

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y DEL INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA PARA EL DINAMÓMETRO ELECTRÓNICO TC200 DE LA EMPRESA SIGMAPLAST S.A.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

DANNY HERNÁN LÓPEZ ANDRADE

**DIRECTOR: ING. PAULO QUELAL
COORDIRECTOR: MSc. PATRICIO CHICO**

Quito, Octubre 2006

DECLARACIÓN

Yo, Danny Hernán López Andrade, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Danny Hernán López Andrade

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Danny Hernán López Andrade, bajo mi supervisión.

Ing. Paulo Quelal
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a mi director de Tesis el Ing. Paulo Quelal y al Ing, Patricio Chico por su valioso tiempo y su apoyo incondicional para la finalización de este proyecto.

A todos mis compañeros y amigos que me brindaron su ayuda desinteresada en todo momento, y a todo el grupo de trabajo que conforman el Área de Electrónica de Potencia de la Escuela Politécnica Nacional les reitero mi agradecimiento profundo y sincero ya que todos hemos sido parte de este proceso.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, que siempre confiaron en mí, que estuvieron conmigo en los momentos difíciles y que me supieron guiar y dar la fortaleza suficiente para conseguir todas las metas que me propuse en la vida.

Gracias a mi madre Martha por su amor y comprensión y a mi padre Hernán por sus valiosos consejos. A mis hermanos Henry, Ronny y Marcelita les dedico mi trabajo, como una muestra de esfuerzo y sacrificio, y les digo que todo se puede realizar siempre y cuando se quiera hacerlo.

Le dedico mi trabajo a mi novia Mayrita por ser una mujer extraordinaria y gracias por siempre estar conmigo y seguir de cerca todo este proceso, ella más que nadie conoce todo el esfuerzo que se realizó.

Y no me puedo olvidar de Dios, a quién siempre lo tengo presente y es el eje que mueve el rumbo de mi vida.

RESUMEN

En el presente proyecto se diseña una tarjeta de adquisición de datos para el dinamómetro electrónico TC200 perteneciente a la empresa SIGMAPLAT S.A.

Un dinamómetro es un equipo que realiza pruebas para el control de calidad de diversos productos; entre ellos empaques flexibles utilizados en envolturas de varios productos y cilindros de cartón sometidos a pruebas de tensión y compresión

El equipo funciona con un computador cuya interfaz se desarrolla en DOS, el mismo que ha sido removido para adaptar el nuevo sistema. El objetivo es realizar una actualización tanto en software como en hardware del dinamómetro.

Para ello se implementó dos HMIs (Interfaz Hombre Máquina) uno local y otro remoto. En el HMI local se realiza el control de la máquina a través de pulsadores de selección ubicados en la parte frontal del equipo, con ellos se ingresa los parámetros para realizar las diferentes pruebas. La visualización de los resultados se observan en un LCD (display de cristal líquido).

El HMI remoto se lo realiza con el computador vía USB. En este control se diseñó un software en Visual Basic, que es el encargado de controlar al dinamómetro. El software cuenta con una interfaz gráfica en donde se dibuja una curva de Fuerza vs. Desplazamiento, con los datos enviados por la nueva tarjeta de adquisición de datos.

La base de esta tarjeta es el microcontrolador PIC18F4550 que cuenta con comunicación USB 2.0, esta tarjeta reemplaza en su totalidad al computador con el que el equipo trabajaba.

Por otro lado se implementó un sistema de calibración para que los datos generados cumplan con los requerimientos de la norma ISO9001:2000 que es el estándar con el cual SIGMAPLAST trabaja.

PRESENTACIÓN

El dinamómetro TC200 es parte del laboratorio de Control de Calidad de SIGMAPLAST y realiza pruebas de tensión y compresión en diferentes materiales flexibles. Al término de este proyecto el dinamómetro queda listo para poder regresar a SIGMAPLAST, cabe destacar que se ha cumplido con todos los objetivos propuestos.

En el **capítulo 1** se realiza una introducción de todas las partes que constituyen el dinamómetro.

Con toda esta información se procede a diseñar la tarjeta de adquisición de datos cuyos parámetros se describen en el **capítulo 2**. Además se realiza un análisis de los componentes utilizados, entre ellos el microcontrolador **PIC18F4550**, que es la base del nuevo sistema ya que realiza las acciones de control y comunicación.

En el **capítulo 3** se describe cómo se realizó el programa tanto para el microcontrolador como para el desarrollo de la interfaz gráfica en el PC, además se da una introducción sobre el protocolo USB pues el nuevo sistema utiliza este protocolo para enlazarse con el computador.

Luego de realizar algunas pruebas con el equipo, en el **capítulo 4** se presentan los resultados obtenidos y cuales son las condiciones de operación del sistema.

Al final se sacan las conclusiones respectivas sobre el desarrollo del proyecto las mismas que se hallan escritas en el **capítulo 5**, además se dan algunas recomendaciones sobre el uso adecuado del dinamómetro para que pueda operar en óptimas condiciones.

Se han adjuntado algunos anexos con información importante para el mejor entendimiento del funcionamiento del equipo; tales como esquemático de la nueva tarjeta y de las tarjetas electrónicas del dinamómetro, datasheets de los componentes más importantes y una representación en 3D que muestra el estado final del equipo.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 1

1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	DINAMÓMETRO.....	2
1.2.1	<i>ESTRUCTURA</i>	2
1.2.2	<i>PRUEBAS DE TENSIÓN / COMPRESIÓN</i>	3
1.3	COMPONENTES Y SUS ESPECIFICACIONES	3
1.4	DESCRIPCIÓN Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	10
1.4.1	<i>CELDA DE CARGA</i>	10
1.4.1.1	Galga Extensiométrica.	11
1.4.1.1.1	Características de la galga.....	12
1.4.1.2	Configuración Física	13
1.4.2	<i>ROTARY ENCODER</i>	14
1.4.3	<i>SISTEMA DE POLEAS Y CORREAS DENTADAS.</i>	15
1.5	FUNCIONAMIENTO DEL DINAMÓMETRO TC200	16

CAPÍTULO 2 17

2.1	INTRODUCCIÓN.....	17
2.2	CAMBIOS EN EL HARDWARE.	17
2.3	ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LAS TARJETAS DEL TC200	18
2.4	TARJETAS ELECTRÓNICAS DE LA ZONA DOS	20
2.4.1	<i>TARJETA ELECTRÓNICA AMPLIFICADORA DE LA SEÑAL DE LA CELDA DE CARGA (CONECTOR J1)</i>	21
2.4.2	<i>TARJETA ELECTRÓNICA FUENTES DE ALIMENTACIÓN (CONECTOR J2)</i>	23
2.4.3	<i>TARJETA ELECTRÓNICA ANALÓGICA / DIGITAL DE LA SEÑAL DE LA CELDA DE CARGA (CONECTOR J3).</i>	24
2.4.4	<i>TARJETA ELECTRÓNICA CONVERTIDORA DIGITAL/ANÁLOGA PARA HABILITACIÓN DEL MOTOR DE DC (CONECTOR J4).</i>	25
2.4.5	<i>TARJETA ELECTRÓNICA DE CONTROL Y POTENCIA PARA EL MOTOR DE DC (CONECTOR J5).</i>	26
2.4.5.1	Principio de Operación de la Etapa de Potencia.	28
2.5	PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	32
2.5.1	<i>SEÑALES DE ENTRADA</i>	32
2.5.2	<i>SEÑALES DE SALIDA.</i>	33
2.6	DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES.	33
2.6.1	<i>MICROCONTROLADOR PIC18F4550</i>	35
2.7	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE	38
2.7.1	<i>SEÑALES PROCESADAS EN LA NUEVA TARJETA.</i>	38

2.7.1.1	Fuentes de Polarización.....	38
2.7.1.2	Señales de la Celda de Carga y del Rotary Encoder.....	38
2.7.1.3	Señal de Comunicación USB	39
2.7.1.4	Señales de los Sensores de Protección del Equipo.	39
2.7.1.5	Pulsadores de Selección.	41
2.7.1.6	Visualización de Parámetros.	43
2.7.1.7	Circuito Rectificador de Precisión o de Valor Absoluto.	43
2.7.1.8	Filtro Acondicionador de la Celda de Carga.	45
2.7.1.8.1	Diseño del Circuito de Butterworth.	45
2.7.1.9	Circuito Amplificador De Señal De la Celda Carga.....	47
2.7.1.9.1	Diseño del Circuito Amplificador Diferencial.	48
2.7.1.10	Señales del Microcontrolador PIC18F4550	49
2.7.1.11	Señales que Ingresan al Conector Principal Conector CN1.....	49

CAPÍTULO 3 52

3.1	INTRODUCCIÓN.....	52
3.2	DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES UTILIZADAS.	53
3.2.1	<i>MICROCODE STUDIO PICBASIC PRO</i>	53
3.2.2	<i>EASYHID USB WIZARD</i>	54
3.2.3	<i>VISUAL BASIC 6.0</i>	55
3.2.4	<i>WINPIC_800</i>	56
3.3	PRINCIPIO DE OPERACIÓN PC – DINAMÓMETRO TC200.....	57
3.3.1	<i>PARÁMETROS DE INICIALIZACIÓN</i>	57
3.3.1.1	Descripción de la Teclas Funcionales.	58
3.4	GENERALIDADES SOBRE EL PROTOCOLO USB.	60
3.4.1	<i>INTRODUCCIÓN</i>	60
3.4.2	<i>DEFINICIÓN</i>	61
3.4.3	<i>ESTÁNDARES</i>	62
3.4.4	<i>ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA USB</i>	62
3.4.5	<i>BENEFICIOS DEL USB</i>	64
3.4.6	<i>FUNCIONES DEL USB Y DEL HOST USB</i>	64
3.4.6.1	Host USB.	64
3.4.6.2	Funciones USB.	65
3.4.6.3	Host USB – Hardware y Software.....	65
3.4.7	<i>CARACTERÍSTICAS Y ARQUITECTURA DEL USB</i>	66
3.4.8	<i>DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS USB</i>	67
3.4.8.1	Plug & Play.	67
3.4.8.2	Recursos del dispositivo.....	67
3.4.8.3	Plataforma.	68
3.4.9	<i>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA USB</i>	68
3.4.10	<i>ESTRUCTURA DEL SISTEMA</i>	69

3.4.10.1	Transceiver.....	70
3.4.10.2	Serial Interface Engine (SIE).....	70
3.4.10.3	Function Interface Unit (FIU).....	70
3.4.10.4	Fifos. (Primero en entrar – Primero en salir).....	70
3.4.11	<i>CONECTORES Y CABLES USB</i>	71
3.4.12	<i>TOPOLOGÍA DEL BUS</i>	72
3.4.13	<i>CONTROLADORES DE SOFTWARE (DRIVERS)</i>	73
3.4.14	<i>MODELO LÓGICO FUNCIONAL USB</i>	74
3.4.15	<i>PROTOCOLO USB</i>	75
3.4.16	<i>TIPOS DE TRANSMISIÓN USB</i>	76
3.4.16.1	Transmisión Asíncrona.....	76
3.4.16.2	Transmisión Síncrona.....	77
3.4.16.3	Transmisión Isocrónica.....	78
3.4.16.4	Transmisión Bulk.....	78
3.4.16.5	Transmisiones de Control.....	78
3.4.16.6	Transmisiones de Interrupción.....	78
3.4.17	<i>DISPOSITIVOS DE INTERFAZ HUMANA (HID)</i>	79
3.5	DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA EL MICROCONTROLADOR PIC18F4550	79
3.5.1	<i>CONTROL LOCAL TC 200</i>	83
3.5.1.1	Seleccionar Proceso.....	84
3.5.1.2	Ingresar Datos.....	84
3.5.1.3	Seleccionar Test.....	85
3.5.1.4	Almacenamiento de Datos Ingresados.....	85
3.5.1.5	Selección de las opciones del Menú (Dinamómetro TC 200).....	86
3.5.1.6	Desarrollo y Análisis del Test.....	87
3.5.2	<i>CONTROL REMOTO PC – USB</i>	90
3.5.2.1	Generación del Código de Programa para la comunicación USB.....	96
3.5.2.1.1	Esperando Respuesta del PC.....	97
3.5.2.1.2	Selección del Proceso.....	97
3.5.2.1.3	Ejecutando Proceso.....	98
3.5.2.1.4	Enviando datos al PC.....	98
3.5.2.1.5	Finalizar Proceso.....	98
3.5.2.2	Reconocimiento del microcontrolador PIC18F4550 como un HID.....	98
3.6	DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA EL PC UTILIZANDO VISUAL BASIC 6.0	101
3.6.1	<i>PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DEL INTERFAZ DEL PROGRAMA</i>	106
3.6.1.1	Ingresar Parámetros.....	106
3.6.1.2	Seleccionar Proceso.....	107
3.6.1.3	Envío de Datos del PC hacia el Microcontrolador PIC18F4550.....	107
3.6.1.4	Ejecución del Proceso de Adquisición de Datos.....	108
3.6.1.5	Generación del Reporte.....	108
3.7	FORMA DE PROGRAMAR EL MICROCONTROLADOR	110
3.7.1	<i>CONFIGURACIÓN DEL MICROCONTROLADOR</i>	111

3.8	CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA.....	112
3.8.1	<i>OBJETIVO DE LA CALIBRACIÓN</i>	112
3.8.2	<i>PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN</i>	113
3.8.3	<i>PROGRAMA DE CALIBRACIÓN GENERADO EN EL MICROCONTROLADOR</i>	116
CAPÍTULO 4 119		
4.1	GENERALIDADES.....	119
4.2	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.	119
4.2.1	<i>DESARROLLO DE LA PRUEBA A</i>	120
4.2.2	<i>DESARROLLO DE LA PRUEBA B</i>	121
4.2.3	<i>DESARROLLO DE LA PRUEBA C</i>	122
4.2.4	<i>DESARROLLO DE LA PRUEBA D</i>	124
CAPÍTULO 5 126		
5.1	CONCLUSIONES.....	126
5.2	RECOMENDACIONES.	128
	BIBLIOGRAFÍA	129

ANEXOS

ANEXO A ESQUEMÁTICOS TARJETAS ELECTRÓNICAS

ANEXO B DATASHEETS

ANEXO C MICROCONTROLADOR PIC18F4550

ANEXO D GLOSARIO

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL DINAMÓMETRO TC200

1.1 INTRODUCCIÓN

El Dinamómetro TC200 de propiedad de la empresa SIGMAPLAST S.A. es un equipo que realiza pruebas para el control de calidad de diversos productos; entre ellos empaques flexibles utilizados en envolturas de varios productos y cilindros de cartón sometiéndolos a pruebas de tensión y compresión.

El dinamómetro tiene varios años de servicio y la misión de este proyecto es realizar una actualización tanto de sus componentes electrónicos como de su interfaz con el computador personal (PC) que actualmente trabaja en el entorno de DOS.

El proyecto involucra dos etapas:

- a. Desarrollo de un Interfaz Hombre Máquina (HMI) local
- b. Desarrollo de un HMI mediante el PC.

El desarrollo del HMI local involucra la Adquisición de Datos del Dinamómetro y la posterior visualización de estos en un display; por otro lado se diseñará un sistema para controlar el encendido, apagado y posicionamiento del cabezal móvil de la estructura del dinamómetro.

La segunda etapa es el HMI mediante el PC en donde se tomará la señal digital obtenida en el proceso anterior y se la llevará al computador mediante comunicación USB (Universal Serial Bus).

Se desarrollará un software utilizando Visual Basic 6.0 que permitirá visualizar los resultados de las mediciones y procesarlos para realizar cálculos estadísticos, observar la gráfica representativa del sistema: Fuerza vs. Desplazamiento, y poder controlar al igual que en la etapa anterior el encendido, apagado y posicionamiento del cabezal móvil de la estructura del dinamómetro. Además se contará con un procedimiento de calibración del mismo.

A continuación se darán a conocer las características, principios de operación, constitución de partes del equipo y las modificaciones a las cuales va a ser sometido.

1.2 DINAMÓMETRO

Un dinamómetro es una máquina que se utiliza para medir fuerza. La fuerza la medimos en Newtons (**N**), un newton es la fuerza que proporciona a un objeto de 1 Kilogramo de masa una aceleración de un m/s^2 .

La prioridad de este aparato es la de cuantificar la resistencia de los materiales que son parte de un análisis.

1.2.1 ESTRUCTURA

El dinamómetro TC200 está compuesto por un tornillo sin fin en el cual está acoplado un cabezal que en conjunto con otro cabezal fijo son los encargados de sujetar o comprimir el material a ser analizado. El cabezal fijo se encuentra ubicado en la parte baja del equipo y está acoplado a la celda de carga y el cabezal móvil se desplaza con el movimiento del tornillo sin fin, el cual es accionado por el motor de DC del equipo, esto se puede observar en la **Fig. 1.1**

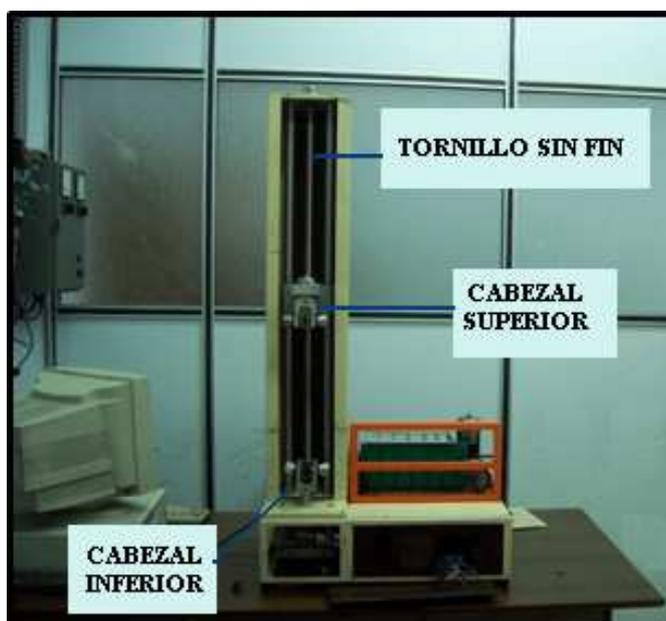


Fig. 1.1 Dinamómetro TC200

Internamente cuenta con un sistema de tarjetas electrónicas las cuales interactúan con el computador y ponen en marcha al dinamómetro.

1.2.2 PRUEBAS DE TENSIÓN / COMPRESIÓN

Con el dinamómetro se pueden realizar dos tipos de pruebas diferentes:

- a. La prueba de tensión
- b. La prueba de compresión.

En la prueba de tensión el material es alargado y está sometido a una deformación variante con el tiempo, la idea es poder cuantificar cual es la resistencia del material; la prueba termina con la rotura del material sometido a prueba o hasta que el valor de la fuerza haya alcanzado un valor equivalente al 50% del valor máximo de la fuerza que se generó durante el proceso.

Esta prueba se realiza sujetando un material en los cabezales inferior y superior del aparato; luego hacemos subir el cabezal superior a una velocidad constante obteniendo una curva **Fuerza vs. Desplazamiento**.

Es posible realizar esta prueba en envolturas de polipropileno o materia plástica, en general.

La otra prueba es la de compresión, en donde se coloca un material por ejemplo un cilindro de cartón en el cabezal inferior del dinamómetro y se manda a bajar el cabezal superior el cual comprimirá al material; se toman consideraciones similares que en la prueba de tensión para finalizar el test.

1.3 COMPONENTES Y SUS ESPECIFICACIONES

A continuación se presenta un diagrama cómo se encuentra estructurado internamente el dinamómetro y se analizará cada uno de sus elementos y cual es la función que desempeña en el aparato.

Cabe destacar que el dinamómetro TC200 forma parte del laboratorio de Ensayos en SIGMAPLAST, el laboratorio realiza pruebas de control de calidad en diversos materiales y materias primas evaluando también materiales en proceso y productos terminados.

En la **Fig. 1.2** se observa al dinamómetro en el Laboratorio de Ensayos realizando algunas pruebas



Fig. 1.2 Dinamómetro TC200 en SIGMAPLAST

DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA DEL DIANMÓMETRO TC200

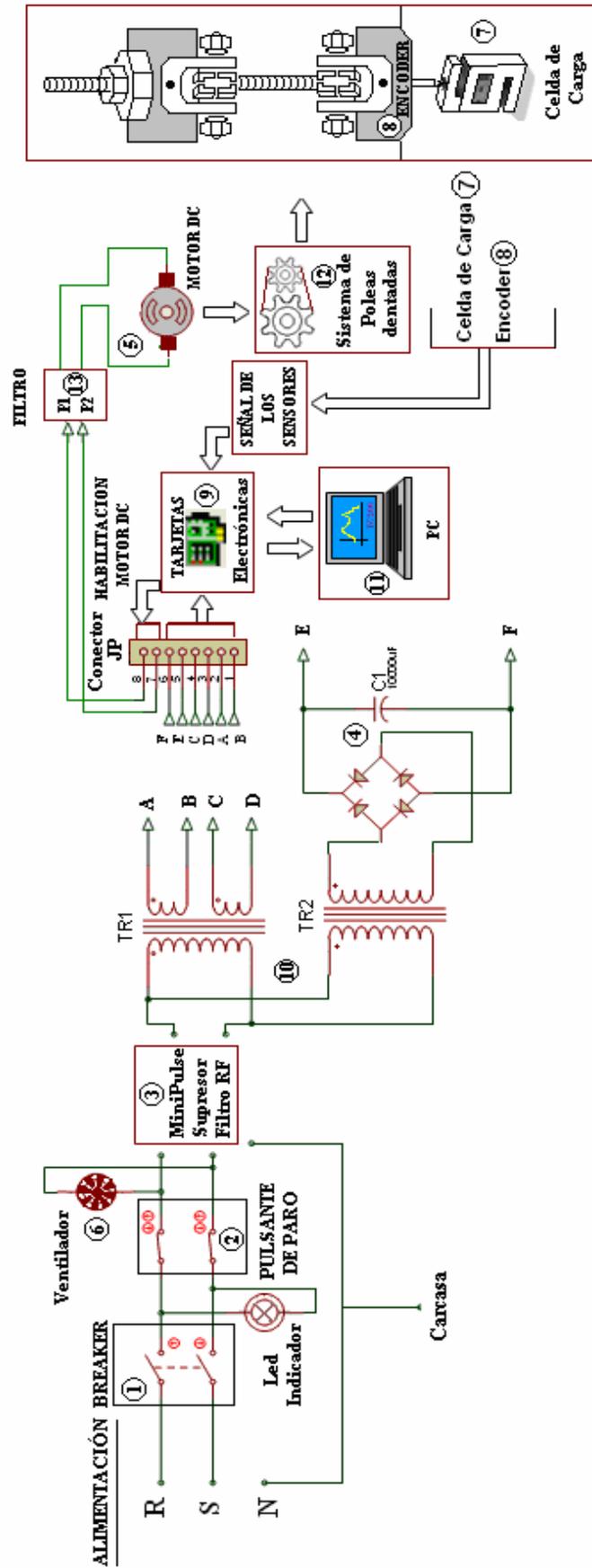


Fig. 1.3 Diagrama estructural del Dinamómetro TC200.

En la **Fig.1.3** se observa los componentes que forman parte del dinamómetro TC200, en la **Tabla 1.1** se detallará cada uno de ellos y la función que cumplen se especificará en la **Tabla 1.2**. La alimentación del dinamómetro es 220V, en el diagrama la alimentación está representada por la **Fase R** y la **Fase S**, además se requiere la conexión del neutro **N**. Los elementos del diagrama son los siguientes:

1	Breaker
2	Pulsante de paro (Emergencia)
3	Minipulse
4	Capacitor C1
5	Motor de DC
6	Ventilador
7	Celda de carga
8	Encoder
9	Tarjetas Electrónicas
10	Transformadores
11	PC
12	Sistema de Poleas y correas dentadas
13	Filtro

Tabla 1.1. Lista de partes que componen el dinamómetro TC

Descripción de los componentes de la **Tabla 1.1**

<p>1. Breaker</p> <ul style="list-style-type: none"> - Main Switch 415V – 10A. 	 <p>Fig. 1.4</p>
<p>2. Pulsante de Paro (Emergencia)</p> <ul style="list-style-type: none"> - COD 080BF02V - IEC337-ACTT-DCTI - 10A. 660V - BUTTON 	 <p>Fig. 1.5</p>

3. Minipulse MERONE

- FT COD 882.005.F
- 250/115 V 5A.
- 50 – 400 Hz
- HPF -25°C +85°C
- TA = 40°C
- CX = 3 x 0.22uF
- CY = 2 X 4700PF
- L = 2 x 1 mH
- Es un filtro RF supresor de Interferencia electromagnética.

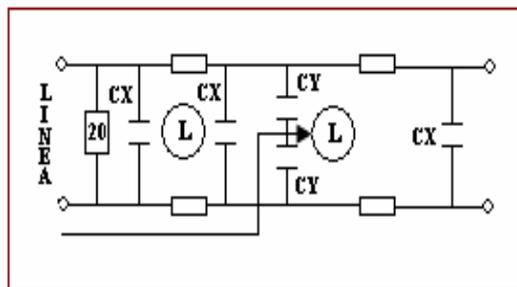


Fig. 1.6

4. Capacitor C1

- Kendeil_Italy Factory
- K01075103
- 10000 uF
- 75 VDC



Fig. 1.7

5. Motor de DC

- VA.DE (Buccinasco M)
- Motor a C.C tipo MP 42:100
- V = 44 A= 10
- W=300



Fig. 1.8

6. Ventilador

- Crouzet
- Model 70546299
- Impedance Protected
- 220/230 Vac 50/60 Hz
- 0.09 A.



Fig. 1.9

<p>7. Celda de Carga tipo “S”</p> <ul style="list-style-type: none"> - MODEL: 363-D3-50-20P1 - OUTPUT: 3.416mV/V a 50lb - SERIAL: K745517 - REVERE – TRANSDUCERS 	 <p>Fig. 1.10</p>
<p>8. Rotary Encoder</p> <ul style="list-style-type: none"> - Matsushita Electric Works - ER24 Rotary Encoder - 200 P / R - Red 5 Vdc Black 0 V - White SIG.A Green SIG.B - Shield GND Yellow SIG.Z 	 <p>Fig. 1.11</p>
<p>9. Tarjetas Electrónicas</p> <p>- Existen 5 tarjetas que componen la parte electrónica del dinamómetro posteriormente se detallará cada una de ellas y la función que desempeñan. Sus esquemáticos se encuentran en el Anexo A.</p>	 <p>Fig. 1.12</p>
<p>10. Transformadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - En la fig. 1.3 están 2 transformadores el - TR1: $NP = 13 * NS$ $VP = 220$ $VS = 17$ 1A - TR2: $NP = 6 * NS$ $VP = 220$ $VS = 36$ 15A 	 <p>Fig. 1.13</p>

<p>11. PC</p> <ul style="list-style-type: none"> - Packard Bell - CPU = 486 DX2 66 MHz - RAM sistema = 640 K - RAM extendida = 15360 K 	 <p style="text-align: center;">Fig. 1.14</p>
<p>12. Sistema de Poleas y Correas dentadas</p> <p>- El dinamómetro cuenta con un sistema de transmisión de poleas dentadas que se emplean para transmitir la potencia mecánica proporcionada por el eje del motor entre tres discos con sus ejes separados entre sí a una determinada distancia.</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 1.15</p>
<p>13. Filtro</p> <p>Este sistema convierte una señal cuadrada de Amplitud (A) positiva y negativa en otra señal, la cual representa el valor de DC medio de la onda de entrada.</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 1.16</p>

Tabla 1.2 Características de los componentes del dinamómetro TC200

1.4 DESCRIPCIÓN Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Es importante hacer un estudio más detallado de los siguientes componentes, pues en ellos se basa el principio de funcionamiento del dinamómetro.

1.4.1 CELDA DE CARGA

Una celda de carga es un dispositivo para medición de fuerza. Las celdas de carga se utilizan típicamente en máquinas que realizan pruebas de tensión y compresión como en este caso el dinamómetro TC_200. Una celda de carga es capaz de medir grandes fuerzas.

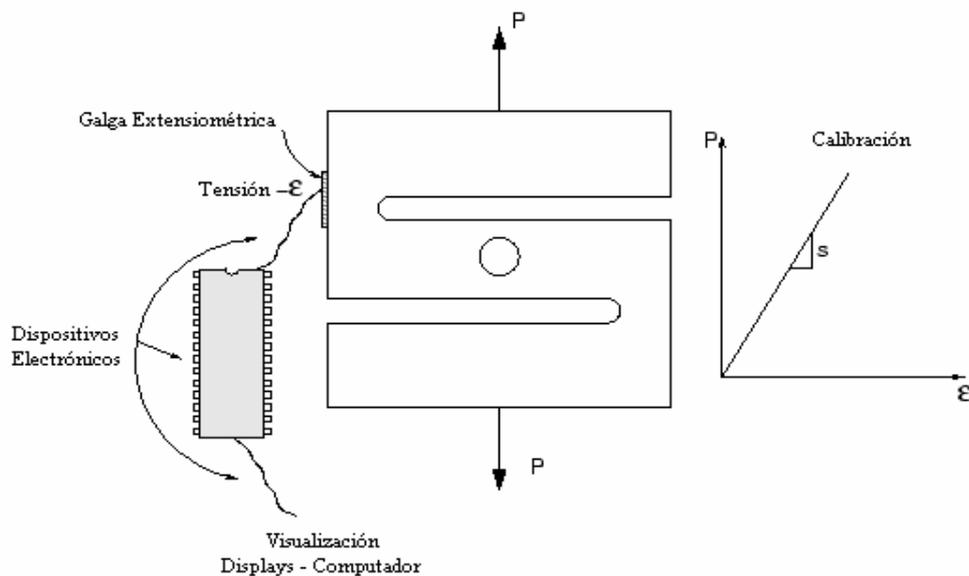


Fig. 1.17 Representación de una celda de carga.

El principio básico de una celda de carga está basado en el funcionamiento de cuatro galgas extensiométricas, dispuestas en puente de Wheatstone.

La fuerza suministrada a la celda ya sea por tensión o compresión induce una tensión en la cara lateral de la celda de carga (galgas extensiométricas); ésta tensión se convierte en una señal eléctrica. Una celda de carga se diseña generalmente para que funcione dentro de una región lineal.

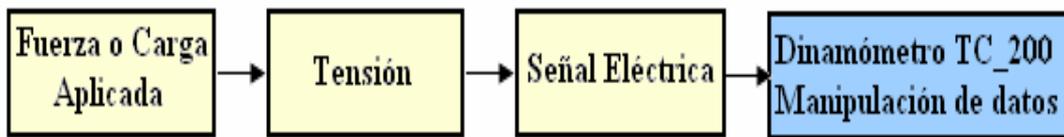


Fig. 1.18 Diagrama de operación de una celda de carga.

1.4.1.1 Galga Extensiométrica.

Una galga es básicamente una resistencia eléctrica, es un dispositivo usado para medir la deformación (tensión) de un objeto. El parámetro que es variable y que es sujeto a medida es la resistencia de dicha galga; esta variación en la resistencia depende de la deformación que sufra.

El sensor está constituido por una base muy delgada no conductora, sobre la cual va adherido un hilo metálico muy fino, de forma que la mayor parte de su longitud está distribuida paralelamente a una dirección determinada, tal y como se muestra en la figura:

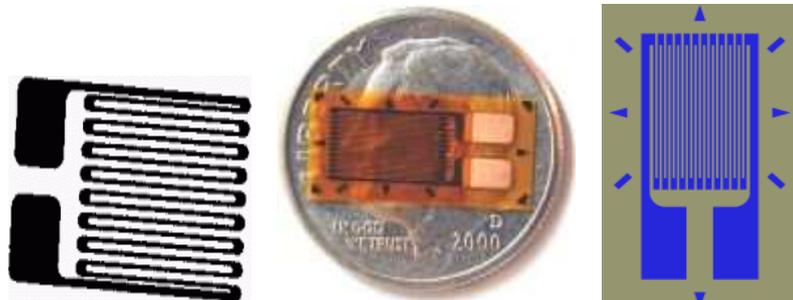


Fig. 1.19 Galga Extensiométrica

La resistencia eléctrica del hilo es directamente proporcional a su longitud, o lo que es lo mismo, su resistencia aumenta cuando éste se alarga.

De este modo las deformaciones que se producen en el objeto, en este caso la celda de carga, provocan una variación de la longitud y, por consiguiente, una variación de la resistencia de la galga.

1.4.1.1.1 Características de la galga

Las principales características de las galgas son las siguientes:

- a. **Anchura y Longitud:** Estos parámetros nos indican las características constructivas de la galga, permitiéndonos escoger el sensor que mejor se ajuste a nuestras necesidades.
- b. **Peso:** Esta característica nos define el peso de la galga que aproximadamente es del orden de los gramos.
- c. **Tensión medible:** Es el rango de variación de la longitud de la galga, cuando es sometida a una deformación, este rango está expresado en un tanto por ciento respecto a la longitud de la misma.
- d. **Temperatura de funcionamiento:** Es aquella temperatura donde la galga se encuentra trabajando dentro de los parámetros de fábrica.
- e. **Resistencia de la galga:** Es la resistencia de la galga cuando no se encuentra sometida a ninguna deformación; es la resistencia de referencia y se le suele agregar un porcentaje de variación.
- f. **Factor de galga:** Factor de galga o factor de sensibilidad de la galga es una constante K que es característica de la galga. Determina la sensibilidad de ésta. Este factor depende de muchos parámetros pero especialmente de la aleación empleada en la fabricación.
- g. **Coeficiente de temperatura del factor de la galga:** La temperatura es un factor de mucha incidencia en el desempeño de la galga, por otro lado cualquier variación en la temperatura influye en el factor de la galga. El coeficiente de temperatura se mide en $\% / ^\circ\text{C}$, que es la variación porcentual del factor de la galga respecto al incremento de temperatura.
- h. **Prueba de fatiga:** Esta prueba nos proporciona un número de contracciones o deformaciones a una determinada tensión que puede soportar la galga sin romperse.
- i. **Material de la lámina:** Esta característica nos define el material del que está hecho el hilo conductor de la galga.
- j. **Factor de expansión lineal:** Representa un error que se produce en la magnitud de salida en ausencia de señal de entrada, es decir, en ausencia

de deformación. Este error depende de la temperatura ambiente a la que está sometida la galga.

1.4.1.2 Configuración Física

En la celda de carga se tiene cuatro galgas extensiométricas dispuestas en puente de Wheatstone, la medida se la suele realizar por deflexión, es decir midiendo la diferencia de tensión existente entre los terminales de salida del sensor. En la **Fig. 1.20** se aprecia como están distribuidas las galgas.

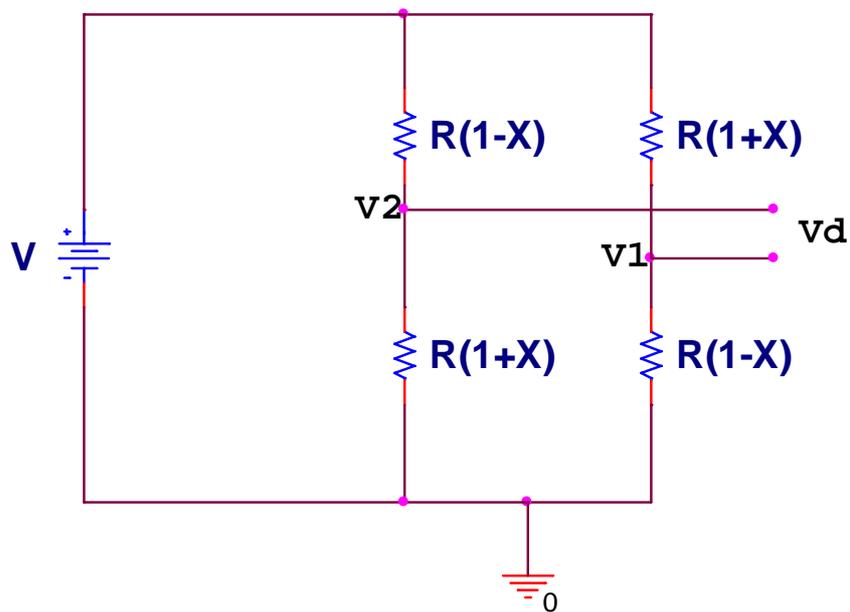


Fig. 1.20 Puente de Wheatstone con 4 galgas

Un puente de Wheatstone es un instrumento utilizado para medir una resistencia eléctrica desconocida balanceando otras resistencias dispuesta en un circuito tipo puente. Al final se obtiene un voltaje diferencial ($V_1 - V_2$) dentro de parámetros de diseño establecidos.

Las variables X son variaciones, que en este caso son las deformaciones de las galgas cuando se les aplica una tensión.

La utilización de cuatro galgas cuadruplica la sensibilidad del puente, con lo cual realizamos una compensación debido a variaciones de temperatura; pues garantizamos un mayor equilibrio entre cada uno de los ramales del puente.

1.4.2 ROTARY ENCODER

Un rotary encoder, es un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, haciéndolo una clase de transductor.



Fig. 1.21 Rotary Encoder

Este dispositivo nos genera 200 pulsos por cada revolución, en el dinamómetro TC_200 se encuentra acoplado al tornillo sin fin; de esta forma podemos cuantificar cuanto es el desplazamiento en milímetros (*mm*) del cabezal superior. Para ello es necesario determinar cuantos milímetros se desplaza el cabezal por vuelta o por cada 200 pulsos generados por el Encoder.

En la **Fig. 1.22** se observa la salida del rotary encoder, la misma que ingresa a las tarjetas electrónicas del TC_200 en donde es procesada.

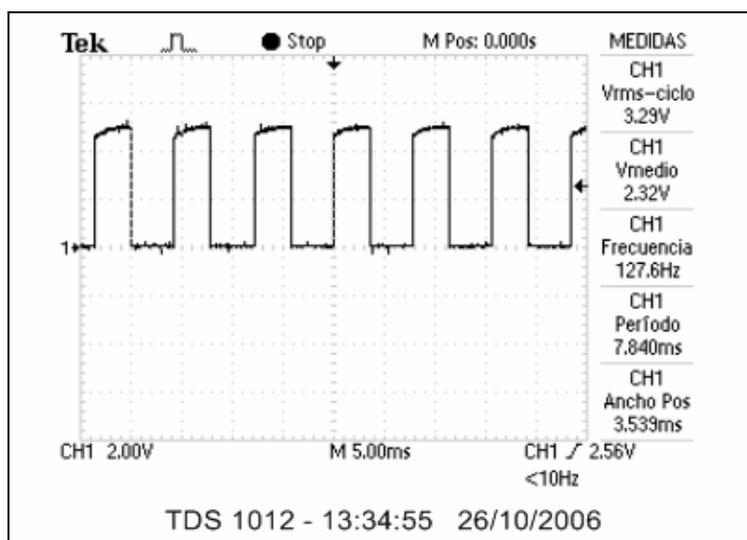


Fig. 1.22 Salida del Rotary Encoder (Tren de Pulsos)

1.4.3 SISTEMA DE POLEAS Y CORREAS DENTADAS.

En el dinamómetro la conexión entre el motor de DC y el tornillo sin fin no es directa pues cuenta con un sistema de poleas y correas dentadas.

Este sistema de transmisión de poleas y correas se emplea para transmitir la potencia mecánica proporcionada por el eje del motor entre tres ejes separados entre sí por una cierta distancia. La transmisión del movimiento por correas se debe al rozamiento de éstas sobre las poleas.

Las **poleas** son ruedas con una o varias hendiduras, sobre las cuales se apoyan las correas.

Las **correas** son cintas cerradas de cuero u otros materiales que se emplean para transmitir movimiento de rotación entres dos ejes generalmente paralelos, en este caso son correas dentadas para no perder sincronismo en el movimiento.

Este sistema se emplea cuando no se quiere transmitir grandes potencias de un eje a otro. En el dinamómetro TC_200 el movimiento se transmite entre 3 ejes de transmisión por lo cual se trata de un sistema de transmisión compuesta. En la **Fig. 1.23** se aprecia este tipo de sistema.

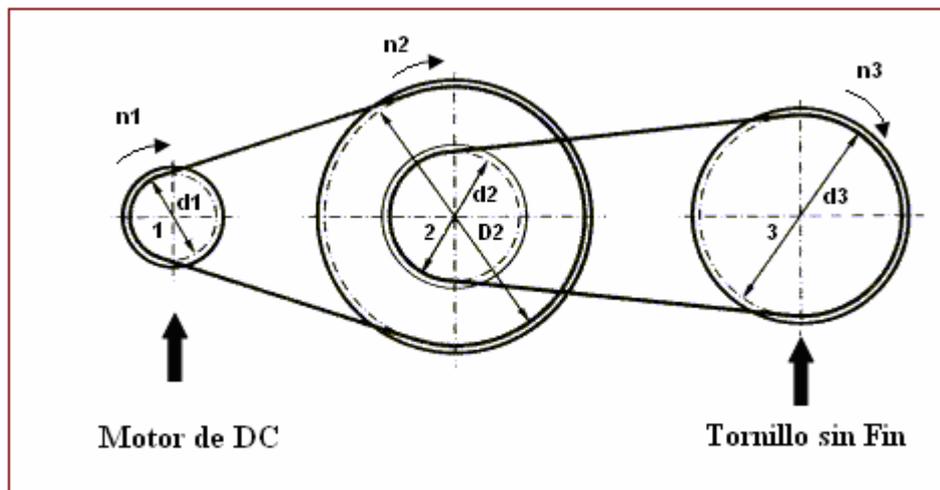


Fig. 1.23 Sistema de Transmisión compuesta

Las ecuaciones que describen este tipo de transmisión son las siguientes:

$$n1 \times d1 = n2 \times D2 \quad . \quad Ec.1.1$$

$$n2 \times d2 = n3 \times d3. \quad Ec.1.2$$

$$i = \frac{n3}{n1} = \frac{d1}{D2} \times \frac{d2}{d3} \quad Ec.1.3$$

$$i = i_{1,2} \times i_{2,3} = \frac{d1}{D2} \times \frac{d2}{d3} = \frac{n2}{n1} \times \frac{n3}{n2} \quad Ec.1.4$$

En donde:

n = velocidad de giro de las poleas

d = diámetro de las poleas

i = relación de transmisión.

1.5 FUNCIONAMIENTO DEL DINAMÓMETRO TC200

Después de haber detallado cada uno de los elementos que componen el dinamómetro es preciso hacer un análisis en conjunto; para ello se toma como referencia el diagrama de la **fig. 1.3**

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA

2.1 INTRODUCCIÓN

Después de haber realizado un análisis de la estructura interna del dinamómetro electrónico TC200 y de su funcionamiento es importante dar a conocer cuales serán los cambios con respecto al hardware.

En primer lugar, el dinamómetro TC200 no puede operar sin el computador; entonces ese es el primer objetivo, desarrollar un HMI local con el cual se pueda manejar al aparato de forma independiente, sin contar con el computador. Para ello se ha estructurado un panel de control situado en la parte frontal de la estructura del equipo, el mismo que cuenta con pulsadores y un display de visualización. Con este HMI se puede controlar el aparato de forma muy similar a la que venía desempeñando. En el capítulo de Software se desarrollará un manual de usuario que detallará el nuevo funcionamiento del sistema.

Por otro lado, es importante resaltar que se desarrollará una aplicación en Visual Basic 6.0 para controlar al dinamómetro y la comunicación se la hará vía USB (*Universal Serial Bus*).

Entonces se contará con dos sistemas uno local y otro remoto, siendo éstos totalmente independientes.

2.2 CAMBIOS EN EL HARDWARE.

El dinamómetro se comunica con el PC a través de una tarjeta de adquisición de datos incorporada en la computadora que originalmente se encontraba operando con el equipo, ver **Anexo A.6**.

En la **Fig. 1.14** se observa al computador y el bus con el cual se comunica con la máquina. Estos dos elementos han sido retirados para la implementación del nuevo sistema.

Con el afán de no alterar el sistema del dinamómetro no se ha manipulado nada del hardware que forma parte del equipo; por el contrario se ha tomado todas las señales tanto de entrada como de salida para ser integradas en la nueva tarjeta de adquisición de datos y con esto controlar al equipo, de esta manera podrá

Cada una de las tarjetas tienen funciones específicas la mismas que serán analizadas dando una visión general de su desempeño en el equipo.

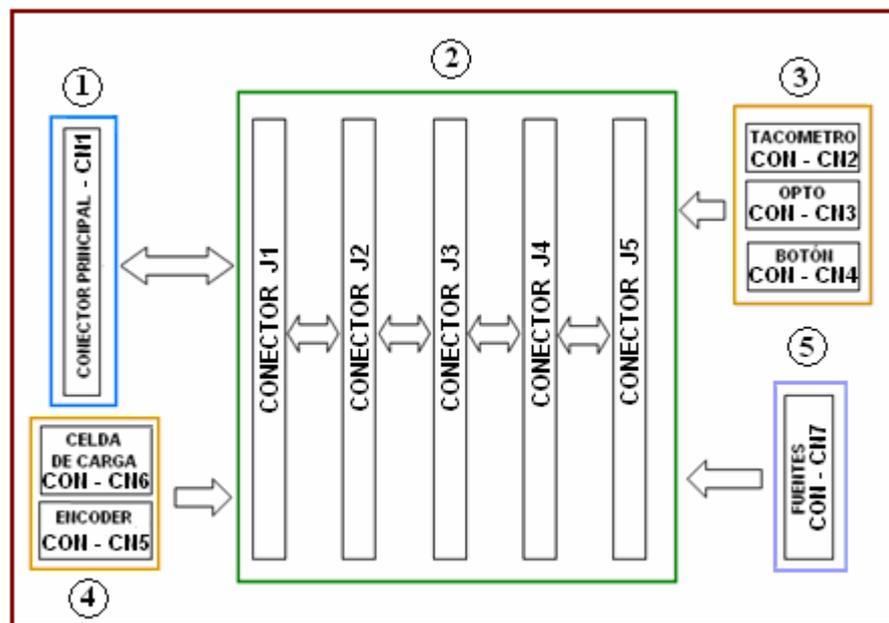


Fig. 2.2 Estructura de las tarjetas electrónicas del TC200.

Se aprecia cinco zonas bien diferenciadas, a continuación se dará una descripción de las mismas:

a. Zona Uno

Está formada por el conector principal CN1, que enlaza las señales provenientes de las tarjetas electrónicas, con el computador y viceversa.

b. Zona Dos

Esta zona está compuesta por cinco tarjetas electrónicas que son la base del funcionamiento del dinamómetro TC_200.

c. Zona Tres

La zona tres está integrada por tres conectores. Al conector CN2 ingresan las señales del taco generador el mismo que se encuentra acoplado al eje del motor de DC; mientras que al conector CN3 llegan las señales de un opto que forma parte de la protección mecánica con la que cuenta el aparato. Al último conector de esta zona el CN4 ingresa la señal del botón auxiliar que es el encargado de desbloquear la máquina cuando se han activado las protecciones.

Los tres conectores que forman parte de la zona tres mandan sus señales a las tarjetas electrónicas de la zona dos para ser procesadas.

d. Zona Cuatro

En la zona cuatro se encuentran dos conectores: el CN5 y el CN6 en donde ingresan las señales del encoder y de la celda de carga respectivamente para luego dirigirse a las tarjetas electrónicas de la zona dos.

e. Zona Cinco

En la **Fig. 1.3** se puede apreciar el conector **JP** que en este caso forma parte de la zona cinco y es el conector CN7. En este conector ingresan las señales provenientes del secundario del transformador TR1 y de ahí se dirigen a las tarjetas electrónicas de la zona dos para generar los voltajes de alimentación de los diferentes dispositivos electrónicos (+5V -5V +15V -15V).

Además el voltaje del secundario del transformador TR2 se rectifica y se filtra obteniendo un voltaje DC el cual ingresa al conector CN7 y se dirige a la tarjeta manejadora del motor de DC.

Es importante tener una visión más detallada de las cinco tarjetas electrónicas que forman parte de la zona dos; pues en base a su análisis se podrá diseñar la nueva tarjeta de adquisición de datos.

2.4 TARJETAS ELECTRÓNICAS DE LA ZONA DOS

Para poder desarrollar la nueva tarjeta de adquisición de datos se realizó un estudio pormenorizado de cada una de las tarjetas que forman parte de la zona dos; saber que envía el computador, qué procesa y como interactúa con el resto del equipo. Cabe destacar que la base de la nueva tarjeta es el microcontrolador **PIC18F4550**; el cual es el encargado de realizar todas las tareas que el computador original venía desempeñando; además es el encargado de realizar un enlace de comunicación vía USB entre el dinamómetro electrónico TC_200 y el PC.

A continuación se dará una idea global del funcionamiento de cada una de las tarjetas; y cuales fueron los parámetros que se tomaron en cuenta para el desarrollo de la nueva tarjeta.

2.4.1 TARJETA ELECTRÓNICA AMPLIFICADORA DE LA SEÑAL DE LA CELDA DE CARGA (CONECTOR J1)

La celda de carga está alimentada con un voltaje diferencial de 10V el cual alimenta al puente de Wheatstone; de acuerdo a los datos de placa en la **Fig. 1.10** se observa que la celda nos entrega 3.416mV por cada voltio de alimentación. Esto quiere decir que la celda entrega un voltaje máximo de $\pm 34.16\text{mV}$ que representarían 400 N que es su capacidad máxima; ya sea si se encuentra tensionada o comprimida.

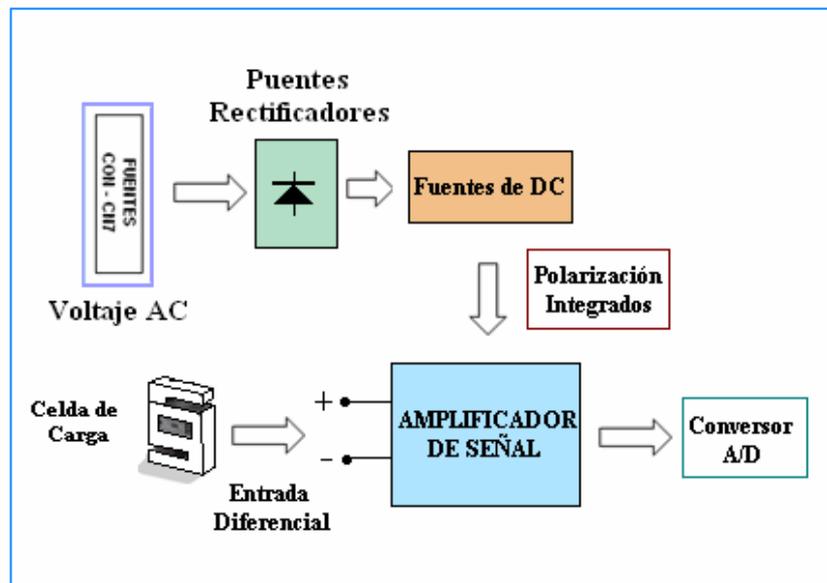


Fig. 2.3 Estructura de la tarjeta electrónica (*Conector J1*)

Por lo tanto es necesario amplificar esta señal para poder trabajar en un rango más amplio de operación. La tarjeta electrónica amplificadora de señal del Conector J1 es la encargada de realizar este proceso.

En la **Fig. 2.3** se aprecia en un diagrama de bloques como se encuentra estructurada esta tarjeta; en donde ingresa un voltaje de 17 Vac proveniente del conector CN7, este se rectifica y pasa por reguladores de voltaje para tener fuentes de DC de $\pm 5\text{V}$ con los cuales polarizo a los integrados de la parte del amplificador de señal.

La salida de la celda de carga ingresa a la etapa del amplificador de señal la cual está compuesta por amplificadores operacionales y un amplificador de instrumentación.

Un **amplificador de instrumentación** es un dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales. Está diseñado para tener una alta impedancia de entrada. En este caso la tarjeta electrónica cuenta con el integrado INA101 que es un amplificador de instrumentación de alta exactitud diseñado para la amplificación de señales de bajo nivel. En el **Anexo B.1** se cuenta con el datasheet de este componente.

A la salida de esta etapa se tiene la señal de la celda amplificada. Ahora el valor máximo de la celda viene representado por un valor de $\pm 5V$.

Esta etapa tiene la posibilidad de aumentar o disminuir la ganancia del voltaje de salida con respecto al voltaje de entrada, además se puede regular el Offset de la señal de la celda; pues ésta con el tiempo y uso sufre variaciones.

La salida ya acondicionada ingresa al conversor A/D de la tarjeta electrónica del Conector J3.

Para el diseño de la nueva tarjeta electrónica de adquisición de datos se tomó la salida acondicionada de 0 a $\pm 5V$.

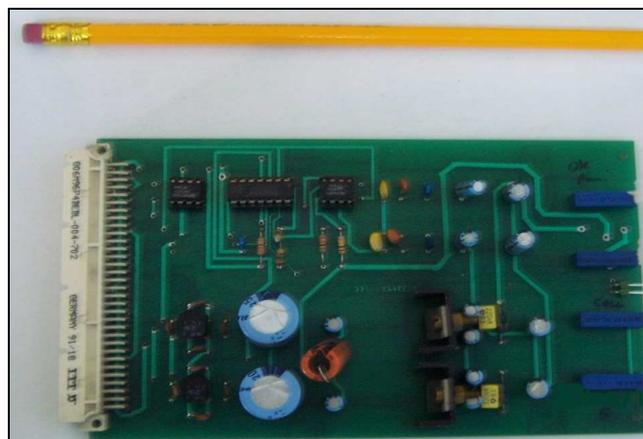


Fig. 2.4 Gráfico de la tarjeta electrónica (*Conector J1*)

En la **Fig. 2.4** se observa una fotografía de la tarjeta electrónica amplificadora de la señal de la celda de carga, en el **Anexo A.2** se adjunta el esquemático de esta tarjeta.

2.4.2 TARJETA ELECTRÓNICA FUENTES DE ALIMENTACIÓN (CONECTOR J2)

En esta tarjeta al igual que en la anterior ingresan voltajes de 17Vac provenientes del conector CN7, estos voltajes son rectificadas e ingresan a reguladores de voltaje para obtener voltajes de $\pm 5V$ y $\pm 15V$; los mismos que servirán para polarizar algunos integrados de las otras tarjetas electrónicas.

Esta tarjeta es importante pues de aquí se tomarán los voltajes para polarizar los integrados de la nueva tarjeta y así compartir las mismas referencias.

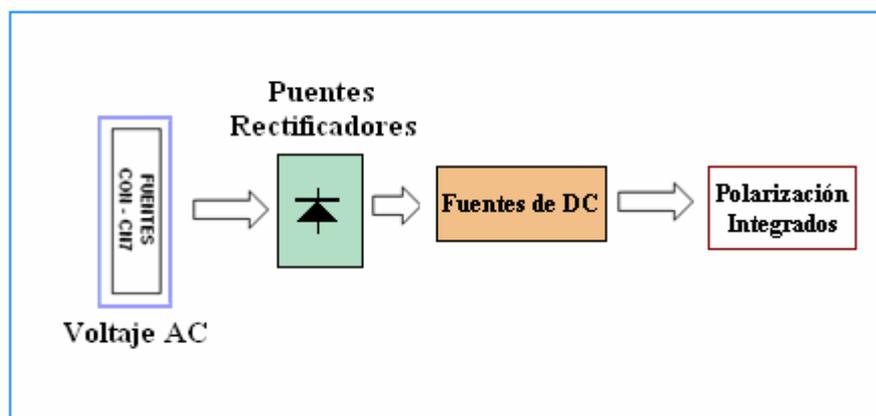


Fig. 2.5 Estructura de la tarjeta electrónica (Conector J2)

El esquemático de esta tarjeta se encuentra en el **Anexo A.3**; en la **Fig. 2.6** se observa una fotografía de la tarjeta electrónica.

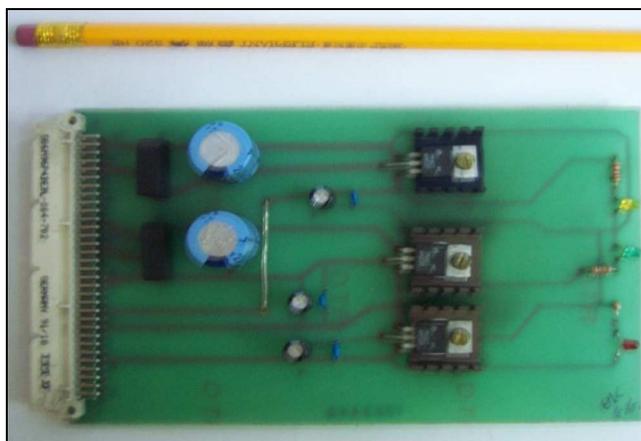


Fig. 2.6 Gráfico de la tarjeta electrónica (Conector J2)

2.4.3 TARJETA ELECTRÓNICA ANALÓGICA / DIGITAL DE LA SEÑAL DE LA CELDA DE CARGA (CONECTOR J3).

En esta tarjeta se realiza la conversión de la señal análoga de la celda de carga a una señal digital para que el computador pueda procesarla.

La señal acondicionada de la celda de carga proveniente de la tarjeta amplificadora de señal, ingresa al conversor A/D **MC14433**, la salida digital ingresa a 4 Flip – Flops tipo “D” y luego pasan por 2 Buffers 74LS244, la conversión se realiza a 12 bits y ésta señal digital se dirige al conector principal CN1 para luego enlazarse con el computador.

No se realizará un estudio detallado de esta tarjeta pues en el nuevo proceso no se la utiliza, la conversión A/D se efectúa con el microcontrolador **PIC18F4550**.

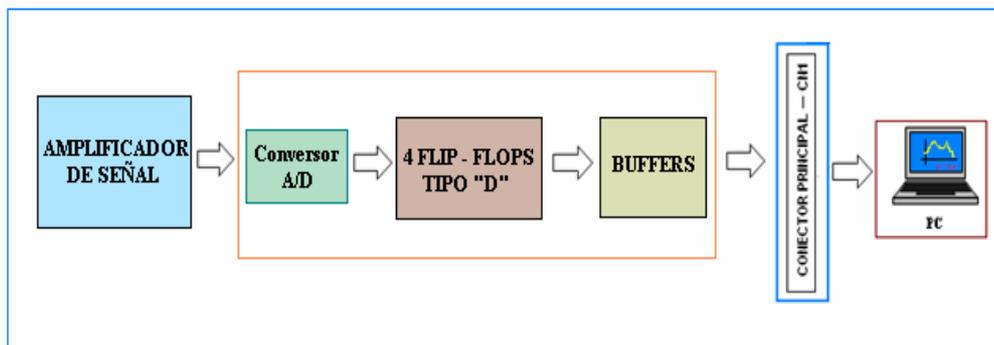


Fig. 2.7 Estructura de la tarjeta electrónica (Conector J3)

El esquemático de esta tarjeta se encuentra en el **Anexo A.4**; en la **Fig. 2.8** se observa una fotografía de la tarjeta electrónica.

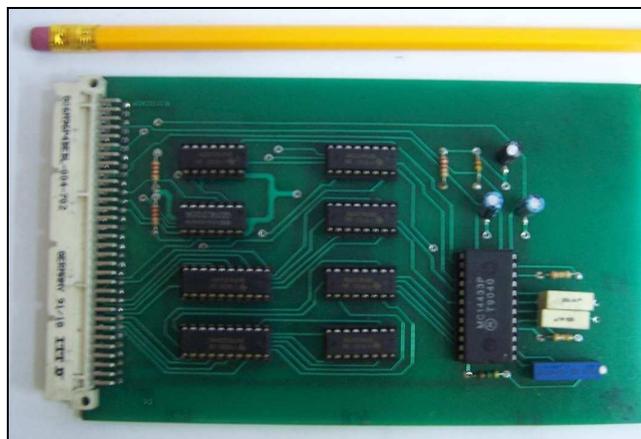


Fig. 2.8 Gráfico de la tarjeta electrónica (Conector J3)

2.4.4 TARJETA ELECTRÓNICA CONVERTIDORA DIGITAL/ANÁLOGA PARA HABILITACIÓN DEL MOTOR DE DC (CONECTOR J4).

El dinamómetro TC_200 tiene la posibilidad de movilizar su cabezal superior a diferentes velocidades para poder realizar las pruebas; ya sea de tensión o compresión. El rango de velocidades en las cuales el equipo puede moverse varía desde 0 – 500 [mm/min].

Para ello utiliza dos tarjetas electrónicas: la tarjeta convertidora digital/análoga para habilitación del motor de DC Conector J4; y la tarjeta electrónica manejadora del motor de DC Conector J5.

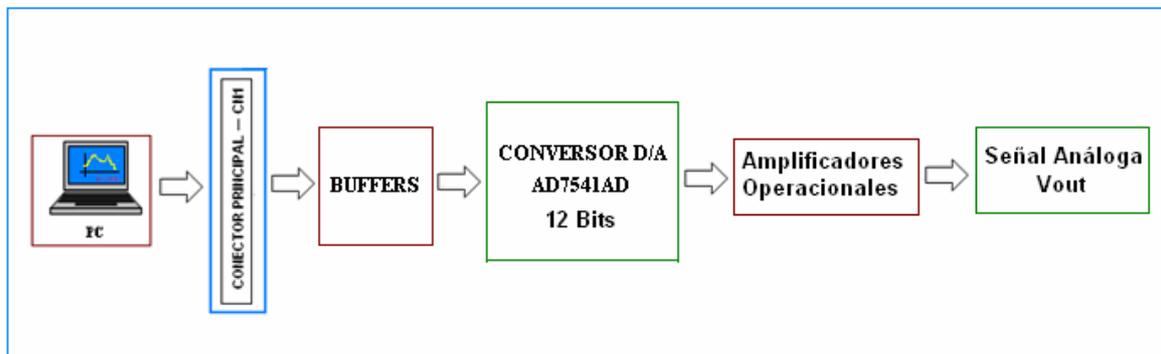


Fig. 2.9 Estructura de la tarjeta electrónica (Conector J4)

La **Fig. 2.9** describe la estructura de la tarjeta electrónica D/A. El computador envía la información de la velocidad a la que el cabezal debe desplazarse; esto lo hace en 12 bits. La información llega al conector principal CN1 e ingresa a dos Buffers (**T74LS244B**) de la tarjeta; la misión de los Buffers es la de evitar el efecto de carga en el circuito; el efecto de carga es la reducción de voltaje mientras aumenta la carga. Básicamente es un amplificador operacional en la configuración seguidor. Con esto el voltaje y la corriente no disminuyen en el circuito, pues el Buffer toma el voltaje de la fuente de alimentación del amplificador operacional y no de la señal que se está ingresando.

A la salida de los Buffers, las señales se dirigen al Conversor D/A **AD7541AD**. El voltaje análogo de salida ingresa a un estabilizador de señal y compensador de error formado por amplificadores operacionales.

Como en la nueva tarjeta el computador es separado del sistema, el microcontrolador **PIC18F4550** es el encargado de enviar las señales digitales para comandar la velocidad del motor.

A la salida de los operacionales se tiene una señal análoga que varía entre $\pm 10V$. Esto depende del tipo de test que se está realizando, tensión o compresión.

Además la tarjeta cuenta con un sistema de opto-transistores para habilitar el movimiento del motor de DC y para el sistema de protección mecánica con que cuenta el equipo.

En el capítulo 3 “Diseño del Software del Sistema” se realizará un estudio más profundo del conversor D/A; y se presentará cuales son las condiciones que el nuevo hardware debe cumplir para poder integrarse a esta tarjeta.

El esquemático de esta tarjeta se encuentra en el **Anexo A.5**; en la **Fig. 2.10** se observa una fotografía de la tarjeta electrónica.

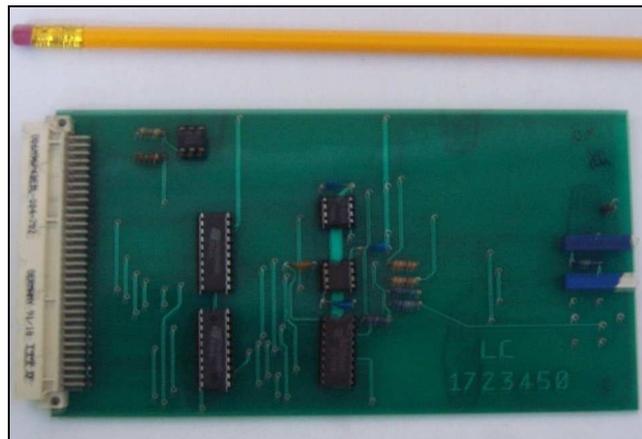


Fig. 2.10 Gráfico de la tarjeta electrónica (*Conector J4*)

2.4.5 TARJETA ELECTRÓNICA DE CONTROL Y POTENCIA PARA EL MOTOR DE DC (CONECTOR J5).

De esta tarjeta no se tiene mayor información de su estructura física y de sus componentes, pero realizando un análisis de su funcionamiento y de las acciones que realiza es posible generar algunos criterios de su operación.

La tarjeta es de marca “SOPREL” Serial: 4.72.180. Rev3. En la **Fig. 2.11** se aprecia una fotografía de la tarjeta electrónica.



Fig. 2.11 Gráfico de la tarjeta electrónica (Conector J5)

En la **Fig. 2.12** se aprecia las señales que ingresan a la tarjeta electrónica del conector J5, así como de los procesos que se generan hasta llegar al motor de DC.

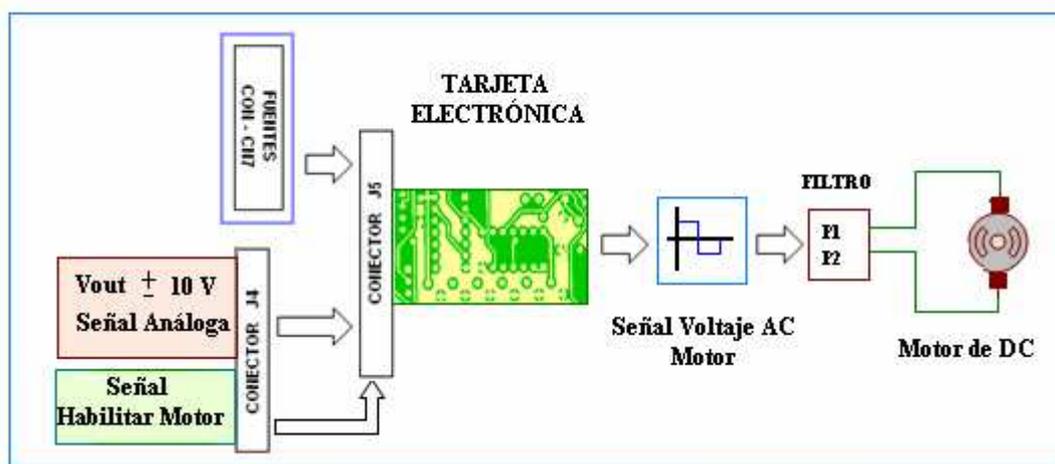


Fig. 2.12 Principio de operación de la Tarjeta Electrónica (Conector J5).

Existen tres señales que ingresan a la tarjeta:

- **Voltaje DC 50 Voltios.** Este voltaje proviene de la rectificación y filtrado del voltaje del secundario del transformador TR2 **Fig. 1.3**
- **Señal de Voltaje Análogo, Vout.** En la etapa anterior se analizó como se realizaba la conversión D/A hasta llegar a una señal de salida de ± 10 V. Esta señal ingresa en la tarjeta del conector J5 y es procesada por la parte de control para generar señales PWM que activen la parte de potencia de esta placa. La parte de potencia está formada por un puente con cuatro MOS **IRF540** (30A 100V). El objetivo es generar un inversor de dos niveles,

cuya señal mueva al motor de DC. Entonces dependiendo de la señal que se genere se podrá controlar la velocidad del motor y su inversión de giro.

- **Habilitar Motor.** Esta señal proviene del computador y habilita el movimiento del motor; en la nueva tarjeta el microcontrolador será el encargado de generar esta señal dependiendo de los requerimientos del proceso.

2.4.5.1 Principio de Operación de la Etapa de Potencia.

En la figura **Fig. 2.13.** se aprecia como está estructurada la parte de potencia de esta tarjeta electrónica; se observa que ingresa un voltaje DC de 50V provenientes del transformador TR2; existen cuatro MOS formando un puente, los Gates de estos elementos son activados por una señal PWM; esta señal se genera de acuerdo al valor de la señal análoga que llega de la tarjeta electrónica conector J4. De esta forma se obtiene una señal cuadrada de dos niveles entre los puntos **A-B** con lo cual se originará el movimiento del motor, esta señal es de alta frecuencia aproximadamente 23KHz; con lo cual el motor de DC vería reflejado en sus terminales un voltaje DC medio de esta señal.

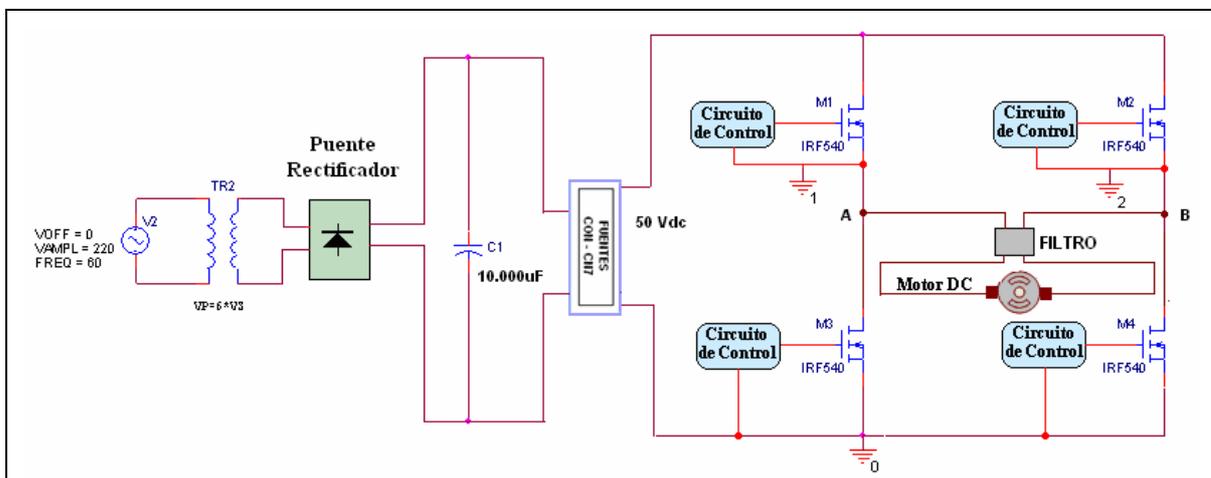


Fig. 2.13 Etapa de Potencia de la Tarjeta Electrónica (Conector J5).

A continuación se analizará algunas formas de onda que la tarjeta electrónica del conector J5 genera para el movimiento, control de velocidad e inversión de giro del motor de DC.

La señal de salida de la tarjeta electrónica del conector J5 ingresa en el filtro de la **Fig. 1.16** antes de llegar al motor, esto se observa en la **Fig. 2.14**



Fig. 2.14 Señal de Voltaje que llega al motor de DC

En la **Fig. 2.15** se tiene la forma de onda que genera la tarjeta, es una señal cuadrada de dos niveles cuya amplitud es de ± 44 Voltios, la frecuencia de esta señal es de 23Khz; luego pasa por un filtro antes de llegar al motor de DC.

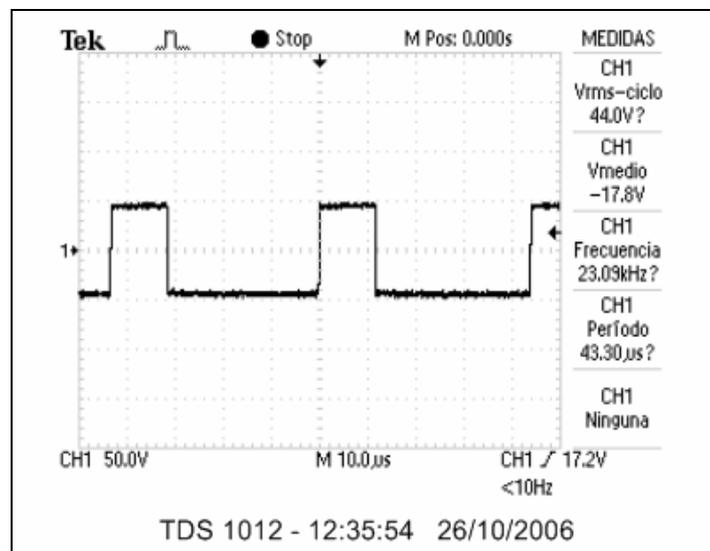


Fig. 2.15 Señal antes del filtro, Motor subiendo

En la **Fig. 2.16** se observa la señal de voltaje después del filtro, ésta será la que ingrese al motor. La señal después del filtro es algo distorsionada con relación a la señal que ingresa, pues como se puede ver existe una reducción en los niveles de amplitud y se generan unos picos en los cruces por cero, la razón de ser de

esta forma de onda es la de generar una señal con un valor de DC. Con esto garantizaremos que al motor le llegue un voltaje de DC. En este caso los valores en la gráfica nos muestran un valor de Voltaje DC medio de -20.2 Voltios.

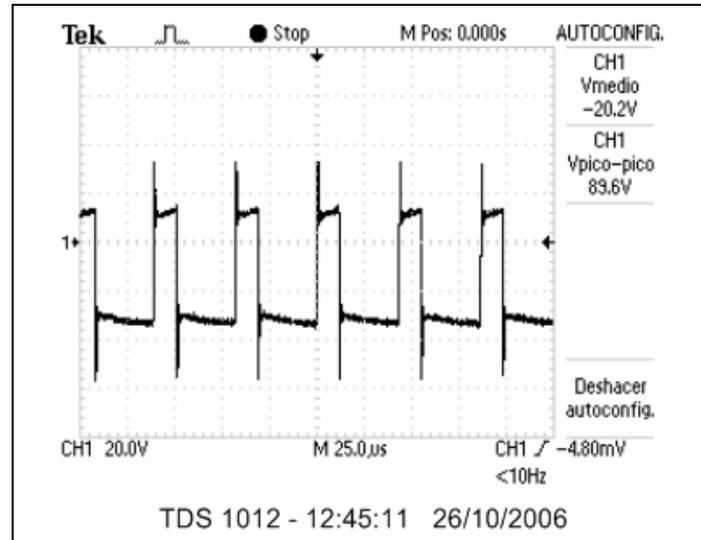


Fig. 2.16 Señal después del filtro, Motor subiendo

En las **Fig. 2.17** y **Fig. 2.18** se presenta la señal generada por la tarjeta electrónica del conector J5 y la salida del filtro respectivamente; pero en este caso el motor se encuentra bajando; las consideraciones son similares a las del caso anterior.

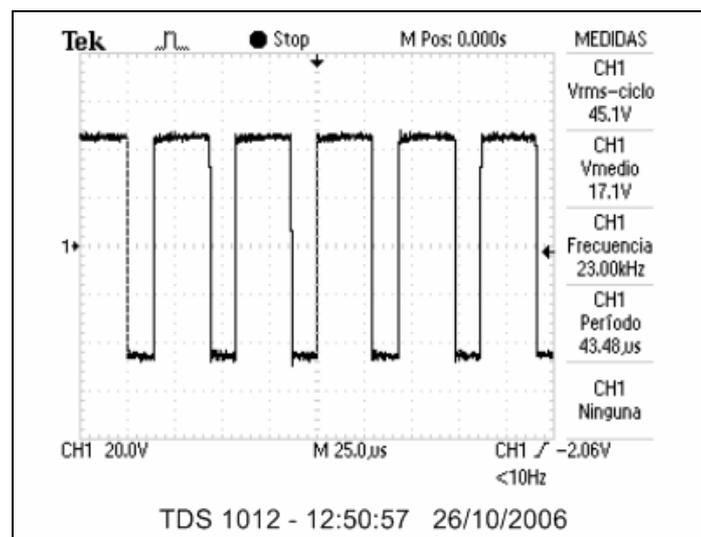


Fig. 2.17 Señal antes del filtro, Motor bajando

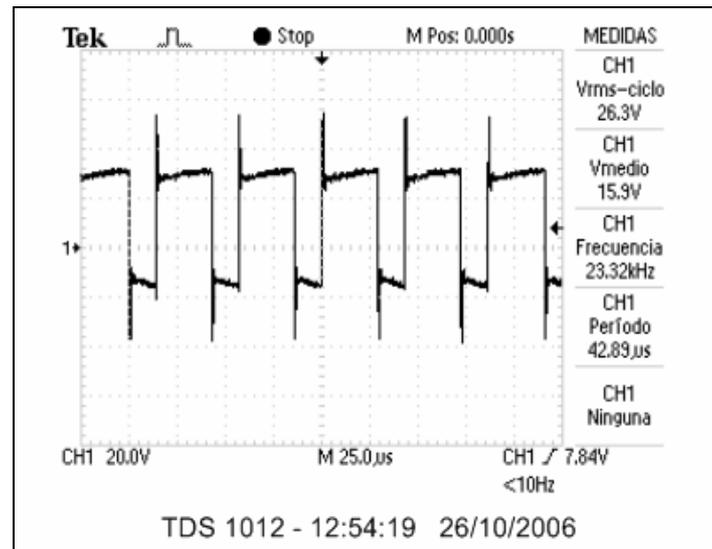


Fig. 2.18 Señal después del filtro, Motor bajando

En ambos casos es importante evidenciar que los voltajes DC medios son valores positivos y negativos, lo que origina que le motor invierta el sentido de giro según sea el proceso que esté desarrollando, y el cabezal superior del dinamómetro pueda desplazarse hacia arriba o abajo.

En la **Fig. 2.19** se presenta la forma de onda para detener la máquina, como se puede observar el voltaje DC medio es de -218mV voltaje con el cual el motor dejará de moverse.

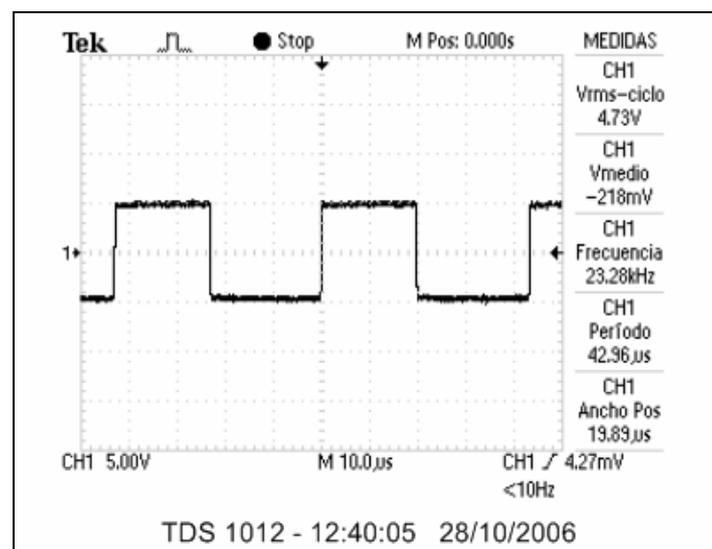


Fig. 2.19 Señal para detener al motor de DC.

Después de haber analizado la estructura interna del dinamómetro TC200 y de sus componentes electrónicos; ahora se empezará con el diseño de la nueva tarjeta de adquisición de datos, tomando en cuenta todos los parámetros y condiciones con los que el equipo venía trabajando.

2.5 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Para el diseño del nuevo hardware se debe tener en cuenta cuales son las señales de entrada y de salida, y que elementos se van a implementar.

El cerebro de la nueva tarjeta es el microcontrolador **PIC18F4550** de Microchip, el cual procesará las señales de entrada de sensores y otros dispositivos y será el encargado de generar las señales para el movimiento y habilitación del motor, visualización de parámetros a través de un LCD, activación de dispositivos de protección del equipo y enlace vía USB con el PC.

2.5.1 SEÑALES DE ENTRADA

En primer lugar se tomará la señal acondicionada de la celda de carga proveniente de la tarjeta electrónica amplificadora de señal Conector J1 **Fig. 2.3**; ésta es una señal análoga de ± 5 V.

Otro de los sensores es el rotary encoder el cual nos genera 200 pulsos por revolución, se tomará directamente esta señal para ingresarla en el microcontrolador.

Se implementó un sistema de protección electrónica con sensores magnéticos y otro sistema basado en un fotodiodo y un fototransistor (transmisor – receptor) que se acopla a la protección mecánica del equipo. Las protecciones sirven para impedir que el cabezal superior tope y presione al cabezal inferior, ocasionando que la celda se dañe por exceso de carga, además protege al motor cuando el cabezal superior ha subido hasta el tope máximo. Estas señales también ingresan al microcontrolador.

El sistema cuenta con un grupo de pulsadores cuyas señales van al microcontrolador, estos sirven para ingresar parámetros y dar inicio a las diferentes pruebas que el dinamómetro realiza; además sirven para subir, bajar o

parar el cabezal superior o dar por finalizada una prueba. Todo esto se visualizará en un display de cristal líquido LCD de 20 caracteres x 4 líneas.

La polarización de los integrados se las hará aprovechando las fuentes de la tarjeta electrónica del conector J2 **Fig. 2.5**, se tomarán (+ 5V y \pm 15 V) y de esta manera se mantendrá la misma referencia.

2.5.2 SEÑALES DE SALIDA.

El microcontrolador genera señales que ingresan al conector principal **CN1** del dinamómetro **Fig. 2.2**, envía doce bits por doce de sus pines los cuales se dirigen a la tarjeta electrónica convertidora Digital/Análoga Conector J4 para habilitación del motor de DC **Fig. 2.9**, con esto se controla el movimiento del motor, y luego manda una señal por otro de sus pines para habilitarlo.

2.6 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES.

A continuación se dará la lista de componentes que forman parte de la nueva tarjeta de adquisición de datos y se dará a conocer las características más relevantes de cada uno de ellos.

Esta lista ha sido generada a través de la opción "*Bill of materials*" del simulador de circuitos electrónicos **ORCAD 10.5**, en donde fue desarrollado el esquemático.

LISTA DE MATERIALES

#	Cantidad	Valor	Descripción	Referencia
1	1	FUSE1		1A
2	1	FUSE2		500mA
3	1	FUSE3		500mA
4	1	0.1u		C1
5	1	22p		C2
6	1	22p		C3
7	1	1n		C4
8	1	0.1u		C5
9	1	0.1u		C6
10	1	0.47u		C7
11	1	0.1u		C8
12	1	0.1u		C9
13	1	0.1u		C10
14	1	0.1u		C11
15	1	0.1u		C12
16	1	0.1u		C13

#	Cantidad	Valor	Descripción	Referencia
17	1	0.1u		C14
18	1	0.22u		C15
19	1	0.1u		C16
20	1	0.1u		C17
21	1	0.1u		C18
22	1	0.1u		C19
23	1	0.1u		C20
24	1	0.1u		C21
25	1	0.1u		C22
26	1	47u		C23
27	1	47u		C24
28	1	1n		C25
29	1	0.1u		C26
30	1	1n		C27
31	1	47u		C28
32	1	0.1u		C29
33	1	1n		C30
34	1	47u		C31
35	1	0.1u		C32
36	1	1n		C33
37	1	47u		C34
38	1	D1N4007		D1
39	1	D1N4007		D2
40	1	D1N4733		D3
41	1	LCD		J1
42	1	FUENTES_TC200		J2
43	1	RESET		J3
44	1	CELDA		J4
45	1	BackLight		J5
46	1	ENCODER		J6
47	1	USB		J7
48	1	BUS		J8
49	1	Pulsadores		J9
50	1	MAGNETICOS		J10
51	1	Optos		J12
52	1	JUMPER		J14
53	1	Cap_47u		J15
54	1	R=100 Ohm		J16
55	1	R=100 Ohm		J17
56	1	R=200 Ohm		J18
57	1	Cap_47u		J19
58	1	5.6k		R1
59	1	10K		R2
60	1	10		R3
61	1	1MEG		R4
62	1	100k		R5
63	1	100k		R6
64	1	100k		R7

#	Cantidad	Valor	Descripción	Referencia
65	1	100k		R8
66	1	5.6k		R9
67	1	5.6k		R10
68	1	5.6k		R11
69	1	5.6k		R12
70	1	5.6k		R13
71	1	5.6k		R14
72	1	100k		R15
73	1	100k		R16
74	1	100k		R18
75	1	2.5k		R19
76	1	5.6k		R20
77	1	2.5k		R22
78	1	100k		R23
79	1	100		R24
80	1	CD40106B		U1
81	1	18F4550		U2
82	1	TL084		U3
83	1	74LS04		U4
84	1	74LS32		U5
85	1	74LS32		U6
86	1	20MHz		X1

Tabla 2.1 Tabla de Elementos de la Tarjeta de Adquisición de Datos

En la lista de la **Tabla 2.1** tenemos Fusibles, Capacitores (C), Diodos (D), Conectores y Jumpers (J), Resistencias (R), Cristal (X), e Integrados (U).

2.6.1 MICROCONTROLADOR PIC18F4550

El **PIC18F4550** de Microchip es un microcontrolador de propósito general muy versátil y a la vez muy económico. Cuenta con interfase USB 2.0 “Full Speed” y 48 MHz de frecuencia de oscilación para un rango de transferencia de datos de 1.5 Mbps mínimo y 12 Mbps máximo. Incluye un controlador USB interno, el microcontrolador cuenta con dos pines de salida para conectar directo al PC las líneas de transmisión de datos USB (D+ y D-), sin la necesidad de *pull-ups* o circuitería externa.

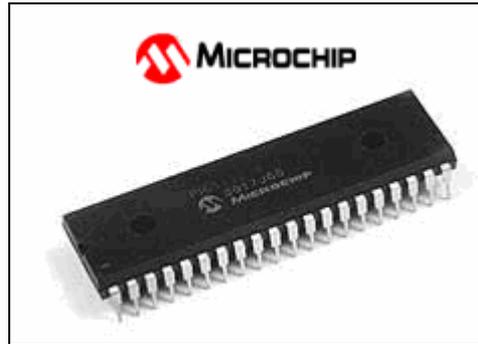


Fig. 2.20 PIC18F4550 - empaquetado DIP-40

Se puede utilizar algunos cristales y osciladores de varias frecuencias como entrada y tiene “*post-scaler*” de esta forma el procesador puede trabajar a una frecuencia de 48 Mhz; se debe configurar los registros dependiendo del oscilador que se utilice.

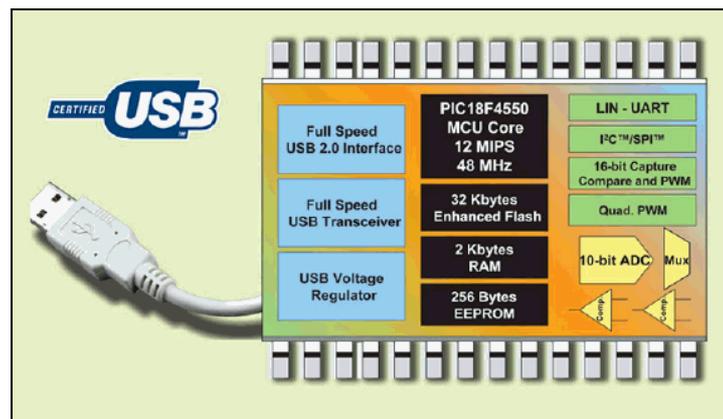


Fig. 2.21 Características del PIC

- Posee 32Kb de memoria Flash para almacenar los programas.
- 2Kb de SRAM para memoria volátil.
- 256 bytes de EEPROM (memoria no-volátil) para almacenamiento permanente de datos.
- Cuenta con un número de ciclos de escritura/borrado en la memoria Flash de 100.000. Más de 40 años de retención de datos Flash/EEPROM.
- 1.000.000 de ciclos de escritura/borrado de EEPROM
- Las instrucciones son de 1 byte de longitud con la excepción de algunas que ocupan 2 bytes (CALL, MOVFF, GOTO, LSFR).

- Las características de la interfase USB 2.0 “Full Speed” incluyen: Un transmisor/receptor en el dispositivo y un puerto paralelo para transferir datos directamente hacia periféricos externos con una mínima carga para el CPU.
- Soporta hasta 32 Endpoints (16 bidireccionales).
- 1 Kbyte de la RAM, puede ser dedicado al buffer USB.
- Tiene un set de instrucciones extendido.
- Watchdog Timer extendido: periodo programable de 41ms a 131ms.
- Cuatro temporizadores (3 de 16 bits y uno de 8 bits) (Timer0 a Timer3).
- Módulo EUSART que soporta interfase serie RS232, RS485 y LIN.
- Puerto SSP de comunicaciones serie I2C y SPI.
- Convertidor A/D de 10 bits de resolución con más de 12 canales.
- 2 comparadores analógicos con multiplexión de entrada.
- 2 módulo Captura/Comparación/PWM (CCP) con 16 bits de resolución.
- Circuito detector de bajo voltaje, reset por caída de tensión.

Estas características, combinadas con una gran variedad de periféricos y un avanzado control de alimentación con tecnología nanoWatt, proporcionan una solución completa para proyectos con comunicación USB. Este microcontrolador está diseñado para trabajar en entornos duros como es el campo industrial.

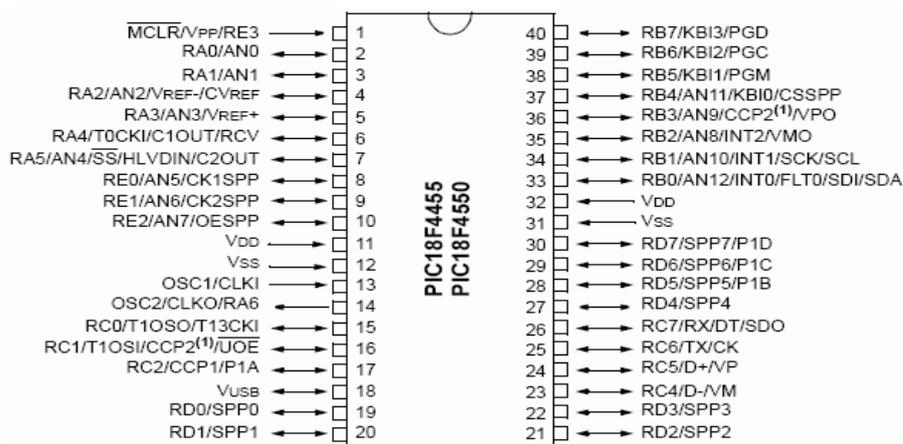


Fig. 2.22 Distribución de pines del PIC18F4550

La descripción del microcontrolador **PIC18F4550** es un extracto del datasheet proporcionado por Microchip **Anexo C**.

2.7 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

Después de haber analizado la estructura interna del dinamómetro, y sus componentes; se empezará con el diseño de la nueva tarjeta de adquisición de datos.

2.7.1 SEÑALES PROCESADAS EN LA NUEVA TARJETA.

2.7.1.1 Fuentes de Polarización

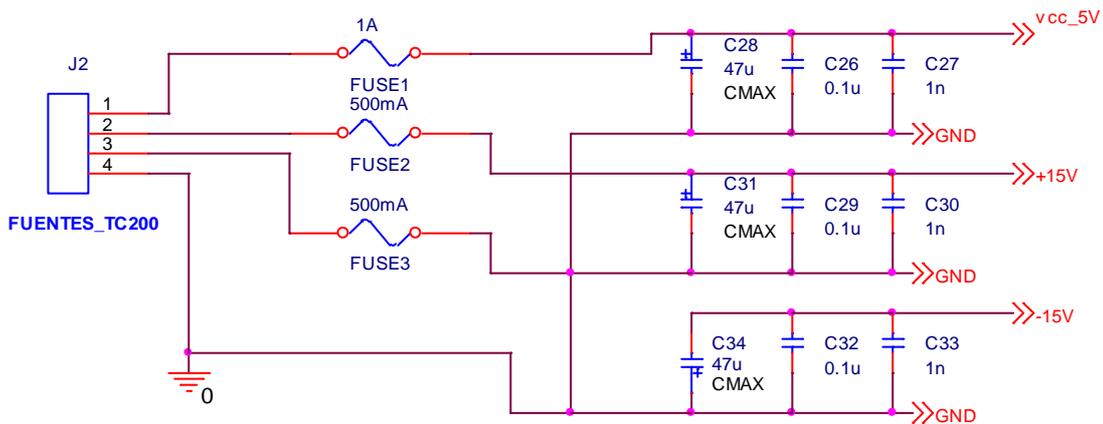


Fig. 2.23 Fuentes de Polarización de la Tarjeta de Adquisición de Datos

El conector J2 es una bornera en donde ingresan los voltajes de polarización de la tarjeta electrónica Conector J2 **Fig. 2.5**, estas señales van a alimentar a los integrados de la nueva tarjeta. Se tiene 3 fuentes de alimentación +5V, +15V, y -15 V. Cada una tiene como protección un fusible; de 1A para la fuente de 5V y de 500mA para las otras dos, y un sistema de capacitores en paralelo para asegurar una buena señal de DC.

2.7.1.2 Señales de la Celda de Carga y del Rotary Encoder.

La señal de la Celda de Carga proviene de la tarjeta electrónica Amplificadora de Señal Conector J1 **Fig. 2.3** esta es una señal analógica entre $\pm 5V$, que ingresa a la nueva tarjeta a través de la bornera J4, de ahí se dirige a una etapa de acondicionamiento antes de ingresar al canal A/D del microcontrolador; mientras que la señal del Rotary Encoder **Fig. 1.22** la tomamos directamente del sensor en el Conector Principal **CN1**, esta señal ingresa a la bornera J6, para garantizar un

tren de pulsos de amplitud 5V se ha colocado un **CD40106B** CMOS Hex Schmitt Trigger, que es un inversor con lazo de histéresis su datasheet se encuentra en el **ANEXO B.2**, la señal de salida de este integrado ingresa al Pin 36 del microcontrolador.

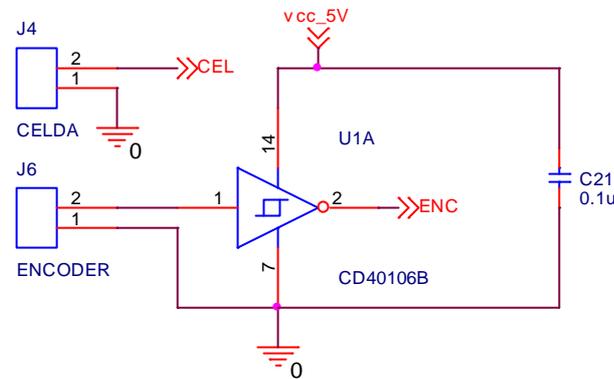


Fig. 2.24 Señales de Entrada de la Celda de Carga y del Encoder.

2.7.1.3 Señal de Comunicación USB

El hardware para el protocolo USB involucra cuatro cables dos son alimentación y los otros dos son para datos. En el capítulo 3 se dará mayores detalles sobre el protocolo USB.

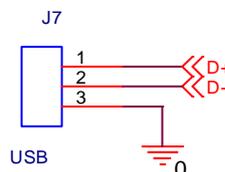


Fig. 2.25 Conector para señales USB

En la **Fig. 2.25** la bornera J7 lleva las señales de datos desde el PC a los pines 23 y 24 (D- y D+) del Microcontrolador y viceversa. La polarización la pone la fuente del microcontrolador y así evitamos utilizar la fuente de polarización del computador. De esta manera el conector J7 sólo cuenta con tres cables y no cuatro.

2.7.1.4 Señales de los Sensores de Protección del Equipo.

El nuevo sistema cuenta con una protección electrónica diseñada con un sensor magnético, el cual protege a la celda de carga si el cabezal superior del

dinamómetro llegara a presionar al cabezal inferior. En la **Fig. 2.26** se observa como ingresa la señal del sensor magnético a la bornera J10.

La señal del sensor magnético no es más que tener un switch que se cierra cuando las dos partes del sensor se juntan a una determinada distancia y se abre cuando se separan. Entonces para poder tener una señal de 0 a 5V para que el microcontrolador pueda procesarla es necesario realizar una adaptación con una red RC y luego ingresar esta señal a un **CD40106B**; de esta manera se tendrá 0 voltios cuando el sensor esté desactivado y 5 Voltios cuando se active.

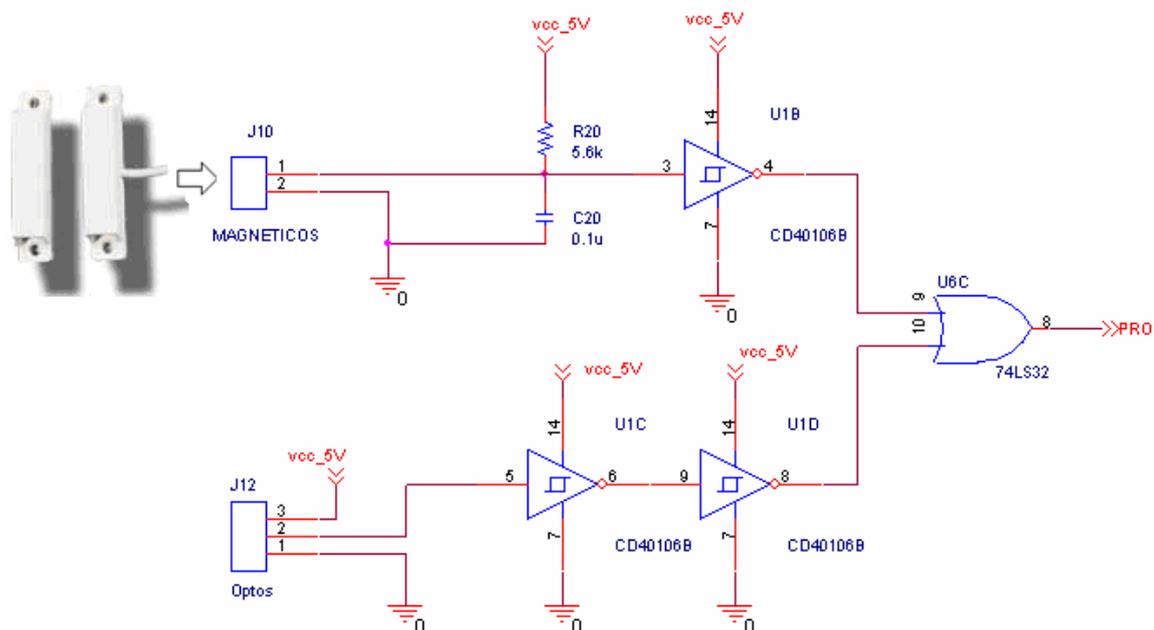


Fig. 2.26 Señales de los Sensores de Protección.

El dinamómetro cuenta con un segundo sistema de protección, la protección es mecánica la cual impide que el cabezal superior llegue a subir o bajar demasiado, este sistema está basado en un fotodiodo y un fototransistor **receptor/transmisor** respectivamente. En la **Fig. 2.27** se aprecia la configuración de este sistema.

La señal del sistema de protección mecánica ingresa a la bornera J12; para garantizar un activado inmediato de la señal de protección ésta ingresa a dos Schmitt Triggers **CD40106B**.

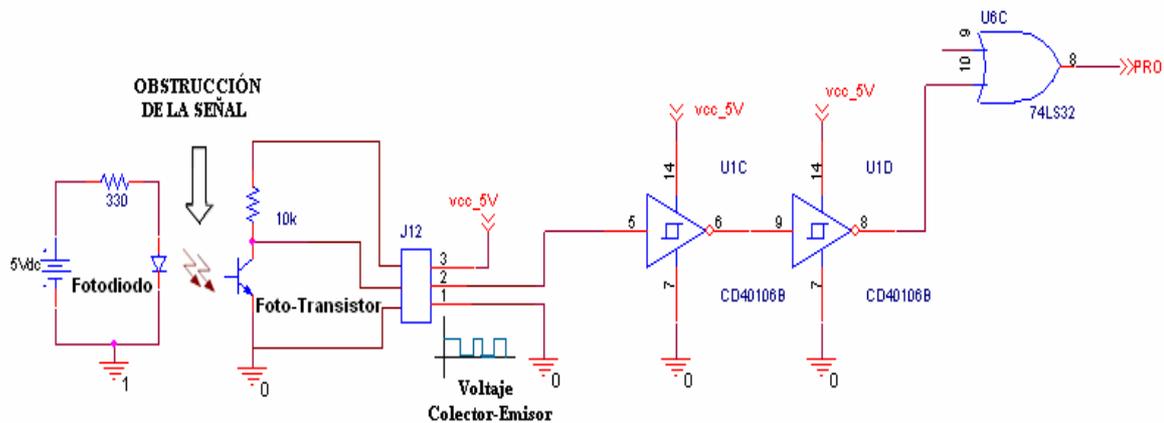


Fig. 2.27 Señal del fotodiodo y del fototransistor para protecciones.

Las dos señales tanto del sensor magnético como del sistema foto *transmisor/receptor*, ingresan a una compuerta OR **74LS32**. La salida de esta compuerta se dirige al Pin 8 del microcontrolador; los dos sistemas de protección son independientes; así que el microcontrolador activará el proceso de protección cuando se active cualquiera de los dos sistemas.

2.7.1.5 Pulsadores de Selección.

El sistema cuenta con dos HMIs uno local y otro exclusivamente manejado por el PC. En el sistema local el dinamómetro se maneja a través de pulsadores; con ellos se selecciona y se ingresa datos para efectuar las diferentes pruebas que el dinamómetro realiza; además se controla el movimiento del cabezal superior, y se puede dar inicio o detener una prueba.

Los pulsadores se encuentran ubicados en la parte frontal del dinamómetro. En la **Fig. 2.28** se observa al grupo de pulsadores, los cuales poseen una red RC para evitar el rebote de la señal. Los pulsadores se conectan con la tarjeta de adquisición de datos a través del bus J9.

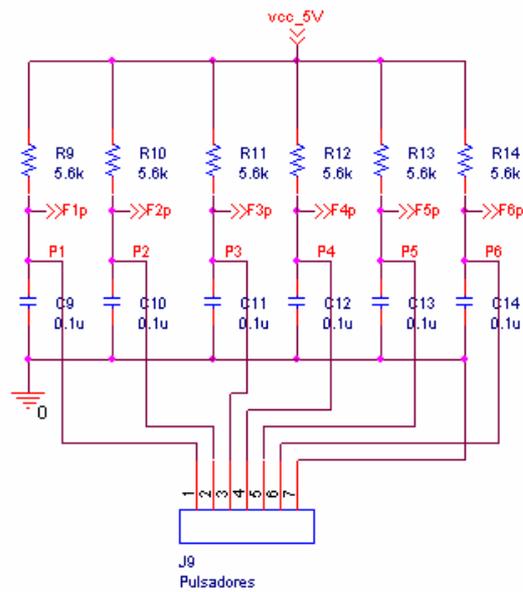


Fig. 2.28 Grupo de Pulsadores de Selección.

La señal de los pulsadores ingresan a una compuerta NOT **74LS04** **Fig. 2.29** para cambiar su estado, de esta forma el microcontrolador ejecutará una acción cuando la señal del pulsador sea 5 Voltios o 1 Lógico en TTL. En la misma figura las señales que salen del inversor ingresan a un sistema de compuertas OR **74LS32** para generar interrupción en el microcontrolador, indistintamente del pulsador que haya sido presionado. Las señales F1, F2, F3, F4, F5, F6 e INT ingresan al **PIC18F4550**.

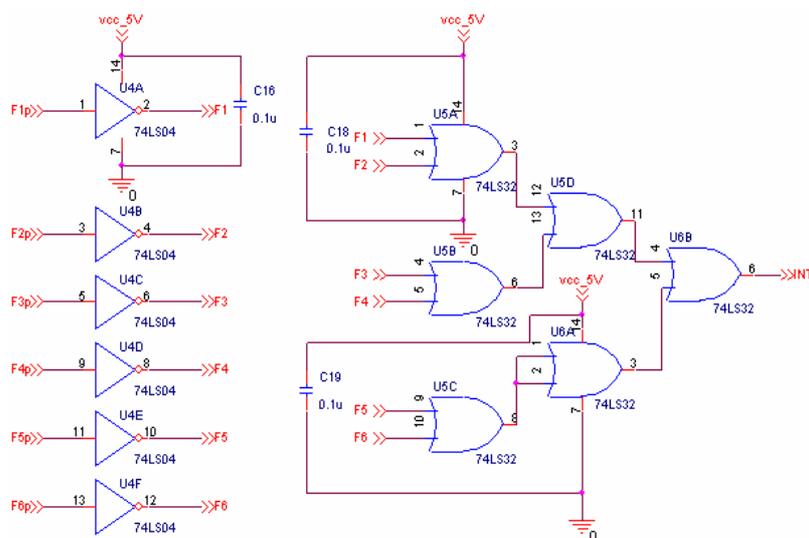


Fig. 2.29 Sistema generador de interrupción.

2.7.1.6 Visualización de Parámetros.

Todas las instrucciones para el manejo del dinamómetro TC200 se presentan en un LCD que se encuentra ubicado en la parte frontal del equipo, en la **Fig. 2.30** se observa al Bus J1 donde se conectará el LCD y las conexiones que van al microcontrolador. El LCD utiliza cuatro bits de datos (D4...D7).

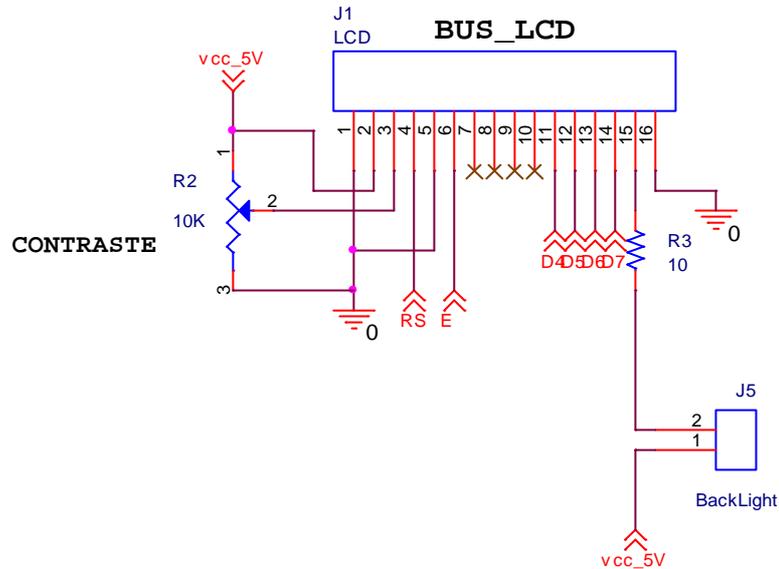


Fig. 2.30 Esquema para la conexión del LCD.

2.7.1.7 Circuito Rectificador de Precisión o de Valor Absoluto.

La señal de la celda de carga que ingresa a la nueva tarjeta tiene un valor análogo hasta 5V cuando se realiza el test de tensión y un valor máximo de $-5V$ cuando se realiza el test de compresión. Esta señal debe ingresar al convertor A/D de microcontrolador para que este pueda hacer la relación respectiva para poder traducir el voltaje análogo a Newtons.

Pero al canal A/D del micro es necesario ingresarle un valor positivo; por tal motivo se ha implementado el circuito rectificador de precisión o circuito de Valor absoluto. Todas las resistencias de este circuito son iguales y su impedancia de entrada es igual a R.

De esta manera el valor de voltaje análogo procedente de la celda de carga será siempre un valor positivo. En la **Fig. 2.31** se muestra el diagrama de este circuito, utilizando el amplificador operacional **TL084**, resistencias y diodos.

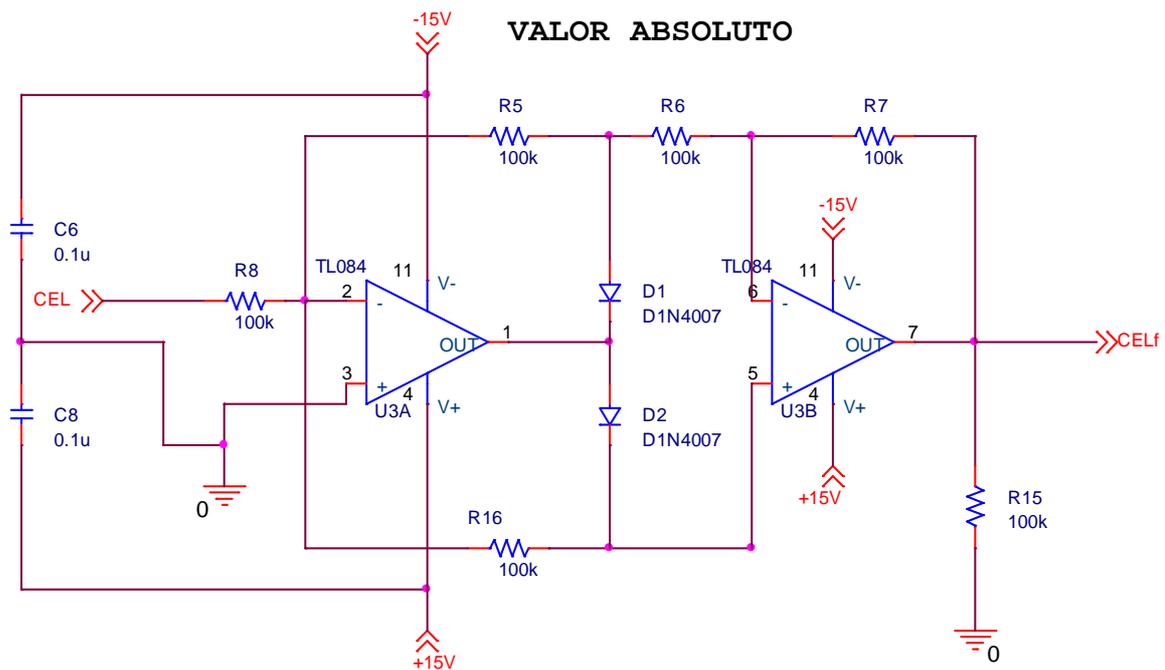


Fig. 2.31 Circuito Rectificador de Precisión o de Valor Absoluto

En la figura **Fig. 2.32** se presenta una simulación de cómo actúa este circuito, en donde la señal de entrada es una señal sinusoidal de 1.5 V de amplitud; a la salida del circuito se observa que la señal se rectifica en onda completa.

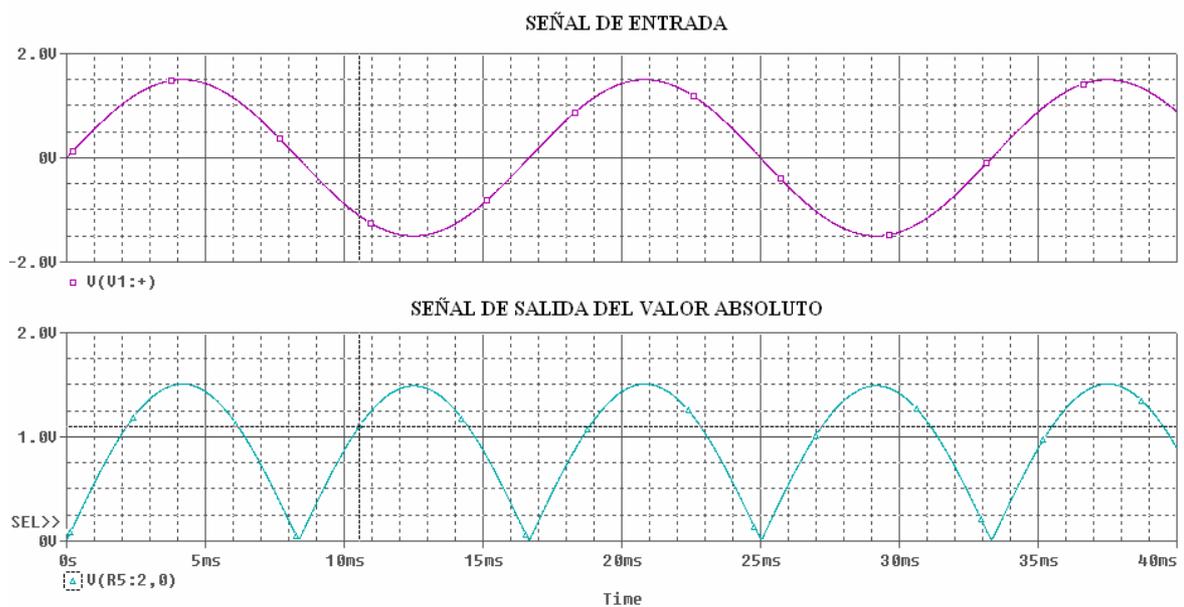


Fig. 2.32 Simulación del Circuito de Valor Absoluto.

2.7.1.8 Filtro Acondicionador de la Celda de Carga.

Un factor que es necesario tener en cuenta es que la señal de la celda de carga se distorsiona en el momento que el motor de DC del dinamómetro entra en operación, y esto ocasiona que la conversión de esta señal en el canal A/D del microcontrolador no sea la más óptima. Para solucionar este inconveniente se implementó un filtro pasa bajos de segundo orden de Butterworth. En la **Fig. 2.33** se muestra la señal de la celda de carga distorsionada en el canal 1, mientras que en el canal 2 se muestra la señal a la salida del filtro de Butterworth.

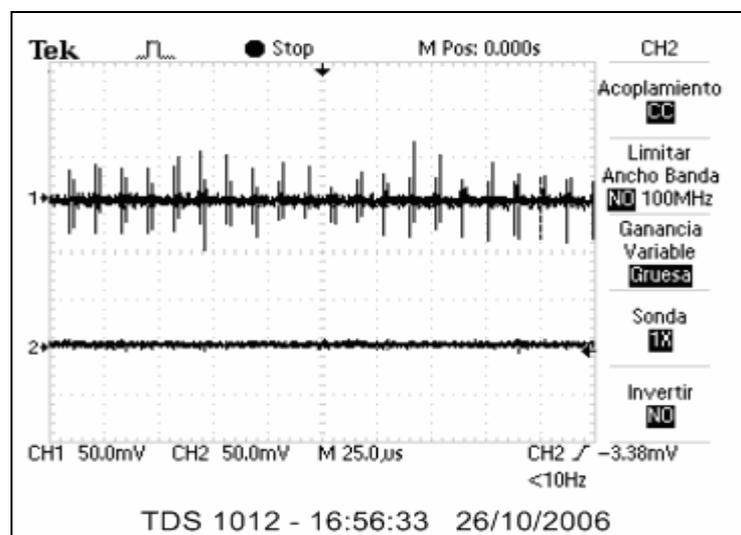


Fig. 2.33 Simulación del Circuito de Valor Absoluto

2.7.1.8.1 Diseño del Circuito de Butterworth.

El circuito está diseñado para una frecuencia de corte de 10KHz.

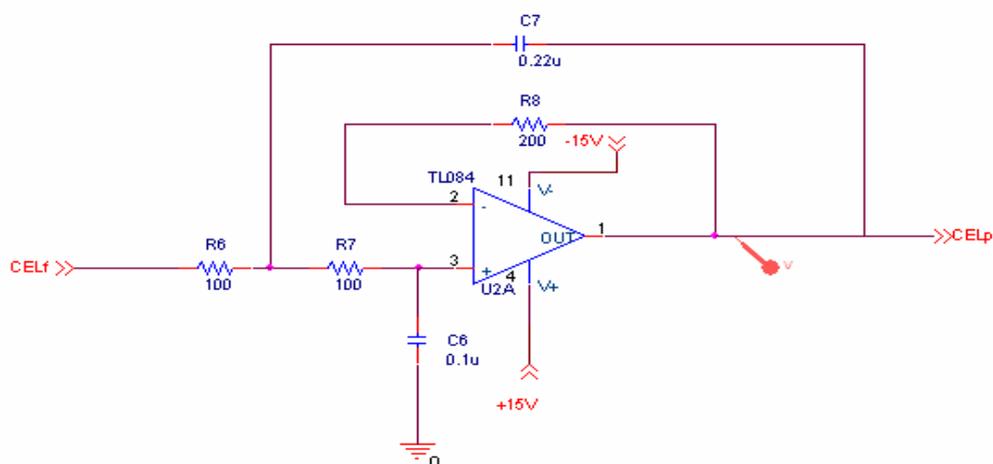


Fig. 2.34 Filtro de segundo orden de Butterworth

En la **Fig. 2.34** se observa el filtro de Butterworth, este es un filtro pasa bajos de segundo orden; la frecuencia de corte de 10 KHz se determinó midiendo con el osciloscopio la distorsión de la señal de la celda de carga; es decir la diferencia que existe entre un pico y otro, para el diseño se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

ξ = Razón de Amortiguamiento

Para Filtros de Segundo Orden

$$\xi = 0.707 \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$\text{Sea } R_6 = R_7 = R \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$R_8 = 2R \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$C_6 \neq C_7 \quad \text{Ec. 2.4}$$

f_0 = Frecuencia de Corte

$$f_0 = 10\text{KHz} \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$\xi = \sqrt{\frac{C_6}{C_7}} \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$\omega_0 = 2\pi * f_0 \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{R * \sqrt{C_6 * C_7}} \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi * R * \sqrt{C_6 * C_7}} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Igualando Ec. 2.1 = Ec. 2.6

$$0.707 = \sqrt{\frac{C_6}{C_7}} \text{ de donde } C_7 = 2 C_6 \quad \text{Ec. 2.10}$$

Sea $C_6 = 0.1 \mu\text{F}$ entonces $C_7 = 0.22 \mu\text{F}$

Despejando de Ec. 2.9

$$R = \frac{1}{2\pi * f_0 * \sqrt{C_6 * C_7}} \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$R = \frac{1}{2\pi * 10\text{KHz} * \sqrt{0.1\mu\text{F} * 0.22\mu\text{F}}} = 107.302 \Omega \quad \text{Ec. 2.12}$$

$R \approx 100 \Omega$ entonces $R_6 = R_7 = 100 \Omega$ $R_8 = 2R = 200 \Omega$

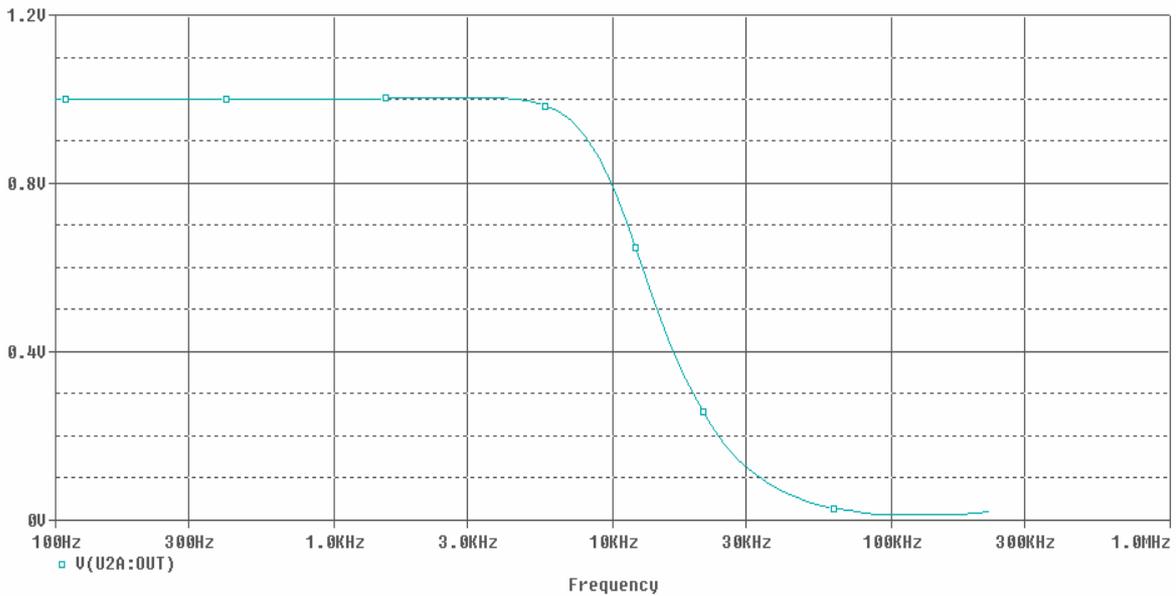


Fig. 2.35 Simulación del Filtro de Butterworth Análisis AC (Voltaje vs. Frecuencia).

2.7.1.9 Circuito Amplificador De Señal De la Celda Carga

La conversión del canal Análogo Digital A/D del microcontrolador trabaja a 10 Bits, pero una de las pruebas que en Sigmaplast se realiza es la fuerza de laminación, en donde se separa dos materiales de polipropileno utilizando el test de tensión. Este test genera un valor de fuerza máxima de 2.5 Newtons. Al analizar la conversión a 10 bits se tiene que 1 bit representa 0.39N con lo cual esta prueba no generaría los valores reales en cuanto a su resolución. Para solucionar este problema se utilizó dos canales A/D del microcontrolador, en el canal A/D **RA0** (pin 2) del microcontrolador se hace adquisición de señales para fuerzas mayores a 10N y para señales cuya fuerza sea menor a 10N se utiliza el canal A/D **RA1** (pin 3); para ello se utilizó un circuito Amplificador Diferencial en donde una señal de entrada de 125mV que representa 10N se amplifica a 5 Voltios y la conversión se realiza a 10 bits; ahora 1 bit representa 0.0097N, con la cual la precisión de esta prueba es bastante buena.

En la **Fig. 2.36** se aprecia el circuito, es importante destacar que para proteger al microcontrolador se implementó a la salida del amplificador diferencial un diodo zener de 5.1 V; con lo cual si la señal de entrada llega a exceder los 125mV la salida se mantendrá en 5.1 Voltios.

Circuito Acondicionador

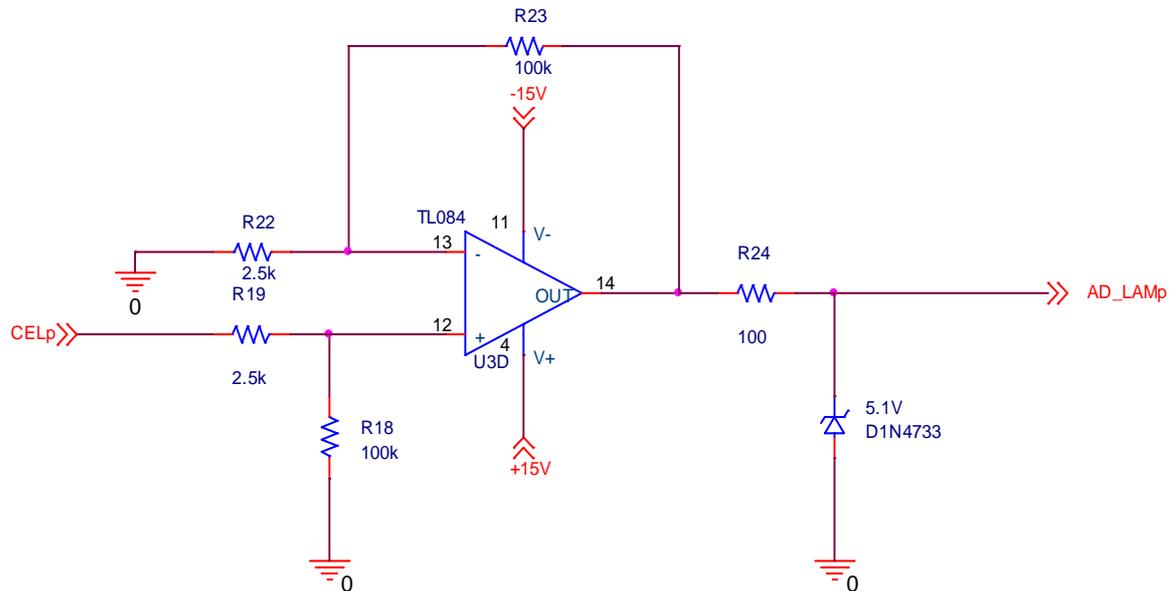


Fig. 2.36 Circuito Amplificador Diferencial de la señal de la Celda de Carga.

2.7.1.9.1 Diseño del Circuito Amplificador Diferencial.

$V_o = AD_LAMP$ Voltaje de Salida

$V_{in} = Celp$ Voltaje de Entrada Diferencial

$$R18 = R23 = 100K\Omega \quad \text{Ec 2.13}$$

$$R19 = R22 \quad \text{Ec 2.14}$$

$$V_o = \frac{R23}{R22} * V_{in} \quad \text{Ec 2.15}$$

$$5V = \frac{R23}{R22} * 125mV$$

$$R23 = 40 * R1 \quad \text{Ec 2.16}$$

$$R22 = \frac{100K\Omega}{40} = 2,5K\Omega \quad \text{Ec 2.17}$$

$$R19 = 2,5K\Omega \quad \text{Ec 2.18}$$

2.7.1.10 Señales del Microcontrolador PIC18F4550

En la **Fig. 2.37** se encuentra el esquemático de todas las señales que el microcontrolador PIC18F4550 procesa, señales tanto de entrada como de salida. El cristal que se implementa en este sistema es de 20 MHz. En el Pin 18 existe un capacitor de 0.47uF, el cual sirve para fijar el Voltaje USB (VUSB) manteniendo de esta forma el enlace de comunicación por los pines de datos D+ y D-.

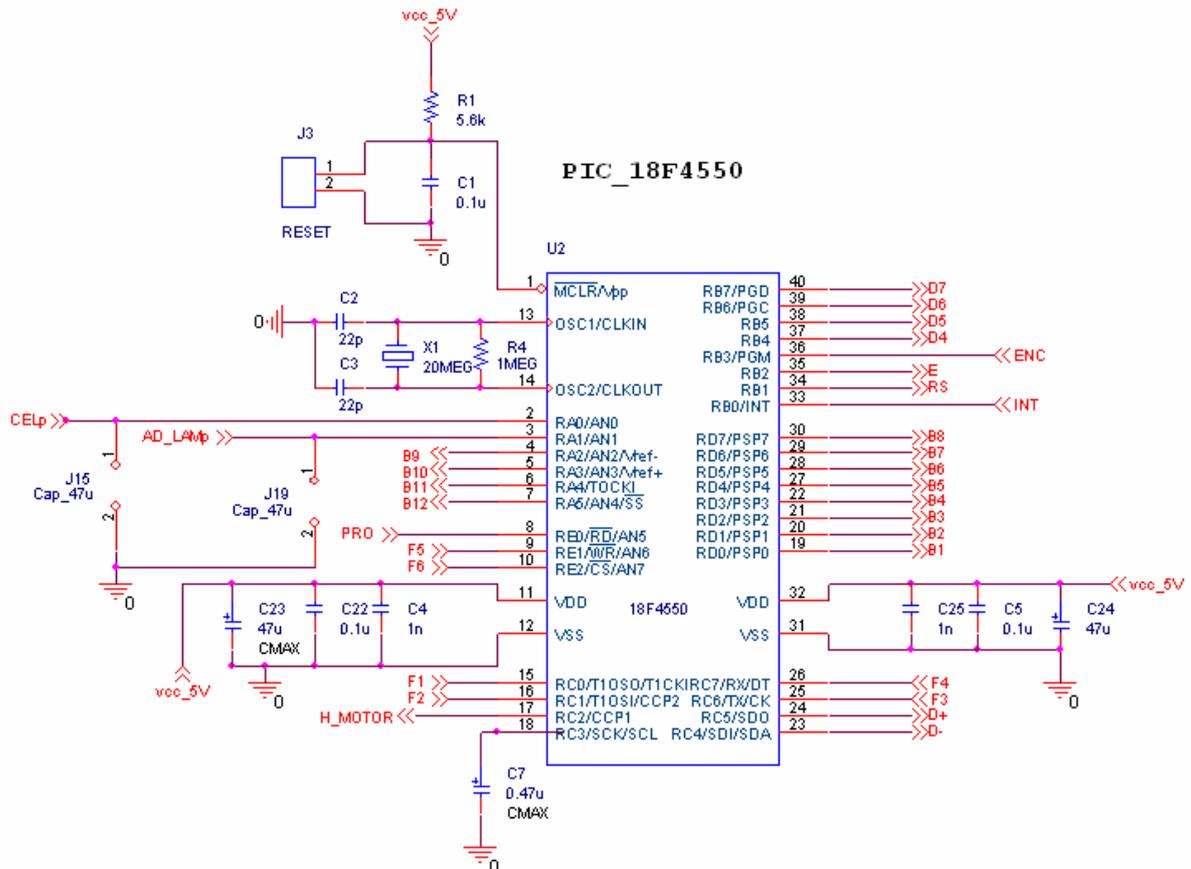


Fig. 2.37 Señales que el PIC18F4550 procesa.

2.7.1.11 Señales que Ingresan al Conector Principal Conector CN1.

El microcontrolador envía 12 bits por 12 de sus pines hacia el BUS J8 **Fig. 2.38**, el cual se enlaza con la tarjeta del Conector Principal CN1 del dinamómetro. Estas señales se dirigen a la tarjeta electrónica Conector J4 **Fig. 2.9**, aquí se realiza la conversión D/A para comandar la velocidad e inversión de giro del motor de DC a través de la tarjeta electrónica Conector J5 **Fig. 2.11**

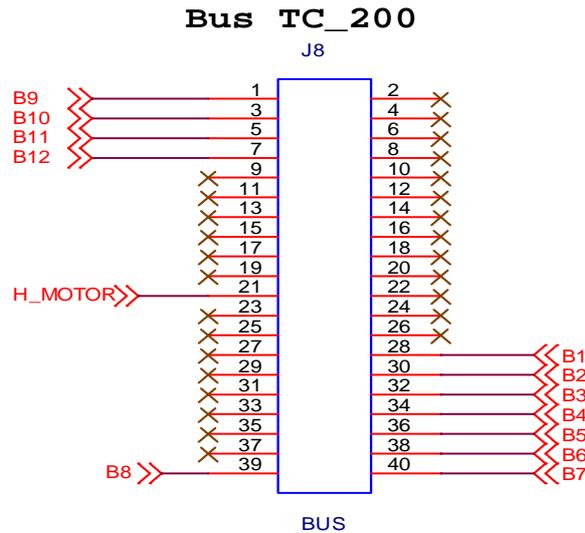


Fig. 2.38 Señales de Salida de la Tarjeta de Adquisición de Datos.

En la figura **Fig. 2.39** se observa una gráfica del equipo realizando pruebas con el nuevo hardware que forma parte de la tarjeta de adquisición de datos.



Fig. 2.39 Equipo realizando Pruebas.

Para el diseño del esquemático, implementación y simulación de los circuitos que forman parte de la nueva tarjeta de adquisición de datos se utilizó el simulador electrónico de circuitos **ORCAD 10.5**, todo el esquemático se encuentra en el **Anexo A.0**. Para el desarrollo del PCB se utilizó el simulador **ALTIUM DXP2004** en la **Fig. 2.40** se observa el PCB de la tarjeta de adquisición de datos.

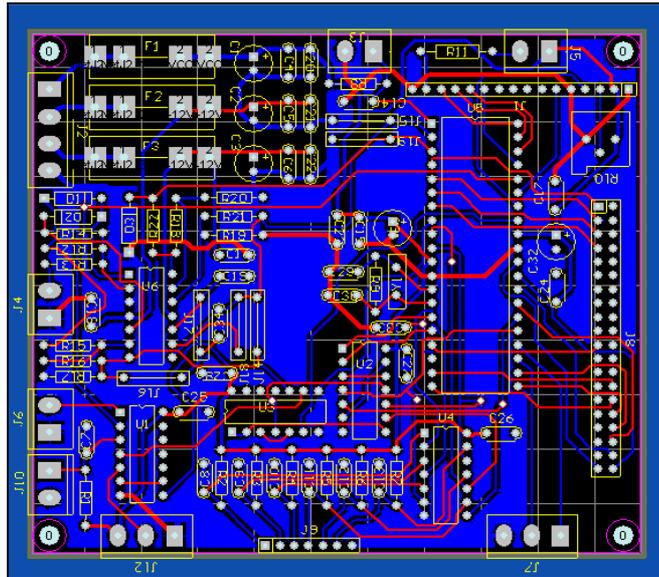


Fig. 2.40 PCB de la Tarjeta de Adquisición de Datos.

En la **Fig. 2.41** se observa una simulación en 3D de la tarjeta de adquisición.

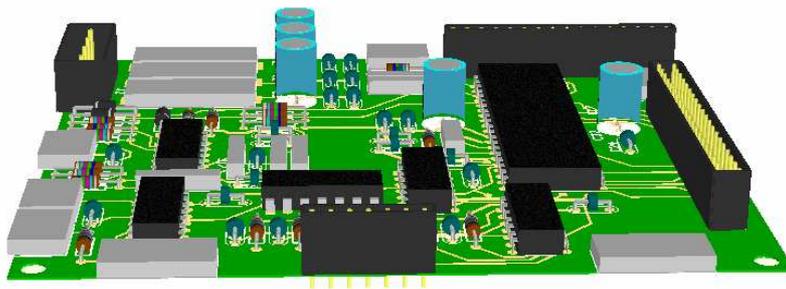


Fig. 2.41 Simulación en 3D de la Tarjeta de Adquisición de datos.

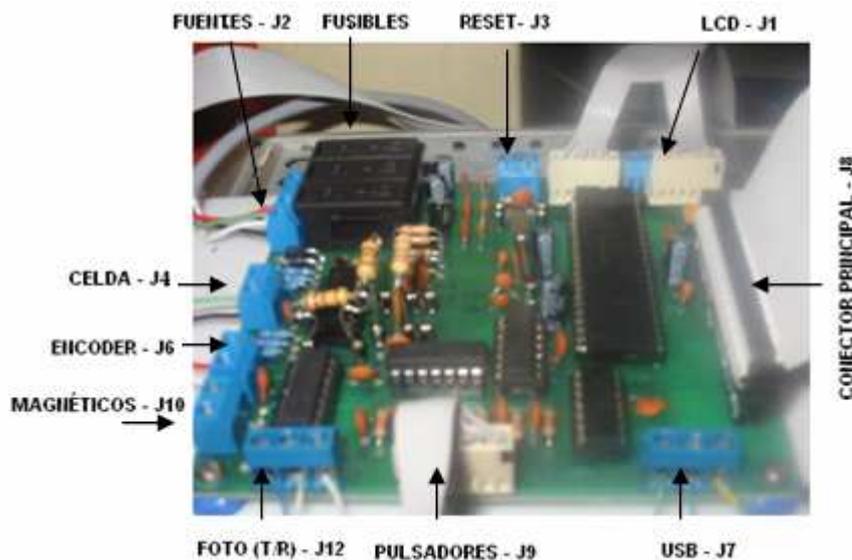


Fig. 2.42 Tarjeta de Adquisición de Datos.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

3.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se detallará el diseño del software y del firmware para el microcontrolador **PIC18F4550**, así como el software para el desarrollo de la interfaz gráfica para el computador. El Firmware es un bloque de instrucciones de programa para propósitos específicos, básicamente se podría asociar el firmware del microcontrolador con el BIOS de un computador; de esta manera el Firmware es el encargado de que el computador reconozca al microcontrolador como un dispositivo USB e intercambia información con el mismo antes de empezar a realizar una comunicación bidireccional.

El programa del microcontrolador consta de dos etapas. La primera realiza el control local y visualización de los parámetros de funcionamiento del dinamómetro TC 200. La segunda etapa comunica el microcontrolador con la computadora a través del puerto USB; de igual manera el equipo podrá ser operado y trabajar con normalidad; en esta etapa el **PIC18F4550** envía al computador los datos de fuerza provenientes desde la celda de carga y los datos del encoder; con lo cual el computador genera una curva *Fuerza vs. Desplazamiento*. Con estos datos la computadora genera un reporte que indica los parámetros más importantes de cada uno de los test realizados. Por otro lado el computador le envía al microcontrolador los datos necesarios para que el dinamómetro empiece a operar; esto es desplazamiento del cabezal superior, inicio y fin de una prueba, entre otros.

Además en este capítulo se hará una pequeña introducción del protocolo USB, sus especificaciones, y cuales son los parámetros implementados para el desarrollo de este proyecto.

A continuación se describirá que herramientas computacionales se utilizaron y los procedimientos empleados en el diseño del software, tanto del microcontrolador como del computador.

3.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES UTILIZADAS.

Muchas de las aplicaciones hoy en día se desarrollan entorno al protocolo USB, por su versatilidad y por todas las ventajas que posee es la primera opción al momento de conectar cualquier dispositivo con el PC, tanto es así que ha desplazado a la comunicación vía RS-232. El objetivo de este proyecto es realizar una actualización de hardware y software del dinamómetro electrónico TC 200, y una de las condiciones es que pueda ser controlado por el computador vía USB; por tal motivo se describirá cuales fueron las herramientas computacionales utilizadas para poder conectar el microcontrolador **PIC18F4550** al PC.

Las herramientas para el desarrollo de este proyecto son:

- MicroCode Studio Plus PicBasic PRO
- EasyHID
- Visual Basic 6.0
- WinPic800.

Entre las herramientas computacionales para el diseño y simulación se tiene:

- ORCAD 10.5.
- ALTIUM DXP 2004 (Protel).
- PROTEUS 6.5.

3.2.1 MICROCODE STUDIO PICBASIC PRO.

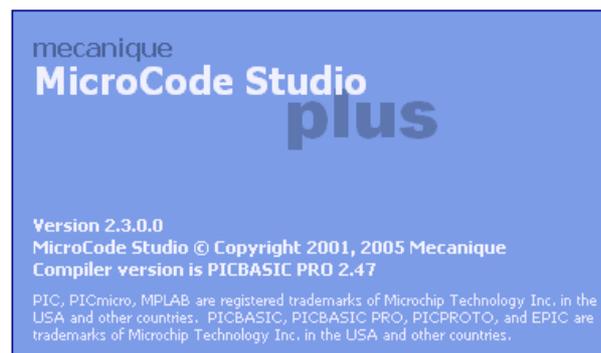


Fig. 3.1 Microcode Studio Plus

El MicroCode Studio es una interfaz en la cual se escribe el código del programa para el microcontrolador, en este caso el **PIC18F4550**, la programación se la realiza en lenguaje Basic. Este programa corrige errores de sintaxis. El MicroCode

se enlaza con el PICBASIC PRO. De esta forma cuando el programa ha sido terminado, se compila y se genera el archivo *.HEX, los programas son guardados en formato Picbasic *.BAS.

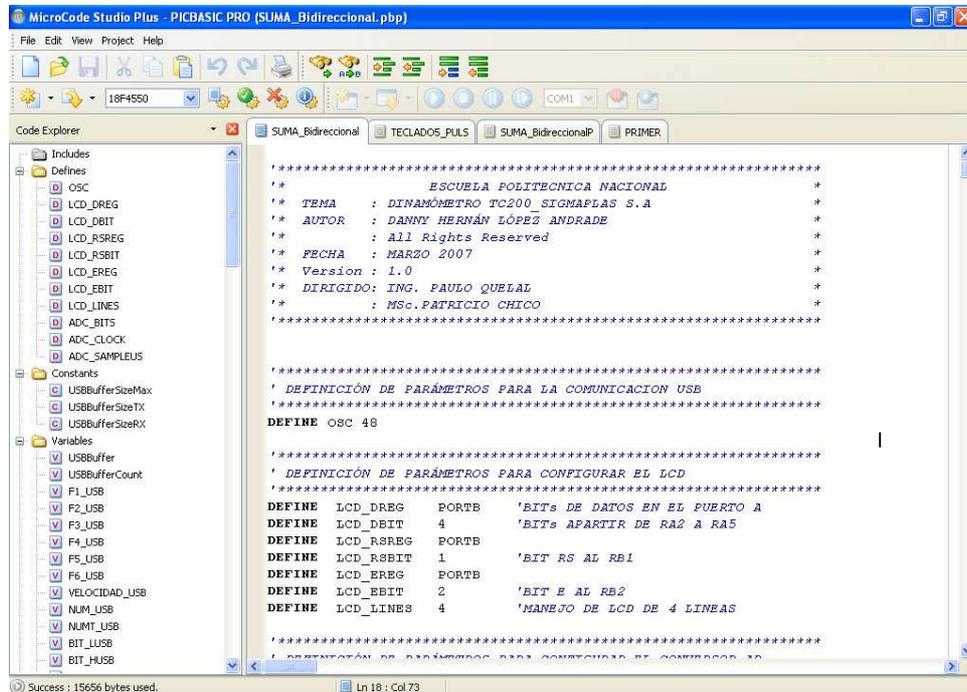


Fig. 3.2. Interfaz del MicroCode Studio Plus

El PICBASIC es un compilador que transforma un archivo *.BAS a *.HEX. El programa cuenta con su propio set de instrucciones, muy fáciles de usar, utiliza comandos típicos de Basic como el IF... FOR..., etc. Por otro lado tiene comandos para poder realizar comunicación USB.

3.2.2 EASYHID USB WIZARD

El EasyHid es un Wizard que nos ayuda a comunicar un microcontrolador con el PC vía USB; generando dos programas. El primer programa es un software implementado en Visual Basic para el computador, el segundo programa es el Firmware para el microcontrolador **PIC18F4550**.

Es necesario ingresar algunos parámetros para que el Wizard genere una identificación ID, para que el computador pueda reconocer al microcontrolador como un HID (Dispositivo de Interfaz Humana), muy similar a una impresora, o un teclado USB.

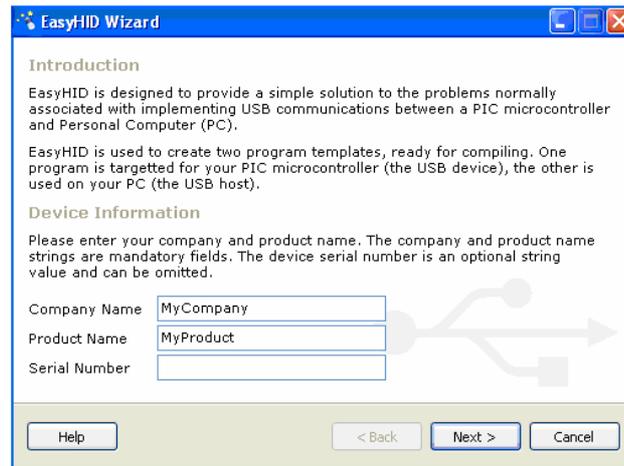


Fig. 3.3. Interfaz del EasyHid UBS Wizard.

3.2.3 VISUAL BASIC 6.0

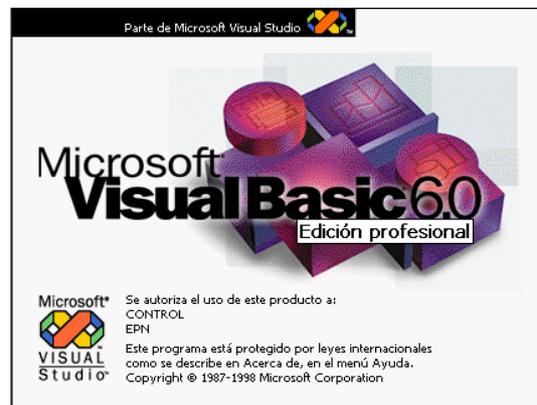


Fig. 3.4 Microsoft Visual Basic 6.0

Visual Basic es un programa con una interfaz gráfica de usuario para crear aplicaciones para Windows basado en el lenguaje Basic y en la programación orientada a objetos.

La palabra “Visual” se refiere al método que se utiliza para crear la interfaz gráfica de usuario; pues ya no es necesario escribir demasiadas líneas de código para realizar una interfaz gráfica; pues ahora sólo se utiliza el Mouse se arrastra y se coloca objetos prediseñados dentro de un formulario; por ejemplo un botón.

Por otro lado la palabra “Basic” significa (*Beginners Allpurpose Symbolic Instruction Code*). Una de las ventajas de este programa es que sus instrucciones, funciones, están relacionadas directamente con la interfaz gráfica de Windows.

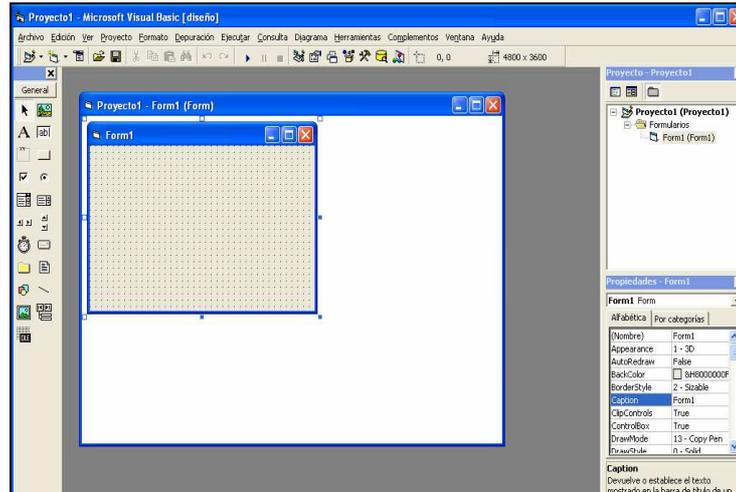


Fig. 3.5. Interfaz de Visual Basic 6.0

Una de las razones para utilizar este programa es que el código generado por EasyHid es para ejecutarlo en Visual Basic y poder realizar la comunicación USB con el microcontrolador **PIC18F4550**.

3.2.4 WINPIC_800.

Es el software para cargar el programa realizado en PicBasic a la memoria del microcontrolador **PIC18F4550**.

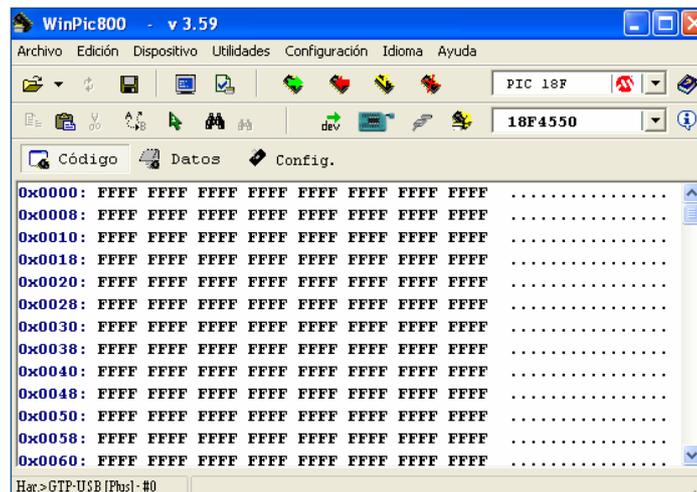


Fig. 3.6. Interfaz del WinPic800

Por último, el programa de simulación electrónica Proteus 6.5 nos ayuda a la simulación del microcontrolador cargando el HEX del programa.

Los programas Orcad 10.5 y Altium DXP 2004 fueron utilizados para el desarrollo del esquemático y del PCB de la tarjeta de adquisición de datos.

3.3 PRINCIPIO DE OPERACIÓN PC – DINAMÓMETRO TC200

Para el desarrollo del programa tanto del microcontrolador como el del PC es necesario conocer cual era el funcionamiento del dinamómetro TC 200 pero ahora vía software; es decir como controlaba el computador al equipo.

Es importante destacar que el dinamómetro TC 200 funcionaba con un computador cuya interfaz se encuentra desarrollada en DOS,

3.3.1 PARÁMETROS DE INICIALIZACIÓN

Para prender el equipo es conveniente encender el computador primero, luego se pone en ON el switch principal (Breaker **Fig. 1.4**), que se encuentra en la parte posterior del dinamómetro. Verificar que el pulsante de paro (Emergencia **Fig. 1.5**) esté desactivado. La pantalla del computador nos indica “Presionar ESC cuando el dinamómetro esté listo”.

Luego aparece una pantalla para ingresar el máximo valor de Fuerza esperado en Newtons, después se ingresa el nombre del producto a analizar, el número de la orden, y la fecha.



Fig. 3.7 Control Principal del Dinamómetro TC200

En la **Fig. 3.7** se aprecia la interfaz del Control Principal del Dinamómetro TC200.

El equipo trabaja con las teclas funcionales del computador (F1.....F10).

En la **Fig. 3.8** se tiene el esquema del Control Principal con el cual se comanda al equipo, y se aprecia las instrucciones respectivas para cada tecla funcional.

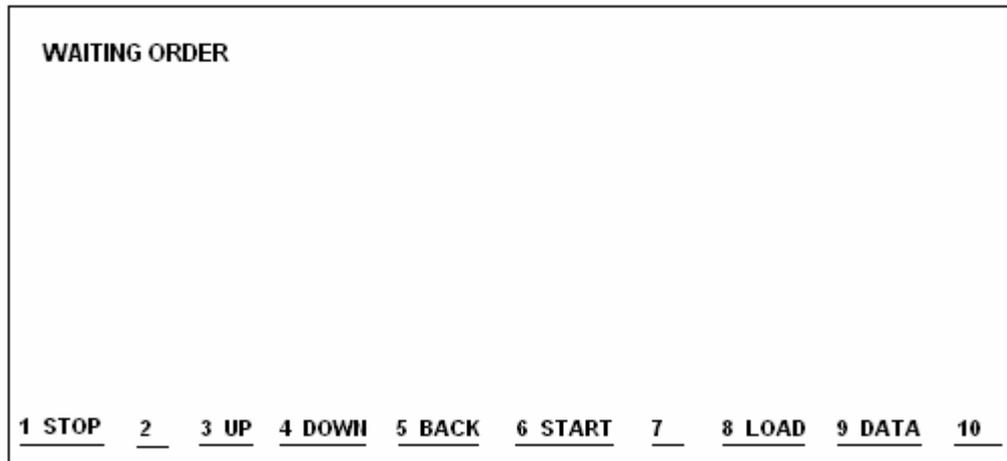


Fig. 3.8 Esquema del Control Principal del Dinamómetro TC 200

3.3.1.1 Descripción de la Teclas Funcionales.

Las teclas (F1....F10) del computador tienen una función específica:

F1: Detiene el Cabezal superior mientras suba o baje, y detiene una prueba.

F3: Mueve el cabezal superior hacia arriba.

F4: Mueve el cabezal superior hacia abajo.

F5: Mueve el Cabezal a la posición inicial.

F6: Da inicio a una prueba, de acuerdo a los parámetros ingresados.

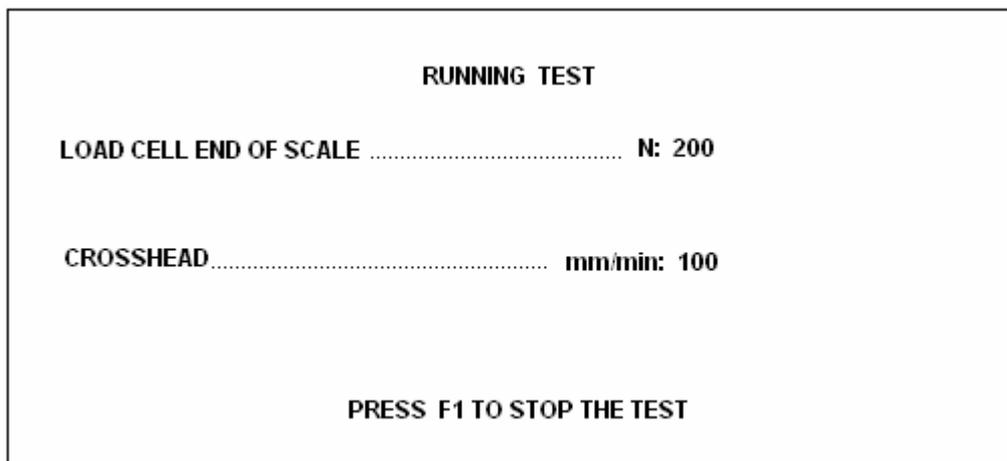


Fig. 3.9 Esquema de una prueba en proceso.

La **Fig. 3.9.** Muestra la pantalla que indica que se está realizando el proceso.

El proceso se detiene bajo las siguientes condiciones:

- Presionando **F1** parada manual ejecutada por el operador.
- Cuando el valor de la Fuerza dada por la celda de carga baja a un 50% del valor máximo medido durante el desarrollo de una prueba.
- Cuando existe exceso de carga; al inicio de la prueba se ingresa el valor máximo de fuerza esperada, cuando en una prueba se supera este valor el programa ejecuta una acción de protección deteniendo la máquina.

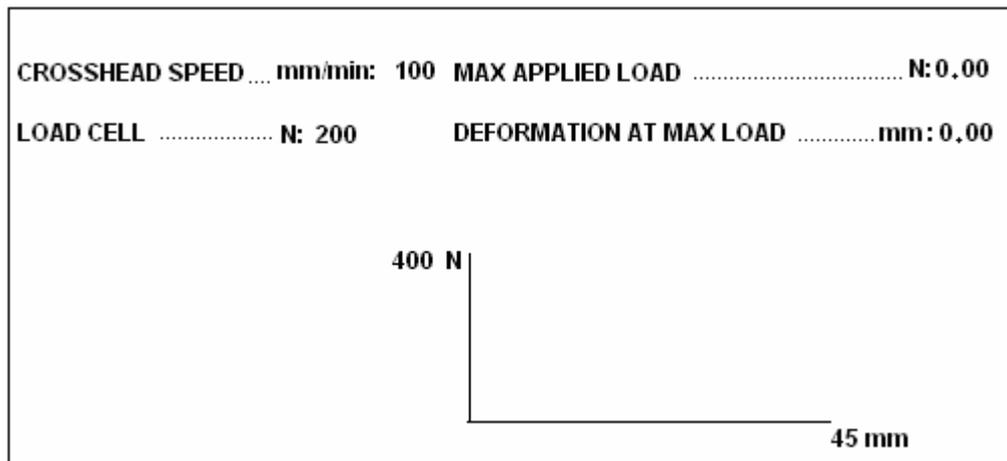


Fig. 3.10 Esquema de una prueba en proceso.

En la **Fig. 3.10** se observa la gráfica *Fuerza vs. Desplazamiento*; esta aparece una vez terminada la prueba, la gráfica no se ejecuta en tiempo real; además se visualiza la velocidad con la que el cabezal superior se desplazaba y el valor máximo esperado de la Fuerza. Por otro lado se tiene el último valor de Fuerza con la que finalizó el proceso y el valor de desplazamiento del cabezal en milímetros.

Para salir de este gráfico se presiona la tecla ESC. Al momento de salir se pedirá guardar o no la prueba, para hacer esto se presiona la tecla "S".

F8: Abre un archivo guardado en el computador de una prueba realizada anteriormente.

F9: Abre una pantalla donde se visualiza los parámetros de entrada ingresados y configura nuevos parámetros si se requiere ejecutar una determinada prueba.

En la **Fig.3.11** se aprecia una pantalla donde se visualiza los parámetros ingresados.

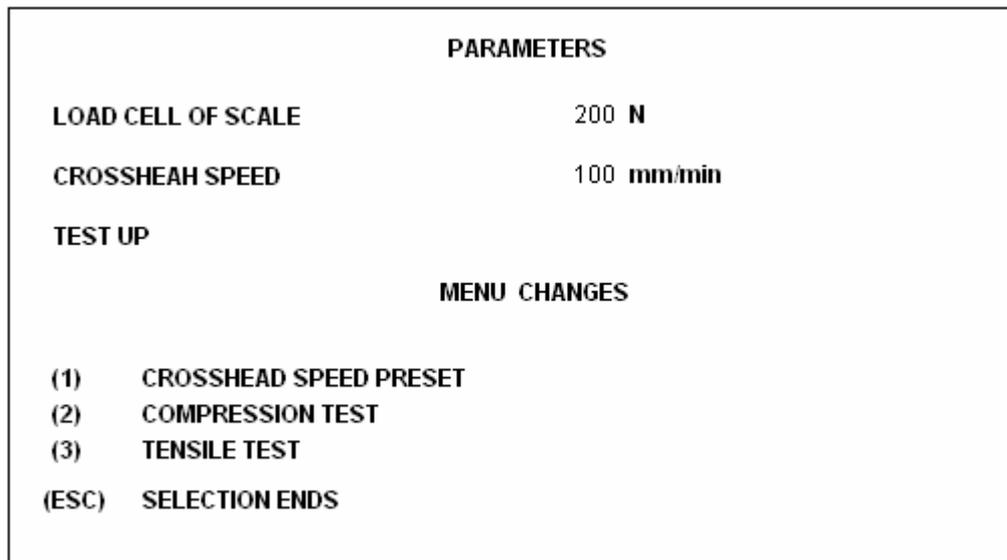


Fig. 3.11 Esquema de visualización y configuración de parámetros.

3.4 GENERALIDADES SOBRE EL PROTOCOLO USB.

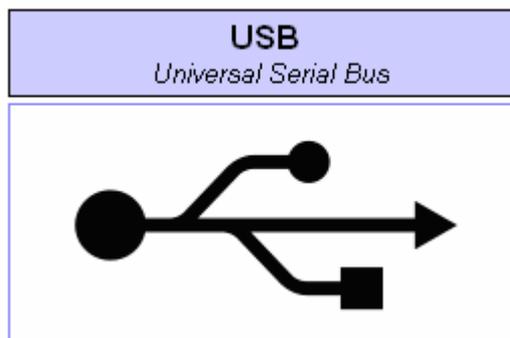


Fig. 3.12 Icono representativo del Protocolo USB.

Antes de empezar a describir como se desarrolló el programa tanto del microcontrolador como el del computador es importante dar a conocer algunas características sobre el protocolo USB.

3.4.1 INTRODUCCIÓN.

El objetivo es proporcionar las bases teóricas que hacen posible el entendimiento de este protocolo, que rápidamente desplazó al RS-232. Con la información que se presenta en este proyecto se garantiza que cualquier persona podrá realizar en

el futuro diversas aplicaciones utilizando este protocolo conjuntamente con los microcontroladores de microchip de la familia **PIC18FX550**.

Esta introducción es un extracto de algunos artículos, de los cuales se ha tomado lo más relevante, los datos de donde se extrajo esta información se encuentran en las referencias bibliográficas al final de este proyecto [REF.1].

Existen algunas condiciones que se debe cumplir para poder desarrollar una aplicación con el USB, entre las que se destacan:

- Contar con un microcontrolador que soporte la interfaz USB, en este caso se utilizará el microcontrolador **PIC18F4550**.
- Tener una computadora que con puertos USB, de preferencia que cuente con Windows XP como sistema operativo; ya que este cuenta con todos los drivers USB requeridos (hid.dll, hidclass.sys, usbstor.sys, usbport.sys usbd.sys).
- Es necesario tener conocimientos de electrónica digital y sobretodo de programación de microcontroladores.
- Se requiere de un programador de microcontroladores, en este proyecto se utilizó el “**GTP-USB**”, del cual se darán algunos detalles en el apartado “Cómo cargar el programa al microcontrolador”.
- Es necesario tener conocimientos de programación en Basic, pues los programas que se requieren son PicBasic, y Microsoft Visual Basic.
- Y por último tener claro la teoría del Protocolo USB.

3.4.2 DEFINICIÓN.

El Universal Serial Bus (USB), consiste en una norma para bus periférico, desarrollado tanto por industrias de computación como de telecomunicaciones. USB permite adjuntar dispositivos periféricos a la computadora rápidamente, sin necesidad de reiniciarla ni de volver a configurar el sistema. Los dispositivos con USB se configuran automáticamente tan pronto como se han conectado físicamente al computador. En las computadoras que cuentan con esta tecnología se puede observar algunos conectores de este tipo. Además, se pueden unir dispositivos USB en cadena para conectar más de dos dispositivos a la computadora mediante otros periféricos como Hubs USB.

3.4.3 ESTÁNDARES

La tecnología **USB** ha sido promovida principalmente por Intel, aunque le han seguido todos los grandes fabricantes, de forma que se ha convertido en un estándar importante. En sus comienzos los interesados en esta tecnología se agruparon en un foro, el "*USB Implementers Forum Inc.*", **USB-IF**, que agrupa a más de 460 compañías, y ha publicado diversas revisiones de la norma:

- **USB 0.9:** Primer borrador, publicado en Noviembre de 1995.
- **USB 1.0:** Publicada en 1996 establece dos tipos de conexión:
 La primera, denominada **velocidad baja** ("Low speed"), con una tasa de transferencia de hasta 1.5 Mbps, y es una alternativa para periféricos que no requieren un gran ancho de banda, como ratones o joysticks.
 La segunda, denominada **velocidad completa** ("Full speed"), con una tasa de transferencia de 12 Mbps, y está destinada a los dispositivos más rápidos.
- **USB 1.1:** Publicada en 1998, añade detalles y precisiones a la norma inicial; es el estándar mínimo que debe cumplir un dispositivo USB.
- **USB 2.0:** Su versión final fue publicada en Abril del 2000; es una extensión de la norma, compatible con las anteriores. Permite velocidades de hasta 480 Mbps, denominada **alta velocidad** ("High speed").

3.4.4 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA USB.

El USB se trata de un sistema de comunicación entre dispositivos electrónico-informáticos que sólo transmite una unidad de información a la vez. El bus USB puede trabajar en dos modos, a baja velocidad (1,5 Mbps, para dispositivos como teclados, ratones, que no manejan grandes cantidades de información) y a alta velocidad (hasta 480 Mbps, para dispositivos como unidades de CDROM, altavoces, módems y para aplicaciones de audio y video, etcétera).

El bus USB está formado de un cable de cuatro hilos, dos para datos, dos para alimentación.

El USB organiza el bus en una estructura de árbol descendente, con múltiples dispositivos conectados a un mismo bus, en la que unos elementos especiales,

llamados *hubs*, enrutan las señales en su camino desde un dispositivo al host (PC) o viceversa. Primero está el controlador del bus, Este es el interfaz entre el bus USB y el bus del ordenador. A un *hub* se puede conectar uno o más dispositivos, que a su vez pueden ser otros *hubs*, de esta forma se puede conectar varios dispositivos a un sólo controlador; como máximo de 127.

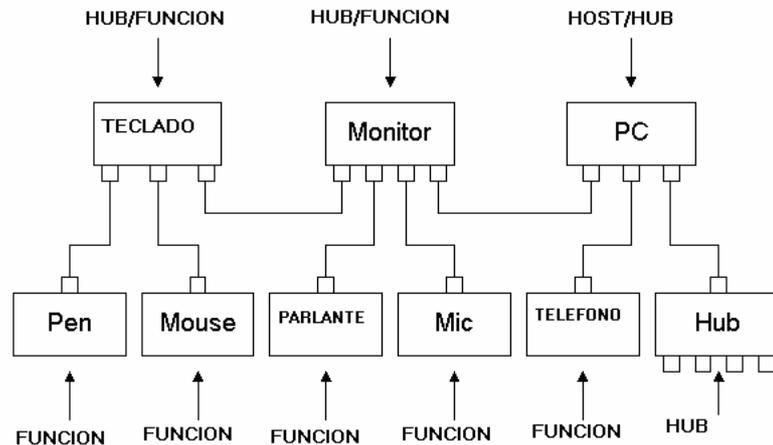


Fig. 3.13 Esquema de Interconexión USB.

Es importante destacar que todos los dispositivos deben seguir reglas de comportamiento básicas, estandarizadas, de esta manera todos los dispositivos se configuran de la misma forma, y es mucho más fácil gestionar los recursos que proveen; sin embargo, esto no significa que todos los dispositivos sean iguales, sino que todos tienen un sistema de configuración idéntico. Para proteger sus *identidades*, existe una clasificación estandarizada, (gestionada por el controlador) y en función de esa clasificación, los dispositivos se manejan de una forma u otra, siempre cumpliendo los estándares, permitiendo entre otras cosas, una simplificación en la gestión de los dispositivos, ya que un mismo **driver** sirve para varios dispositivos de diferentes tipos, aparte de poder tener un número casi ilimitado de dispositivos idénticos en un mismo sistema. Además, el hecho de que no tengamos que tocar (inicialmente) nada en el *hardware* del dispositivo en sí y que todo sea configurable por *software* nos lleva a la llamada tecnología “*Plug and Play*” (conectar y listo).

Todo dispositivo USB tiene la capacidad de ser conectado al computador en pleno funcionamiento, sin tener que reiniciarlo, además la configuración del nuevo

dispositivo es inmediata y completamente transparente al usuario, tras lo cual el dispositivo está listo para ser empleado sin tocar un tornillo, menos jumpers, canales, IRQ's, etc.

3.4.5 BENEFICIOS DEL USB

Algunos beneficios del USB son:

- Arquitectura del Bus.
- Definiciones de protocolos.
- Tipos de transacciones.
- Administración del bus.
- Señales eléctricas.
- Especificaciones electrónicas.
- Conectores.
- Formas de transmisión.

En lo que se refiere a los beneficios para el usuario, entre los que se puede destacar los siguientes:

- Fácil expansión de periféricos en la computadora.
- Bajo costo.
- Soporte completo para transmisión en tiempo real de voz, audio, y video.
- Flexibilidad de protocolos para transmisiones mixtas, isocrónicas y asincrónicas
- Fácil integración de dispositivos de tecnología y fabricantes diferentes.

3.4.6 FUNCIONES DEL USB Y DEL HOST USB.

El computador o PC que soporta el bus USB, se denomina **Host USB**; mientras que por su parte y dentro de la misma terminología, todo periférico y/o dispositivo, se denomina **Función USB**.

3.4.6.1 Host USB.

A diferencia de los dispositivos y los hubs, existe tan solo un host dentro del sistema USB, que en este caso es el computador, particularmente una parte de este es el Controlador USB del Host. Este tiene la misión de hacer de interfaz

entre el computador mismo y los diferentes dispositivos. Existen algunas particularidades respecto a este controlador. Su implementación es una combinación de hardware y software todo en uno, es decir **Firmware**. Puede proveer de uno o dos puntos de conexión iniciales, denominados Hub raíz, a partir de los cuales y de forma ramificada irán conectándose los periféricos.

3.4.6.2 Funciones USB.

Dentro de la terminología USB, todos los dispositivos que pueden ser conectados a este bus, a excepción de los Hubs, se denominan Funciones. Son funciones típicas: el ratón, el monitor, altoparlantes, MODEM, etc.

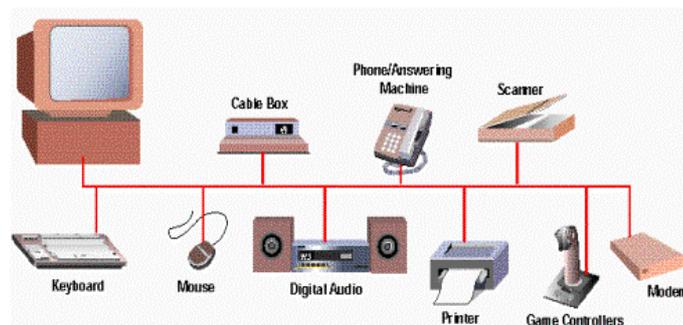


Fig. 3.14 Funciones USB.

Las funciones o dispositivos periféricos, son capaces de recibir y transmitir información. La base de todas las funciones USB es su cable y el conector, diseñados y fabricados de acuerdo a las especificaciones del bus, por lo que no cabe preocuparse por la compatibilidad entre equipos de diferentes fabricantes.

3.4.6.3 Host USB – Hardware y Software.

El computador o Host USB trabaja con los diferentes dispositivos valiéndose del controlador de host compuesto por una parte de hardware y otra de software, de esta forma conjunta, el host es responsable al nivel de hardware, de los siguientes aspectos dentro del sistema USB:

- Detectar tanto la conexión de nuevos dispositivos USB al sistema como la remoción de aquellos ya conectados, y por supuesto, configurarlos y ponerlos a disposición del usuario, tarea que involucra acciones por software.

- Administrar y controlar el flujo de datos entre el host y los dispositivos USB, es decir el movimiento de información generada por el mismo usuario.
- Administrar y regular los flujos de control entre el host y los dispositivos USB, es decir la información que se mueve con el objeto de mantener el orden dentro de los elementos del sistema.
- Recolectar y resumir estadísticas de actividad y estado de los elementos del sistema.
- Proveer de una cantidad limitada de energía eléctrica para aquellos dispositivos que pueden abastecerse con tan solo la energía proveniente del computador (teclado, ratón son dos ejemplos claros).

Por otra parte, a nivel de software las funciones del controlador de Host se incrementan y se complican:

- Enumeración y configuración de los dispositivos conectados al sistema.
- Administración y control de transferencias isocrónicas de información.
- Administración y control de transferencias asincrónicas.
- Administración avanzada de suministro eléctrico a los diferentes dispositivos.
- Administración de la información del bus y los dispositivos USB.

3.4.7 CARACTERÍSTICAS Y ARQUITECTURA DEL USB.

A más de los beneficios que tiene el USB, se puede destacar las siguientes características:

- Todos los dispositivos USB deben tener el mismo tipo de cable y el mismo tipo de conector, más allá de la función que cumplan.
- Los detalles de consumo y administración eléctrica del dispositivo deben ser completamente transparentes para el usuario.
- El computador debe identificar automáticamente un dispositivo colocado en el computador mientras esté operando, y por supuesto debe configurarlo.
- Los dispositivos pueden ser desconectados mientras el computador está en uso.

- Deben poder compartir un mismo bus tanto dispositivos que requieren de unos pocos Kbps como los que requieren varios Mbps.
- El bus debe permitir periféricos multifunción.
- Capacidad para manejo y recuperación de errores producidos por un dispositivo cualquiera.
- Soporte para la arquitectura Conectar y Operar (Plug & Play).
- Bajo costo.
- No se necesita un cable extra de alimentación, la mayoría de los periféricos USB obtienen la alimentación del bus USB del computador, con lo cual no requieren un cable de alimentación adicional.
- Mucho más rápido que los tradicionales puertos seriales.

3.4.8 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS USB.

A continuación se dará algunos detalles de las características del USB.

3.4.8.1 Plug & Play.

Todos los dispositivos con conexión USB, son *Plug & Play*, es decir, el dispositivo es detectado automáticamente al conectarlo al equipo y el sistema operativo instala el driver adecuado o nos pide el disco de instalación, cargándose y descargándose automáticamente de memoria el driver correspondiente.

.Aún más, no es necesario apagar, ni siquiera reiniciar el equipo para conectar o desconectar los dispositivos este es un sistema Hot plugging (Conexión en Caliente).

3.4.8.2 Recursos del dispositivo.

Una de las mayores ventajas del puerto USB es que solamente necesita una IRQ y una dirección de memoria y todos los dispositivos conectados a él, solamente necesitan una ID para su identificación dentro de la cadena de 127 dispositivos, sin necesitar más recursos. Si tenemos en cuenta que los puertos estándar consumen 5 IRQs, algunas DMA y múltiples direcciones de memoria, al utilizar dispositivos USB nos estamos ahorrando valiosos recursos del sistema.

3.4.8.3 Plataforma.

Para poder utilizar dispositivos USB, hay que recordar que el sistema operativo instalado en nuestro equipo debe soportar este nuevo bus. Si queremos que los dispositivos USB funcionen, además en la BIOS del mainboard se debe habilitar la opción *ASSIGN USB IRQ - ENABLED*.

Uno de los problemas del puerto USB es que suministra solamente 500 miliamperios de electricidad para los dispositivos conectados, que aunque es suficiente potencia para la mayoría de los dispositivos que se conectan a este puerto, resulta escaso cuando conectamos varios dispositivos sin fuente de alimentación propia. Lo que sí podemos hacer es comprar un HUB USB con toma de alimentación eléctrica, para proporcionar la potencia necesaria a aquellos dispositivos que lo requieran (especialmente escáneres e impresoras).

3.4.9 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA USB

La **Fig. 3.15** muestra la estratificación del sistema USB. El mismo está compuesto por tres áreas claramente demarcadas:

- Host USB.
- Dispositivos USB.
- Interconexión USB.

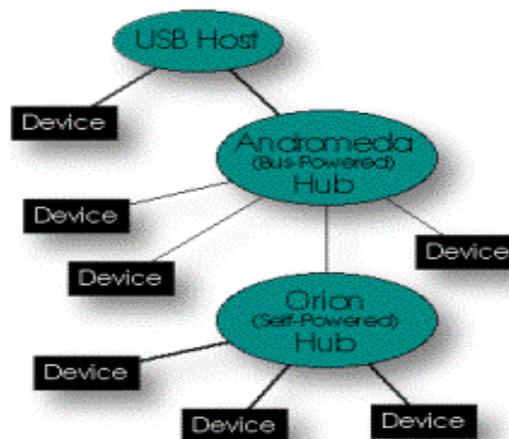


Fig. 3.15 Estratificación del Sistema USB

La interconexión USB es la manera en la cual los dispositivos USB se conectan y se comunican con el host, esto incluye:

- La topología del bus o el modelo de conexión entre los dispositivos USB y el host.
- Los modelos de flujo de datos, es decir la forma en la que la información se mueve en el sistema entre sus diversos elementos.
- La planificación USB que define la secuencia en la cual los dispositivos accederán al bus.
- Finalmente, las relaciones entre capas del modelo, y las funciones de cada capa.

Este último punto es conveniente aclararlo. El software al igual que todo sistema, a medida que crece se hace más complejo, razón por la cual cuando se lo desarrolla, se procede a subdividirlo en programas más pequeños, cada uno con una tarea específica. Cada porción de código o programa que cumple una tarea específica se denomina capa.

3.4.10 ESTRUCTURA DEL SISTEMA.

El bus USB cuenta con un cable diseñado especialmente para la transmisión de datos entre el host y los diferentes periféricos. Todos los dispositivos conectados acceden al canal o medio para transmitir sus datos de acuerdo a las normas de administración del host regido por un protocolo que consecutivamente va dando la posibilidad de transmitir a cada periférico, el protocolo USB se parece de cierta forma al protocolo *Token Ring*.

La arquitectura del bus garantiza la posibilidad de que los periféricos sean conectados y desconectados del host mientras este y otros periféricos están operando normalmente, característica a la que se denomina Conectar y Desconectar Dinámico o simplemente en Caliente, sin perjuicio para ningún dispositivo en funcionamiento

La **Fig. 3.16** muestra la estructura interna del controlador de periféricos USB. Todos los dispositivos USB responden también a un mismo patrón estandarizado, que más allá de las características propias de cada fabricante, comprende los mismos elementos funcionales.

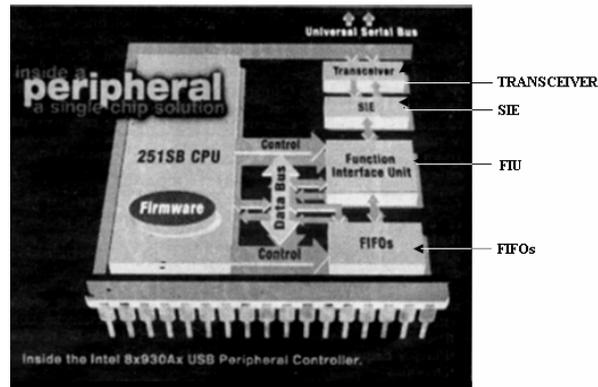


Fig. 3.16 Estratificación del Sistema USB. (Controlador 8x930Ax).

Las características de los componentes del controlador USB son:

3.4.10.1 Transceiver.

El cable USB está compuesto por solo cuatro cables: Vbus, D+, D- y GND. La información y los datos se mueven por los cables D+ y D-, con la capacidad de transmitir a varias velocidades, un problema serio de comunicaciones si no existe un dispositivo capaz de manejar esta situación. Este es el Transceiver, fabricado dentro del mismo chip controlador de periférico, y puede verse como la interfaz misma de un dispositivo externo contra el resto del sistema.

3.4.10.2 Serial Interface Engine (SIE).

El SIE tiene la función de serializar y deserializar las transmisiones, además maneja los protocolos de comunicación, las secuencias de paquetes, el control CRC y la codificación NRZI.

3.4.10.3 Function Interface Unit (FIU).

Este elemento administra los datos que son transmitidos y recibidos por el cable USB. Se basa y apoya en el contenido y estado de los FIFOs. Monitorea los estados de las transacciones, los buffer FIFO, y solicita atención para diversas acciones a través de interrupciones contra el CPU del host.

3.4.10.4 Fifos. (Primero en entrar – Primero en salir),

El controlador 8x930Ax tiene un total de 8 buffer tipo FIFO, cuatro de ellos destinados a la transmisión y cuatro destinados a la recepción de datos. Tanto

para la transmisión como para la recepción, los buffer soportan cuatro tareas o funciones, numeradas del 0 al 3.

La función 0 tiene reservado en el buffer un espacio de 16 bytes, y se dedica a almacenar información de control relacionada a las transferencias.

La función 1 es configurable para disponer de más de 1025 bytes, y finalmente las funciones 2 y 3 disponen cada una de 16 bytes. Estas tres últimas funciones se emplean para el control de interrupciones y transmisiones tanto isocrónicas como las bulk.

3.4.11 CONECTORES Y CABLES USB.

Existen dos tipos de conectores dentro del USB. El conector **Serie A** está pensado para todos los dispositivos USB que trabajen sobre plataformas de PCs. Serán bastante comunes dentro de los dispositivos listos para ser empleados con el Host, y lo más probables es que tengan sus propios cables con su conector serie A por ejemplo una memoria removible USB. Sin embargo, esto no se dará en todos los casos, existirán dispositivos USB que no posean cable incorporado, para los cuales el conector **Serie B** será una característica, por ejemplo una impresora. Sin embargo este no es un problema, ya que ambos conectores son estructuralmente diferentes e insertarlos de forma equívoca será imposible por la forma de las ranuras.

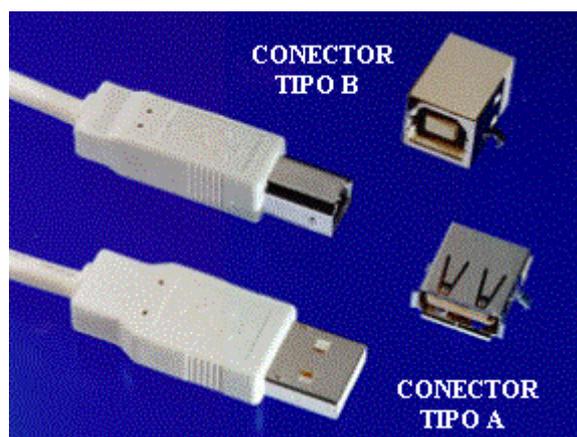


Fig. 3.17 Tipos de conectores USB

Los pulsos de reloj o sincronismo son transmitidos en la misma señal de datos D+ y D-, de forma codificada bajo el esquema NRZI (Non Return To Zero Invert), uno de los más interesantes sistemas de codificación.

Los otros dos cables VBus y GND tienen la misión de llevar suministro eléctrico a los dispositivos, con una potencia de +5V para VBus. Los cables USB permiten una distancia que va de los pocos centímetros a varios metros, más específicamente 5 metros de distancia máxima entre un dispositivo USB y el siguiente.



Fig. 3.18 Distribución de Pines de los Conectores.

PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	COLOR
1	VBUS	+5V	Rojo
2	D-	Datos -	Azul
3	D+	Datos +	Amarillo
4	GND	Tierra	Verde

Tabla 3.1 Referencia de los pines

Es importante indicar que los cables USB tienen protectores de voltaje a fin de evitar cualquier daño a los equipos, son estos mismos protectores los que permiten detectar un dispositivo nuevo conectado al sistema y su velocidad de trabajo.

3.4.12 TOPOLOGÍA DEL BUS.

La forma física en la que los elementos se interconectan dentro del sistema USB, puede asemejarse a la topología estrella estratificada piramidalmente. Esta disposición significa que los computadores con soporte para USB han de tener tan solo uno o dos conectores USB, pero ello no representa poder contar con tan solo dos dispositivos de esta clase, quien sabe un ratón y un teclado. Muchos

dispositivos USB han de traer conectores USB adicionales incorporados, por ejemplo un monitor puede tener 3 ó 4 conectores USB donde pueden ir el teclado, el ratón, y algún otro dispositivo. Por su parte el teclado puede tener otros más, y así sucesivamente hasta tener 127 dispositivos, todos funcionando simultáneamente.

Aún así, existirán dispositivos específicos destinados a ampliar la cantidad de conectores, estos se denominan hubs, y su funcionamiento como apariencia física está muy cercana a la de los hubs de redes Ethernet. Un hub de 8 puertos o conectores, puede ser acoplado a uno de los puertos USB del computador, ampliando la cantidad de dispositivos que se pueden emplear.

3.4.13 CONTROLADORES DE SOFTWARE (DRIVERS).

Hoy en día el sistema operativo de Windows XP trae una gran cantidad de controladores para una gama amplia de dispositivos USB, por lo tanto, lo más probable es que el mismo sistema operativo reconozca y configure el dispositivo de forma inmediata y transparente. Los *drivers* para el USB están definidos por capas, de forma que la gestión del bus, la configuración básica de los dispositivos, su manejo, lo hace el sistema operativo, mientras que cada *driver* específico sólo maneja los dispositivos con los que pueda tratar. De esta forma, tendremos una serie de *módulos* apilados con unas misiones específicas, que no interfieren la una con la otra.

El *driver* está organizado por la ya comentada estructura de capas. La parte principal es el USBD, o *Universal Serial Bus Driver* (gestor del USB). Aquí están contenidas todas las llamadas que los *drivers* necesitarán para acceder a sus dispositivos.

Debajo de esta capa está el HCD, el *Host Controller Driver*, que es la parte del sistema USB que se dedica a comunicarse con cada controlador en particular.

Por encima del USBD, y como *driver* está el HUBD, el *driver* de los *hubs*, que es parte obligada del sistema USBD, ya que es parte activa de la gestión de la configuración de los dispositivos. Un *driver*, cuando se carga o inicializa, se

registra a sí mismo en el sistema USB. Cuando se conecta un dispositivo, se recorre la lista de *drivers* registrados en busca del que pueda ser más conveniente para este.

Cuando se encuentra, se le pide que configure el dispositivo. Si no lo logra, se busca otro; si no se encuentra ninguno, se pedirá que se cargue un módulo con un *driver* para ese dispositivo. En caso de que no haya ninguno, se dará por imposible y se dejará el dispositivo como no configurado y esperando a que se cargue un *driver* que lo pueda configurar.

3.4.14 MODELO LÓGICO FUNCIONAL USB.

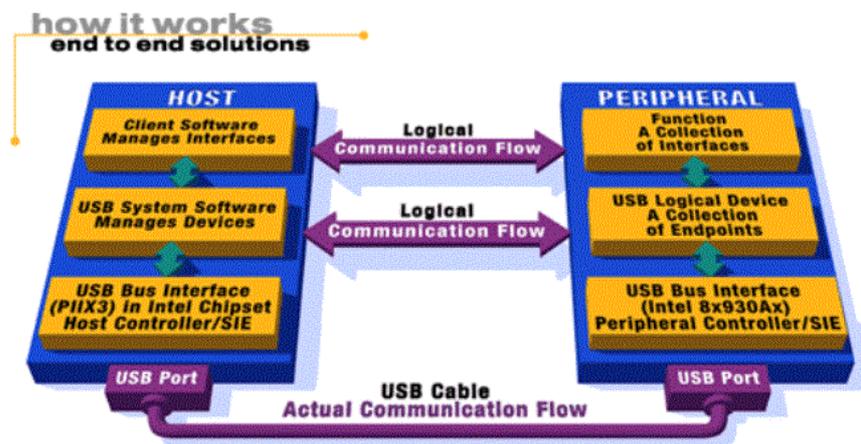


Fig. 3.19 Flujo de datos USB.

La Fig. 3.19, ilustra el flujo de datos USB a partir de tres niveles lógicos: entre el Software Cliente y la Función, el Controlador USB y el dispositivo, y finalmente la capa física, donde la transmisión realmente sucede. Es importante entender que este modelo es muy parecido al OSI, el estándar de redes, y su comprensión radica en el hecho de que si bien existe un solo canal físico, pero los datos son manejados en cada punto por unidades homólogas o idénticas, tal como si estuviesen sosteniendo una comunicación directa. Por esta razón se las denomina Capas Lógicas.

El nivel superior lógico es el agente de transporte de datos que mueve la información entre el Software Cliente y el dispositivo. Existe un Software Cliente en el host, y un Software de Atención al mismo, en cada una de las funciones o

periféricos USB. A este nivel, el host se comunica con cada uno de los periféricos en alguna de las varias formas posibles de transmisión que soporta USB. El Software Cliente solicita a los dispositivos diversas tareas y recibe respuestas de ellos a través de esta capa.

La capa lógica intermedia es administrada por el Software de Sistema USB, y tiene la función de facilitarles las tareas particulares de comunicación a la capa superior, cabe decir, administra la parte del periférico con la que la capa superior desea comunicarse, maneja la información de control y comando del dispositivo, Su objetivo es permitir a la capa superior concentrarse en las tareas específicas tendientes a satisfacer las necesidades del usuario, adicionalmente gestiona el control interno de los periféricos.

El acceso al bus es bajo la modalidad de Ficha o Token, lo que involucra siempre complejidad de protocolos. Todos estos algoritmos y procesos son administrados por el Host USB, reduciendo la complejidad del periférico, y lo más importante, el costo final de los dispositivos USB.

La capa física del modelo lógico USB comprende los puertos físicos, el cable, los voltajes y señales, el hardware y funcionamiento del hardware. Esta capa tiene el objetivo de liberar a las capas superiores de todos los problemas relacionados a la modulación, voltajes de transmisión, saltos de fase, frecuencias y características netamente físicas de la transmisión.

3.4.15 PROTOCOLO USB.

Toda transferencia de datos o transacción que emplee el bus, involucra al menos tres paquetes de datos. Cada transacción se da cuando el Controlador de Host decide qué dispositivo hará uso del bus, para ello envía un paquete al dispositivo específico. Cada uno de los mismos tiene un número de identificación, otorgado por Controlador de Host cuando el computador arranca o bien cuando un dispositivo nuevo es conectado al sistema. De esta forma, cada uno de los periféricos puede determinar si un paquete de datos es o no para sí. Técnicamente este paquete de datos se denomina Paquete Ficha o Token Packet. Una vez que el periférico involucrado recibe el permiso de transmitir, arranca la comunicación y sus tareas específicas; el mismo informará al

host con otro paquete que ya no tiene más datos que enviar y el proceso continuará con el siguiente dispositivo.

Este protocolo tiene un sistema muy eficiente de recuperación de errores, empleando uno de los modelos más seguros como es el CRC (Código de Redundancia Cíclica). Y puede estar implementado al nivel de software y/o hardware de manera configurable. De hecho si el control es al nivel de hardware, no vale la pena activar el control por software, ya que sería duplicar tareas innecesariamente.

3.4.16 TIPOS DE TRANSMISIÓN USB.

A continuación se detallará los tipos de transmisión con los que cuenta el protocolo USB.

3.4.16.1 Transmisión Asíncrona.

Las distintas formas de transmisión de datos a distancia siempre fueron seriales, ya que el desfase de tiempos ocasionada por la transmisión paralela en distancias grandes impide pensar en esta última como apta para cubrir longitudes mayores a algunos pocos metros.

Sobre ello, la transmisión serial ha topado con el problema de que la información generada en el transmisor sea recuperada en la misma forma en el receptor, para lo cual es necesario ajustar adecuadamente un sincronismo entre ambos extremos de la comunicación. Para ello, tanto el receptor como el transmisor deben disponer de relojes que funcionen a la misma frecuencia y posibilite una transmisión exitosa. Como respuesta a este problema surgió la transmisión asíncrona, empleada masivamente años atrás para la comunicación entre los equipos servidores conocidos como hosts y sus terminales.

En este modelo cabe entender que ambos equipos poseen relojes funcionando a la misma frecuencia, por lo cual, cuando uno de ellos desea transmitir, prepara un grupo de bits encabezados por un BIT conocido como de arranque, un conjunto de 7 u 8 bits de datos, un BIT de paridad (para control de errores), y uno o dos bits de parada. El primero de los bits enviados anuncia al receptor la llegada de los siguientes, y la recepción de los mismos es efectuada. El receptor conoce perfectamente cuántos bits le llegarán, y da por recibida la información cuando

verifica la llegada de los bits de parada. La **Fig.3.20** muestra el esquema de los datos.

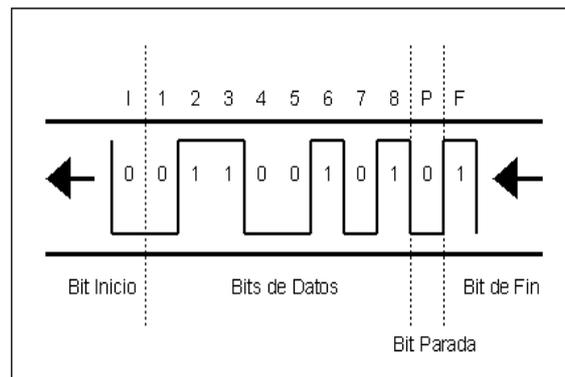


Fig.3.20 Esquema de Datos.

Se denomina transmisión asincrónica no porque no exista ningún tipo de sincronismo, sino porque el sincronismo no se halla en la señal misma, más bien son los equipos mismos los que poseen relojes o clocks que posibilitan la sincronización. La sincronía o asincronía siempre se comprende a partir de la señal, no de los equipos de transmisión o recepción.

3.4.16.2 Transmisión Sincrónica.

En este tipo de transmisión, el sincronismo viaja en la misma señal, de esta forma la transmisión puede alcanzar distancias mucho mayores como también un mejor aprovechamiento del canal. En la transmisión asincrónica, los grupos de datos están compuestos por generalmente 10 bits, de los cuales 4 son de control. Evidentemente el rendimiento no es el mejor. En cambio, en la transmisión sincrónica, los grupos de datos o paquetes están compuestos por 128 bytes, 1024 bytes o más, dependiendo de la calidad del canal de comunicaciones.

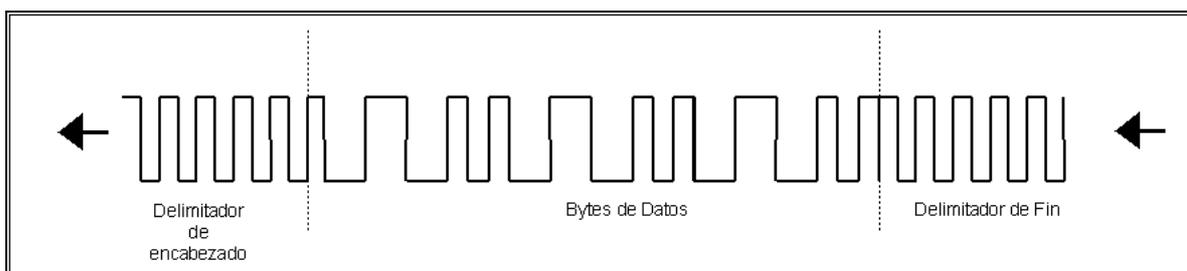


Fig.3.21 Transmisión de Datos Sincrónica.

3.4.16.3 Transmisión Isocrónica.

Inicialmente vale la pena aclarar el origen de este término tan extraño, ISO(algún) CRONOS(tiempo). La transmisión isocrónica ha sido desarrollada especialmente para satisfacer las demandas de la transmisión multimedial por redes, esto es integrar dentro de una misma transmisión, información de voz, video, texto e imágenes. La transmisión isocrónica es una forma de transmisión de datos en la cual los caracteres individuales están solamente separados por un número entero de intervalos, medidos a partir de la duración de los bits. Contrasta con la transmisión asincrónica en la cual los caracteres pueden estar separados por intervalos aleatorios. La transferencia isocrónica provee comunicación continua y periódica entre el host y el dispositivo, con el fin de mover información relevante a un cierto momento. La transmisión isocrónica se encarga de mover información relevante a algún tipo de transmisión, particularmente audio y video.

3.4.16.4 Transmisión Bulk.

La transmisión Bulk, es una comunicación no periódica, explosiva típicamente empleada por transferencias que requieren usar todo el ancho de banda disponible o en su defecto son demoradas hasta que el ancho de banda completo esté disponible. Esto implica particularmente movimientos de imágenes o video, donde se requiere de gran potencial de transferencia en poco tiempo.

El USB permite dos tipos más de transferencias de datos:

3.4.16.5 Transmisiones de Control.

Es un tipo de comunicación exclusivamente entre el host y el dispositivo que permite configurar este último, sus paquetes de datos son de 8, 16, 32 o 64 bytes, dependiendo de la velocidad del dispositivo que se pretende controlar.

3.4.16.6 Transmisiones de Interrupción.

Este tipo de comunicación está disponible para aquellos dispositivos que demandan mover muy poca información y poco frecuente. Tiene la particularidad de ser unidireccional, es decir del dispositivo al host, notificando de algún evento o solicitando alguna información. Su paquete de datos tiene las mismas dimensiones que el de las transmisiones de control.

En el proyecto se desarrolla comunicación USB implementando un HID (Dispositivo de Interfaz Humana). A continuación se presenta algunas características de estos dispositivos.

3.4.17 DISPOSITIVOS DE INTERFAZ HUMANA (HID).

Los HIDs son una clase de dispositivos USB que proporcionan una estructura a los datos que serán transferidos entre el Host y el Dispositivo. Durante el proceso de Enumeración (Proceso en el que se conecta el dispositivo al Host) el dispositivo describe la información que puede recibir y enviar. Esto permite que el Host maneje los datos que son recibidos desde el dispositivo USB sin necesitar un driver del mismo. Ejemplos típicos de dispositivos HID son: teclados, ratones, etc. Entonces no es necesario un driver para este tipo de dispositivos, pues el Sistema operativo sabe exactamente que función va a cumplir. Lo que si se requiere es que el host cuente con los drivers USB pertenecientes a este tipo de clase USB. Y estos son: *hid.dll*, *hidclass.sys*, *usbstor.sys*

En el **Anexo D** se adjunto un glosario con la terminología más importante sobre el USB.

3.5 DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA EL MICROCONTROLADOR PIC18F4550.

El programa del microcontrolador **PIC18F4550** consta de dos partes:

- Programa para controlar el dinamómetro de forma local (HMI local).
- Programa para controlar el dinamómetro con el PC (HMI remoto).

Estas dos partes forman un solo programa; al momento de encender el equipo en el LCD aparecen estas opciones para poder escoger el tipo de control con el que se desea trabajar.

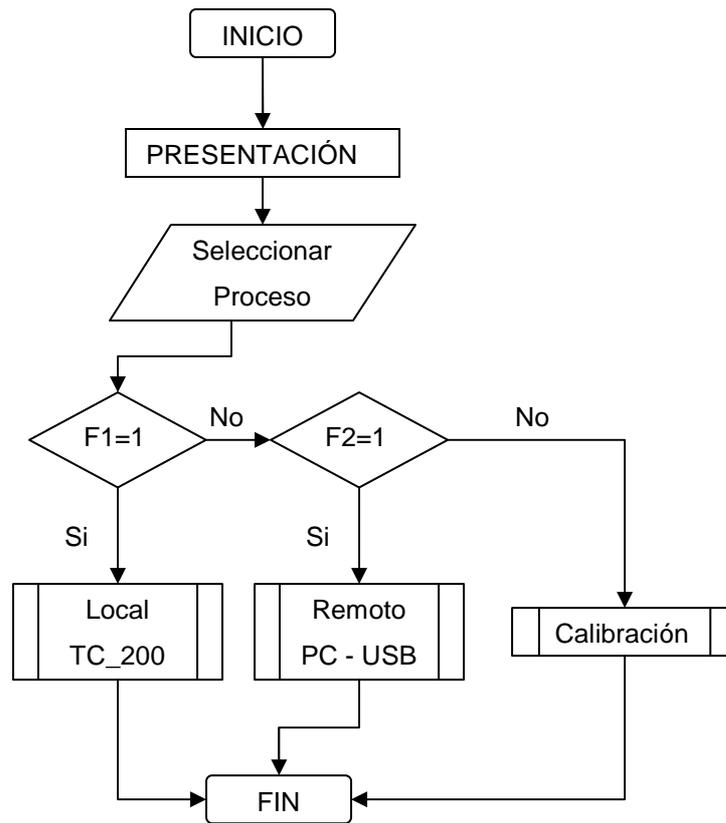


Fig. 3.22 Diagrama de Flujo general del programa de Microcontrolador

La **Fig. 3.22** presenta un diagrama de flujo general de cómo se encuentra estructurado el programa para el microcontrolador **PIC18F4550**.

Es importante recordar que el control local está implementado con pulsadores de selección; este es un sistema muy similar al que originalmente controlaba al dinamómetro. Pues los pulsadores tienen la opción de ingresar los parámetros para poder realizar las diferentes pruebas; por ejemplo valor de fuerza estimada, velocidad a la que se moverá el cabezal, y seleccionar el tipo de prueba a realizar tensión o compresión; además comandan el cabezal superior del equipo para que suba o baje, y podemos realizar un paro manual del dinamómetro.

En los parámetros de inicialización se describió como opera el equipo; así que para el diseño del software del microcontrolador se ha tomado como referencia todos estos criterios, para que la máquina cumpla con todos los requerimientos con los que venía trabajando.

Si se analiza el diagrama de flujo de la figura anterior se observa que para iniciar una prueba debemos seleccionar el tipo de control con el cual se desea trabajar;

por ejemplo control local, control remoto, o ingresar al proceso de calibración del equipo.

El programa Proteus 6.5 nos permite realizar una simulación del programa; solamente cargando el archivo .HEX del código desarrollado en PIC Basic; este lo ejecutamos conjuntamente con la librería de simulación del microcontrolador; de esta manera se podrá apreciar de una forma visual como se desempeña el programa, antes de ser probado directamente con el equipo.

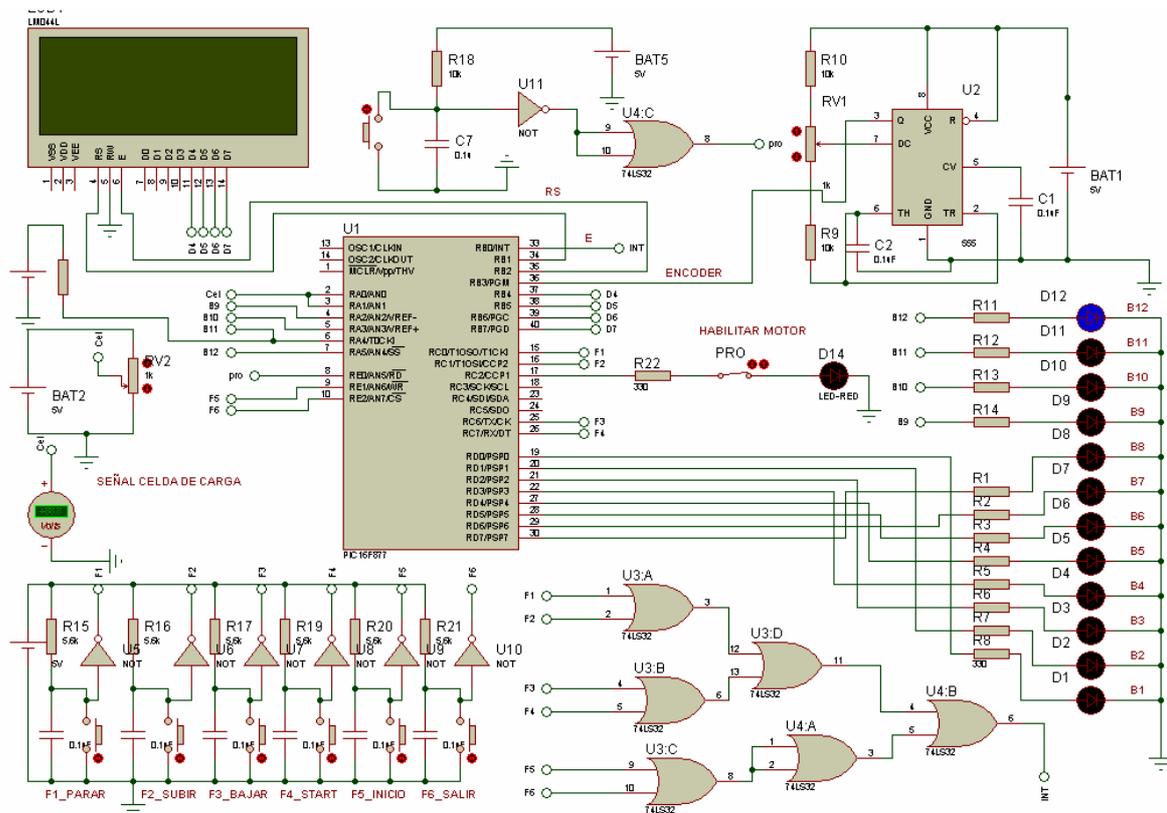


Fig. 3.23 Esquema de simulación de la tarjeta de Adquisición de datos.

En la **Fig. 3.23** se tiene el esquema con el cual se realiza la simulación para el control del dinamómetro; básicamente este es el esquemático de la nueva tarjeta de adquisición de datos. Pero para saber si el sistema funciona es necesario simular las señales de los sensores, de las protecciones, pulsadores y utilizar leds para visualizar las señales que el microcontrolador envía a las tarjetas electrónicas del dinamómetro. El microcontrolador que se utiliza para la simulación es el **PIC16F877A**; así que no es posible simular el proceso de

comunicación USB. Este micro es muy similar al **PIC18F4550**, por lo que nos es de mucha ayuda en el proceso de diseño del nuevo software.

Para simular la celda de carga se utilizó una fuente de 5 voltios la cual alimenta a un potenciómetro; con esto tenemos un valor de voltaje variable de 0 a 5V ingresando al canal A/D del microcontrolador. En cambio, para simular la señal del Encoder se implementó un control PWM utilizando un Oscilador LM555.

En la gráfica se observa los pulsadores de selección (**F1.....F6**), y 12 leds que simulan los 12 bits que el microcontrolador envía a la tarjeta principal de dinamómetro y un led donde se observa la habilitación para que el motor empiece a moverse.

Ejecutando la simulación se observa lo siguiente:



Fig. 3.24 Presentación del programa en el LCD.

La **Fig. 3.24** despliega la presentación del proyecto a través del LCD, después de un intervalo aparece la pantalla de la figura **Fig. 3.25**, en donde es necesario escoger el tipo de proceso con el cual se desea trabajar.



Fig. 3.25 Selección del proceso.

Para poder acceder a cada uno de estos procesos es necesario seleccionar los pulsadores indicados; son seis pulsadores los cuales se les ha asignado la siguiente nomenclatura (**F1.....F6**) respectivamente, se trabaja con esta nomenclatura ya que en el sistema anterior el dinamómetro era comandado por las teclas funcionales del teclado del computador.

3.5.1 CONTROL LOCAL TC 200

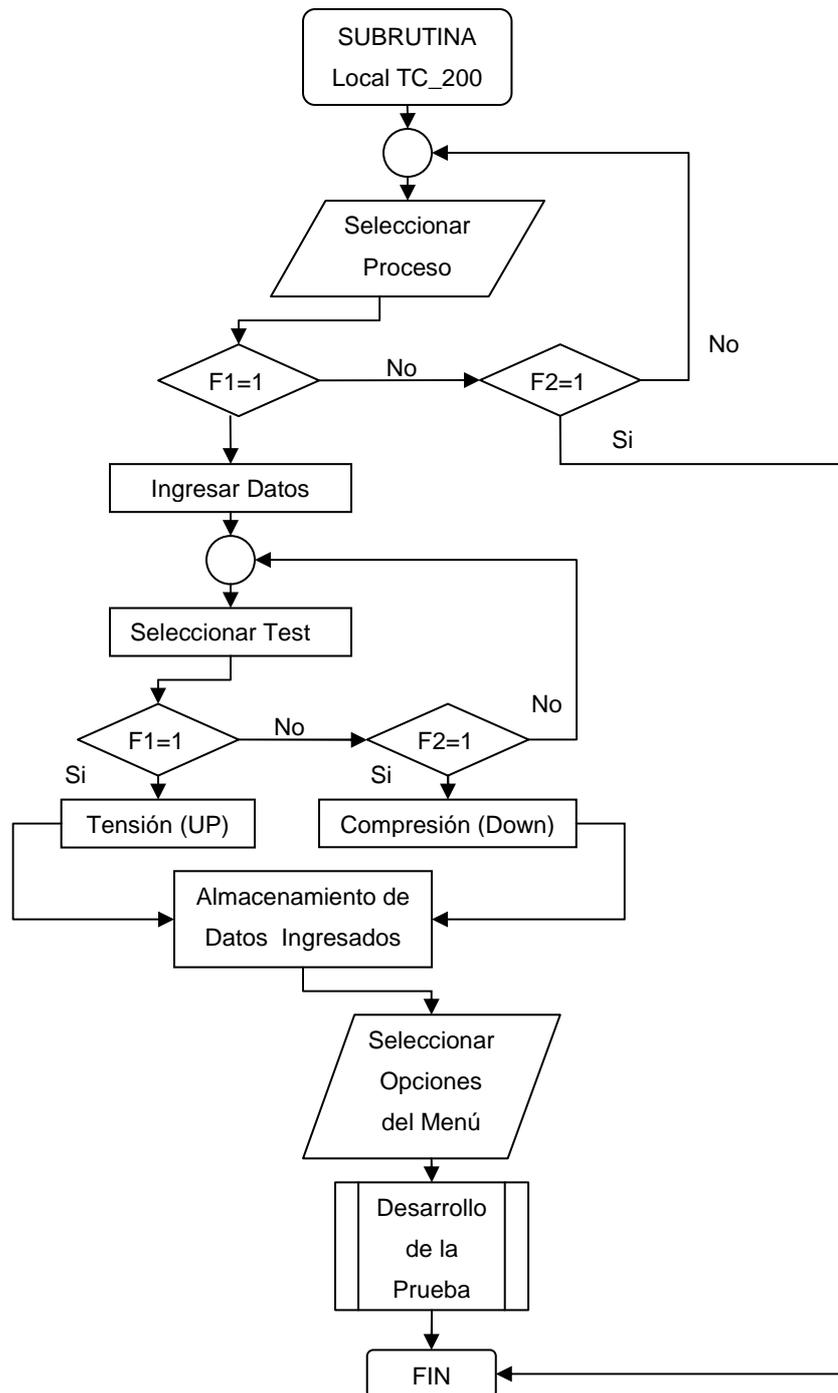


Fig. 3.26 Diagrama de Flujo del Control Local.

En la **Fig. 3.26** se muestra el diagrama de flujo general del Control Local, a continuación se describirá qué representa cada una de las acciones y se profundizará en las rutinas que involucren mayores especificaciones.

3.5.1.1 Seleccionar Proceso.

En la **Fig. 3.27** se aprecia el Menú principal; aquí se selecciona: ingresar los datos o salir del programa. La selección se la realiza a través de los pulsadores **F1** y **F2**.

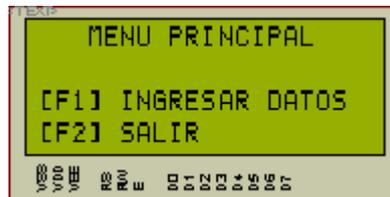


Fig. 3.27 Menú Principal del Control Local

3.5.1.2 Ingresar Datos.

Si se selecciona ingresar datos se despliega la pantalla de la **Fig. 3.28** en donde se ingresa la velocidad a la cual se desplazará el cabezal superior en el momento de empezar una prueba a través de la tecla **F2**. Los valores de velocidades que se pueden ingresar están en el rango de 1 – 500 [mm/min.]



Fig. 3.28 Ingresar Valor de Velocidad.

Si se presiona el pulsador **F5** se regresa al menú principal, y si se presiona el pulsador **F6** se accede al siguiente proceso.

En la **Fig. 3.29** se visualiza la pantalla del siguiente proceso; aquí se ingresa el valor máximo de la fuerza que se espera tener en una de las pruebas esto se hace pulsando la tecla **F3**. Por ejemplo si para una prueba de tensión se estima el valor máximo de fuerza en 20 Newtons, la resistencia del material que se está estirando no debe exceder este valor; caso contrario el programa actúa en forma de protección deteniendo el proceso.

Los valores de fuerza que se puede seleccionar van de 1 – 400 [N].



Fig. 3.29 Ingresar Valor máximo de Fuerza estimada.

3.5.1.3 Seleccionar Test.

Luego de ingresar los valores de velocidad y de fuerza; es necesario escoger cual es el test que se va a desarrollar. En la **Fig. 3.30** se observa que presionando el pulsador **F1** se realizará el test de Tensión (UP) y presionando **F2** el test de compresión (Down).

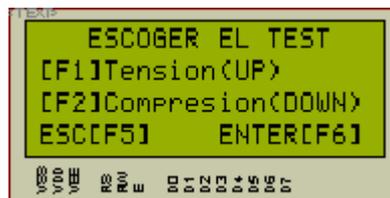


Fig. 3.30 Selección del Test a desarrollar.

En la **Fig. 3.31** se visualiza cual es el test elegido.



Fig. 3.31 Visualización del Test escogido.

3.5.1.4 Almacenamiento de Datos Ingresados.

Los datos ingresados de Velocidad, Fuerza y el Test a desarrollar son almacenados en la memoria del microcontrolador; de esta forma el programa procesa estos datos y los ejecuta durante el desarrollo de la prueba.

En la **Fig. 3.32** se observa todos los parámetros que se ingresaron en las etapas anteriores; esto son necesarios para poder desarrollar una prueba.



Fig. 3.32 Parámetros seleccionados para el desarrollo de un Test.

3.5.1.5 Selección de las opciones del Menú (Dinamómetro TC 200).

La pantalla de la **Fig. 3.33** muestra los parámetros para poder comandar al dinamómetro. Este Menú es muy similar al menú original de la máquina **Fig. 3.6**.

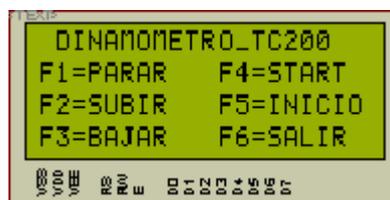


Fig. 3.33 Menú para comandar al dinamómetro TC 200.

Aquí se puede seleccionar a través de los seis pulsadores las siguientes opciones:

- **F1 PARAR:** Detiene el cabezal superior, mientras suba, baje o mientras se encuentre realizando un test.
- **F2 SUBIR:** Sube el cabezal superior. No es necesario mantener pulsado el botón para que suba; el resto de pulsadores quedan inhabilitados mientras se ejecuta esta acción, para cambiar de acción es necesario detener el cabezal con el pulsador **F1**.
- **F3 BAJAR:** Baja el cabezal inferior, mantiene condiciones similares que el pulsador de subir.
- **F4 START:** Da inicio al test; este se desarrolla en base a los parámetros ingresados en el inicio del programa.
- **F5 INICIO:** Retorna al Menú Principal, al inicio del programa del Control Local.
- **F6 SALIR:** Sale del programa.

En la **Fig. 3.34** se observa la salida de programa.



Fig. 3.34 Fin del programa

3.5.1.6 Desarrollo y Análisis del Test.

Es importante detallar como se realiza el proceso, y que acciones toma el programa para poder realizar los test.

En la **Fig. 3.35** se observa en pantalla una prueba en ejecución; en donde se presenta la Fuerza máxima estimada y el valor de la velocidad a la que el cabezal se está desplazando (parámetros ingresados por el usuario).

Ahora se visualiza de forma continua como va cambiando el valor de la fuerza **F[N]** en Newtons y el valor del desplazamiento del cabezal en milímetros **D[mm]**. Existen condiciones para que una prueba finalice; pulsando el botón **F1**, cuando se sobrepasa el valor máximo de fuerza estimada, el programa detiene el cabezal, y cuando el valor de la fuerza es menor al 50% del máximo valor medido durante el test. Por ejemplo en una prueba de tensión un material se estira y empieza a largarse la celda comenzará a marcar un valor de fuerza, esta llegará a un valor máximo y de ahí la fuerza empezará a bajar ya que el material cada vez opondrá menor resistencia, ya que posiblemente empezará a romperse. En el momento en que el valor que marque la celda sea menor al 50% del valor máximo marcado la prueba se detendrá.

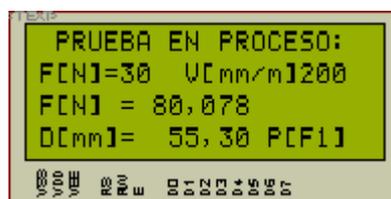


Fig. 3.35 Prueba en Proceso

En la **Fig. 3.36** se muestra la curva *Fuerza vs. Desplazamiento* de un material que ha sido sometido a una prueba.

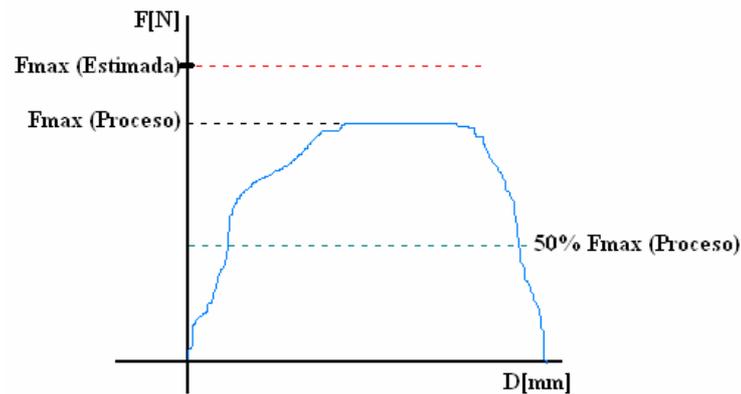


Fig. 3.36 Proceso de deformación de un material.

A continuación se describirá que hace el programa para el desarrollo de una prueba, como sensa y procesa las señales de los sensores y como realiza las acciones de parar, subir, y bajar el cabezal.

Para poder realizar las acciones: parar, subir, bajar, y comandar la velocidad del cabezal superior de la máquina, es necesario enviar 12 bits desde el microcontrolador a las tarjetas electrónicas del dinamómetro TC 200 específicamente a la tarjeta electrónica conector J4 **Fig. 2.9**, aquí se realiza una conversión D/A con el convertor digital analógico **AD7541AD**. Ahora, el objetivo es saber qué datos hay que enviar en esos 12 bits. Para poder entender de mejor manera este proceso, es necesario conocer como opera el convertor D/A.

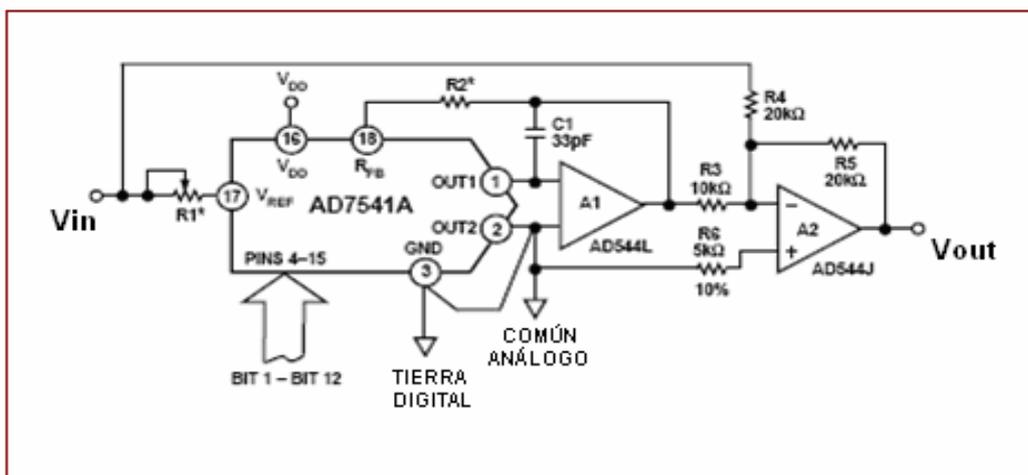


Fig. 3.37 Esquema de configuración del convertor D/A **AD7541A**.

En la **Fig. 3.37** se aprecia el esquema de configuración del conversor D/A, este esquema es parte de la tarjeta electrónica conector J4. En donde la señal de entrada **V_{in}** es una señal de referencia que el **AD7541A** toma para poder realizar la conversión digital análoga, en este caso el valor de la señal es de 10V.

La señal de salida **V_{out}** es una señal de voltaje análogo que varía entre $\pm 10V$, este valor depende de los 12 bits que ingresen al conversor D/A, esta señal ingresa a la tarjeta conector J5 para ser procesada y realizar las acciones de control del dinamómetro.

Dígitos en Binario			Salida Análoga, V _{out}
MSB		LSB	
1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	$+V_{IN} \left(\frac{2047}{2048} \right)$
1 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 1	$+V_{IN} \left(\frac{1}{2048} \right)$
1 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 Volts
0 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	$-V_{IN} \left(\frac{1}{2048} \right)$
0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	$-V_{IN} \left(\frac{2048}{2048} \right)$

Tabla 3.2 Tabla de configuración del conversor D/A **AD7541A**

En la **Tabla 3.2** se tiene la configuración en 12 bits, desde el LSB (bit menos significativo) al MSB (bit más significativo), para poder tener a la salida un valor de voltaje de $\pm 10V$.

Si se observa los 12 bits para generar un valor de 0 voltios es comprensible entender que se necesita enviar esta señal para detener el equipo.

Ahora si se analiza el bit más significativo el número 12 se observa:

- Cuando tiene un valor de **1** el voltaje V_{out} es positivo.
- Cuando tiene un valor de **0** el voltaje V_{out} es negativo.

Con esta información sabemos que cuando el microcontrolador envía un 1 o un 0 el cabezal se desplazará hacia arriba o hacia abajo. En la tabla también se presenta la configuración para detener la máquina, en este caso generando cero voltios.

Ahora sólo nos queda saber cómo poder variar la velocidad del cabezal. Con los 11 bits restantes se lo puede hacer aplicando las relaciones que se encuentran en la **Tabla 3.2**.

3.5.2 CONTROL REMOTO PC – USB

Ahora es necesario describir cuales son pasos que se deben seguir en el programa para poder realizar la comunicación USB. Cabe destacar que este proceso se halla directamente relacionado con el programa del computador.

Primero es necesario ejecutar el Microcode Studio.

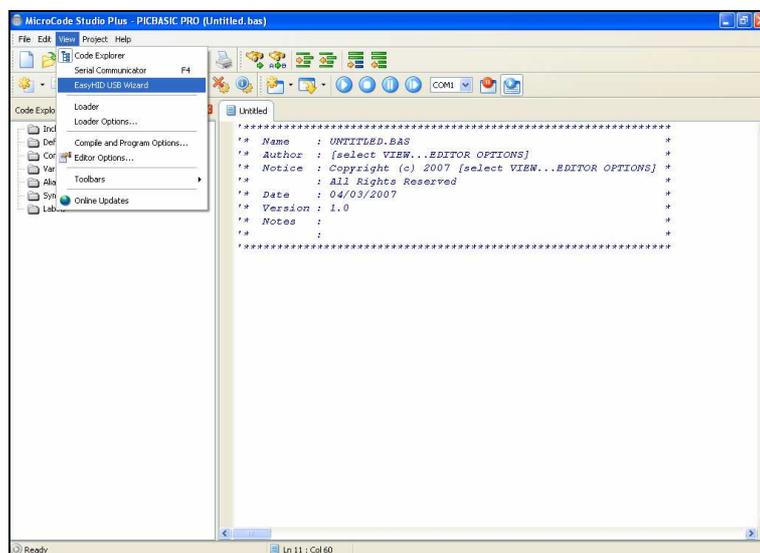


Fig. 3.38 Iniciando un Programa con Comunicación USB en PIC BASIC

En la figura **Fig. 3.38** se muestra la interfaz del PBP y ahora es necesario ejecutar el EasyHid Wizard.

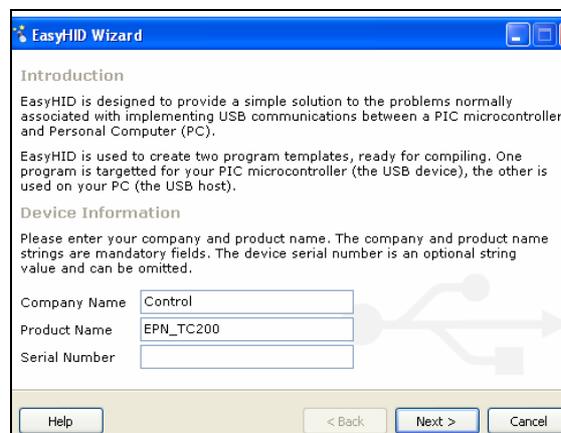


Fig. 3.39 Ingresar especificaciones del producto

En la **Fig. 3.39** se observa que es necesario ingresar el nombre de la compañía y el nombre del producto, en este caso son “Control” y “EPN_TC200”.

Presionamos NEXT y aparece la pantalla de la **Fig. 3.40**, en esta pantalla aparece unos valores que identifican a un producto que son el “Vendor ID” y el “Product ID”, estos valores son únicos, y en este caso forman parte del microcontrolador **PIC18F4550**. Estos valores no es necesario manipularlos; es mejor mantener los valores que se presentan por default.

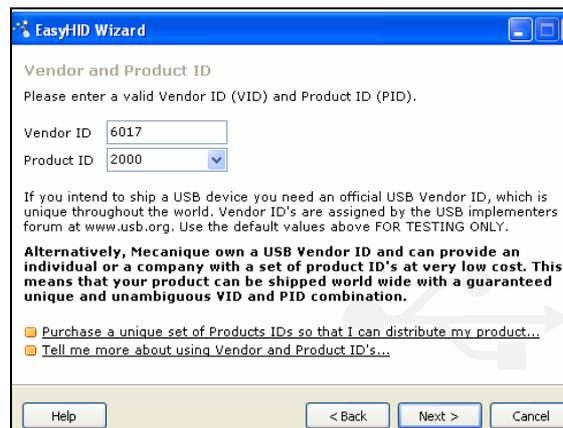


Fig. 3.40 Ingresar especificaciones del producto

Luego presionamos NEXT y aparece la pantalla de la **Fig. 3.41**, en donde se realiza una configuración de parámetros para realizar la comunicación con el Host (PC).

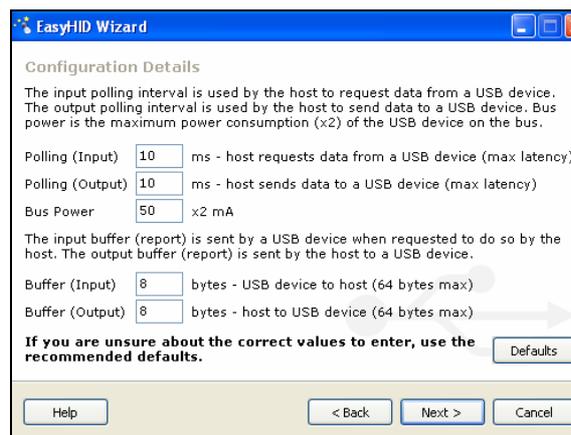


Fig. 3.41 Configuración de envío de datos hacia el host.

El host realiza una comunicación bidireccional con el dispositivo USB, intercambiando información continuamente durante un determinado intervalo de tiempo. Es posible manipular este intervalo dependiendo de las necesidades del

sistema, por default se manejan tiempos de 10 ms. También se puede configurar la corriente que el bus USB entrega al dispositivo, es importante tener en cuenta que el bus del computador entrega una corriente máxima de 500 mA; en el caso de que el dispositivo requiera una corriente mayor se debe implementar una fuente externa que nos proporcione una mayor corriente, en nuestro caso el microcontrolador **PIC18F4550** funciona con una fuente externa y no toma los 5V que el computador genera.

El sistema nos permite transmitir la información a través de buffers tanto de entrada como de salida, el número máximo de buffers que se puede implementar es de 64. Cada buffer es de 256 bits.

Uno de los inconvenientes es que el EasyHid Wizard no es totalmente gratis; por lo que si cambia algunos de los datos que por default se presentan, el programa no funcionará, aunque este compile sin tener errores. Así que es recomendable no cambiar los valores de la **Fig. 3.41**.

Luego presionamos NEXT y aparece la pantalla de **Fig. 3.42**, en donde se ingresa el nombre del proyecto y donde va a ser guardado. Es importante guardar el proyecto con un nombre no muy largo, y la localización de este no realizarla en el escritorio del computador, pues existe problemas en la compilación, ya que la extensión del archivo es muy grande.

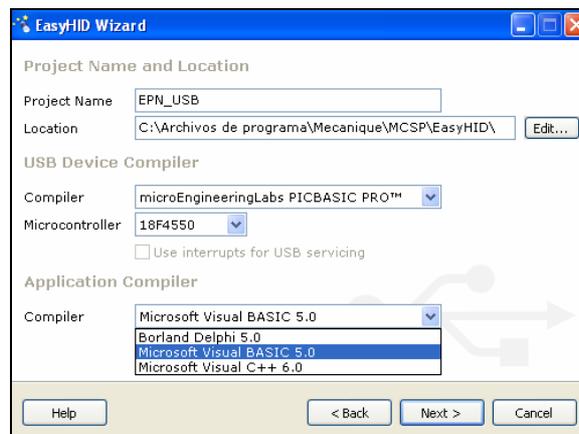


Fig. 3.42 Asignando nombre al proyecto.

Es necesario seleccionar el microcontrolador que se va a utilizar, que en este caso es el **PIC18F4550**, existen tres microcontroladores USB que se pueden seleccionar, PIC18F2455, PIC18F2550, PIC18F4455.

Por último, es necesario elegir el compilador para el cual se desea que el EasyHid genere las líneas de código, en nuestro caso seleccionamos “*Microsoft Visual Basic 5.0*”

Luego presionamos NEXT y se tiene la pantalla de la **Fig. 3.43** en donde el EasyHid compila todo los datos ingresados para generar los programas para el microcontrolador y para Visual Basic. Si todo se realiza correctamente el wizard compila el proyecto y finalizará sin ningún problema.

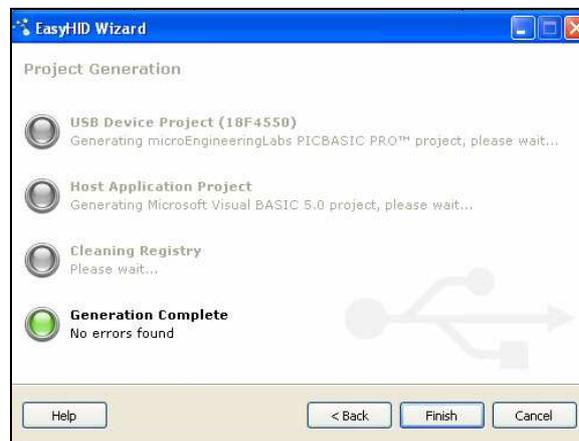


Fig. 3.43 Generación del Proyecto

Ahora para abrir el proyecto nos dirigimos a la ubicación donde fue guardado.

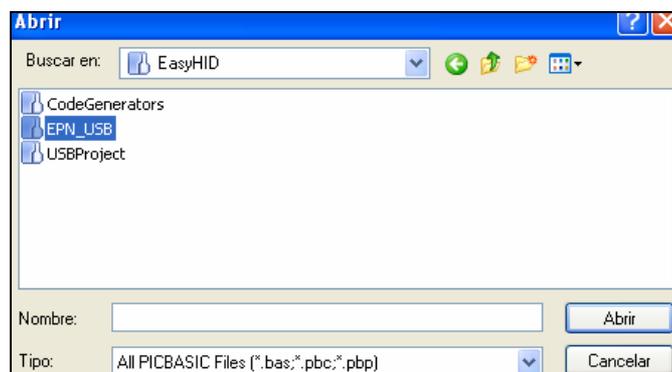


Fig. 3.44 Ubicación del Proyecto

En la **Fig. 3.44** se observa la carpeta EPN_USB, que es el nombre de nuestro proyecto, la abrimos y observamos que existen dos carpetas. En la **Fig. 3.45** se

observa los dos proyectos generados, el uno en PIC Basic Pro y el otro en Visual Basic.

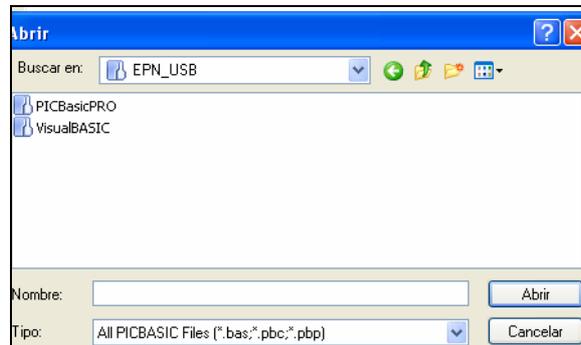


Fig. 3.45 Proyectos generados por el Wizard

Abrimos la carpeta del PIC Basic y ejecutamos el archivo de extensión *pbp*.

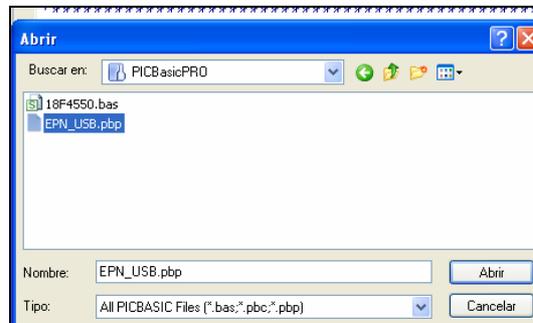


Fig. 3.46 Programa para el PBP “EPN_USB.pbp”.

Ahora con este código ya se puede realizar la comunicación USB.

```

MicroCode Studio Plus - PICBASIC PRO (EPN_USB.pbp)
File Edit View Project Help
18F4550 COM1
Code Explorer
Includes
Defines
  OSC
  LOADER_USED
Conditions
  USBBufferSizeMax
  USBBufferSizeTX
  USBBufferSizeRX
Variables
  USBBuffer
  USBBufferCount
Alias and Modifiers
Symbols
Labels
  ProgramStart
  DoUSBIn
  DoUSBOut
DEFINITE OSC 48
DEFINITE LOADER_USED 1
USBBufferSizeMax CON 8 ' maximum buffer size
USBBufferSizeTX CON 8 ' input
USBBufferSizeRX CON 8 ' output
' the USB buffer...
USBBuffer VAR BYTE [USBBufferSizeMax]
USBBufferCount VAR BYTE
' *****
' * main program loop - remember, you must keep the USB *
' * connection alive with a call to USBService every couple *
' * of milliseconds or so... *
' *****
USBINIT ' initialise USB...
ProgramStart:
  GOSUB DoUSBIn
  GOSUB DoUSBOut
  GOTO ProgramStart
' *****
' * receive data from the USB bus *
' *****
DoUSBIn:
  USBBufferCount = USBBufferSizeRX ' RX buffer size
  USBSERVICE ' keep connection alive
  USBIN 1, USBBuffer, USBBufferCount, DoUSBIn ' read data, if available
  RETURN
  
```

Fig. 3.47 Código para comunicación USB.

Sobre este código está escrito todo el resto del programa para controlar al dinamómetro electrónico TC 200.

A continuación se presenta un diagrama de flujo que explica como está estructurado el programa en conjunto y como manejar el código generado por el EasyHid.

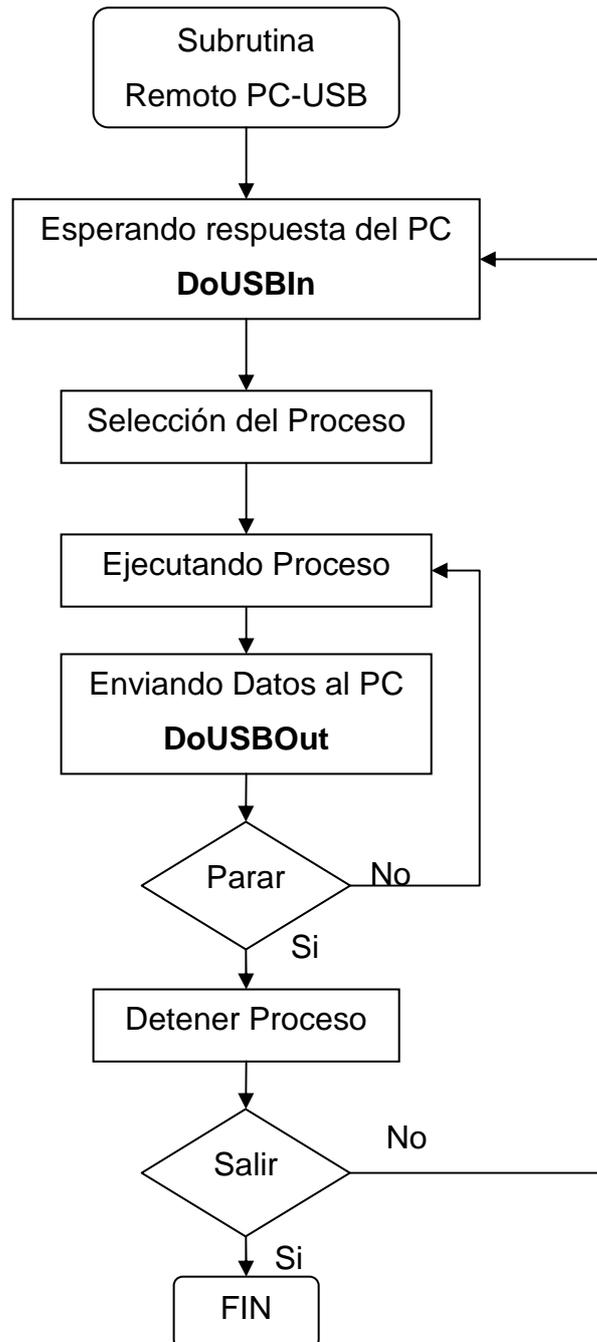


Fig. 3.48 Diagrama de Flujo del Proceso de Comunicación USB

3.5.2.1 Generación del Código de Programa para la comunicación USB.

A continuación se muestra las líneas de código que el EasyHid genera, y se detalla como fue realizado todo el programa. Conjuntamente con el diagrama de flujo de la **Fig. 3.48** se especificará como se realiza el proceso de comunicación USB.

```
DEFINE OSC 48
DEFINE LOADER_USED 1
```

'Definición de las variables del programa.

```
USBBufferSizeMax CON 8 ' Máximo tamaño del buffer.
USBBufferSizeTX CON 8 ' Entrada
USBBufferSizeRX CON 8 ' Salida
```

' El buffer USB

```
USBBuffer VAR BYTE [USBBufferSizeMax]
USBBufferCount VAR BYTE
```

'Selección del proceso a realizar:

```
! *****
```

CONTROL REMOTO PC - USB

```
! *****
```

```
! *****
```

```
' *Es necesario mantener siempre la comunicación USB, para ello se recomienda
' *hacer un llamado al comando USBSERVICE durante el desarrollo del programa
! *****
```

USBINIT ' Inicializando la conexión USB

ProgramStart:

```
GOSUB DoUSBIn
GOSUB DoUSBOut
GOTO ProgramStart
```

```
! *****
```

' * Subrutina para recibir datos del bus USB*

```
! *****
```

DoUSBIn:

```
USBBufferCount = USBBufferSizeRX 'Tamaño del buffer RX
USBSERVICE 'Manteniendo viva la comunicación USB
USBIN 1, USBBuffer, USBBufferCount, DoUSBIn 'Recibir datos USB
RETURN
```

```

| *****
| *Subrutina para enviar datos al computador *
| *****

```

```

DoUSBOut:
USBBufferCount = USBBufferSizeTX           'Tamaño del buffer TX
USBSERVICE                               'Manteniendo viva la comunicación USB
USBOUT 1, USBBuffer, USBBufferCount, DoUSBOut 'Transmitir datos USB
RETURN

```

```

| *****

```

CONTROL LOCAL TC200

```

| *****

```

En esta parte del programa se realiza el control local del dinamómetro TC200

```

| *****

```

PROCESO DE CALIBRACION

```

| *****

```

En ésta sección se realiza la calibración del equipo.

FIN DEL PROGRAMA.

El momento que se selecciona la opción Control remoto se ingresa a la subrutina USB.

3.5.2.1.1 Esperando Respuesta del PC.

El programa empieza a ejecutarse inicializando el USB a través del comando **USBINIT**, y espera a que el computador le envíe algún dato. El buffer USB tanto de entrada como de salida tiene 8 Buffers de 256 bits cada uno, que van desde el USBBUffer [0...7] respectivamente.

El programa constantemente está verificando si ha llegado algún dato proveniente desde el PC, esto lo hace saltando a la subrutina **DoUSBIn**.

3.5.2.1.2 Selección del Proceso.

Cuando el PC envía un dato el programa hace una selección comparando la información que se envía en los buffers; por ejemplo Si el USBBUffer [1] = 1 entonces Subir el cabezal superior; de esta manera se puede ejecutar todas las acciones necesarias para este proceso como: subir, bajar, controlar la velocidad e inversión de giro del motor, y por último dar inicio a un proceso.

3.5.2.1.3 Ejecutando Proceso.

El computador le envía al microcontrolador la información de la velocidad a la que debe realizar una prueba, el valor de Fuerza esperada, que test debe realizar (tensión o compresión), y los comandos para ejecutar las acciones de subir, bajar, o detener el equipo, con todos estos datos se puede realizar una prueba.

3.5.2.1.4 Enviando datos al PC.

Cuando la prueba se está ejecutando es necesario que el microcontrolador le envíe al PC el valor medido de la celda de carga y el valor del desplazamiento del cabezal móvil, para que este pueda graficar la curva *Fuerza vs. Desplazamiento*. Para enviar estos datos al computador se coloca la información en el Buffer USB por ejemplo USBBuffer [3] = 150, y se ejecuta el comando **DoUSBOut**, en ese momento el programa se dirige a esta subrutina y envía el dato al computador.

3.5.2.1.5 Finalizar Proceso.

El computador da por finalizado el proceso, y el programa regresa a la posición inicial.

3.5.2.2 Reconocimiento del microcontrolador PIC18F4550 como un HID.

Para garantizar que el programa está bien, es necesario conectar el microcontrolador al computador.

El primer paso es encender el dinamómetro y en la selección del proceso seleccionar **Remoto**.



Fig. 3.49 Enlace PC _MICROusb

En la **Fig. 3.49** se observa en la pantalla del LCD que el dispositivo está preparado para realizar comunicación a través del puerto USB.

Conectamos el cable USB al computador y se observa lo siguiente:



Fig. 3.50 Dispositivo USB encontrado

Al momento de ser conectado el microcontrolador al PC aparece la etiqueta de Nuevo Hardware encontrado **Fig. 3.50**.

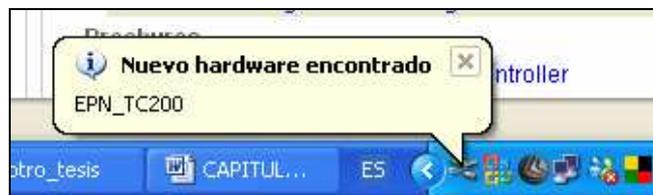


Fig. 3.51 Dispositivo EPN_TC200

Conjuntamente aparece el nombre del dispositivo que en este caso es EPN_TC200. **Fig. 3.51**.

El computador lo configura y le permite realizar una comunicación bidireccional con el mismo. Es importante destacar que el computador debe contar con todos los drivers USB (hid.dll hidclass.sys usbstor.sys usbport.sys usbd.sys) para que el dispositivo pueda ser reconocido. Si se trabaja con Windows XP no existe ningún problema, pero si se trabaja con un sistema operativo de menores características es necesario cargar los mencionados drivers.



Fig. 3.52 Dispositivo listo para ser utilizado.

Después que el computador configura el dispositivo, aparece la etiqueta que el nuevo hardware está listo para ser utilizado **Fig. 3.52**

Una forma de verificar que el dispositivo está listo para ser utilizado es ingresando a las propiedades de “MI PC”, seleccionar Hardware y Administrador de Dispositivos **Fig. 3.53**.

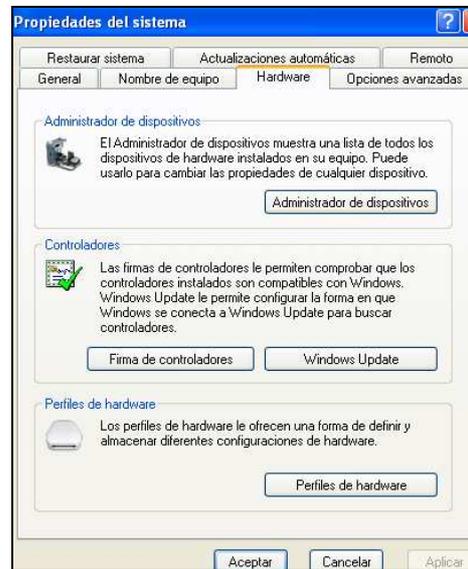


Fig. 3.53 Propiedades de MI PC

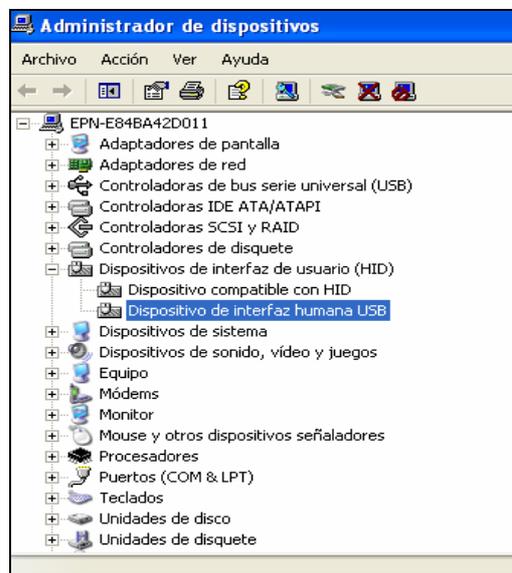


Fig. 3.54 Dispositivo de Interfaz Humana USB

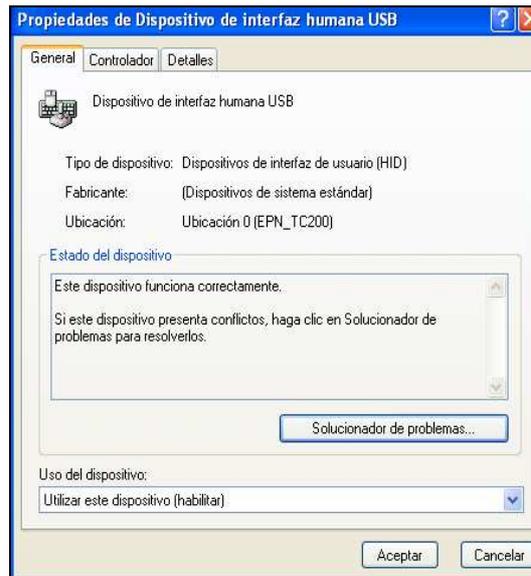


Fig. 3.55 Propiedades del HID “EPN_TC200”

En las **Fig. 3.54** y **Fig. 3.55** se aprecia que el dispositivo ha sido reconocido y aparece como un dispositivo conectado al computador, y además se aprecia las propiedades de este dispositivo.

3.6 DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA EL PC UTILIZANDO VISUAL BASIC 6.0.

La segunda parte de este proyecto es desarrollar un software para el computador que controle al dinamómetro electrónico TC200, este software es una interfaz gráfica desarrollada en Visual Basic 6.0, la cual grafica los datos de *Fuerza vs. Desplazamiento* enviado por el microcontrolador vía USB hacia el PC. Además realiza cálculos estadísticos de los valores generados durante el proceso, entre ellos tenemos:

- Valor máximo
- Valor Mínimo
- Media
- Desviación Estándar.

Este software es parte del control remoto descrito anteriormente, ya que interactúa directamente con el microcontrolador, cuando se está ejecutando la opción de control remoto.

A continuación se detallará como se desarrolló el programa.

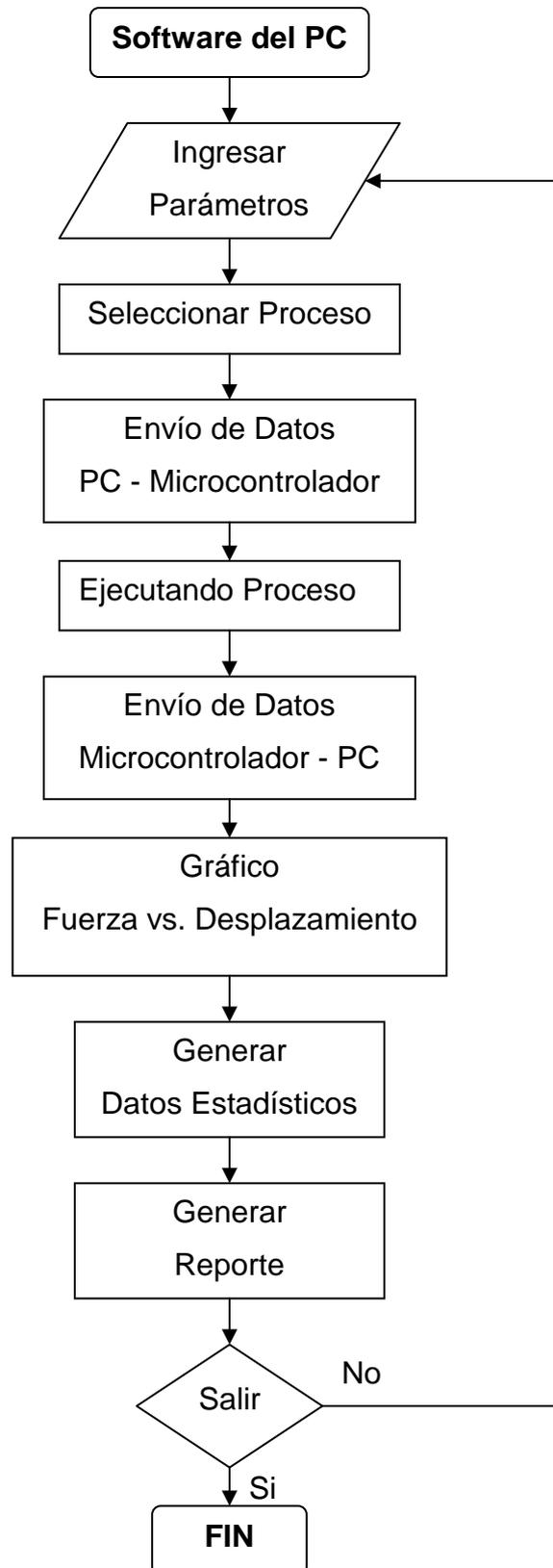


Fig. 3.56 Diagrama de Flujo del Software del PC.

Para desarrollar la aplicación en Visual Basic es necesario abrir el código de programa generado por el EasyHid que se guardó en la carpeta EPN_USB. Para ello se ejecuta Visual Basic 6.0 y abrimos la carpeta VisualBASIC en donde se encuentra el programa *EPN_TC200.vpb*

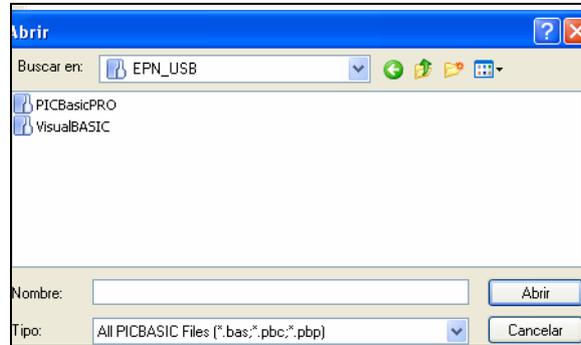


Fig. 3.57 Abriendo Código para Visual Basic

En la **Fig. 3.57** se observa la carpeta VisualBASIC en donde se encuentra el programa generado por el EasyHID.

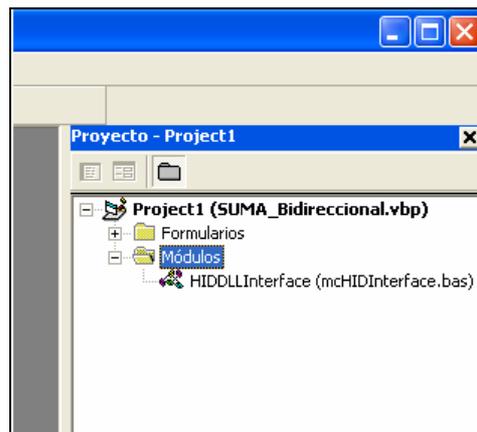


Fig. 3.58 Código implementado en Visual Basic

Al momento de abrir el archivo en la parte superior derecha aparece los elementos del proyecto. En este caso se observa dos carpetas, la primera llamada Formularios, contiene el MainForm (*FormMain.fmr*) o formulario principal en donde se desarrollará el programa, la segunda carpeta llamada Módulos contiene unas líneas de código que generan un dll. Un **DLL** es el acrónimo de *Dynamic Linking Library* (Bibliotecas de Enlace Dinámico), término con el que se refiere a los archivos con código ejecutable que se cargan bajo demanda del programa por parte del sistema operativo. Entonces esté módulo contiene el dll

para el controlador HID, el cual se enlazará con el firmware del microcontrolador para poder realizar la comunicación USB.

No se requiere realizar ningún cambio en este módulo.

En el formulario principal se encuentra otras líneas de código, que interactúan con el código del módulo anterior para poder realizar la comunicación USB.

Estas líneas de código son las encargadas de realizar el proceso de Enumeración USB, es decir pedirle al microcontrolador alguna información como su **ID**, a que vendedor pertenece, además detecta que se ha conectado un dispositivo USB con características de HID, como es el caso del **PIC18F4550**, luego lo configura y lo deja listo para que pueda intercambiar información con el computador.

Al igual que en el microcontrolador, en este programa existen un número determinado de Buffers, tanto de entrada como de salida, en este caso se tiene 9 Buffers que van desde el [0.....8] respectivamente. El *BufferIn(0)* y el *BufferOut(0)*, no se los debe utilizar, ya que estos buffers contienen el reporte **ID**, entonces los buffers que se puede utilizar para transmitir datos al microcontrolador van desde el [1....8]; en este caso el `USBBuffer[1]` del microcontrolador es el mismo que el *BufferIn(2)* del programa en Visual.

La programación en Visual Basic es orientada a objetos, esto quiere decir que para desarrollar una interfaz no es necesario implementar muchas líneas de código; por ejemplo tenemos la opción de insertar un botón, en el cual se puede insertar líneas de código para que se ejecute una determinada acción en el momento que el botón sea pulsado.

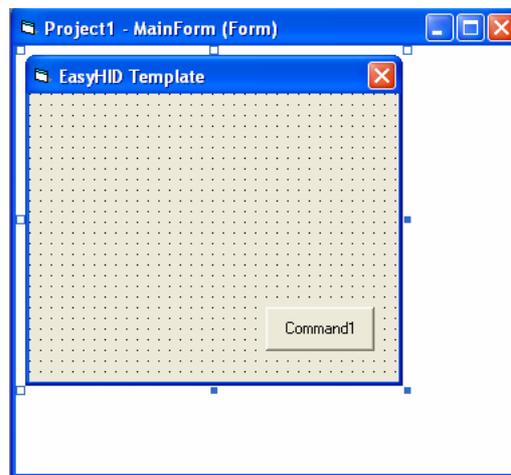


Fig. 3.59 MainForm del Programa.

En la **Fig. 3.59** se observa al formulario principal del programa, en donde se ha insertado un botón; en el momento en que se hace clic sobre él se ejecuta la siguiente rutina.

```

Project1 - MainForm (Código)
Command1 Click
' vendor and product IDs
Private Const VendorID = 6017
Private Const ProductID = 2000

' read and write buffers
Private Const BufferInSize = 8
Private Const BufferOutSize = 8
Dim BufferIn(0 To BufferInSize)
Dim BufferOut(0 To BufferOutSize)

Private Sub Command1_Click()
End Sub

' *****
' when the form loads, connect to the HID controller

```

Fig. 3.60 Rutina generada al pulsar el botón 1 (Command1).

Si utilizamos el botón 1 para poder transmitir un dato al microcontrolador es necesario insertar un valor en uno de los buffers, por ejemplo: *BufferOut(1)=1*, en la **Fig. 3.60** se indica donde insertar este código. Ahora para que el dato pueda ser enviado se requiere escribir a continuación lo siguiente:

hidWriteEx VendorID, ProductID, BufferOut(0).

Cuando el microcontrolador envíe un dato al computador es necesario verificar los buffers de entrada. Por ejemplo si el *BufferIn(2)=3* entonces ejecutar una determinada acción que es programada por el usuario.

A continuación se presentará la interfaz desarrollada en Visual Basic para comandar al dinamómetro electrónico TC200, se explicará la secuencia que se debe seguir y los parámetros que se deben ingresar para poder realizar las pruebas de tensión o compresión.

3.6.1 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DEL INTERFAZ DEL PROGRAMA.

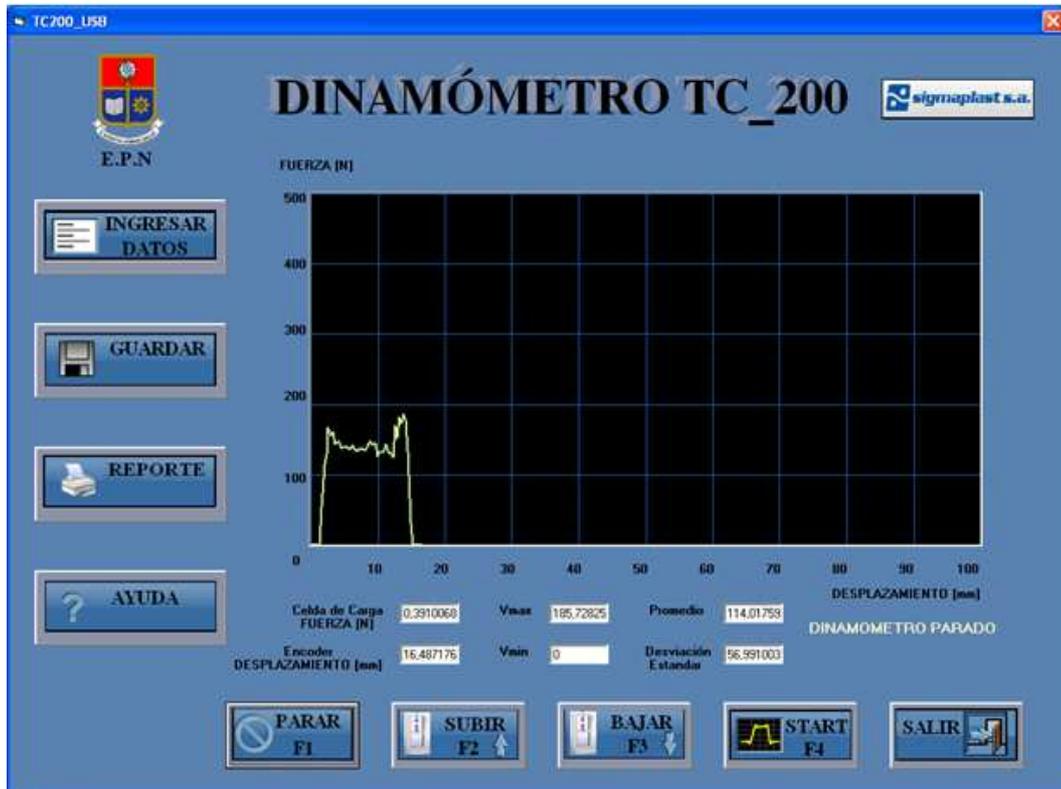


Fig. 3.61 Interfaz TC200_USB.

En la **Fig. 3.61** se aprecia la interfaz del programa que controla al dinamómetro electrónico TC200 vía USB. El mismo que está compuesto por botones de selección cada uno ejecutando una acción diferente, y cuenta con un cuadro de imagen en donde se visualiza la curva **Fuerza vs. Desplazamiento**.

En el diagrama de flujo de la **Fig. 3.56** se presenta la secuencia que sigue el programa desarrollado en Visual Basic.

3.6.1.1 Ingresar Parámetros.

Al igual que en el control local es necesario ingresar los parámetros para poder desarrollar un test, entre estos se tiene, el valor de la velocidad a la que se desplazará el cabezal móvil durante una prueba, la fuerza máxima esperada, el tipo de test a realizar.

Además ahora se tiene la opción de ingresar el nombre del producto que se va a analizar.

Fig. 3.62 Ingreso de Parámetros para desarrollo de las pruebas.

Al presionar el botón ingresar datos del formulario principal se despliega la pantalla de la **Fig. 3.62**, en donde se ingresan los parámetros para realizar las pruebas, estos parámetros son guardados en la memoria del programa.

3.6.1.2 Seleccionar Proceso.

Una vez ingresado los parámetros, ya se puede empezar a trabajar. En la interfaz del programa se observa cuatro botones ubicados en la parte inferior del mismo, estos son:

- **PARAR F1:** Detiene el cabezal superior cuando se encuentra en movimiento.
- **SUBIR F2:** Sube el cabezal superior.
- **BAJAR F3:** Baja el cabezal superior.
- **START F4:** Da inicio a una prueba
- **SALIR :** Sale del programa.

3.6.1.3 Envío de Datos del PC hacia el Microcontrolador PIC18F4550.

Los parámetros ingresados en el programa son transmitidos vía USB hacia el microcontrolador, el mismo que almacena estos valores y los incluye en su programa, de esta manera se puede realizar las pruebas bajo cualquier condición.

3.6.1.4 Ejecución del Proceso de Adquisición de Datos.

Cuando se pulsa el botón de **Start** empieza a graficarse la curva Fuerza vs. Desplazamiento. El PC le manda la orden al microcontrolador de empezar el proceso, este toma los valores de la celda de carga y del encoder, los procesa y los envía al computador. Este proceso continúa hasta que el usuario lo detenga.

3.6.1.5 Generación del Reporte.

Mientras se realiza una de las pruebas, es posible visualizar en tiempo real cual es el comportamiento del material, a la vez se visualiza en la pantalla algunos valores de forma continua tales como: el valor de la fuerza, el valor del desplazamiento, el valor máximo de Fuerza, el valor mínimo, y su promedio, mientras que el valor de desviación estándar se presenta en el momento que la prueba ha finalizado.

Al presionar el botón **Reporte** se visualiza en una sola pantalla con los datos obtenidos durante el proceso **Fig. 3.63**



REPORTE GENERADO	
PRODUCTO	Prueba de Laminación <small>Test de tensión</small>
VELOCIDAD	100
FUERZA	5
Valor Máximo	
Valor Mínimo	
Promedio	
Desviación Estandar	
ACEPTAR	

Fig. 3.63 Generación del Reporte.

Está información es muy importante almacenarla; así que cuando se presiona el botón **Guardar**, estos datos se transfieren al Excel, aquí se los puede guardar o imprimirlos. **Fig. 3.64.**

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3		SIGMAPLAST S.A				
4		CONTROL DE CALIDAD				
5						
6		PRODUCTO	PRUEBA E001			
7						
8		VELOCIDAD	100 [mm/min]			
9						
10		FUERZA	5 [N]			
11						
12						
13		VALOR MÁXIMO	185,72825 [N]			
14		VALOR MÍNIMO	0 [N]			
15		PROMEDIO	114,017595 [N]			
16		DESVIACIÓN ESTÁNDAR	56,9910031			
17						
18						
19						
20						

Fig. 3.64 Reporte Generado en Excel.

Por último si se pulsa el botón de ayuda se presenta la pantalla de la **Fig. 3.65**, en donde se proporciona una ayuda para manejar el sistema.

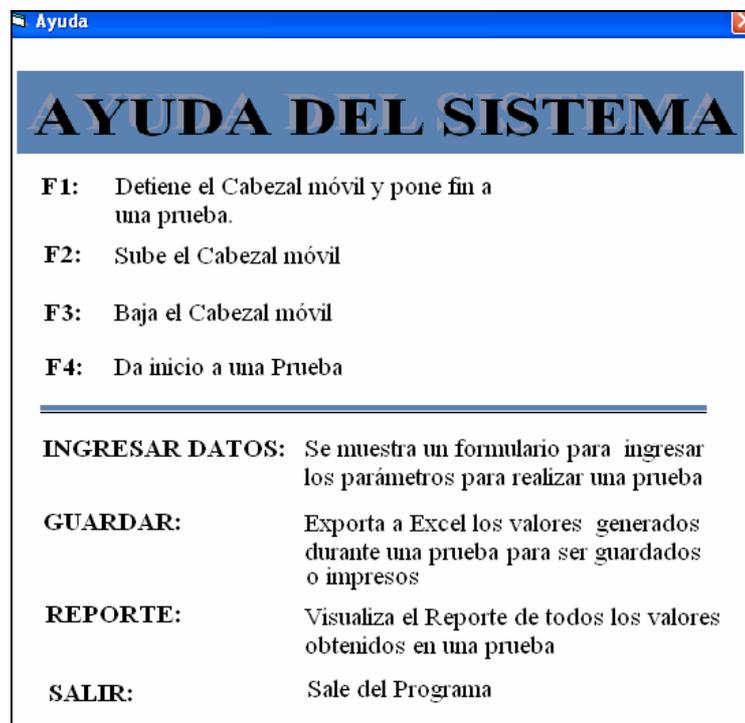


Fig. 3.65 Ayuda del Sistema.

3.7 FORMA DE PROGRAMAR EL MICROCONTROLADOR.

Una vez realizado el programa es necesario descargarlo desde el computador hacia el microcontrolador. Para ello se utilizará el programador GTPUSB Plus, y el compilador WINPIC800. En la **Fig. 3.66** se aprecia una fotografía del programador, este es un programador USB.

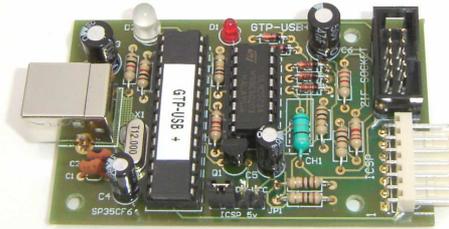


Fig. 3.66 Programador GTP_USB.

Al conectar el programador al computador, es necesario cargar el driver de este dispositivo para que funcione.

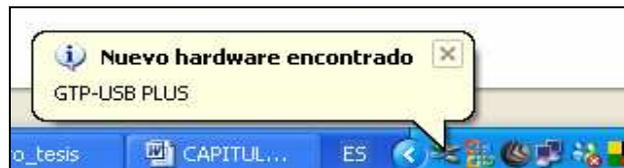


Fig. 3.67 Programador GTP – USB Plus detectado como nuevo hardware.

Cuando el programador esté instalado ya se puede programar el **PIC18F4550**, primero abrimos el WinPic800 y se selecciona el microcontrolador **18F4550**, se carga el archivo .Hex, y se procede a configurarlo.

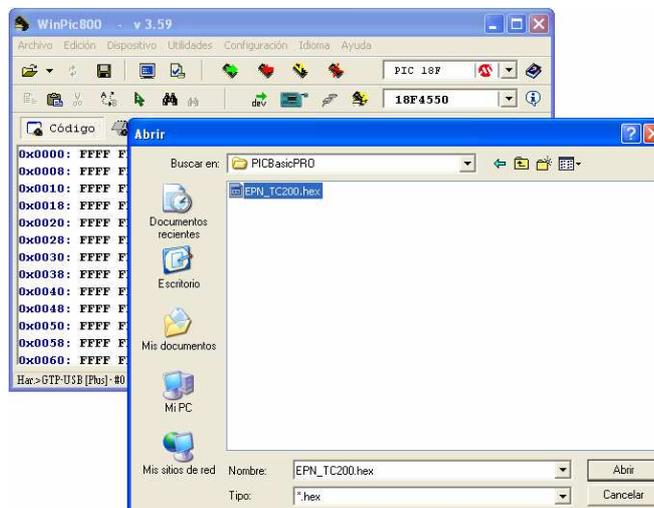


Fig. 3.68 Programando con el WinPic800

3.7.1 CONFIGURACIÓN DEL MICROCONTROLADOR.

Para que el microcontrolador funcione bien es necesario configurarlo de la siguiente manera.

CATEGORÍA	SELECCIÓN
Oscilador	HS Oscillator, PLL enable, HS Used USB
CPU System Clock Postscaler	96 MHz PLL div 2
96MHz PLL Prescaler (Selección del Oscilador)	Divided by 5 (20MHz input)
Fail Safe Clock Monitor Enable (FCMEM)	Deshabilitado
Internal External Switch Over Mode (IESO)	Deshabilitado
Watch Dog Timer	Deshabilitado
Watch Dog Postscaler	1:1
Brown Out Voltage	4.5V
Brown Out – Reset	Deshabilitado en Hardware and Software
CCP2 Mux (CCP2MX)	Habilitado
PortB A/D Enable (PBADEN)	Habilitado
Low Power Timer1 Osc Enable (LPT1OSC)	Deshabilitado.
Master Clear Enable (MCLRE)	Habilitado.
Low Voltage Program (LVP)	Deshabilitado.
VREGEN	Habilitado
USBPLL	Habilitado

TABLA 3.3 Descripción de los parámetros de configuración para el **PIC18F4550**.

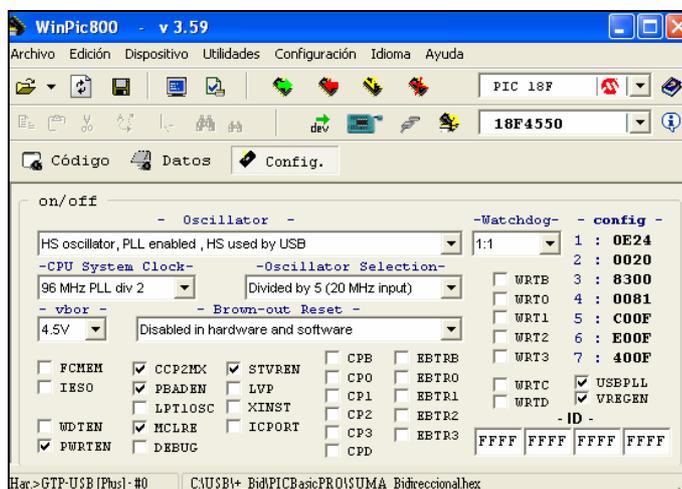


Fig.3.69 Configuración del microcontrolador en el WinPic800.

3.8 CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA.

La calibración, de acuerdo con el vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología (VIM).

“Es aquel conjunto de operaciones con las que se establece, en unas condiciones especificadas la correspondencia entre los valores indicados en el instrumento, equipo o sistema de medida, o por los valores representados por una medida materializada o material de referencia, con los valores conocidos correspondientes a una magnitud de medida o patrón, asegurando así la trazabilidad de las medidas a las correspondientes unidades básicas del Sistema Internacional (SI) y procediendo a su ajuste o expresando esta correspondencia por medio de tablas o curvas de corrección”.

De esta definición se deduce que para calibrar un instrumento o patrón es necesario disponer de uno de mayor precisión que proporcione el valor convencionalmente verdadero que es el que se empleará para compararlo con el valor del instrumento sometido a calibración. Esto se realiza mediante una cadena ininterrumpida y documentada de comparaciones hasta llegar al patrón, y que constituye lo que llamamos trazabilidad.

Así pues, la calibración puede implicar simplemente esta determinación de la desviación en relación a un valor nominal de un elemento patrón, o bien incluir la corrección (ajuste) para minimizar los errores.

3.8.1 OBJETIVO DE LA CALIBRACIÓN

El envejecimiento de los componentes, los cambios de temperatura y el estrés mecánico que soportan los equipos deteriora poco a poco sus funciones. Cuando esto sucede, los ensayos y las medidas comienzan a perder confianza y se resienten tanto el diseño como la calidad del producto. Esta realidad no puede ser eludida, pero sí detectada y limitada, por medio del proceso de calibración.

La correcta calibración de los equipos proporciona la seguridad de que los productos o servicios que se ofrecen reúnen las especificaciones requeridas.

Cada vez son más numerosas las razones que llevan a los fabricantes a calibrar sus equipos de medida, con el fin de:

- Mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos.
- Responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad.
- Garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.

En este proyecto la celda de carga es un dispositivo que sufre cambios en su estructura con el paso del tiempo, y obviamente por el uso al que es sometida; por tal motivo es necesario que se realice un proceso de calibración, para poder obtener valores confiables con el menor porcentaje de error.

3.8.2 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN.

Para la calibración se utilizó como referencia algunos materiales que fueron pesados en una balanza estandarizada. La idea es comparar el valor real de estos materiales con el valor que el dinamómetro nos muestra en el LCD.

#	PESAS (gf)	Valor Real (N)	Valor Medido (N)	% Error
1	184,442	1,80875	2,147	-18,7
2	125,142	1,22723	1,519	-23,77
3	111,097	1,08948	1,352	-24,1
4	51,277	0,50285	0,666	-32,45
5	47,561	0,46641	0,617	-32,29
6	46,857	0,45951	0,588	-27,96

Tabla 3.4 Tabla de valores para calibración

En la **Tabla 3.4** se observa los valores que tiene las pesas, tanto reales como medidos. El valor de 1 [N] = 101,9716213 gramos fuerza [gf], con esta referencia se calcula el valor en Newtons para todas las pesas.

Ahora colocándolas en el cabezal inferior del dinamómetro se obtuvieron los valores que se muestra en la tabla anterior, y se ha calculado el porcentaje de error.

Con todos estos datos se graficó las curvas (**N vs. gf**) del valor real y el valor medido con respecto a cada una de las pesas.

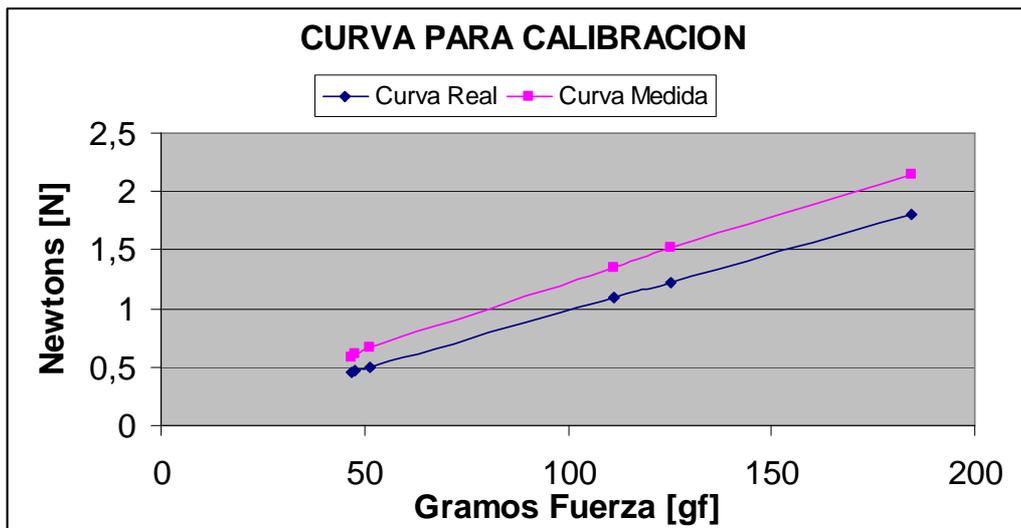


Fig. 3.70 Curva de Calibración

En la gráfica de la **Fig. 3.70** se muestra la tendencia lineal que tienen los valores obtenidos. La ecuación de cada una de las curvas se observa en la **Fig. 3.71**

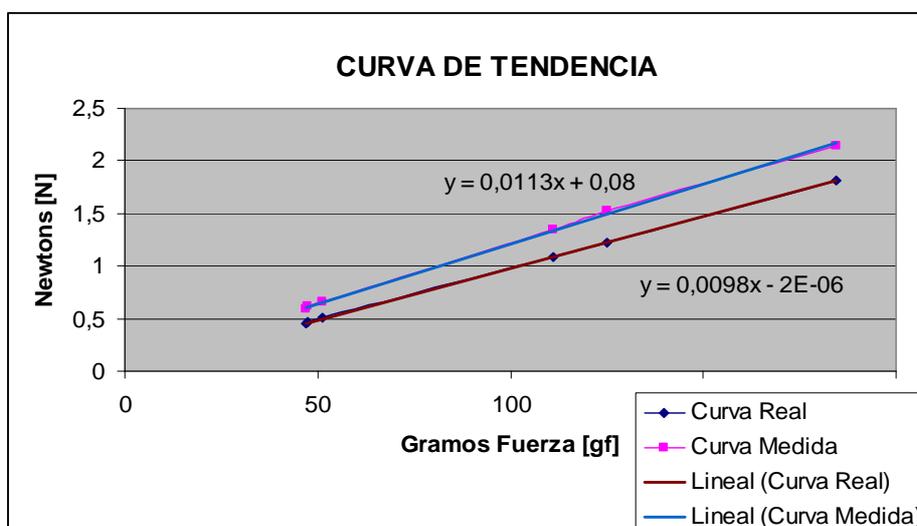


Fig. 3.71 Curva de Tendencia.

Con toda esta información se debe encontrar una relación matemática con la cual el microcontrolador pueda trabajar para corregir ese porcentaje de error que existe.

Como las dos ecuaciones tienen pendientes diferentes, va a existir un punto donde las dos curvas se corten y tengan valores similares, en este caso el punto de corte es aproximadamente en el origen.

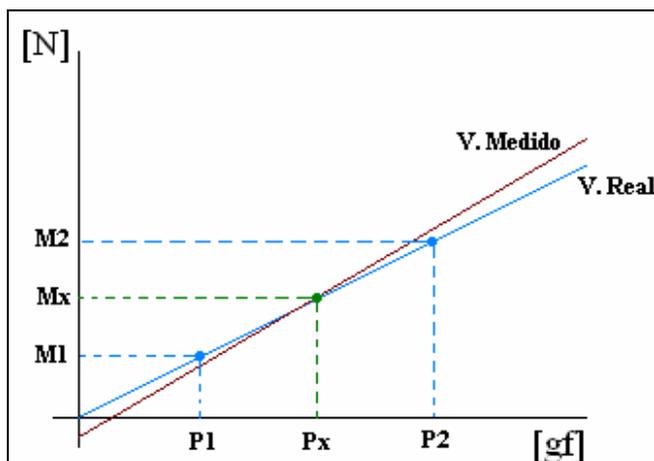


Fig.3.72 Curva para determinar relación matemática.

Pero la curva de los valores medidos puede cambiar su pendiente, así que en la **Fig.3.72** se observa una gráfica con dos curvas que se cortan en un punto común la una curva es de valores reales, y la otra de valores medidos.

La relación matemática obtenida es la siguiente:

$$P_x = \left(\frac{P_2 - P_1}{M_2 - M_1} \right) * (M_x - M_1) + P_1 \quad \text{Ec 3.1}$$

En donde:

P_x = Valor en gramos de una medida cualquiera.

M_x = Medida en Newtons de **P_x** dada por el equipo.

P_1 = Valor real en gramos de la pesa estándar 1

P_2 = Valor real en gramos de la pesa estándar 2

M_1 = Valor medido en Newtons de **P_1**

M_2 = Valor medido en Newtons de **P_2** .

Aplicando esta fórmula se obtiene los siguientes datos calibrados.

#	PESAS (gf)	Valor Real (N)	Valor Medido (N)	% Error	Valor Calibrado	% Error Calibrado
1	184,442	1,80875	2,147	-18,7	1,808	0,0414651
2	125,142	1,22723	1,519	-23,77	1,265	-3,077662704
3	111,097	1,08948	1,352	-24,1	1,12	-2,801336417
4	51,277	0,50285	0,666	-32,45	0,527	-4,802625037
5	47,561	0,46641	0,578	-23,93	0,458	1,803134581
6	46,857	0,45951	0,559	-21,65	0,434	5,551565798

Tabla 3.5 Tabla de valores calibrados.

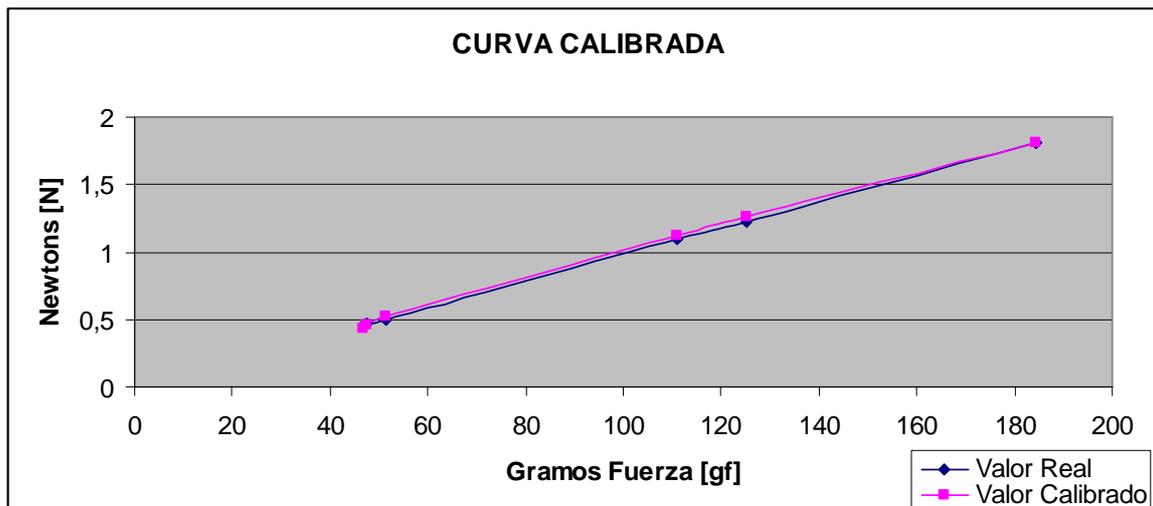


Fig.3.73 Representación de la Curva Calibrada.

Como se puede observar en la **Tabla 3.5** y en la **Fig.3.73** el porcentaje de error ha disminuido considerablemente y la curva calibrada tiende a seguir a la curva real.

Para el programa en el microcontrolador, se utilizará dos pesas para calibrar el sistema, ya que la curva es lineal, con dos valores es suficiente, se utilizará una pesa de 50gr y una pesa de 200gr.

En el microcontrolador se almacenarán el valor real de estas pesas y se compararan con el valor que nos genere el dinamómetro. Todos estos valores se guardarán en memoria EEPROM.

3.8.3 PROGRAMA DE CALIBRACIÓN GENERADO EN EL MICROCONTROLADOR.

En el microcontrolador la calibración se la realiza solamente en el control local,

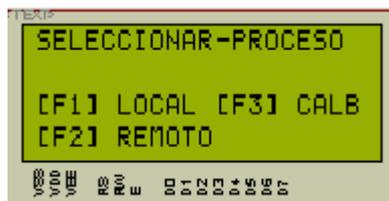


Fig.3.74 Proceso de Calibración

Al encender el equipo en la pantalla del LCD se visualiza la opción **[F3] CALB**, al ingresar en ella se realizará el proceso de calibración.



Fig.3.75 Ingresar al proceso de calibración

En la **Fig.3.75** se observa que si se presiona **F1** se ingresa al proceso y si se pulsa **F2** se sale del mismo.

Como protección del sistema se ha diseñado un método para ingresar una clave de usuario con la cual se podrá acceder al proceso de calibración.



Fig.3.76 Clave para acceder al Proceso de Calibración.

En la **Fig.3.76** se observa como ingresar la clave para iniciar la calibración, para ello se utiliza los pulsadores, con cada uno de estos se ingresa un número del 1 al 9. Cuando se pulsa el botón aceptar **F6** los valores ingresados con los pulsadores son comparados con la clave que se encuentra guardada en memoria EEPROM. Si la clave es verdadera se accede al primer paso del proceso de calibración; caso contrario se sale del sistema.

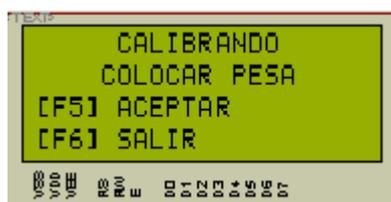


Fig.3.77 Iniciando Proceso de Calibración

En la **Fig.3.77** se observa la indicación de colocar la primera pesa, al presionar **F5** se almacena el valor medido de la primera pesa, al presionar **F6**, se sale del sistema.



Fig.3.78 Muestra Valor Medido.

En la figura **Fig.3.78** se muestra el valor medido de la primera pesa, que es el que se almacenará.



Fig.3.79 Calibrando.

En la **Fig.3.79** se indica que pulsando **F6** se procede a colocar la siguiente pesa, el programa regresa a la pantalla de la **Fig. 3.77**.

Se repite el proceso con la segunda pesa. Al final el programa sale por sí solo del proceso de calibración. Toma todas las variables y las utiliza durante el desarrollo de una prueba aplicando la fórmula anteriormente descrita para encontrar el valor de **Px**.

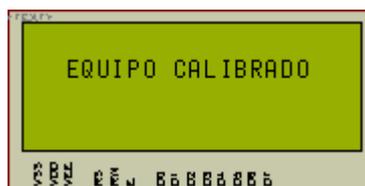


Fig.3.80 Mensaje de Equipo Calibrado.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 GENERALIDADES.

En este capítulo se describe los resultados obtenidos en algunas pruebas realizadas con el equipo. Además se ha realizado pruebas similares conectando nuevamente al dinamómetro electrónico TC200 con el sistema original.

4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.

Se realizaron las dos pruebas que el dinamómetro puede realizar que son las de tensión y de compresión. Para la prueba de tensión se utilizaron los siguientes materiales:

- Empaque flexible.



Fig. 4.1 Producto Prueba A

- Rollo de Plástico



Fig. 4.2 Producto Prueba B

- Envoltura de cable trenzado de 4 hilos.



Fig. 4.3 Producto Prueba C

Para el test de compresión se utilizó pequeños cilindros de cartón, que sirven para empacar algunos materiales que SIGMAPLAST produce.



Fig. 4.4 Producto Prueba D

4.2.1 DESARROLLO DE LA PRUEBA A

La prueba se realizó con un empaque flexible, este es el material que SIGMAPLAST analiza para un control de calidad. La envoltura está compuesta de dos capas plásticas que se hallan pegadas, la idea es determinar cual es la resistencia del material cuando se intenta despegarlo. En la prueba separamos un poco estos materiales y los colocamos en los extremos de los cabezales, y ejecutamos el proceso de **delaminación**.

Esta prueba se realizó a una velocidad de 50 [mm/min.]

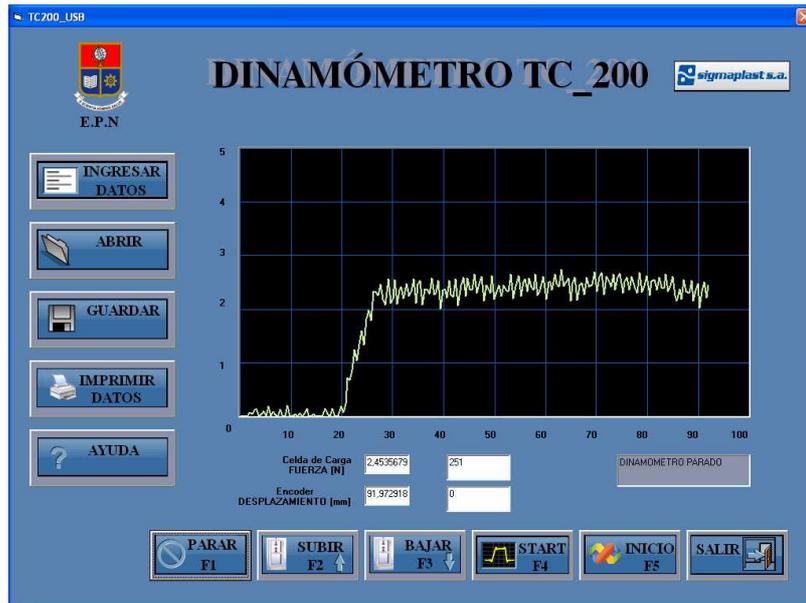


Fig. 4.5 Prueba A (Delaminación).

Se realizó una prueba con un material similar, pero utilizando el programa original que comandaba al dinamómetro. En la **Fig. 4.6** se observa la gráfica obtenida.

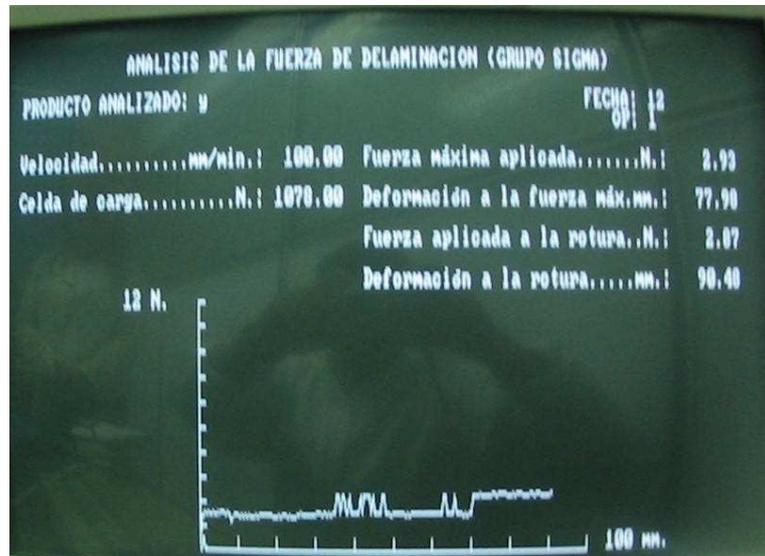


Fig. 4.6 Prueba realizada por el sistema original.

4.2.2 DESARROLLO DE LA PRUEBA B

En la prueba B se utilizó un trozo de plástico, **Fig. 4.2**, la velocidad a la que se desplaza el cabezal es de 50 [mm/min.]

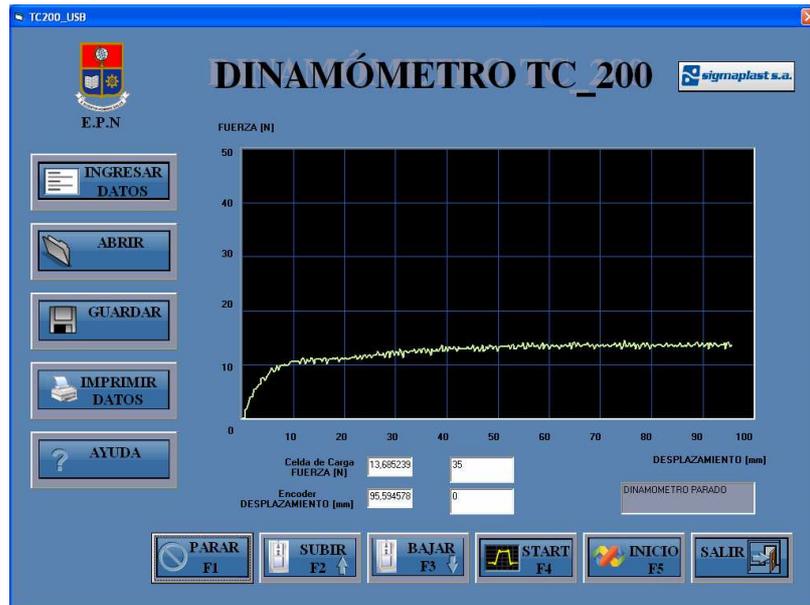


Fig. 4.7 Prueba B (Tensión).

En esta prueba se cuantifica la resistencia del material hasta la ruptura. En la Fig. 4.7 se observa la gráfica de esta prueba.

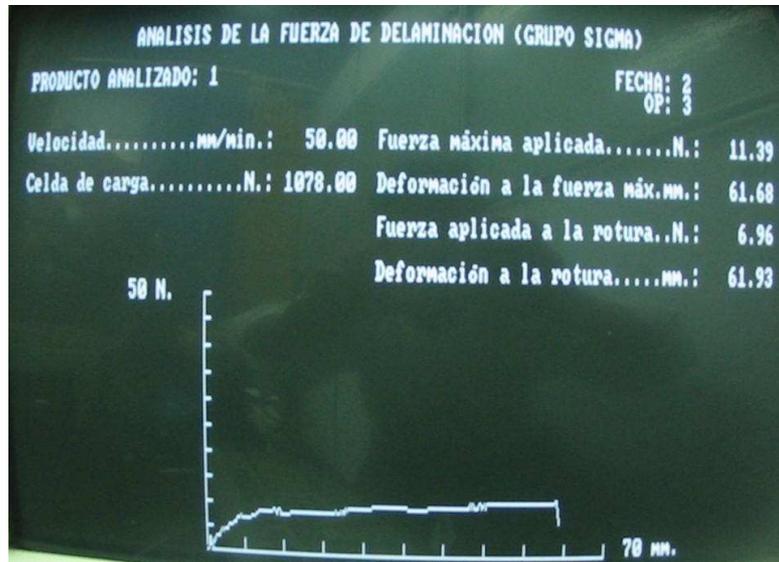


Fig. 4.8 Prueba realizada por el sistema original.

4.2.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA C

Ésta prueba se realizó con el material de la Fig. 4.3, este material es de mayor resistencia que los anteriores, es una envoltura de cable trenzado multipar, se realizó el test de tensión a una velocidad de 50 [mm/min].

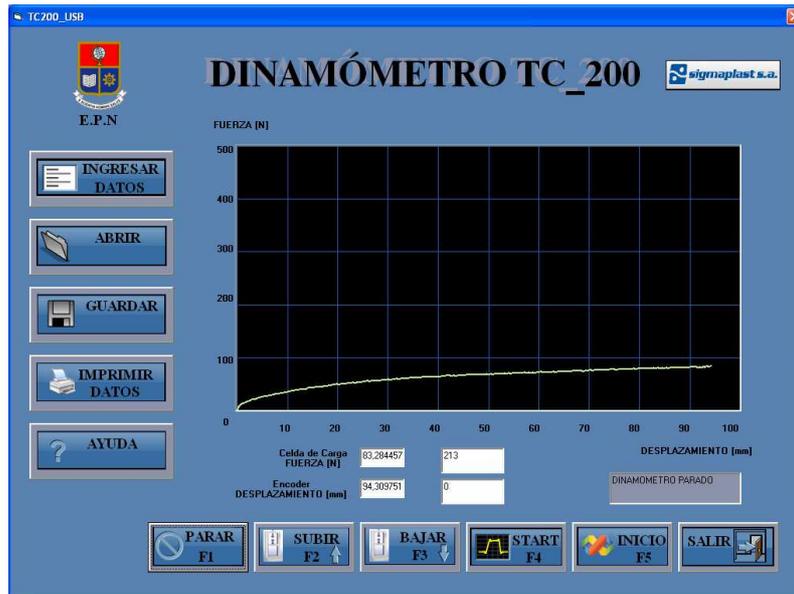


Fig. 4.8 Prueba C

Como se puede observar está prueba supera el rango de los 50 [N].

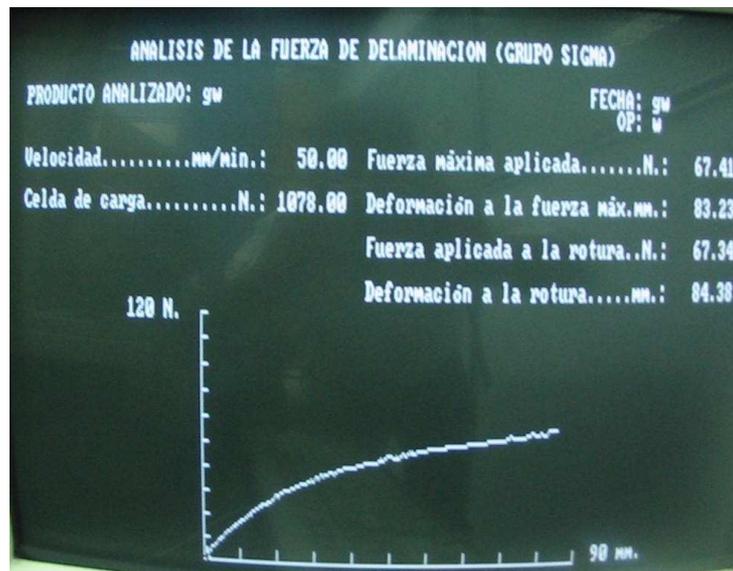


Fig. 4.9 Prueba realizada por el sistema original

En todas las pruebas se observa que la gráfica se auto - escala dependiendo del valor de la fuerza.

4.2.4 DESARROLLO DE LA PRUEBA D

La última prueba realizada es la de compresión para ello se utilizó un pequeño cilindro de cartón de 9 cm. de diámetro y 1cm de espesor **Fig. 4.4**, este material sirve para empacar las diferentes envolturas producidas pro SIGMAPLAST.

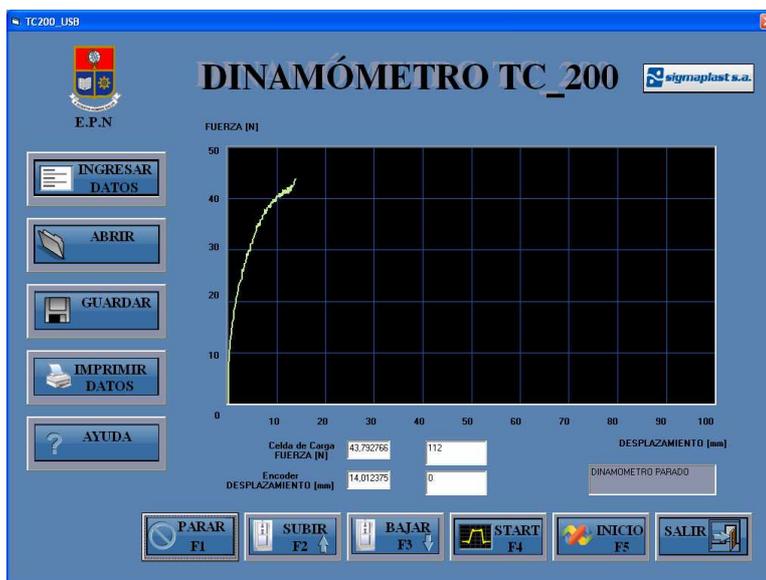


Fig. 4.10 Prueba D.

La forma de Onda de esta prueba se observa en la **Fig. 4.10** y en la figura **Fig. 4.11** se observa la gráfica obtenida en el proceso original.

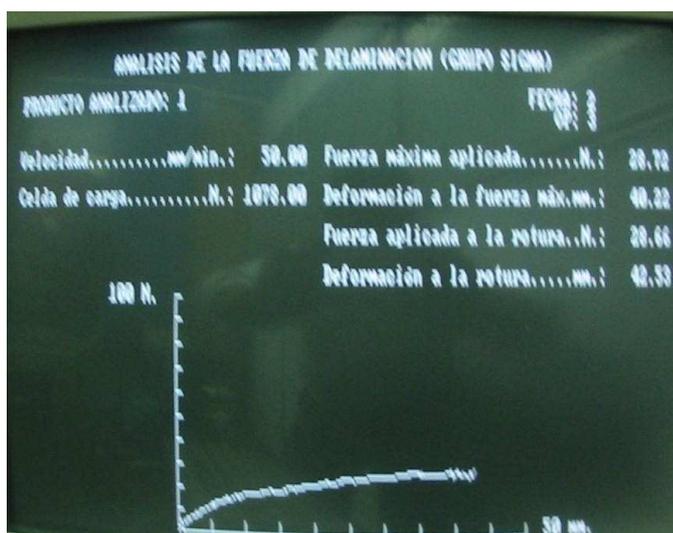


Fig. 4.11 Prueba realizada por el sistema original



Fig. 4.12 Dinamómetro TC200 realizando una Prueba de Tensión



Fig. 4.13 Dinamómetro TC200 realizando una Prueba de Compresión.



Fig. 4.14 Equipo terminado.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La elaboración e investigación del proyecto “Diseño y Construcción de la Tarjeta de Adquisición de Datos y de la Interfaz Hombre Máquina para el Dinamómetro Electrónico TC200 de la empresa SIGMAPLAST S.A.”, genera las siguientes conclusiones, basándonos en los resultados obtenidos.

5.1 CONCLUSIONES.

El objetivo de este proyecto era desarrollar un sistema vía hardware y software de Adquisición de Datos para el dinamómetro electrónico TC200, el mismo que se cumplió en todo aspecto.

Se desarrolló una tarjeta de Adquisición de Datos que realiza todas las tareas que el computador original desempeñaba, pero tomando muchas más consideraciones, sobretodo en lo que a las protecciones del equipo se refiere.

Se agregó un nuevo sistema de protección magnética que protege a la celda de carga si la protección mecánica llegase a fallar. Por otro lado se tiene una protección vía software en donde la máquina se detiene si el valor de fuerza dado por la celda de carga supera los 200[N], a pesar de que el dinamómetro puede trabajar hasta 400 [N]. Esto se implemento a pedido del Área de Control de Calidad de SIGMAPLAST; pues las pruebas que ellos realizan no superan los 200[N], y de esta manera se protege a la celda de una posible unión de los cabezales.

El nuevo sistema funciona mejor que el original, pues se agregaron funciones que el anterior sistema no contaba; como por ejemplo poder imprimir el reporte generado en las pruebas, obtener datos estadísticos como son el valor máximo, el valor mínimo, el promedio, y la desviación estándar de los valores de fuerza obtenidos. Obtener estos valores fue otra de las peticiones que SIGMAPLAST realizó, pues ellos cuentan con un nuevo dinamómetro que realiza todas estas tareas.

Otra de las mejoras es que se diseñó un software con una interfaz gráfica con mayores prestaciones que la original, la misma que trabajaba en el entorno de DOS.

La generación de la curva *Fuerza vs. Desplazamiento* se genera en tiempo real, esta es otra de las ventajas del nuevo sistema, ya que el anterior presentaba la gráfica una vez finalizada la prueba.

El nuevo software se lo desarrolló en Visual Basic, ya que SIGMAPLAST cuenta con las licencias de este programa, este es un aspecto muy importante ya que ellos no pueden trabajar con programas ilegales.

El programa ha sido empaquetado y se ha generado un ejecutable, lo cual permite instalar este software en cualquier computador sin la necesidad de tener instalado Visual Basic.

El nuevo sistema se comunica con el computador vía USB, lo que garantiza una transmisión de datos segura, dadas las ventajas que este protocolo tiene.

Una ventaja del nuevo sistema es que cuenta con un HMI local el cual le permite manejar la máquina sin necesidad de conectar el computador algo que en el sistema anterior no era posible, el operario manipula el equipo en base a pulsadores y los parámetros de ingreso y visualización de resultados se los tiene en un LCD de 20 caracteres x 4 líneas.

Y quizás uno de los puntos más relevantes es que se diseñó un sistema de calibración para la celda de carga, con lo cual se garantiza que los datos obtenidos tienen un margen de error muy pequeño si lo comparamos con valores estándares.

Además se corrigió errores que el sistema original tenía como: si el equipo se encontraba trabajando y se cortaba la alimentación, el momento en que se reestablecía el dinamómetro seguía operando, lo que ocasionaba que el cabezal empiece a bajar, y si por algún motivo la protección mecánica fallaba la celda de carga se dañaba.

En el nuevo sistema esto no es problema, ya que en el momento en que el equipo se acciona por seguridad se ejecuta la acción de paro del sistema, garantizando que sólo funcionará cuando reciba una orden del operario.

Otro error que tenía el sistema original, es que la tarjeta electrónica integrada en el computador no enviaba los datos de velocidad exactos al equipo para movilizar el cabezal, algo que se corrigió y ahora el cabezal se desplaza a una velocidad de 1 a 500 [mm/min.], con exactitud.

La tarjeta de adquisición de datos tiene una dimensión de 10cm x 10cm, su tamaño reducido posibilita colocarla junta a las tarjetas electrónicas del dinamómetro.

Se explotó al máximo al microcontrolador **PIC18F4550**, ya que se han utilizado sus 40 pines, y además se han tomado consideraciones en el diseño electrónico para garantizar que el sistema sea muy estable.

No se hicieron cambios en el hardware original, lo que posibilita reconectar el computador anterior y trabajar sin problemas. Lo que se realizó en el nuevo sistema es tomar todas las señales de los sensores y diseñar un sistema que se acople a las tarjetas electrónicas del dinamómetro, de esta manera es posible retirar en su totalidad al computador original.

5.2 RECOMENDACIONES.

Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo del equipo y de las tarjetas electrónicas de manera periódica, ya que de esta forma se garantizará su funcionamiento.

Se aconseja no manipular los sensores magnéticos y los ópticos que forman parte de las protecciones del equipo, pues esto puede generar que no se activen y el sistema quedaría desprotegido.

Es indispensable que el personal que vaya a manejar el equipo, reciba una capacitación de cómo operarlo.

En lo que al software se refiere, se recomienda que sea instalado en un sistema operativo que cuente con los todos drivers USB.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

CEBALLOS, Francisco Javier, Curso de Programación de Visual Basic 6.0, Alfaomega, México, 2002

REYES, Carlos, Aprenda rápidamente a programar Microcontroladores PIC, GA (Gráficas Ayerve c.a), Quito Ecuador, 2004

Folletos

- Manual del Dinamómetro Electrónico TC200
- PIC18F4550 Datasheet Microchip.
-

Páginas WEB

- | | |
|---|---------------------------------------|
| http://es.wikipedia.org/wiki/USB | <i>(Tutoriales USB)</i> |
| http://www.usb.org/home | <i>(Página Principal USB)</i> |
| http://msdn2.microsoft.com/en-us/default.aspx | <i>(Ayuda Visual Basic)</i> |
| http://www.microchip.com | |
| http://www.mecanique.co.uk/code-studio/ | <i>(PicBasic)</i> |
| http://www.alldatasheet.com/ | <i>(datasheets de componentes)</i> |
| http://www.freewebs.com/glafebre/ | <i>(tutoriales conexión pc – usb)</i> |