. *(Instrumentación electrónica, 2014)*

2.4.2.4 Resistencia de la galga.

La resistencia de la galga tiene valores típicos de 120 ohms o 350 ohms. Es preferible usar una galga con resistencia grande para reducir el calentamiento de la misma y de esta forma reducir el efecto de los cables. La relación señal-ruido puede mejorarse con galgas de resistencia alta cuando el circuito acondicionador de señal incluye interruptores u otras fuentes que provoquen cambios en la resistencia.

Valores de resistencia de 1000 ohms son usados cuando el objeto en estudio tiene bajas características de conducción de calor (plástico) o de 5000 ohms en equipos de medición que funcionan con baterías y que requieren un bajo consumo de energía. *(Instrumentación electrónica, 2014)*

2.5 Funcionamiento del puente de Wheatstone

Inventado por Samuel Hunter Christie en 1832, mejorado y popularizado por Sir Charles Wheatstone en 1843, este arreglo de resistencias es puramente resistivo, permite medir con exactitud resistencias y detectar sus pequeños cambios en alguno de sus elementos resistivos (Camacho, 1992).

En la Figura 2.12 se muestra el diagrama básico de un circuito puente de Wheatstone, donde R1, R2, R3 son resistencias de alta precisión; y rx corresponde a transductores a base de resistencia (strain-gauge). Mediante este esquema es posible configurar arreglos conocidos como cuarto de puente, medio puente y puente completo. El circuito es alimentado por una fuente de corriente directa, a través de los nodos P+ y P- siendo en las terminales de Eo la salida del puente, suponiendo que se presenta un cambio de resistencia, se obtiene una diferencia de voltaje. (Camacho, 1992)

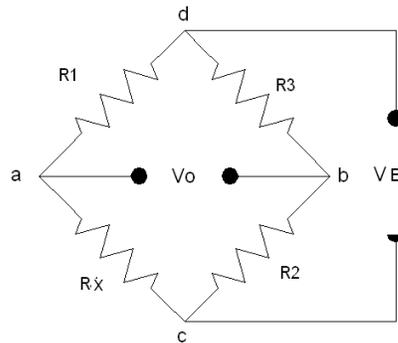


Figura 2.12 Diagrama básico de un circuito puente de Wheatstone.

(Camacho, 1992)

El puente se encontrara balanceado si y solo si, $R1=R2=R3=Rx$ para el caso en que se use un circuito con arreglo de puente completo Figura 2.12, se tiene la Ecuación 2.15 para el voltaje de salida (Camacho-morales, 1992):

$$\frac{V_0}{V_E} = \frac{R_x}{R_x + R_1} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \quad 2.15$$

Donde:

V_E =Voltaje de entrada

V_o =Voltaje de salida

$R_1= R_2= R_3$ =resistencias

R_x =transductor o extensómetro eléctrico

2.5.1 Análisis del puente de Wheatstone

Se presenta el análisis de las caídas de potencial en un puente de Wheatstone, en la perspectiva del funcionamiento de un divisor de voltaje doble se calcula con la Ecuación 2.16 y con la 2.17. En la Figura 2.13, muestra el doble divisor de voltaje del puente de Wheatstone. Este par de divisores de voltaje quedan conformados por los nodos “ac” y “bc”, donde el nodo “c” está conectado a tierra. En estos nodos se aplican los principios de divisor de voltaje para determinar las caídas de voltaje en la resistencia “Rx” y la resistencia 2 (V_{Rx} y V_{R2} , respectivamente). (Camacho, 1992):

$$V_{Rx} = V_E \frac{R_x}{R_x + R_1} \quad 2.16$$

$$V_{R2} = V_E \frac{R_2}{R_2 + R_3} \quad 2.17$$

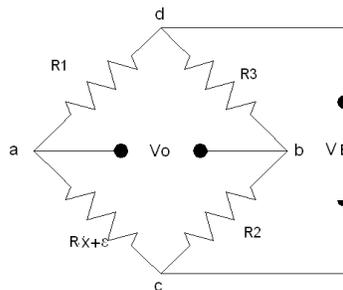


Figura 2.13 Representación del puente de Wheatstone “Voltaje de salida”.

Por lo tanto el voltaje de salida V_o queda expresado como se muestra en la Ecuación 2.18.

$$v_o = v_{R2} - v_{RX}$$

2.18

Sustituyendo las ecuaciones 2.16 y 2.17 en la Ecuación 2.18 se obtiene lo la Ecuación 2.19, factorizando se obtiene la Ecuación 2.20.

$$V_o = V_E \left[\frac{R_X}{R_X + R_1} \right] - V_E \left[\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right]$$

2.19

$$V_o = V_E \left[\frac{R_X}{R_X + R_1} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right]$$

2.20

Ahora bien, el circuito puente de Wheatstone completo se encuentra balanceado cuando $R_1=R_2=R_3=R_X$ y el voltaje medido entre las terminales "a" y "b" es cero ($V_o = 0$). (Camacho, 1992):

2.5.2 Diferentes configuraciones.

La orientación de las galgas extensiométricas en el elemento esforzado, determina el tipo de deformación esperada (Positiva o negativa). Con objeto de magnificar la salida del puente de Wheatstone, por lo general se busca obtener deformaciones de un mismo signo en cada una de las ramas del puente (NI, 2006).

Sin embargo el conocimiento del uso del puente de Wheatstone, en el contexto de la medición de deformaciones y esfuerzos en una variedad de elementos estructurales, apunta hacia una amplia variedad de posiciones y configuraciones en las que las resistencias activas están siendo reemplazadas por extensómetros eléctricos, creando los distintos tipos de arreglos, cada uno de ellos nos da el número de elemento activos tal y como se muestra en la Tabla 2-3. (NI, 2006)

Tabla 2-3 Configuración de los extensómetros eléctricos (NI, 2006)

Configuración	Numero de elementos activos
Cuarto puente	1
Medio puente	2
Puente completo	4

2.5.2.1 Viga de flexión- cuarto puente.

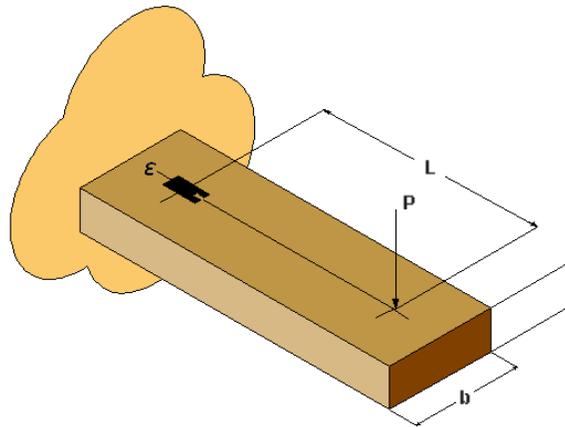


Figura 2.14 Configuración en viga de flexión- cuarto puente.

De la cual obtenemos la ecuación 2.21 para el cálculo de la deformación unitaria.

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Ebt^2}$$

2.21

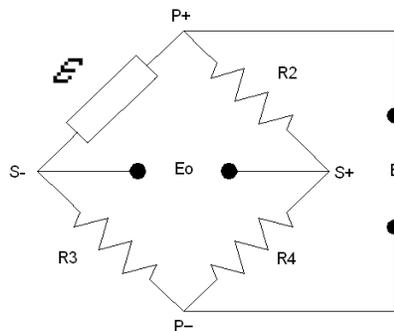


Figura 2.15 Diagrama de cuarto puente.

De la cual obtenemos la ecuación 2.22 para el cálculo del voltaje de salida de nuestro arreglo de puente de Wheatstone

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{F\varepsilon}{4 + 2F\varepsilon} \quad 2.22$$

La Figura 2.15 muestra el arreglo de puente de Wheatstone para la configuración longitudinal de la galga mostrada en la Figura 2.14 responderá a las cargas de flexión pero es inafectada por las cargas torsionales si la galga se monta en la línea central. Debe tomarse cierta precaución en cómo se aplica la carga, porque los transductores que utilizan esta configuración también responderán a cualquier carga axial que pueda estar presente. Puesto que esta configuración produce una carga pequeña de no linealidad y es sensible a los cambios de temperatura, la configuración del apartado 2.5.2.2, de “mitad puente” se prefiere generalmente. (Rincón, 2006)

2.5.2.2 Viga de flexión_ puente medio_ poisson.

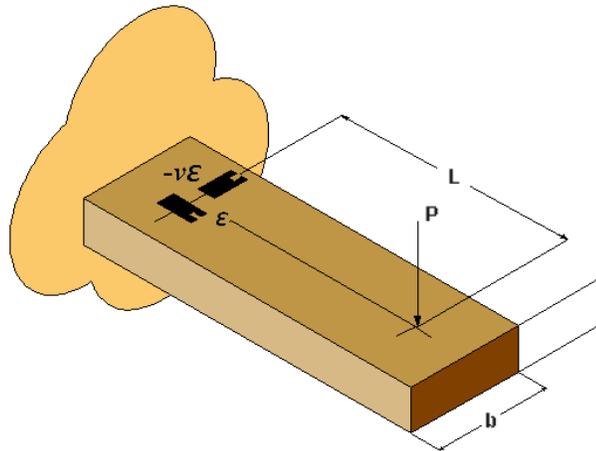


Figura 2.16 Configuración en viga de flexión_ puente medio_ poisson.

De la cual obtenemos la ecuación 2.23 para el cálculo de la deformación unitaria.

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Ebt^2}$$

2.23

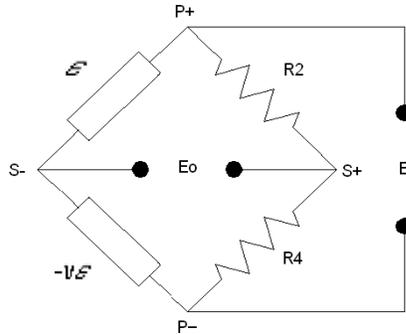


Figura 2.17 Diagrama de medio Poisson.

De la cual obtenemos la ecuación 2.24 para el cálculo del voltaje de salida de nuestro arreglo de puente de Wheatstone.

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{F\varepsilon(1 + \nu)}{4 + 2F(1 - \nu)} \quad 2.24$$

La Figura 2.17 muestra el arreglo de puente de Wheatstone para la galga longitudinal la galga transversal de “poisson” está en brazos adyacentes, los cambios en resistencias por orígenes termales serán cancelados. (Rincón, 2006)

2.5.2.3 Viga en flexión medio puente.

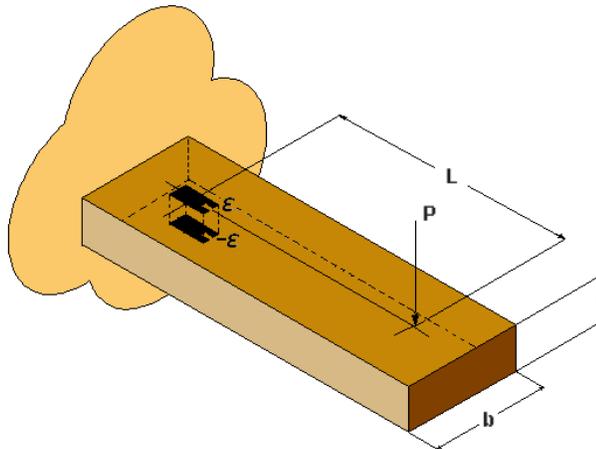


Figura 2.18 Configuración en viga en flexión medio puente.

De la cual obtenemos la ecuación 2.25 para el cálculo de la deformación unitaria.

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Ebt^2} \quad 2.25$$

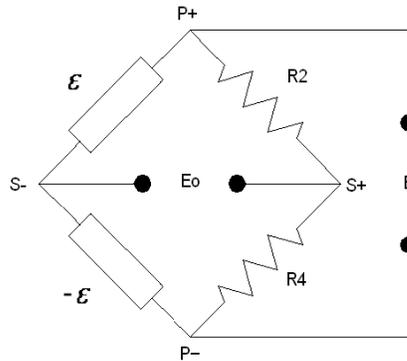


Figura 2.19 Diagrama de medio puente.

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{F\varepsilon}{2} \quad 2.26$$

La ecuación 2.26 se emplea para el cálculo del voltaje de salida de nuestro arreglo de puente de Wheatstone. En la Figura 2.19 se presenta la configuración, se utilizan dos cargas axiales. La galga en la superficie inferior se coloca exacto debajo de la galga en la superficie superior, estas miden los esfuerzos de flexión que son de magnitudes iguales pero de signos opuestos. Cualquier cambio de la resistencia en las galgas activas, que resultan de las tensiones producidas por las cargas axiales, será cancelado porque las dos galgas activas están en brazos adyacentes del puente. Así mismo los cambios de la resistencia debido a los cambios de temperatura no se presentaran cuando ambas galgas y el espécimen experimentan los mismos cambios en temperatura. (Rincón, 2006)

2.5.2.4 Viga en flexión puente entero.

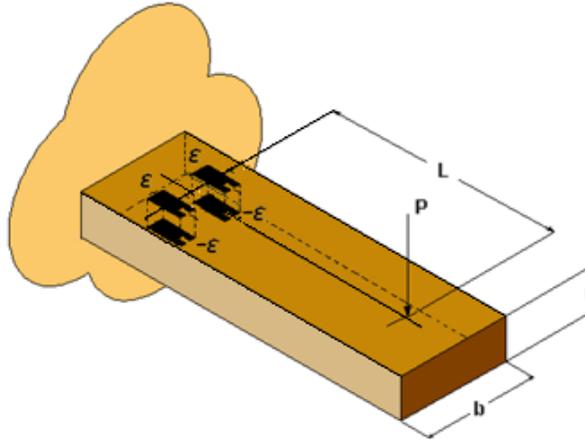


Figura 2.20 Configuración de viga en flexión puente entero.

Ecuación 2.27 para el cálculo de la deformación unitaria.

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Ebt^2} \quad 2.27$$

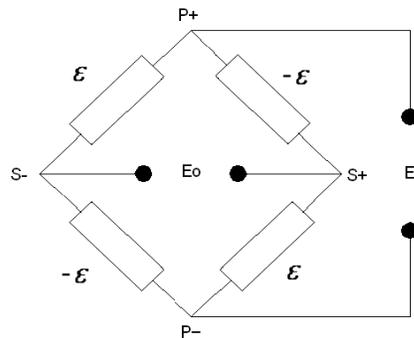


Figura 2.21 Diagrama de puente entero.

$$\frac{E_0}{E_i} = F \quad 2.28$$

En la Figura 2.21 se ejemplifica la versión de cuatro galgas esa es la configuración de tensión más popular de viga, la salida del puente es dos veces el valor del medio puente. Obsérvese que las dos galgas en la superficie superior están en los brazos opuestos del puente, al igual que las dos galgas en la superficie inferior. (Rincón, 2006)

2.5.2.5 Columna axial dos galgas en brazos opuestos.

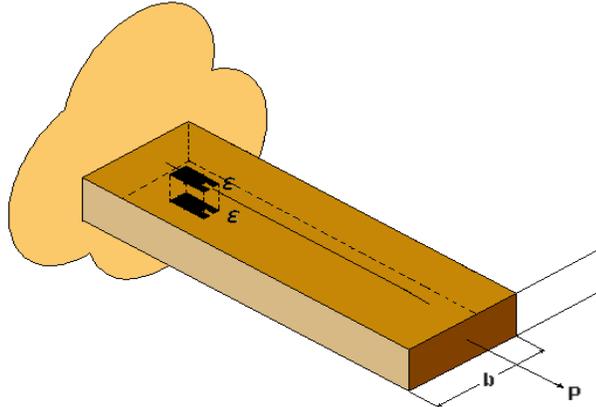


Figura 2.22 Configuración de Columna axial dos galgas en brazos opuestos

$$\epsilon = \frac{6PL}{Ebt} \quad 2.29$$

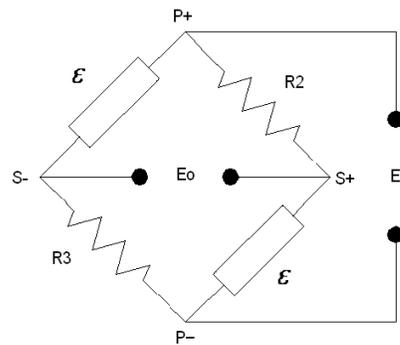


Figura 2.23 Diagrama en brazos opuestos.

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{F\epsilon}{2F\epsilon} \quad 2.30$$

La Figura 2.23 muestra la configuración física de las galgas es igual que la mostrada para el medio puente de flexión. Pero como las dos galgas activas ahora están conectadas eléctricamente en los brazos opuestos del puente, la configuración omite deformaciones por pandeo o flexión con magnitudes iguales y los signos opuestos. La magnitud de salida es alta pero es no lineal. La ecuación

2.29 es empleada para el cálculo de la deformación unitaria, la ecuación 2.30 se obtiene para el cálculo del voltaje de salida del puente de Wheatstone. (Rincón, 2006)

2.5.2.6 Columna axial puente lleno poisson.

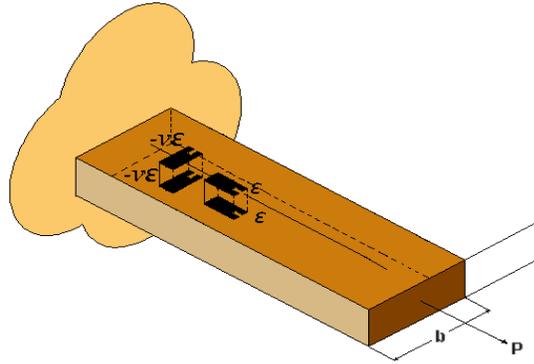


Figura 2.24 Configuración de Columna axial lleno poisson.

$$\varepsilon = \frac{PL}{Ebt} \tag{2.31}$$

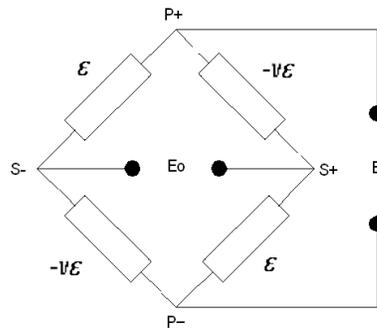


Figura 2.25 Diagrama de puente lleno-Poisson.

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{F\varepsilon(1+\nu)}{2 + F\varepsilon(1-\nu)} \tag{2.32}$$

Figura 2.25 muestra la configuración del puente lleno con una galga longitudinal y la galga transversal de poisson en ambas superficies es la más popular para las cargas axiales. La salida no es solamente más alta, sino que también es más lineal. (Rincón, 2006)

2.5.3 Excitación del puente de Wheatstone

Los esquemas con puentes de Wheatstone requieren en general fuente de voltaje constante para energizar el puente. Aunque no existe un nivel de voltaje estándar reconocido en la industria, se tienen algunas consideraciones, como las que se muestran en la Tabla 2-4. (Camacho, 1992)

Tabla 2-4 Voltajes de excitación recomendados (Camacho, 1992)

Configuración de puente	Resistencia	Rango de voltaje de excitación
Cuarto puente o medio puente	120	0<6.96V
	350	0<10V
	1000	0<10V
Puente completo	120	0<6.96V
	350	0<10V
	1000	0<10V

2.6 Acondicionamiento de señal

Los acondicionadores de señal, adaptadores o amplificadores, en sentido amplio son los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor electrónico, una señal apta para ser presentada o registrada o que simplemente permita un procesamiento posterior mediante un equipo o instrumento estándar. Consisten normalmente en circuitos electrónicos que ofrecen, entre otras funciones, las siguientes: amplificación, filtrado, modulación. (*Avendaño, 2001*)

En cualquier tipo de proceso, las funciones de acondicionamiento y procesamiento y presentación. Pero, en general, siempre es necesaria una acción sobre la señal del sensor antes de su utilización final. (*Pallás, 2003*)

En la etapa de acondicionamiento de señal es muy común el emplear amplificadores operacionales o de instrumentación para la manipulación y la eliminación del ruido. Esta etapa es de gran importancia para la adquisición de datos obtenidos de nuestro sensor. Al igual que los amplificadores operacionales en esta etapa fue de gran ayuda el emplear filtros, que permiten obtener una señal más limpia y clara para su manipulación. (*Avendaño, 2001*)

2.6.1 Amplificador de instrumentación

El amplificador de instrumentación es uno de los circuitos más versátiles, útiles del cual se puede disponer para cualquier sistema de adquisición y de control, pues en general, tiene que amplificar señales muy débiles (mV) de un dispositivo (Sensores de: temperatura, presión, señal eléctrica, etc.), en un ambiente ruidoso. Se constituye de varios amplificadores operacionales y resistencias de precisión; con lo cual el circuito resulta ser muy estable y útil en donde es muy importante la precisión (*Coughlin, 1999*).

La manera clásica de implementar un amplificador de instrumentación es con tres operacionales; dispuestos de acuerdo a la Figura 2.26. (*Coughlin, 1999*)

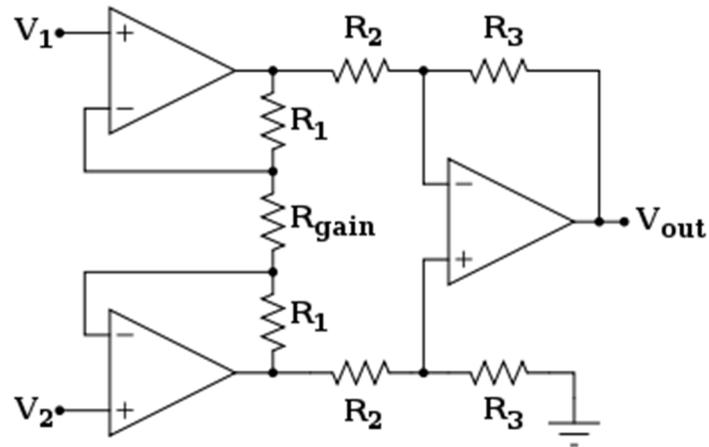


Figura 2.26 Amplificador de instrumentación.

Por ello, los amplificadores de instrumentación tienen que tener una serie de características muy especiales:

- Bajo nivel de ruido.
- Alta impedancia de entrada (para no cargar el sensor).
- Ganancia ajustable mediante una resistencia.
- Pequeñas tensiones y corrientes.

En los amplificadores de instrumentación, la ganancia del amplificador se encuentra dada por el valor de una sola resistencia y al ajustar el valor de dicha resistencia el voltaje que se obtendrá a la salida del circuito será proporcional a la diferencia entre los voltajes de entrada. (Coughlin, 1999).

2.6.1.1 Amplificador de instrumentación AD620

Al llevar a cabo la implementación de un amplificador de instrumentación con componentes discretos, suele ser difícil que estos elementos tengan un mismo valor, lo cual nos hace más complicado el manejo de las señales, debido a esto, en el mercado existen circuitos integrados con mejores características como el AD620 de la AnalogDevices.

El amplificador de instrumentación de circuito integrado internamente se encuentra constituido de manera similar al circuito de la Figura 2.26, cuyos

componentes se encuentran diseñados para que solo posean pequeñas variaciones entre ellos, esta característica hace que este amplificador tenga un mejor desempeño y al igual posea un amplio rango de ganancia y de voltajes de operación. (*Datasheet AD620, 2012*)

Los amplificadores operacionales (OPAMP) son circuitos integrados con la capacidad de realizar distintas acciones a una señal de entrada dada. En la Figura 2.27 , se muestra un amplificador operacional, donde $V+$ y $V-$ son las entradas de la señal, $VS+$ es la alimentación de la fuente positiva, $VS-$ la alimentación negativa, y $Vout$ la salida de la señal amplificada. (*Avendaño, 2001*)

El propósito de las pruebas realizadas con estos circuitos, es la obtención de una señal con una amplitud más perceptible y la reducción del ruido.

Algunas de las características con las que cuenta el amplificador AD620 son las siguientes:

- La ganancia de voltaje es de 1 a 10,000.
- La ganancia se coloca utilizando una sola resistencia.
- Opera con voltajes BIPOLARES de +- 2.3 a +- 18 Volts.
- Consumo de 1.3 mA.
- El desempeño en DC es excelente ya que solo tiene un máximo de 50 μV de offset.
- Desvió máximo de 0.6 $\mu V/^{\circ}C$.
- En AC tiene un ancho de banda de 120 KHz con ganancia de 100.

Dentro de las aplicaciones donde se utiliza, se encuentran:

- Instrumentación médica.
- Basculas electrónicas.
- Amplificación de transductores.

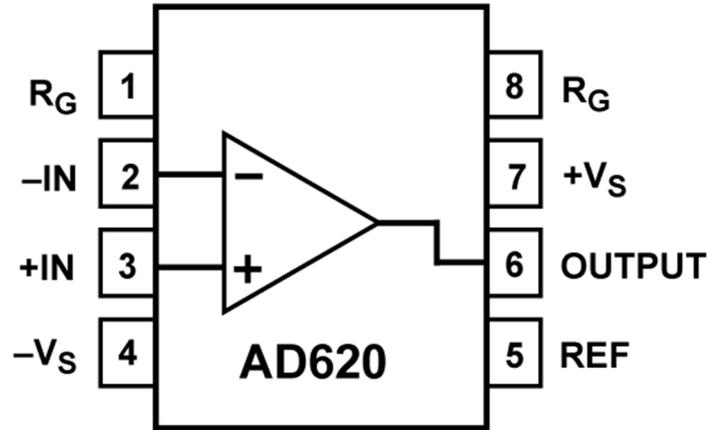


Figura 2.27 Diagrama del amplificador de instrumentación. (Datasheet AD620, 2012)

La Figura 2.27 muestra el diagrama de terminales corresponde a un amplificador de instrumentación donde la salida está dada por la Ecuación 2.33.

$$V_o = (V_{+in} - V_{-in})$$

2.33

Donde:

El voltaje de entrada es el voltaje diferencial entre las terminales $-IN$ y $+IN$, la ganancia AV está dada por la Ecuación 2.34. (Datasheet AD620, 2012)

$$AV = \frac{49.4K\Omega}{R_G} + 1$$

2.34

Un amplificador de instrumentación es un dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales. Se puede construir a base de componentes discretos o se puede encontrar encapsulado (por ejemplo el AD620 que es el que se empleó para el acondicionamiento de señal de la galga extensiométrica empleadas en este proyecto).

2.6.2 Filtros

El término filtrado se refiere al proceso de eliminación de cierta banda de frecuencia de una señal y permite que otras se transmitan. El rango de frecuencias que pasa un filtro se conoce como banda de paso, el que no pasa como banda de supresión; la frontera entre lo que se suprime y lo que se pasa se conoce como frecuencia de corte. Los filtros se clasifican de acuerdo con los rangos de frecuencia que transmiten o rechazan. Un filtro pasa bajas tiene una pasa bandas que acepta la transmisión de todas las frecuencias desde 0 hasta cierto valor. El filtro pasa altas tiene una pasa banda que permite la transmisión de todas las frecuencias a partir de un determinado valor hasta un valor infinito el filtro pasa bandas permite la transmisión de todas las frecuencias que están dentro de una determinada banda. El filtro supresor de banda rechaza e impide la transmisión de todas las frecuencias de cierta banda. En todos los casos, la frecuencia de corte se define como aquella para la cual el voltaje de salida es 70.7% del de la pasa banda. *(Pallás, 2003)*

El término pasivo describe un filtro en el cual solo hay resistencias, capacitores e inductores. El término activo se refiere a un filtro en el que también hay un amplificador operacional. Los filtros pasivos tienen la desventaja de que la corriente que absorbe el siguiente elemento puede modificar la característica de frecuencia del filtro. Estos problemas no se presentan en los filtros activos. *(Avendaño, 2001)*

Es muy común que los filtros pasa bajas se utilicen en parte del acondicionamiento de señales, debido a que la mayor parte de la información útil que se transmite es de baja frecuencia. Dado que el ruido tiende a producirse a frecuencias mayores, el filtro pasa bajas puede ser útil para bloquearlo. De esta manera el filtro pasa bajas se elige con una frecuencia de corte de 40 Hz para bloquear las señales de interferencia de la línea de alimentación comercial y el ruido en general la Figura 2.28, muestra las configuraciones básicas que se pueden utilizar para un filtro pasa bajas pasivo. *(Bolton, 2001)*

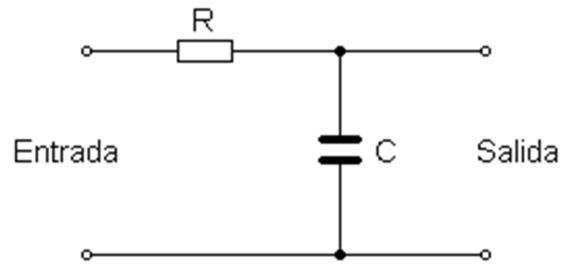


Figura 2.28 Filtro pasivo pasa bajas

Y la Figura 2.29, muestra la forma básica de un filtro pasa bajas activo. (Bolton, 2001)

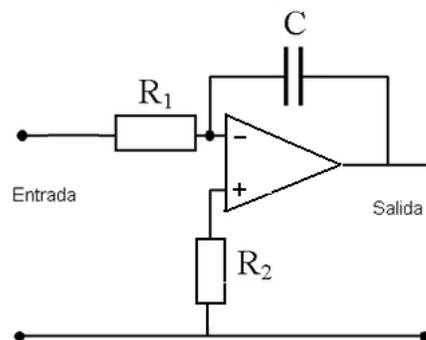


Figura 2.29 Filtro activo pasa bajas (Bolton, 2001)

El campo de los filtros activos fue considerablemente ensanchado con la aparición de AO, que les confiere las siguientes ventajas frente a los pasivos:

- Permiten la obtención de elevadas impedancias de entrada y bajas impedancias de salida, facilitando así la conexión en cascada de células de filtrado sin producirse prácticamente apenas interacción entre ellas. (Bolton, 2001)
- Eliminación de inductancia que pueden ser simuladas con circuitos activos. Esto implica una reducción de volumen y precio ya que la bobina es un elemento que sobre a todo a bajas frecuencias precisa tamaños considerables. (Bolton, 2001)

- Mientras que en los filtros pasivos la ganancia máxima que se puede obtener queda limitada a la unidad, en los filtros activos existe la posibilidad de amplificación. (*Bolton, 2001*)
- Posibilidad de integración híbrida debida a la eliminación de inductancias.
- El ancho de banda en un filtro pasa-banda se mide por medio de un factor de mérito Q llamado también factor de calidad, donde $Q = f_0/B$, siendo f_0 la frecuencia central. El ancho de la banda de un filtro pasivo está limitado por el Q de la bobina debido a la inevitable resistencia en serie del arrollamiento o a las pérdidas por histéresis en el núcleo magnético. Por el contrario, con los filtros activos se puede obtener el ancho de banda deseado, ajustado fácilmente Q con una resistencia, pudiendo conseguir valores de Q superiores a 100 Hz. (*Bolton, 2001*)

Por otra parte presentan las siguientes desventajas:

- Necesidad de utilizar una fuente de alimentación, que generalmente suele ser simétrica.
- Limitación de la tensión de salida, puesto que para valores de tensión de $\pm V_{sat}$ del operacional el filtro no se comporta de forma lineal, (*Batalla, 1993*).

3 Metodología.

La metodología del presente trabajo de tesis se encuentra dividida en secciones, las cuales se mencionan a continuación:

Establecer el marco teórico:

En esta sección se realizara la búsqueda de la bibliografía correspondiente a los temas, para la adquisición de datos que los sustenten, posteriormente se revisara y clasificara la información, para dar un soporte teórico a la presente tesis.

Diseño e implementación de la interfaz:

En esta sección, se implementara la interfaz, se empleara la tecnología de los microcontroladores, para establecer un protocolo de comunicación serial y la conversión de una señal análoga a digital.

Calibración del Sensor Strain-Gauge:

Se realizaran pruebas de calibración a los sensores, con la finalidad de obtener datos más precisos.

Instrumentación de la herramienta:

Se realizara la instrumentación de la herramienta, en la cual será colocado el sensor de fuerza en la herramienta de corte para llevar a cabo las mediciones de fuerza.

Pruebas de maquinados:

Para dichas pruebas, una vez colocado el sensor de fuerza se realizará una serie de maquinados con diversas geometrías. Para cada una de estas pruebas se pretende obtener como resultado los datos de fuerza generados durante el maquinado.

Gráficas:

Con los datos obtenidos de cada una de las pruebas se obtendrán las gráficas correspondientes, a las deformaciones unitarias provocadas debidas a las fuerzas en cada maquinado.

Análisis y discusión de resultados obtenidos:

Conclusiones:

La Figura 3.1 ejemplifica en un diagrama como se realizó cada una de las etapas mencionadas anteriormente.

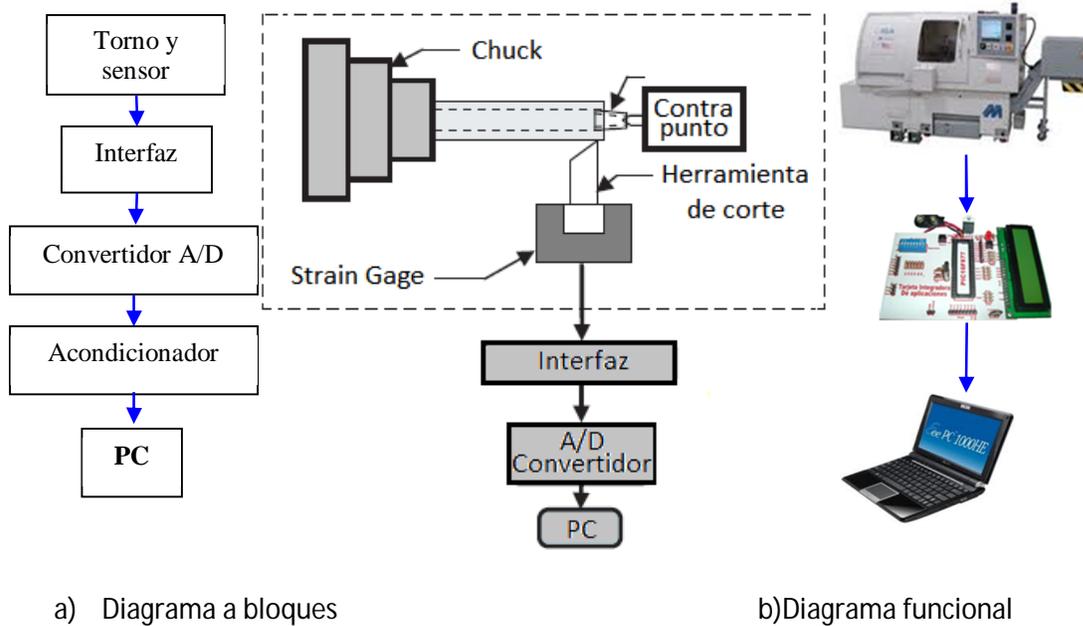


Figura 3.1 Instrumentación general.

3.1 Instrumentación de la herramienta.

En este capítulo se llevó a cabo la selección de la herramienta de corte, que se adecua a las necesidades de este trabajo de investigación; posteriormente se acondiciono esta herramienta, su medio de sujeción para que en la medición de las fuerzas en el proceso de torneado sean tomadas con la mayor precisión posible de acuerdo a las condiciones que cuenta la maquina en la cual se realizaran las pruebas de maquinado.

Para su instrumentación de la herramienta, esta abarca desde la preparación de la herramienta, el pegado del sensor, soldado y cableado de este.

3.1.1 Pegado de la galga extensiométrica.

Una vez seleccionado el tipo de herramienta de corte a utilizar, se procedió al pegado de la galga extensiométrica.

La galga extensiométrica puede ser adherida en casi cualquier tipo de material siempre y cuando la superficie de este se encuentre apropiadamente preparada. A continuación se describen los pasos necesarios para la correcta instalación de éstas en el elemento a ensayar. Esta es una operación que debe realizarse con mucha atención y cuidando todos los pasos que se enumeran a continuación, puesto que un mal pegado de las galgas puede llevar a la obtención de resultados falsos.

1° Es necesario limpiar la superficie sobre la que se va a situar la galga, aplicándole a continuación un desengrasante que no reaccione con el material a ensayar.

2° Se pule la superficie con papel de lija o con la ayuda de una pulidora mecánica intentando que desaparezcan las rugosidades, los poros y cualquier rastro de pintura u óxido que pudiera permanecer en ella.

Esta operación debe realizarse, en la medida que sea posible, en una dirección de 45° respecto de la dirección de medida de la banda. Se actúa utilizando

cada vez papeles de lija de grano más fino hasta obtener una superficie totalmente lisa.

3° Se limpia la superficie de los posibles restos de la operación anterior y se trazan con un bolígrafo los ejes para el posicionamiento de la galga.

Una vez que se tienen los ejes, se limpia la superficie con un disolvente tipo acetona y se van pasando gasas secas hasta que aparecen completamente limpias. En este momento la superficie se encuentra acondicionada para poder pegar la galga.

4° Con unas pinzas se saca la galga de su estuche de plástico y se coloca sobre un soporte de cristal completamente limpio.

A continuación se cubre la galga con una cinta autoadhesiva de forma que cuando se levante se lleve la galga, siempre procurando que no se doble la galga.

5° Se sitúa la cinta sobre el punto que se va a medir de forma que coincidan las marcas que tienen las galgas con los ejes de posicionamiento que anteriormente se han marcado en la superficie.

Seguidamente se fija un extremo de la cinta levantando el otro con un ángulo menor que 45° (para no crear tensiones en la galga al estirar) hasta que la galga está totalmente separada de la superficie.

Llegado este punto se aplica el adhesivo al reverso de la banda y una pequeña cantidad sobre la superficie de asiento, que variará en función del tamaño de la galga.

6° A continuación se baja la cinta de manera que la galga se sitúe en su posición definitiva. Esta operación se lleva a cabo con la ayuda de un papel de teflón para evitar tocar el adhesivo directamente ejerciendo una pequeña presión con el dedo.

Se pasa una gasa por encima para evitar la formación de burbujas y eliminar el adhesivo sobrante, logrando de este modo una capa fina de adhesivo que asegure un óptimo funcionamiento del conjunto galga-material.

7° Se aplica una fuerza sobre la galga durante un minuto con peso muerto que ayudará a conseguir un estado de presión uniforme sobre todo el conjunto.

8° Pasado un tiempo se despegla la cinta autoadhesiva quedando la galga firmemente sujeta a la superficie de estudio. Esta operación debe realizarse lentamente y doblando la cinta sobre sí misma.

9° Una vez el proceso de montaje de la galga en sí ha finalizado, hay que soldar la galga a los terminales previamente estañados.

Por último se sueldan los cables a los terminales de la galga. Con el fin de comprobar que durante el proceso seguido la galga no ha sido dañada, se garantiza que su resistencia es la nominal, tal y como se muestra en la Figura 3.2, Martín et al. (1992).



Figura 3.2 Galga colocada en la superficie de la herramienta.

3.1.2 Diseño análisis y fabricación de portaherramientas

Con la finalidad de que la galga extensiométrica no se encontrara instalada directamente en la herramienta de corte se diseñó un portaherramientas, cuya estructura cuenta con una ranura que permite una mayor apreciación de las deformaciones que este sufre, se procedió a realizar un nuevo diseño de portaherramientas, con el cual pueda ser medida la fuerza de corte F_c generada en

los procesos de maquinado en el torno. La Figura 3.3 muestra el isométrico del nuevo portaherramientas.



Figura 3.3 Diseño del portaherramientas.

El principio fundamental de este portaherramientas, para medir este tipo de fuerza de corte, consiste en la medición de las deflexiones o de las deformaciones unitarias, inducidas en la estructura de este, debidas a la fuerza de corte tangencial.

Una de las características que debe de cumplir el portaherramientas es que el desplazamiento de la herramienta debe ser tan pequeño como sea posible, para que no se altere la geometría del proceso de corte. Por lo tanto, de ser posible, el portaherramientas debe ser fabricado de un solo bloque de material.

3.1.2.1 Cálculo de la fuerza de corte

La parte más importante de una operación de maquinado de metal, es el punto en donde la herramienta de corte hace contacto con la pieza de trabajo y arranca la viruta. Es necesario comprender lo que sucede en la zona corte con el fin de apreciar lo que hace una buena herramienta de corte y como deberá operar. La acción básica, es la misma ya sea que se tenga un solo borde por cortar o varios bordes.

Cuando una herramienta corta el metal, está impulsada por la fuerza necesaria para superar la fricción y las fuerzas que mantienen unido al metal.

Para llevar a cabo la una aproximación del valor de la fuerza tangencial de corte en un proceso de torneado, es necesario el establecer algunos parámetros del proceso, tales como la profundidad de corte (d), el avance (f), la velocidad de corte, el diámetro inicial y final de la pieza a maquinar entre otros, parámetros que fueron descritos en el capítulo 2.

Profundidad de corte (d) 0.8 mm.

Avance por revolución (f) 0.2 mm/rev.

Velocidad de corte (V_c) 330 m/min

Diámetro inicial (D_{wi}) 19mm.

Diámetro final (D_{wf}) 12.7mm.

Sustituyendo en la ecuación 2.7, se tiene:

$$N_w = \frac{330}{\pi * 0.019} = 5528.54 \text{ rev/min}$$

Posteriormente se calculó el número de pasadas necesarias para llevar a cabo el maquinado, tal y como se muestra en la ecuación 3.1 .

$$N = \frac{D_{wi} - D_{wf}}{2 * d} = \frac{19 - 12.7}{2 * 0.8} = 3.93$$

3.1

$$D_{avg} = \frac{D_{wi} + D_{wf}}{2} = \frac{19 + 12.7}{2} = 15.85, \text{apulgadas } 0.624$$

Transformando todo a pulgadas, se calculada velocidad de remoción de material.

$$D_{avg} = \pi * 0.622 * 0.00787 * 0.031496 * 5528.54 = 2.687$$

Calculo la potencia consumida durante el proceso

$$P = 1.5 * 2.687 = 4.031 \text{ HP}$$

Considerando que un *Hp* es igual a 396000 lb*in/min. Se obtiene que la potencia es igual a:

$$P = 1596595.435 \text{ lb in/min}$$

Se realiza el cálculo del torque

$$\tau = \frac{1596595.435}{2\pi * 5528.54} = 45.962 \text{ lb} * \text{in}$$

Para obtener el valor de la fuerza, el torque se divide entre el brazo de palanca que corresponde al valor de la profundidad de corte.

$$F_c = \frac{45.962}{0.0314} = 147.31 \text{ lb}; F_c = 655.5 \text{ N}$$

Ya que el valor de *Ff* es del 50% de *Fc*, se tiene que.

$$F_f = 327.77 \text{ N}$$

3.2 Diseño e implementación de la tarjeta para la adquisición de datos.

Para la implementación del módulo de adquisición de datos, fue necesario plantear de manera primordial, las necesidades de diseño que tendrá que cubrir dicho modulo, se hará una descripción de cada uno de los módulos que lo conforman y sus principios de operación de los mismos. Por último, se presentaran algunas de las pruebas preliminares para verificar el funcionamiento del módulo como son, las pruebas de acondicionamiento de señal del transductor, hasta la implementación del dispositivo en la herramienta de corte.

Algunas de las necesidades que el modulo tendrá que cubrir será las siguientes:

Deberá contar con un módulo de adquisición de datos, que responda a las variaciones de fuerza desarrollada en una herramienta de corte durante un proceso de torneado. El equipo deberá presentar una variación pequeña y en comparación con otros módulos de adquisición más complejos. De igual manera contara con una con una interfaz, para la visualización de los parámetros analizados, los cuales deberán ser almacenados para su análisis.

3.3 Interfaz gráfica

Para llevar a cabo la visualización de los parámetros involucrados en un proceso de torneado, es necesario contar con un sistema de interfaz gráfica que realice dicha tarea, la cual deberá de ser sencilla para su fácil manejo pero a su vez deberá contar con las herramientas necesarias para brindar al usuario una buena visualización de los datos obtenidos en las pruebas realizadas; para esto se implementó la interfaz que se muestra en la Figura 3.4, la cual fue diseñada en la plataforma Visual Studio. A continuación se mencionan los diferentes iconos que la conforman y posteriormente se hace una pequeña descripción de las funciones que estos realizan.

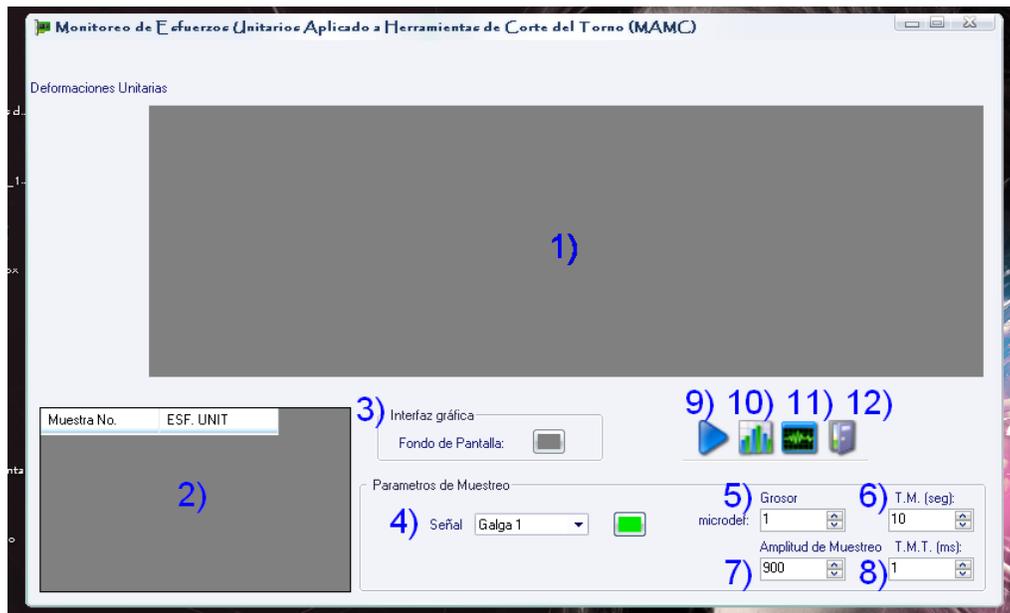


Figura 3.4 Ventana de interfaz gráfica.

1) Pantalla de muestreo: En esta pantalla se observará la gráfica de la señal muestreada, obtenida de la galga extensiométrica.

2) Pantalla de despliegue de valores: En esta pantalla se desplegarán los valores tanto del número de muestra y el valor correspondiente a la señal muestreada, el cual corresponderá al valor que se muestra en la pantalla de muestreo.

3) Selector de fondo de pantalla: La interfaz gráfica cuenta con la opción de que el usuario puede seleccionar el color de fondo de pantalla con el que desee trabajar, esta opción desplegara un cuadro de dialogo en el cual se muestra una variedad de colores para elegir el fondo de la pantalla de muestreo.

4) Señal: En los parámetros de muestreo se cuenta con la opción de señal, en la cual se tiene la opción de obtener la lectura adicional de otra galga extensiométrica, de igual manera se puede seleccionar el color de la gráfica de cada uno de los sensores, con la finalidad de que el usuario no confunda las señales.

5) Grosor: Esta opción permite al usuario elegir el grosor de línea de la gráfica de cada uno de los sensores, esta opción le permitirá al usuario observar las gráficas con mayor claridad.

6) Tiempo de captura: Esta opción permite al usuario elegir por cuánto tiempo (*ms*) se desea hacer la captura de los datos.

7) Amplitud de muestreo: Esta opción permite realizar la manipulación de la amplitud de la señal en rangos desde 0-1023 bits, o su correspondiente en voltaje de 0-5 V.

8) frecuencia o tiempo de muestreo: Esta opción permite al usuario elegir el tiempo o taza de muestreo empleado para la lectura de los datos, en un rango de 10 a 100 *ms*.

9) Iniciar captura: En este botón permite iniciar con la lectura de los datos y de igual manera con la visualización de las señales de los sensores

10) Mostrar reporte y gráfica: En esta opción los datos obtenidos en cada una de las muestras, serán exportados a Excel, en el cual se generara un reporte de los valores obtenidos y generara una gráfica de estos, esta opción estará habilitada una vez terminada la captura de los datos.

11) Mostrar señal completa: Con este botón se desplegara en la pantalla de muestreo la gráfica con todos los datos obtenidos durante cada una de las pruebas.

12) Salir: Con este botón se finalizarán todas las tareas en la interfaz gráfica y se cerrará la ventana de la interfaz.

3.4 Implementación y pruebas preliminares

Para esta etapa de la investigación, se muestran los resultados del sistema de monitoreo; dichos resultados serán de gran importancia para la justificación de los objetivos que en este trabajo fueron planteados.

En función de todo el trabajo realizado y de la culminación total del mismo, se propuso la experimentación con algunos procesos de torneado y para distintos materiales, para la comprobación del óptimo funcionamiento del sistema, los párrafos siguientes describen las características y los parámetros con los cuales fueron realizados los experimentos.

3.4.1.1 Primera prueba estática.

Una vez teniendo la programación del microcontrolador y el arreglo del puente de Wheatstone, en su configuración cuarto de puente, el cual a su vez es conectado directamente a un voltaje de 5V. Y su salida a un amplificador de instrumentación AD620 de Analog-Devices. Un amplificador de instrumentación, el cual es la mejor opción para acondicionar y amplificar las señales que se obtienen en este tipo de aplicaciones. La señal acondicionada, es digitalizada mediante el ADC del Pic.

Para la realización de las pruebas y la caracterización del sensor y su respuesta, fueron colocados pesos conocidos, de 0 a 981 N. En incrementos de 196 N. cada uno, estos se aplicaron en la punta de la herramienta de corte tal y como actúa la fuerza tangencial, así como se muestra en la Figura 3.5,

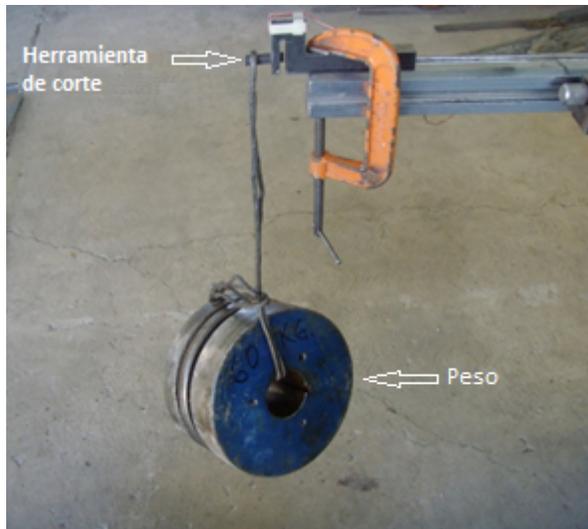


Figura 3.5 Sistema sometido a carga.

La Tabla 3-1 , muestra los valores de voltaje que entrega el sistema en función de la fuerza ejercida por la masa, sin embargo aun cuando el sistema se encontraba sometido a ninguna fuerza, se registró un voltaje de umbral de 2.04 volts. Entonces, se procedió a normalizar el voltaje restándole a la lectura actual el voltaje de umbral mismo. Es importante mencionar que la experimentación se realizó con una temperatura de 21°C.

Tabla 3-1 Peso vs. Voltaje del sistema.

Peso (N)	Volts	Volts normalizados
0	2.04	0
196.2	2.0	-0.04
392.4	1.96	-0.08
588.6	1.92	-0.12
784.8	1.88	-0.16
981	1.84	-0.2

En la Tabla 3-1, se aprecia el comportamiento de la respuesta del sistema a la fuerza ejercida por la masa aplicada, la Figura 3.6 muestra la gráfica correspondiente a los valores obtenidos durante la prueba

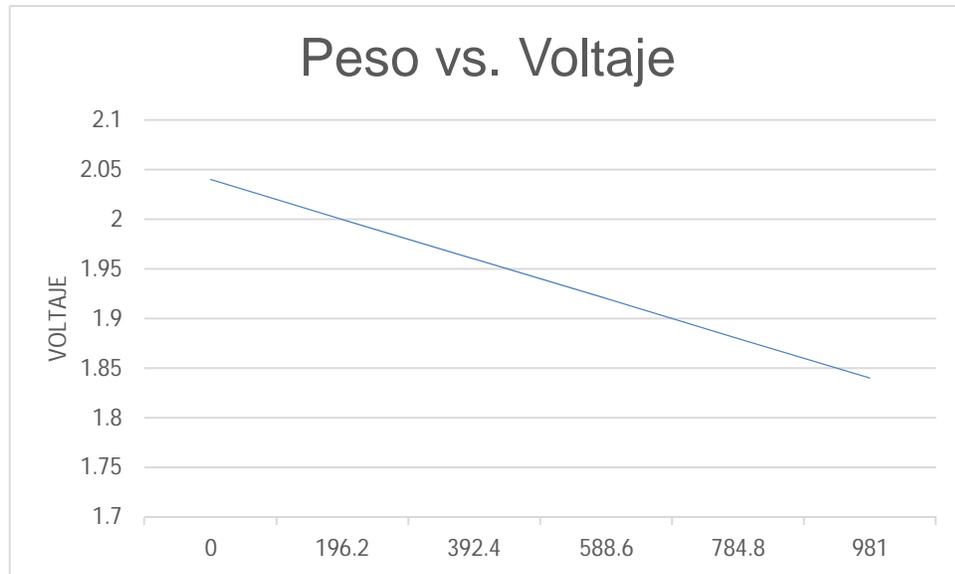


Figura 3.6 Relación peso vs volts.

. Con esto obtenemos la ecuación que caracteriza el comportamiento del sensor, tal y como se muestra en la ecuación 3.2.

$$W = -4905 x + 9810 \quad 3.2$$

Para la comprobación de la ecuación, se realizó la grafico que se muestra en la Figura 3.7, como se puede observar en la gráfica el sensor se comporta lineal.

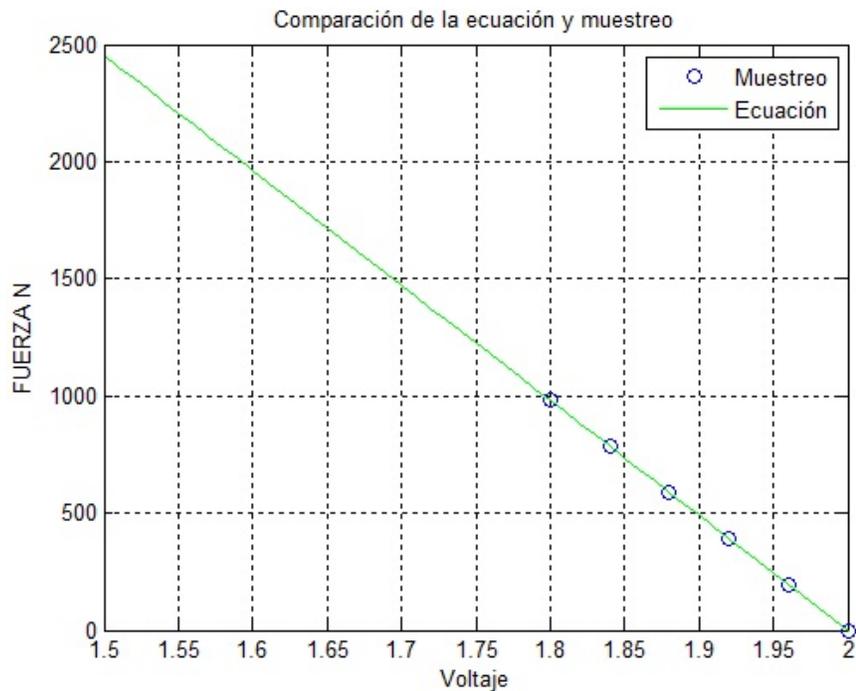


Figura 3.7 Comprobación de la ecuación y el muestreo.

De igual manera fue realizada esta prueba simulando el efecto de las otras componentes de fuerza que interactúan en el proceso, cabe mencionar que de igual manera fueron colocados los pesos y fueron tomadas las lecturas obtenidas para cada uno de estos, resultados de los cuales se puede mencionar que el para la fuerza de corte radial se tiene una pequeña variación en el voltaje obtenido, de un 0.01V por cada valor de peso colocado, para la fuerza debida al avance de la herramienta de corte en dicha prueba fue posible el percatarse que existía una mayor variación en las lecturas, en comparación a las obtenidas con la fuerza radial, ya que en esta influía la longitud de la herramienta de corte ya que facilitaba la deformación del porta herramientas, sin embargo esta mediciones no sobrepasaron las obtenidas en la prueba de la fuerza tangencial, ya que era una mayor sección que se tenía que deformar en comparación a la de la fuerza tangencial.

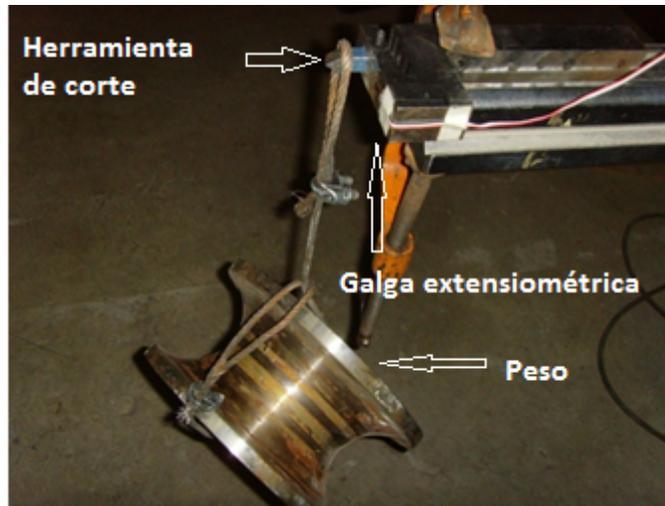


Figura 3.8 Prueba fuerza de avance.

3.4.2 Puesta en ceros del puente de Wheatstone

Como anteriormente fue mencionado un puente de Wheatstone, permite medir con exactitud las pequeñas variaciones que se presentan en resistencias y detectar el voltaje generado por dicha variación, por tal motivo es de suma importancia que el puente de Wheatstone se encuentre balanceado, es decir que a la salida de este el voltaje sea cero, Se describe el proceso de prueba de acondicionamiento de señales. La primera tarea es calibrar el Puente, ajustando al mismo valor de la galga un potenciómetro (calibrador), que es una resistencia variable, con ayuda de un desarmador. En la Figura 3.9, se muestra la calibración del Puente y los voltajes de salida.

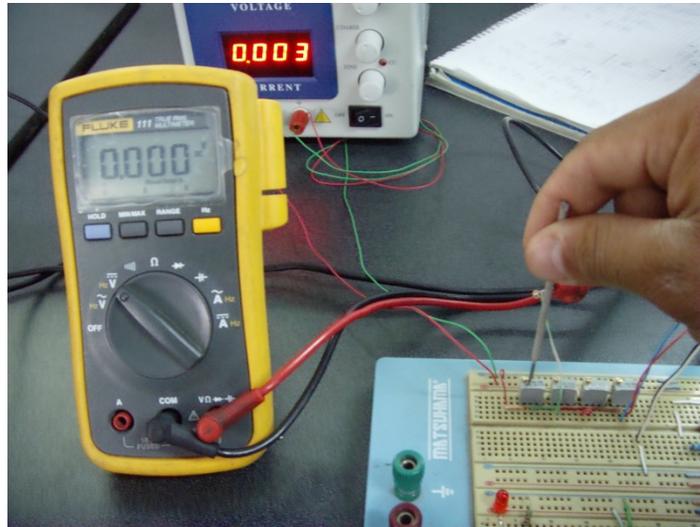


Figura 3.9 Balanceo de puente de Wheatstone.

Cabe mencionar que para esta prueba se consideró el auto calentamiento de la galga extensiométrica, es decir ya que la rejilla de la galga es muy delgada y a pesar de que la corriente que circula por ella es relativamente pequeño, se puede presentar calentamiento de la rejilla, por tal motivo fue colocada una resistencia de mayor valor en serie con la galga extensiométrica, esto con la finalidad de que la corriente que circula a través de esta sea mucho menor.

Posteriormente se flexiona el objeto en el que está montada la galga extensiométrica, con lo cual se puede obtener una variación de voltaje a la salida del puente de Wheatstone y de igual manera se puede medir la variación de resistencia que sufre el sensor, una vez conocidos estos valores se procede a realizar el análisis de los resultados de manera analítica, mediante la expresión que representa el comportamiento del puente de Wheatstone en su configuración de cuarto de puente, la cual está dada por la ecuación 3.3.

$$E_0 = \frac{E_i}{4} \left(\frac{\Delta R}{R + \frac{\Delta R}{2}} \right) \quad 3.3$$

Donde ΔR es el cambio de resistencia del sensor, el cual en este caso es de 0.2 con resistencias de 1120 Ω , sustituyendo estos valores en la ecuación 3.3 se obtiene:

$$E_0 = \frac{5}{4} \left(\frac{0.2}{1120 + \frac{0.2}{2}} \right) = E_0 = 0.22mV$$

El cual se puede comprobar de manera experimental, tal y como se muestra en la Figura 3.10, con la cual queda comprobado tanto de manera analítica como experimental el comportamiento del puente de Wheatstone en su configuración de cuarto de puente.

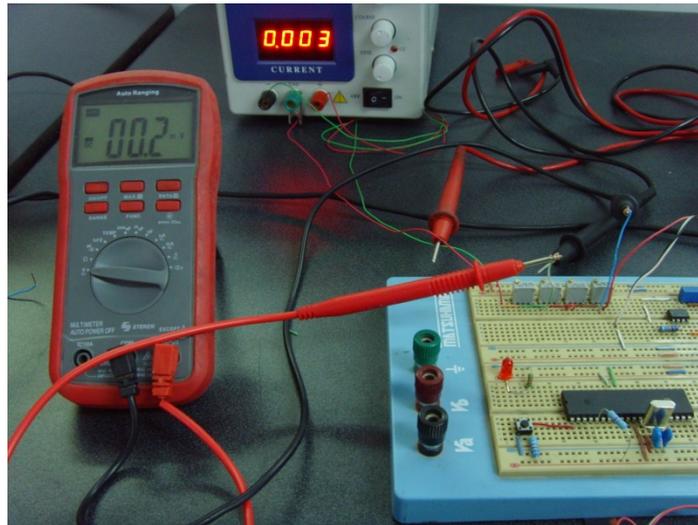


Figura 3.10 Prueba experimental con puente de Wheatstone.

3.4.3 Prueba de acondicionamiento de señal.

A continuación se describe el proceso que se realizó para el acondicionamiento de la señal del transductor de fuerza instrumentado en la herramienta de corte, realizando este proceso bajo la configuración de puente de Wheatstone en su configuración de cuarto de puente.

Para la realización de las pruebas se utilizó una segueta instrumentada con una galga extensiométrica adherida a esta y posteriormente se somete a esfuerzos de flexión.

Conforme a la configuración mostrada en la Figura 3.11, empleando el amplificador de instrumentación AD620, alimentados a +12 y -12 Volts en sus terminales 7 y 4 respectivamente y ya que la ganancia que se maneja para este tipo de amplificadores depende del valor de una sola resistencia; el valor de esta será ajustado mediante un potenciómetro (calibrador), que es una resistencia variable, con el cual se puede manejar un amplio rango de ganancias.

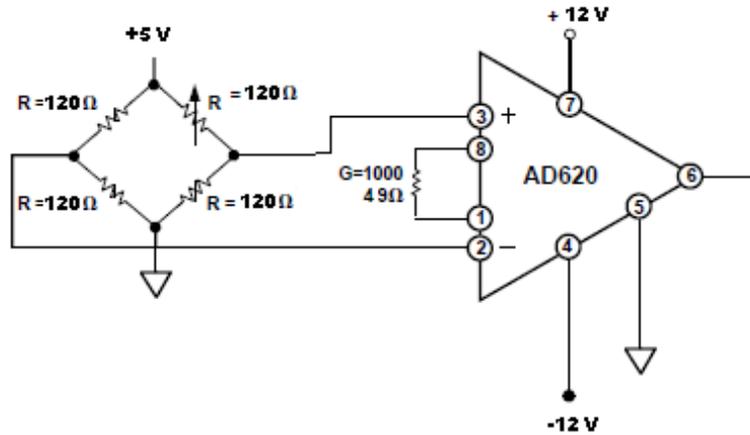


Figura 3.11 Esquema para el acondicionamiento de señal

A continuación en la Figura 3.12 se muestran el valor de voltaje obtenido a la salida del puente de Wheatstone, el voltaje medido a la salida del amplificador de instrumentación respectivamente, esto con una ganancia de 1000.



Figura 3.12 Prueba de amplificación

Una vez ajustada la etapa de amplificación, se procedió a realizar una prueba para conocer el comportamiento del sensor, correspondiente al cambio de resistencia que sufre este. Para dicha prueba se utilizó una barra de 0.57mm, de espesor, 12mm de ancho y un brazo de palanca 90mm, la cual se muestra en la Figura 3.13, la distancia del brazo de palanca se tomó del extremo de la barra donde será aplicada una fuerza al centro de la galga.

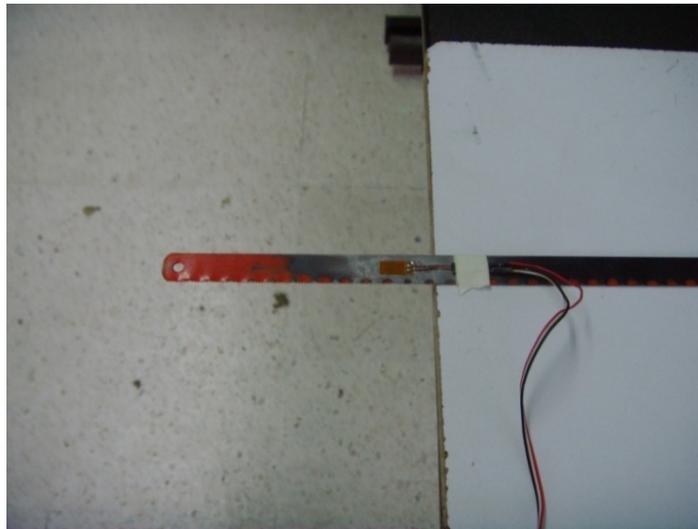


Figura 3.13 Barra empleada para pruebas preliminares.

En la prueba se pretende aplicar un peso conocido en el extremo de la barra y con esto poder medir la variación de voltaje que se presenta a la salida de nuestro amplificador, de igual manera se medirá las variaciones que presente la lectura ante un cambio de temperatura.

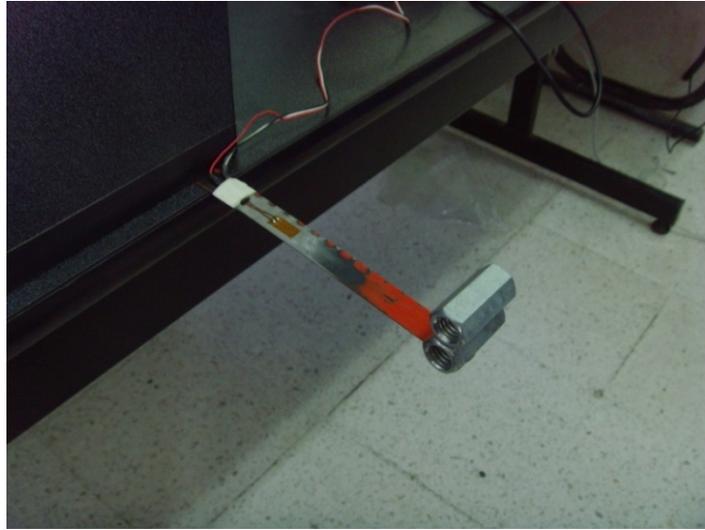


Figura 3.14 Barra deformada con dos pesas.

Una vez aplicada la fuerza los valores obtenidos en una de las pruebas se muestran en la Figura 3.14, como se puede apreciar el valor de voltaje disminuye al presentarse una variación en la resistencia de la galga.



Figura 3.15 Voltaje obtenido después de deformar la barra.

3.4.4 Programación del PIC

Una vez armado el circuito de la interfaz se llevó a cabo la programación del PIC, esta fue realizada en software PCW. Primeramente, se crea un nuevo proyecto, y posteriormente se generara la plantilla base con la que serán configurados los

parámetros del pic, en esta se selecciona el microcontrolador que con el que se trabajara; de igual manera se configura la frecuencia del oscilador, al igual se realizó la configuración la las entradas analógicas, para la configuración de estas se seleccionó la opción Units 0- 255, ya que la resolución que se estará trabajando será de 8 bits. Se configura el tipo de interrupción para el proyecto, el cual para este caso se emplea el Timer0. En el menú, posteriormente es configurada la resolución que se empleara en el proyecto; dicha resolución en de 3.2 μ s. Una vez terminada la configuración del microcontrolador, ya se cuenta con la plantilla, la cual cuenta con los fusibles y parámetros necesarios para su buen funcionamiento, posteriormente se insertara el código del programa mostrado en el Anexo 1,

Capítulo 4

4 Resultados y análisis de resultados.

En esta etapa se abordan los resultados y los logros obtenidos con la implementación de nuestro modulo, durante diversos experimentos. En cuanto a la implementación los resultados obtenidos son de gran importancia, puesto que se lograron cubrir los objetivos propuestos en este trabajo de investigación.

Por otra parte, con la culminación de este trabajo, se realiza la propuesta de las pruebas para comprobar el funcionamiento del módulo implementado y de igual manera validar los resultados que se obtendrán durante las pruebas. A continuación se describe las características, condiciones y parámetros empleados durante dichas pruebas.

4.1 Matriz de experimentos

Para este trabajo fueron realizadas diversas pruebas con barras de acero 1018 ya que en cada una de las pruebas se pretende medir la fuerza generada en la herramienta de corte durante un proceso de torneado, se requiere de conocer algunos parámetros de corte, tal y como se muestran en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1 Parámetros empleados para la realización de las pruebas

Material	Velocidad de corte rpm	Avance (mm/rev)	Profundidad (mm)
Acero 1018	180	0.028	1
Acero 1018	180	0.028	2
Acero 1018	180	0.051	1
Acero 1018	180	0.051	2
Acero 1018	180	0.068	1

Acero 1018	180	0.068	2
Acero 1018	212	0.028	1
Acero 1018	212	0.028	2
Acero 1018	212	0.051	1
Acero 1018	212	0.051	2
Acero 1018	212	0.068	1
Acero 1018	212	0.068	2
Acero 1018	355	0.028	1
Acero 1018	355	0.028	2
Acero 1018	355	0.051	1
Acero 1018	355	0.051	2
Acero 1018	355	0.068	1
Acero 1018	355	0.068	2

Para la realización de las pruebas fue necesario primeramente definir el tipo de material en el cual serán realizadas dichas pruebas, el proceso de maquinado que se le realizara a cada material y por último los parámetros involucrados en este proceso. Los materiales a utilizar, son los siguientes acero, el cual posee ciertas características mecánicas, lo cual nos brinda un amplio panorama de resultados, de igual manera fueron realizados pruebas de cilindrado, para las cuales se variaron algunos parámetros de corte tales como la profundidad de corte, el avance de la herramienta y la velocidad de giro del material.

4.2 Adquisición de datos fuerza.

Ya habiéndose definido las características físicas y los parámetros para cada una de las pruebas, se colocó la calza que soporta la herramienta de corte en la torreta del torno, se ajustaron los valores de velocidad, avance y profundidad para proceder a realizar la prueba.

Las pruebas fueron realizadas empleando como material de estudio acero 1018; como ya se mencionó la prueba fue un cilindrado, la cual fue realizada con una velocidad de corte de 180 rpm. Un avance de 0.028 mm/rev. Y una profundidad de corte de 1 mm.



Figura 4.1 Datos de prueba acero.

Para la primer prueba, en la se presentan los resultados obtenidos durante la prueba, en la primer grafica se muestra en valor obtenido del ADC, la segunda grafica muestra el correspondiente en fuerza, del cual se obtuvo un valor alrededor de 183.3 N.

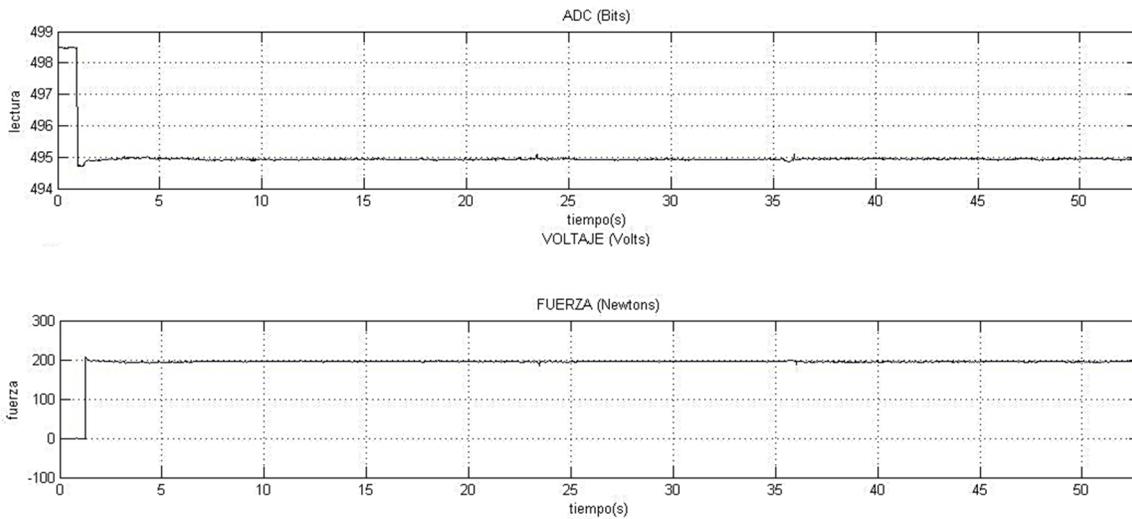


Figura 4.2 Prueba de maquinado No. 1 Fuerza en función del tiempo.

El comportamiento del segundo ensayo mostró un resultado de 355.2 N. al término de la prueba, para una profundidad de corte de 2mm en contraste del valor calculado de 168.27 N como se muestra en la Figura 4.3.

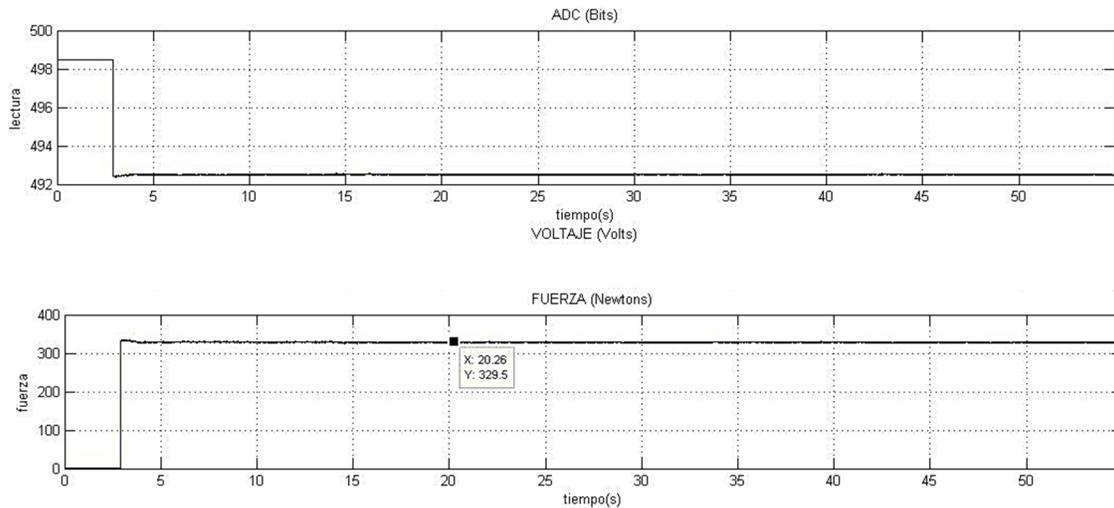


Figura 4.3 Prueba de maquinado No. 2 Fuerza en función del tiempo.

Los resultados obtenidos en las pruebas 3, 4, 5 y 6. Se presenta en la Figura 4.4 a la Figura 4.7. Para la prueba no.3 la fuerza obtenida fue de 329.5 N. con una profundidad de 1mm.

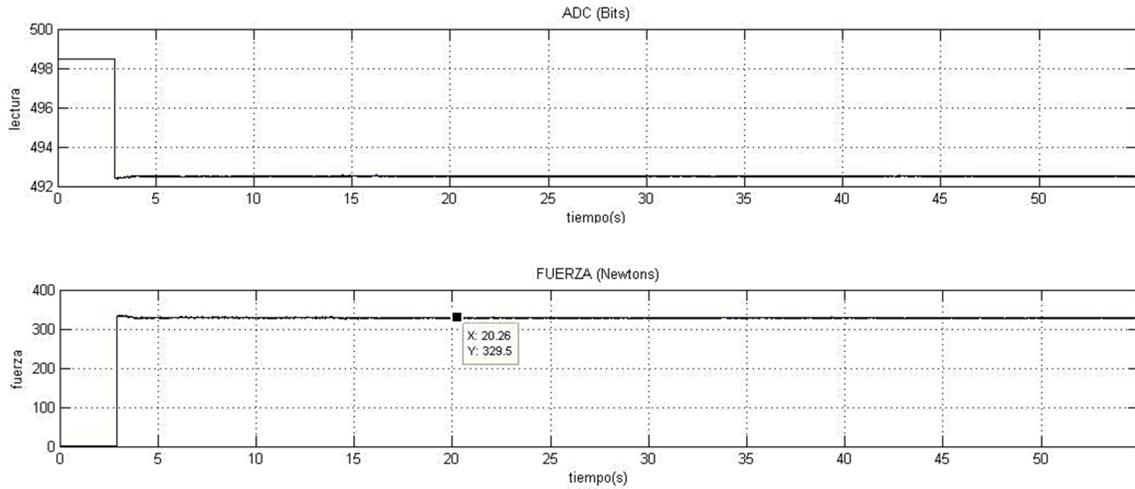


Figura 4.4 Prueba de maquinado No. 3 Fuerza en función del tiempo.

Los resultados correspondientes a la prueba no.4 son de 636.9 N. para una profundidad de 2mm.

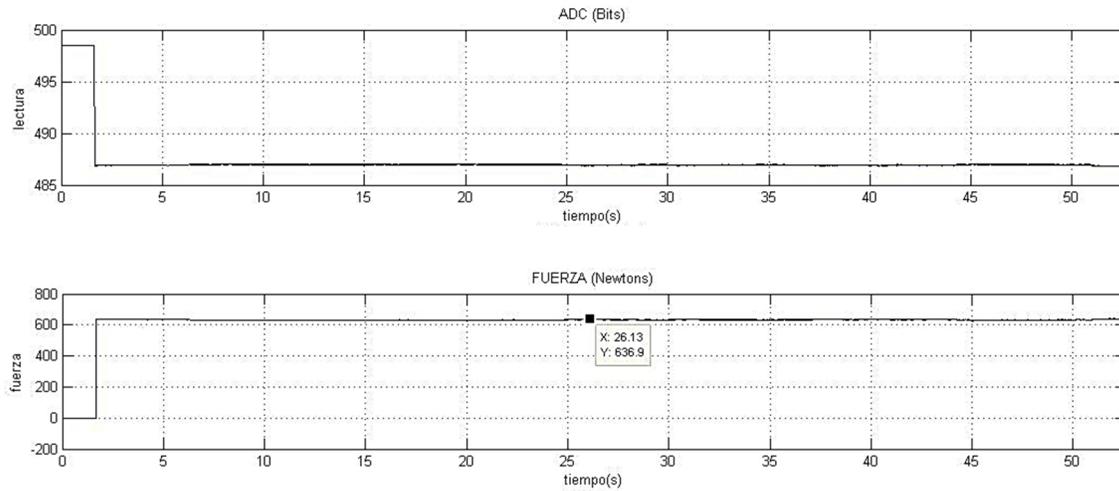


Figura 4.5 Prueba de maquinado No. 4 Fuerza en función del tiempo.

Para la prueba no.5 se tuvieron los valores: 425.1 N. y su profundidad de corte fue de 1mm.

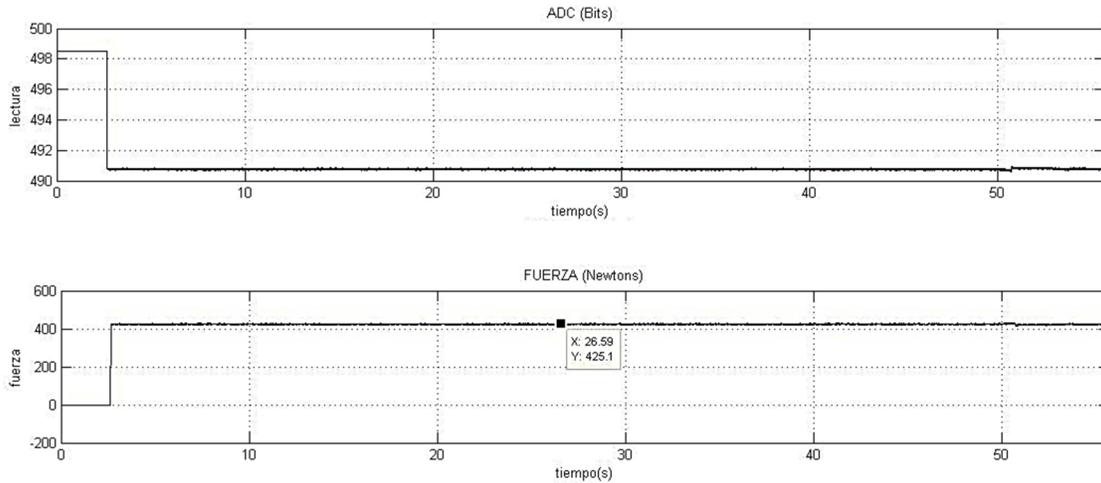


Figura 4.6 Prueba de maquinado No. 5 Fuerza en función del tiempo.

Para la prueba no.6 la fuerza obtenida fue de 826.2 N. esto para un valor de profundidad de corte de 2mm. En la Figura 4.7 nos muestra las gráficas de esta prueba.

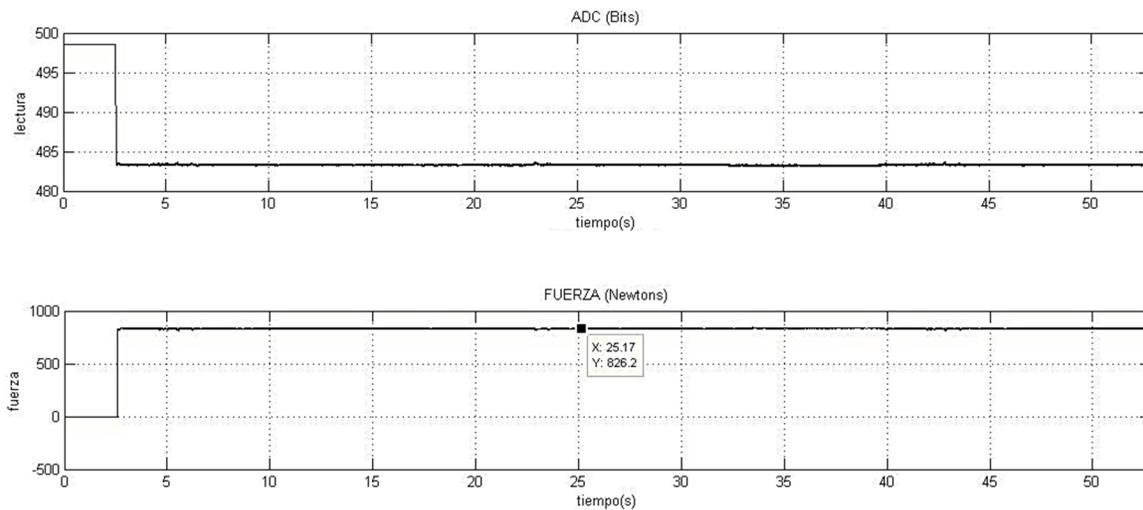


Figura 4.7 Prueba de maquinado No. 6 Fuerza en función del tiempo.

Así mismo para la obtención de los resultados de fuerza se siguió la misma metodología empleada para para las pruebas con la velocidad de corte de 180 rpm, donde fueron considerados los parámetros de corte que se muestran en la Tabla 4-1.

Para cada uno de los experimentos de la Tabla 4-1 fueron calculados los valores de la fuerza de tangencial de corte, generada con estos parámetros, de igual manera se muestran los valores de fuerza obtenidos a partir de las mediciones obtenidas, estos valores se reportan en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2 Valores de fuerza obtenidos de las pruebas.

Material	Velocidad de corte rpm	Avance (mm/rev)	Profundidad (mm)	CALCULADA	MEDIDA
Acero 1018	180	0.028	1	168.27	183.3
Acero 1018	180	0.028	2	336.51	355.2
Acero 1018	180	0.051	1	306.46	329.5
Acero 1018	180	0.051	2	612.92	636.9
Acero 1018	180	0.068	1	408.61	425.1
Acero 1018	180	0.068	2	817.23	826.2
Acero 1018	212	0.028	1	168.27	185.2
Acero 1018	212	0.028	2	336.51	354.3
Acero 1018	212	0.051	1	306.46	331.5
Acero 1018	212	0.051	2	612.92	637.1
Acero 1018	212	0.068	1	408.61	424.5
Acero 1018	212	0.068	2	817.23	827.7
Acero 1018	355	0.028	1	168.27	184.4
Acero 1018	355	0.028	2	336.51	352.6
Acero 1018	355	0.051	1	306.46	335.2
Acero 1018	355	0.051	2	612.92	635.6

Acero 1018	355	0.068	1	408.61	427.7
Acero 1018	355	0.068	2	817.23	825.9

La Tabla 4-2 presenta dos columnas de fuerza calculada, una determinada a partir de los cálculos matemáticos y la otra columna muestra los valores obtenidos a partir de los valores obtenidos al término de la prueba. Como se puede notar, la diferencia que existe entre estos valores es pequeña, cabe decir que el error que se presenta entre ambas mediciones, para cada una de las pruebas, se debe a varios factores, como pueden ser el estado de la herramienta, el juego mecánico existente entre los carros y bancada del torno; sin embargo pueden considerarse los resultados de las pruebas confiables.

Otra observación muy importante referente a las pruebas es que los valores de fuerza se mantienen constantes cuando se cambian las velocidades de corte y avances, solo se presentan variaciones cuando se cambia la profundidad de corte en la prueba, la diferencia que presenta el mismo material en sus propiedades mecánicas.

A continuación se muestra en la Figura 4.8 una comparación de la fuerza tangencial, en el cual mantenemos constante el valor de las RPM de 180, la profundidad de corte de 1 mm y solo se cambia el parámetro de avance de corte. La grafica de color verde resulta de un avance de 0.068 mm/Rev. La grafica de color azul es el resultado obtenido de un avance de 0.051 mm/Rev. Y por último la gráfica de color rojo, resultado de un avance de 0.028 mm/rev.

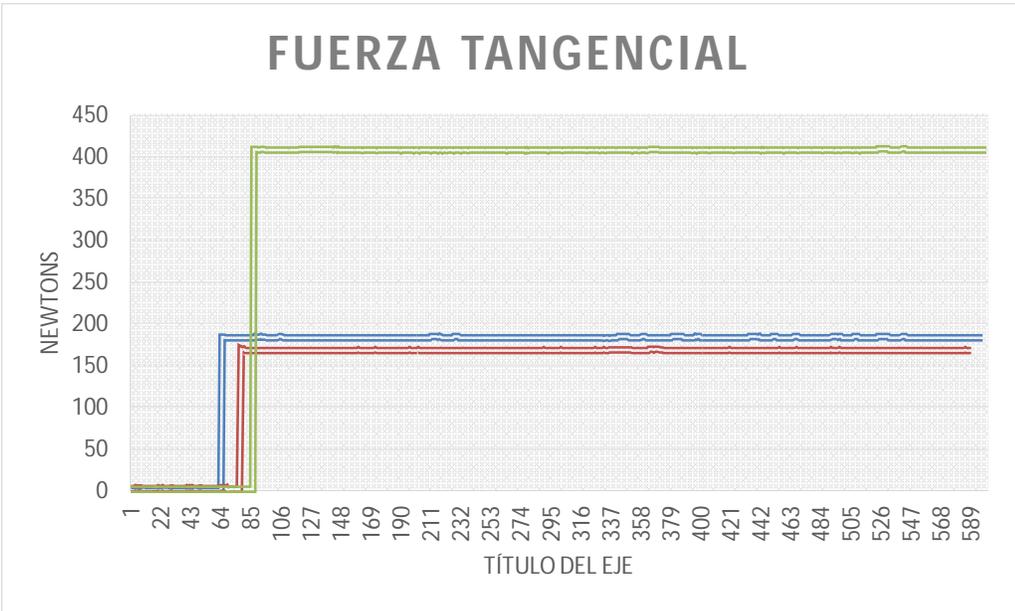


Figura 4.8 Comparativa de fuerza tangencia en función del tiempo

CAPÍTULO V

5 Conclusiones.

El principal logro de esta investigación consistió en la realización, diseño e implementación de un sistema que permitiera el monitoreo de la fuerza tangencial de corte generada durante una operación de cilindrado y que dicho sistema cumpliera con las características planteadas desde el inicio del proyecto.

Se diseñó y presentó un módulo de medición de fuerza tangencial de corte que utiliza elementos deformables, dicha fuerza se midió por la deformación de galgas extensiométricas colocadas convenientemente. Así mismo al término del presente proyecto se logró contar con un *software* para la recepción, el análisis, y el procesar y guardar los datos y señales adquiridas. Este trabajo considero es una gran aportación para nuevas investigaciones y complementar trabajos en laboratorios.

A la par se consiguió mantener bajos los costos de implementación: empleando componentes electrónicos sencillos. El conocimiento de las fuerza presente en el proceso de torneado es de gran importancia tanto para el monitoreo del estado de la herramienta (desgaste, ruptura del filo de corte, etc.) como el diseño de máquinas y herramientas.

Una de las ventajas de este módulo es que puede ser empleado en cualquier sistema operativo de Windows, siempre y cuando se tengan los puertos de conexión serial o los convertidores de serial a USB. En cuanto a la operación y el manejo tanto del módulo como de la interfaz gráfica de este es muy sencilla, lo cual facilita la operación en cada uno de los ensayos. Hay que mencionar que se deberá de instalar el software de Visual Studio, para correr el programa de la interfaz gráfica.

En las pruebas realizadas se observó que uno de los parámetros que al ser variado no influye de manera drástica en el aumento de la fuerza tangencial de corte

es el avance de corte, ya que los resultados obtenidos variando este parámetro se mantienen muy similares en todo momento, no es igual a que si se cambian otros parámetros como la profundidad y la velocidad de corte. De igual manera nos pudimos percatar que la longitud de la herramienta de corte afecta en gran manera a las mediciones, es por eso que se estableció una medida fija para la calibración de este.

En la graficas obtenidas durante las pruebas, los resultados de fuerza tangencial son aceptables, pues los resultados obtenidos mediante la practica son muy semejantes, en comparación de un los valores calculados, lo cual nos indica que los resultados son confiables.

5.1 Trabajo futuro.

Como trabajos futuros se proponen los siguientes:

Realizar una mejora en cuanto al posicionamiento de la o las galgas en las para obtener las mediciones de las fuerzas de corte con la finalidad de eliminar pequeñas desviaciones que intuyen en las mediciones realizadas.

Mejorar el posicionamiento de los componentes dentro del circuito impreso de la tarjeta de acondicionamiento y adquisición de señales para poder encajarla dentro de la estructura del torno.

Continuar verificando su funcionamiento en otras aplicaciones y con otro tipo de materiales. Comprobar el correcto funcionamiento utilizando un protocolo de comunicación USB.

Referencias.

- Badia A. 1998. Calidad de enfoque ISO-9000. Bilbao Deusto.
- Chang Y, Dornfeld D. 1993. Chatter and Surface Pattern Detection for Cylindrical Grinding Using a Fluid Coupled Acoustic Emission Sensor. 160-167.
- N. S. MOHAN, A. RAMACHANDRA, S. M. KULKARNI, Machining of Fiber-reinforced Thermoplastics: Influence of Feed and Drill Size on Thrust Force and Torque during Drilling, Journal of REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES, Vol. 24, No. 12/2005.
- K Jemielniak, J Kossakowska and T Urbanski, "Application of Wavelet Transform of Acoustic Emission and Cutting Force Signals for Tool Condition, Monitoring in Rough Turning of Inconel 625", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 2011 225: 123.
- B. González Héctor Álvaro, Edwin Andrés García y Fabián Marín Cano, "Diseño y Construcción De Un Dinamómetro Para La Medición De La Fuerza De Corte En El Proceso De Arranque De Viruta En Un Torno" Scientia et Technica Año XI, No 27, Abril 2005. UTP. ISSN 0122-1701.
- N. S. Mohan, A. Ramachandra and S. M. Kulkarni "Machining of Fiber-reinforced Thermoplastics: Influence of Feed and Drill Size on Thrust Force and Torque during Drilling" Journal of Reinforced Plastics and Composites 2005 24: 1247.
- Juan C. Pereira F. "Determinación experimental de la fuerza de corte de la aleación AAA356 T6 en operaciones de torneado" revista ingeniería UC. Vol.14, 1,64-73, 2007.
- Plastics and Composites 2008 27: 711 originally published online 31 January
- P.M.M.S. Sarma, L. Karunamoorthy and K. Palanikumar "Modeling and Analysis of Cutting Force in Turning of GFRP Composites by CBN Tools" Journal of Reinforced Plastics and Composites 2008 27: 711.
- R. Silva Leonardo and J. Paulo Davim "The Effect of Tool Geometry on the Machinability of Polyamide During Precision Turning" Journal of Composite Materials 2009 43: 2793.

- M. San Juan, F. Santos, O. Martín, D. González “Estudio de la maquinabilidad por medio del análisis de las fuerzas de corte y del análisis termográfico” XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica (2010).
- García Eduardo, (2008) Compilador C CCS y simulador Proteus para Microcontroladores PIC, editorial Alfaomega México.
- Gerling Heinrich, (2002) Alrededor de las Máquinas-Herramientas, editorial Reverté México.
- Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, (2002) Manufactura, ingeniería y tecnología Cuarta edición editorial Pearson Educación México.
- E.P. DeGarmo, J.T. Black, R.A. Kohser, (2002) Materiales y procesos de fabricación Segunda edición editorial Reverté, Barcelona.
- Batalla V.C, Pérez F. C., Iranzo P. M., Sebastián C. A., Hibernón García M. A., (1993) Electrónica Analógica Integrada Primera edición editorial servicio de publicaciones.
- Raúl García Bercedo, Iñaki Irastorza Hernando, Amaia Castaños Urkullu, Esperanza Díaz Tajada (2013) Tecnología Mecánica Editorial de la Universidad del País Vasco.
- Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, (1999) Amplificadores Operacionales Y Circuitos Integrados Lineales quinta edición editorial Prentice Hall México
- <http://www.vishaypg.com/docs/11089/tt609.pdf>
- RAMÓN PALLÁS ARENY 2003, Sensores y acondicionadores de señal, Marcombo, S. A.
- ESTHER RINCÓN (2006) Resistencia de Materiales. Determinación de Tensiones y Deformaciones. Editorial Vision Net Madrid España.
- Miguel Angel Perez Garcia (2014) Instrumentacion electronica. Editorial Paraninfo.
- NI (2006), National Instruments SCXI-1520 Specifications, Strain Gage Module.
- Popov, E.P. (1990), “Mecánica de materiales” Limusa-Noriega, México, 676 pp.
- Camacho-Morales, R. (1992), “introducción al análisis experimental de esfuerzos mediante extensometría eléctrica”, apuntes instituto tecnológico de la paz B.C.S., México, 80pp.

6 Anexos

Anexo 1 Código fuente PIC.

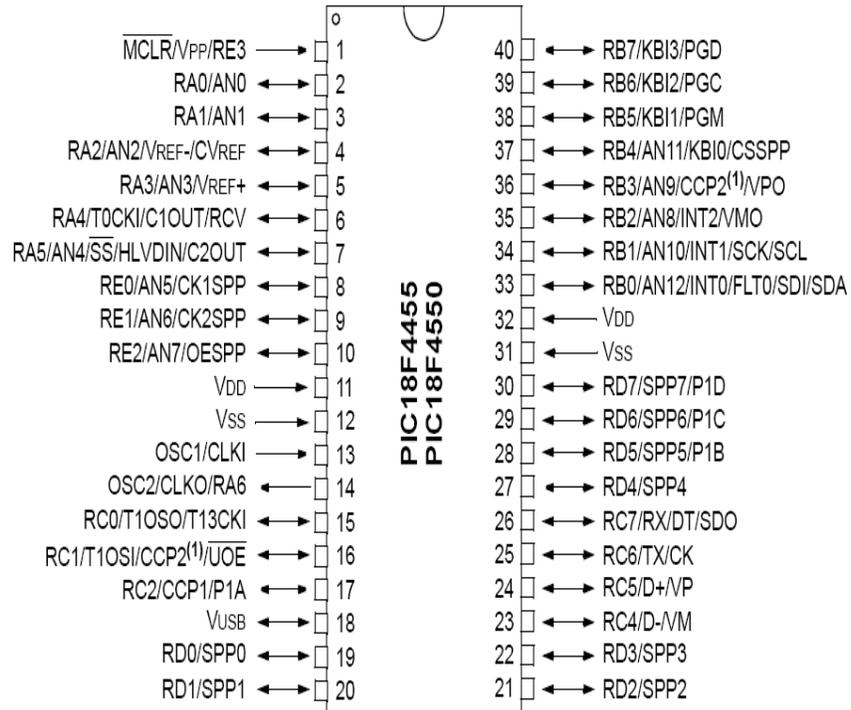
```
#include "adc2.h"
intcont;
longBuf[20];
shortfs=0;
#int_TIMER0
void TIMER0_isr()
{
longtemp,prom,suma;
int i,out1,out2;
    out1=0; out2=0;
if(cont<5)//filtro
    {
temp = read_adc();
Buf[cont] = temp;
cont++;
    }
else
    {
suma =0;
for(i=0; i<5; i++)//filtro
    {        suma=suma+Buf[i];
    }
prom=suma/5;//filtro
    out1=(prom<<2);
    out2=(prom>>8);
```

```

putc(out1);
putc(out2);
cont=0;
delay_ms(100);//frecopr
output_e(fs);//frecopr
fs=~fs;
    }
}
void main()
{ setup_adc_ports(AN0);
  setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
  setup_psp(PSP_DISABLED);
  setup_spi(FALSE);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_64);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
  setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
  setup_vref(FALSE);
  cont=0;
  enable_interrupts(INT_TIMER0);
  enable_interrupts(GLOBAL);
  while(true

```

Anexo 2 Hojas de datos.



Anexo 3 Código fuente interfaz gráfica.

```
Imports Microsoft.Office.Interop
Imports System.Data
Imports System.Data.OleDb

Public Class Form1
    Dim ValmaxT As Integer = 10

    Dim ArreX(65000), ArreY(65000) As Single
    Dim Contador, Contador2, stepp, stepp1 As Integer
    Dim Xant, Yant, XantT, YantT, gridx1, gridy1, gridx2, gridy2, gridx11, gridy11,
gridx21, gridy21 As Single
    Dim Start As Boolean = False
    Dim Ch2, Ch1sv As Long
    Dim datt(200000), datfilter(200000), datte(200000), microdef(200000),
microdeff(200000) As Double
    Dim contt, cont2 As Double
    Dim conttV As Double = 0
    Dim Run As Boolean
    Dim MI As String = ""
    Dim b1 As Double
    Dim b2 As Double
    Dim b3 As Double
    Dim b4 As Double
    Dim b5 As Double
    Dim b6 As Double
    Dim a1 As Double
    Dim a2 As Double
    Dim a3 As Double
    Dim a4 As Double
    Dim a5 As Double
    Dim a6 As Double
    Dim rc As Integer = 0

    Private Sub cmdcolor1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles cmdcolor1.Click
        dglcolor.ShowDialog()
        cmdcolor1.BackColor = dglcolor.Color
    End Sub

    Private Sub Form1_FormClosing(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.FormClosingEventArgs) Handles Me.FormClosing
        SP1.Close()
    End Sub

    Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        Dim LibCad As String = Application.StartupPath() & "\mpusbapi.dll"
        LoadLibrary(LibCad)
        ComboBox1.SelectedIndex = 0
        Run = False
        dgDatos.DefaultCellStyle.ForeColor = Color.Black
        dgDatos.DefaultCellStyle.BackColor = Color.LightGray
    End Sub
End Class
```

```
BGWSerial.RunWorkerAsync()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ToolStripButton1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles ToolStripButton1.Click
```

```
Ch1sv = 0
```

```
Dim g As Graphics = pct1.CreateGraphics()
```

```
Dim g1 As Graphics = pct1.CreateGraphics()
```

```
Dim tt1 As Graphics = pct2.CreateGraphics()
```

```
Dim t As Integer = 1
```

```
Dim t11 As Integer = 1
```

```
stepp1 = nuprango.Value / 10
```

```
tt1.Clear(pct2.BackColor)
```

```
If Start Then
```

```
    t1.Enabled = False
```

```
    ToolStripButton1.Image = My.Resources.media_play_green
```

```
    Start = False
```

```
    rc = 0
```

```
    .....'AMPLITUD DE LAS MICRODEFORMACIONES'.....
```

```
    tt1.DrawString(10 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 0)
```

```
    tt1.DrawString(9 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 23)
```

```
    tt1.DrawString(8 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 46)
```

```
    tt1.DrawString(7 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 69)
```

```
    tt1.DrawString(6 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 92)
```

```
    tt1.DrawString(5 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 115)
```

```
    tt1.DrawString(4 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 138)
```

```
    tt1.DrawString(3 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 161)
```

```
    tt1.DrawString(2 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 184)
```

```
    tt1.DrawString(1 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 207)
```

```
    tt1.DrawString(0, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 230)
```

```
Else
```

```
    t1.Enabled = True
```

```
    rc = 0
```

```
    dgDatos.Rows.Clear()
```

```
    Start = True
```

```
    .....'GRID
```

```
x'.....
```

```
    For t11 = 0 To pct1.Width Step (pct1.Width / 20)
```

```

        g.DrawLine(New Pen(Color.FromArgb(230, 230, 230)), t11, 0, t11,
pct1.Height)
        Next

        .....GRID
Y.....
        For t11 = 0 To pct1.Height Step (pct1.Height / 10)
            g.DrawLine(New Pen(Color.FromArgb(230, 230, 230)), 0, t11,
pct1.Width, t11)
            Next

            .....AMPLITUD DE LAS MICRODEFORMACIONES.....
            tt1.DrawString(10 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 0)
            tt1.DrawString(9 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 23)
            tt1.DrawString(8 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 46)
            tt1.DrawString(7 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 69)
            tt1.DrawString(6 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 92)
            tt1.DrawString(5 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 115)
            tt1.DrawString(4 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 138)
            tt1.DrawString(3 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 161)
            tt1.DrawString(2 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 184)
            tt1.DrawString(1 * stepp1, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 207)

            End If
            tt1.Dispose()

        End Sub

Private Sub t1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles t1.Tick
    Dim send_buf(63) As Byte
    Dim receive_buf(63) As Byte
    Dim Ch1 As Integer
    Dim Ch1T, Ch1V As Long
    Dim a As Integer = Ch1
    Dim newrange As Integer = 260
    Dim LG As Graphics = pct1.CreateGraphics()
    Dim ValorY As Integer
    Dim contval As Integer = 0
    Dim rg As Integer = 61
    Dim ValorY1 As Integer
    Dim t11 As Integer = 0
    ' '*solo para checar
    If SP1.BytesToRead > 0 Then
        Ch1 = SP1.ReadByte()
        Dim tempo As String = SP1.ReadExisting

```

```

End If
Ch1V = CShort(Ch1)
' *Solo para checar
' Ch1V = 330
Dim Dat As Long = Ch1V
Dim Dat1 As Long = (Ch1V / 4.25)
Ch1 = Ch1V
Ch1T = Ch1V
If Contador >= pct1.Width - 1 Then
    Contador = 1
    XantT = 0
    Dat = Dat
    LG.Clear(pct1.BackCol or)

    ..... GRID
X' .....
    For t11 = 0 To pct1.Width Step (pct1.Width / 20)
        LG.DrawLine(New Pen(Col or.FromArgb(230, 230, 230)), t11, 0, t11,
pct1.Height)
    Next

    ..... GRID
Y' .....
    For t11 = 0 To pct1.Height Step (pct1.Height / 10)
        LG.DrawLine(New Pen(Col or.FromArgb(230, 230, 230)), 0, t11,
pct1.Width, t11)
    Next

End If

' Llenado de rejilla de muestreo
' .....
dgDatos.Rows.Add()
dgDatos.Item(0, rc).Value = Double.Parse(rc.ToString(),
Globalization.NumberStyl es.AllowDecimal Poi nt)
dgDatos.Item(1, rc).Value = Double.Parse(Dat.ToString(),
Globalization.NumberStyl es.AllowDecimal Poi nt)
dgDatos.FirstDi spl ayedScrol l i ngRowI ndex = dgDatos.RowCount - 1
dgDatos.Rows(dgDatos.RowCount - 1).Selected = True
rc = rc + 1
' .....
' Fin llenado de rejilla

Val orY = pct1.Height - (Dat1)

If Contador > 0 Then
    LG.DrawLine(New Pen(cmdcol or1.BackCol or, nupgrosor.Value), XantT, YantT,
Contador, Val orY)
End If
YantT = Val orY
Yant = Val orY1

XantT = Contador
Contador = Contador + 1

conttV = conttV + 1
datt(conttV) = Dat1

```

```

    LG. Dispose()
End Sub

Private Sub ToolStripButton6_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ToolStripButton6.Click
    If Start Then
        t1.Enabled = False
        ToolStripButton1.Image = My.Resources.cpu_run
        Start = False
    End If
End
End Sub

Private Sub Label3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label7.Click
    MsgBox(cmb1.SelectedIndex)
End Sub

Private Sub ToolStripButton2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

End Sub

Private Sub cmdcolor2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)
    dglcolor.ShowDialog()
End Sub

Private Sub nupgrosor_ValueChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles nupgrosor.ValueChanged

End Sub

Private Sub cmdcolor3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles cmdcolor3.Click
    dglcolor1.ShowDialog()
    cmdcolor3.BackColor = dglcolor1.Color
    pct1.BackColor = dglcolor1.Color
End Sub

Private Sub ToolStripButton4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ToolStripButton4.Click

Dim el As Integer
Dim objExcel As New Excel.Application
Dim objWorkbook As Excel.Workbook
Dim objSheet As Excel.Worksheet
Try

objWorkbook = objExcel.Workbooks.Add()
objSheet = objWorkbook.Worksheets(1)
objSheet.Name = "ADQUISICIÓN"

objSheet.Range("a1", "l1000").Font.Size = 10

objSheet.Range("b7", "i7").Interior.Color = RGB(90, 90, 90)

```

```

obj Sheet. Range("b3", "i8").Font.Bold = True
obj Sheet. Range("b10", "d10").Font.Bold = True
obj Sheet. Range("f10", "h29").Font.Bold = True
obj Sheet. Range("b3", "i3").Font.Size = 16
obj Sheet. Range("b3", "i3").Merge()
obj Sheet. Range("b3", "i3").FormulaR1C1 = "UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
QUERETARO"
obj Sheet. Range("b3", "i3").HorizontalAligment = 3
obj Sheet. Range("b3", "i3").VerticalAligment = 3

obj Sheet. Range("b4", "i4").Font.Size = 16
obj Sheet. Range("b4", "i4").Merge()
obj Sheet. Range("b4", "i4").FormulaR1C1 = "CAMPUS SAN JUAN DEL RIO "
obj Sheet. Range("b4", "i4").HorizontalAligment = 3
obj Sheet. Range("b4", "i4").VerticalAligment = 3

obj Sheet. Range("b5", "i5").Font.Size = 16
obj Sheet. Range("b5", "i5").Merge()
obj Sheet. Range("b5", "i5").FormulaR1C1 = "FACULTAD DE INGENIERIA "
obj Sheet. Range("b5", "i5").HorizontalAligment = 3
obj Sheet. Range("b5", "i5").VerticalAligment = 3

obj Sheet. Range("b6", "i6").Font.Size = 16
obj Sheet. Range("b6", "i6").Merge()
obj Sheet. Range("b6", "i6").FormulaR1C1 = "INGENIERIA ELECTROMECANICA "
obj Sheet. Range("b6", "i6").HorizontalAligment = 3
obj Sheet. Range("b6", "i6").VerticalAligment = 3

obj Sheet. Range("b8", "i8").Font.Size = 11
obj Sheet. Range("b8", "i8").Merge()
obj Sheet. Range("b8", "i8").FormulaR1C1 = "ADQUISICIÓN DE DATOS EN
HERRAMIENTAS DE CONTE PARA EL TORNO "
obj Sheet. Range("b8", "i8").HorizontalAligment = 3
obj Sheet. Range("b8", "i8").VerticalAligment = 3

obj Sheet. Range("b10", "b10").Font.Size = 10
obj Sheet. Range("b10", "b10").Merge()
obj Sheet. Range("b10", "b10").FormulaR1C1 = "TIEMPO (us)"
obj Sheet. Range("b10", "b10").HorizontalAligment = 3
obj Sheet. Range("b10", "b10").VerticalAligment = 3
obj Sheet. Range("b10",
"b10").BorderAround(Excel.XlLineStyle.xlContinuous, _
Excel.XlBorderWeight.xlThin, Excel.XlColorIndex. _
xlColorIndexAutomatic,
Excel.XlColorIndex.xlColorIndexAutomatic)

obj Sheet. Range("c10", "c10").Font.Size = 8
obj Sheet. Range("c10", "c10").Merge()
obj Sheet. Range("c10", "c10").FormulaR1C1 = "Fuerza (N)"
obj Sheet. Range("c10", "c10").HorizontalAligment = 3
obj Sheet. Range("c10", "c10").VerticalAligment = 3
obj Sheet. Range("c10",
"c10").BorderAround(Excel.XlLineStyle.xlContinuous, _
Excel.XlBorderWeight.xlThin, Excel.XlColorIndex. _
xlColorIndexAutomatic,
Excel.XlColorIndex.xlColorIndexAutomatic)

```

```

For el = 1 To dgDatos.RowCount - 1

    objSheet.Cells(10 + el, 2).value = dgDatos.Item(0, el).Value
    objSheet.Cells(10 + el,
2).BorderAround(Excel.XlLineStyle.xlContinuous, Excel.XlBorderWeight.xlThin,
Excel.XlColorIndex.xlColorIndexAutomatic, Excel.XlColorIndex.xlColorIndexAutomatic)

    objSheet.Cells(10 + el, 3).value = dgDatos.Item(1, el).Value
    objSheet.Cells(10 + el,
3).BorderAround(Excel.XlLineStyle.xlContinuous, Excel.XlBorderWeight.xlThin,
Excel.XlColorIndex.xlColorIndexAutomatic, Excel.XlColorIndex.xlColorIndexAutomatic)

    objSheet.Cells(10 + el,
4).BorderAround(Excel.XlLineStyle.xlContinuous, Excel.XlBorderWeight.xlThin,
Excel.XlColorIndex.xlColorIndexAutomatic, Excel.XlColorIndex.xlColorIndexAutomatic)
Next
'Imprimir las graficas
Dim oChart As Excel.Chart
Dim MyCharts As Excel.ChartObjects
Dim MyCharts1 As Excel.ChartObject
Dim ran As Integer = 12
MyCharts = objSheet.ChartObjects
'set chart location
MyCharts1 = MyCharts.Add(650, 100, 550, 280)
oChart = MyCharts1.Chart

With oChart
    Dim chartRange As Excel.Range

    chartRange = objSheet.Range("C" & CStr(ran + 5), "D" & CStr(contt +
5)) ' ("C12", "C100")
    .SetSourceData(chartRange)
    .PlotBy = Excel.XlRowCol.xlColumns ' XlRowCol.xlRows
    .ChartType = Excel.XlChartType.xlLine

    .HasLegend = False

    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Text = "MUESTREO DE FUERZAS TANGENCIAL EN BURIL"
    .ChartTitle.Font.Bold = True
End With

With objSheet.Pictures.Insert(Application.StartupPath & "\UAQ.png")
    .Left = 15
    .Top = 18
    .Width = 4.44 * 25
    .Height = 5.41 * 25
End With

With objSheet.Pictures.Insert(Application.StartupPath &
"\INGENIERIA.png")
    .Left = 500
    .Top = 18
    .Width = 4.44 * 25
    .Height = 5.41 * 25

```

```

        End With

        objExcel.Visible = True

    Catch ex As Exception
        MsgBox(ex.Message)
    End Try
End Sub

Private Sub ToolStripButton5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ToolStripButton5.Click
    Dim pltg As Graphics = pct1.CreateGraphics()
    Dim pltg1 As Graphics = pct1.CreateGraphics()
    Dim xplt1, xplt, xgrf, ygrf, yplt1, yplt, yt, xgr, xplt2, yt1, ygrfem,
ypltm, yte, ymic, yplmicro As Single
    Dim plt, plt2 As Integer
    pltg.Clear(pct1.BackgroundColor)
    Dim ygrfmicro As Double

    Dim g As Graphics = pct1.CreateGraphics()
    Dim g1 As Graphics = pct1.CreateGraphics()
    Dim tt As Graphics = pct2.CreateGraphics()

    tt = pct2.CreateGraphics()
    tt.Clear(pct2.BackgroundColor)
    Dim t As Integer = 10
    Dim t11 As Integer = 0
    Dim Refda As Double = 0.0
    Dim refdto, valref, caldef, contex, ytex(20), antmicrodef, microcal As
Double

    '*****DECLARACIONES DE PARA LOS FILTROS'*****
    Dim NZEROS As Integer = 5
    Dim NPOLES As Integer = 5
    Dim xv(NZEROS + 1), yv(NPOLES + 1) As Single
    Dim xv1(NZEROS + 1), yv1(NPOLES + 1) As Single
    Dim xte1(NZEROS + 1), yte1(NPOLES + 1) As Single
    tt.Clear(pct2.BackgroundColor)
    stepp = nuprango.Value / 10
    For tex = stepp To nupgrosor.Value Step stepp
        contex = tex / stepp
        ytex(contex) = tex
        contex = contex + 1
    Next

    '*****TEXTO DE MICRO DEFORMACIONES'*****
    tt.DrawString(MI, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular),
New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 32, 0)
    tt.DrawString(MI, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular),
New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 32, 23)
    tt.DrawString(MI, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular),
New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 32, 46)
    tt.DrawString(MI, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular),
New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 32, 69)
    tt.DrawString(MI, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular),
New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 32, 92)

```

```

tt.DrawString(MI, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular),
New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 32, 115)
tt.DrawString(MI, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular),
New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 32, 138)
tt.DrawString(MI, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular),
New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 32, 161)
tt.DrawString(MI, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular),
New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 32, 184)
tt.DrawString(MI, New System.Drawing.Font("Arial", 8, FontStyle.Regular),
New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 32, 207)
.....'AMPLITUD DE LAS MICRODEFORMACIONES'.....
tt.DrawString(10 * stepp, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 0)
tt.DrawString(9 * stepp, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 23)
tt.DrawString(8 * stepp, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 46)
tt.DrawString(7 * stepp, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 69)
tt.DrawString(6 * stepp, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 92)
tt.DrawString(5 * stepp, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 115)
tt.DrawString(4 * stepp, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 138)
tt.DrawString(3 * stepp, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 161)
tt.DrawString(2 * stepp, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 184)
tt.DrawString(1 * stepp, New System.Drawing.Font("Arial", 8,
FontStyle.Regular), New SolidBrush(Color.FromArgb(0, 0, 0)), 5, 207)

.....'GRID
X'.....
For t = 2 To pct1.Width Step 35
    gri dx1 = pct1.Top + t + 18
    gri dx2 = pct1.Top + t + 18
    gri dy1 = pct1.Top - 8
    gri dy2 = pct1.Height
g.DrawLine(New Pen(Color.FromArgb(230, 230, 230)), gri dx1, gri dy1,
gri dx2, gri dy2)

Next
g.Dispose()
.....'GRID
Y'.....

For t11 = 3 To pct1.Height Step 23

    g1.DrawLine(New Pen(Color.FromArgb(230, 230, 230)), 2, t11, 700, t11)

Next
g1.Dispose()

.....'ESPACIO DEL NUMERO DE CELDAS'.....
dgDatos.RowCount = contt + 2

```



```
Refda = datfilter(re) + Refda
```

```
Next
```

```
..... VALOR PROMEDIO'.....  
refdto = Refda / 111  
..... DEFORMACION DE CALCULADA'.....  
caldef = 26  
..... DEFORMACION A OBTENER DEL VALOR PROMEDIO'.....  
microcal = (caldef * refto) / 110  
..... DEFORMACIONES DEL VECTOR'.....  
For datt11 = 90 To dgDatos.RowCount
```

```
    valref = datfilter(datt11) - refto  
    antimicrodef = (caldef * valref) / 110  
    microdef(datt11 - 89) = 5 + antimicrodef
```

```
Next
```

```
xplt1 = pct1.Width / (dgDatos.RowCount - 2)  
xplt = xplt1  
xplt2 = xplt1  
xte1(0) = xte1(1)  
xte1(1) = xte1(2)  
xte1(2) = CDb1(datte(1))  
yte1(0) = yte1(1)  
yte1(1) = yte1(2)  
yte1(2) = CDb1(datte(1))  
dgDatos.Item(1, 2).Value = yte1(2).ToString  
xv(0) = xv(1)  
xv(1) = xv(2)  
xv(2) = xv(3)  
xv(3) = xv(4)  
xv(4) = xv(5)  
yv(0) = yv(1)  
yv(1) = yv(2)  
yv(2) = yv(3)  
yv(3) = yv(4)  
yv(4) = yv(5)  
yt = yt1  
yplt = yplt1  
ypltem = yte  
yplmicro = ymic  
For plt = 1 To dgDatos.RowCount - 1  
    xte1(0) = xte1(1)  
    xte1(1) = xte1(2)  
    xte1(2) = CDb1(datte(plt))  
    yte1(0) = yte1(1)  
    yte1(1) = yte1(2)  
    yte1(2) = CDb1((bt1 * xte1(2)) + (bt2 * xte1(1)) + (bt3 * xte1(0)) -  
(at2 * yte1(1)) - (at3 * yte1(0)))  
    dgDatos.Item(1, plt).Value = yte1(2).ToString  
    xv(0) = xv(1)  
    xv(1) = xv(2)  
    xv(2) = xv(3)  
    xv(3) = xv(4)  
    xv(4) = xv(5)  
    yv(0) = yv(1)  
    yv(1) = yv(2)  
    yv(2) = yv(3)
```

```

        yv(3) = yv(4)
        yv(4) = yv(5)
        yv(5) = CDbl (((b1 * xv(5)) + (b2 * xv(4)) + (b3 * xv(3)) + (b4 * xv(2))
+ (b5 * xv(1)) + (b6 * xv(0)) - (a2 * yv(4)) - (a3 * yv(3)) - (a4 * yv(2)) - (a5 *
yv(1)) - (a6 * yv(0))))
        xgrf = xplt1 * (plt + 1)
        pltg.DrawLine(New Pen(cmdcolor1.BackColor, nupgrosor.Value), xplt, yplt,
xgrf, ygrf)
        xplt = xgrf
        yplt = ygrf
        ypltm = ygrfem
        yplmicro = ygrfmicro
    Next
    For plt2 = 20 To dgDatos.RowCount - 1
        xgr = (xplt1 * ((plt2 - 20)))
        xplt2 = xgr
    Next
End Sub
Private Sub cmdcolor4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)
    dglcolor.ShowDialog()
End Sub

Private Sub pct1_MouseMove(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles pct1.MouseMove
    'e.X=
End Sub

Private Sub pct2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles pct2.Click

End Sub

Private Sub dgDatos_CellContentClick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.DataGridViewCellEventArgs) Handles dgDatos.CellContentClick

End Sub

Private Sub pct1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles pct1.Click

End Sub

Private Sub ToolStripButton1_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ToolStripButton1.Click

End Sub

Private Sub upd1_ValueChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

End Sub

Private Sub ToolStripButton4_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ToolStripButton4.Click

End Sub

```

```

Private Sub ToolStripButton5_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ToolStripButton5.Click

End Sub

Private Sub ToolStripButton6_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ToolStripButton6.Click

End Sub

Private Sub Label1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label1.Click

End Sub

Private Sub cmb1_SelectedIndexChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles cmb1.SelectedIndexChanged

End Sub

Private Sub Label4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label4.Click

End Sub

Private Sub ComboBox1_SelectedIndexChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles ComboBox1.SelectedIndexChanged
    SP1.PortName = ComboBox1.Text.Trim()
End Sub

Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Timer1.Tick
    Try
        If Not SP1.IsOpen Then
            SP1.Open()
        End If
    Catch ex As Exception

    End Try
End Sub
Private Sub Timer2_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Timer2.Tick

End Sub

Private Sub nuprango_ValueChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles nuprango.ValueChanged

End Sub

Private Sub Label11_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

End Sub

```

```
Private Sub BGWSerial_DoWork(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.ComponentModel.DoWorkEventArgs) Handles BGWSerial.DoWork

End Sub

Private Sub ToolStrip1_ItemClicked(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.ToolStripItemClickedEventArgs) Handles ToolStrip1.ItemClicked

End Sub

Private Sub TextBox1_TextChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

End Sub

Private Sub NumericUpDown1_ValueChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles NumericUpDown1.ValueChanged

End Sub

Private Sub Label3_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label3.Click

End Sub
End Class
```