



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO
TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Construcción de un viscosímetro de cilindros concéntricos con rodamiento mecánico

Benjamín Valera Orozco
Jonathan Arenas Aguirre
Gabriel Ascanio Gasca
Gerardo Antonio Ruiz Botello

Septiembre 2013

Proyecto interno

Construcción de un viscosímetro de cilindros concéntricos con rodamiento mecánico

Benjamín Valera Orozco, Jonathan Arenas Aguirre, Gabriel Ascanio Gasca, Gerardo Antonio Ruiz Botello

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México,
Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria AP 70-186, C.P. 04510, México D.F. México

Resumen

En el presente informe se presenta un viscosímetro de cilindros concéntricos en donde uno de los cilindros está conectado a la flecha de un motor de CD y el otro gira libremente mediante un rodamiento mecánico. En este caso la viscosidad del fluido se interpreta como la fuerza que ejerce el cilindro giratorio sobre un sensor de fuerza. En este equipo se ha integrado un sistema electromecánico empleando técnicas de diseño de sistemas digitales sobre la base de un microcontrolador PIC18F4550 con interface USB y un sistema mecánico que integra la experiencia adquirida de desarrollos previos. La relevancia del presente desarrollo radica por un lado, en que el instrumento se diseñó y construyó con base en dispositivos y herramientas básicas para facilitar su incursión en el mercado nacional, y por el otro lado, la aportación al desarrollo de la tecnología propia la cual puede ser transferida al sector industrial.

ÍNDICE

Introducción.	4
Definición del problema.	4
Antecedentes.	4
Descripción del problema a resolver.	4
Relevancia y limitaciones.	4
Relación con otras áreas.	4
Método.	5
Objetivos y resultados esperados.	6
Organización del informe.	6
 1 Descripción del viscosímetro.	 7
1.1. Esquema general.	7
1.2. Componente electrónica.	7
1.2.1. Control de velocidad.	8
1.2.2. Medición de fuerza.	9
1.2.3. Sistema de posicionamiento.	10
1.2.4. Interfaz con el usuario local y remota.	11
1.2.5. Descripción del algoritmo de control y medición.	11
1.3. Componente mecánica.	13
 2 Software de operación.	 15
2.1. Descripción en el ámbito del usuario.	15
2.1.1. Instalación.	15
2.1.2. Operación.	20
2.2. Descripción en el ámbito del programador.	21
2.2.1. Enlace de los componentes.	21
2.2.2. Descripción de las clases.	21
2.3. Procedimiento típico de operación.	26
2.3.1. Modo local.	26
2.3.2. Operación remota.	27
 3 Resultados y discusión.	 28
3.1. Resultados.	28

3.1.1. Prototipo electromecánico.	28
3.1.2. Calibración de la galga.	28
3.1.3. Medición de la viscosidad.	29
3.2. Discusión.	31
Conclusiones.	32
Anexo A. Componente electrónica.	33
A.1. Diagrama esquemático.	33
A.2. Circuito impreso.	35
A.3. Lista de material.	38
Anexo B. Componente mecánica.	40
B.1. Planos.	40
B.2. Lista de material.	53
Referencias.	54
Estructura de directorios del disco compacto	
CodigoFuente	
PIC	
VisualC	
Programa	
Manejadores	

Introducción.

La viscosidad es un indicador altamente sensible al cambio en la calidad de un producto y es reconocido como uno de los parámetros más importantes a medir en diversos procesos industriales, como en la elaboración de alimentos, pinturas, plásticos y medicamentos. En términos generales, la viscosidad es la resistencia de un líquido a fluir y se puede concebir como una medida de la fricción que poseen los fluidos.

Definición del problema.

En el presente trabajo se plantea desarrollar un equipo para la medición de viscosidad con base en dos cilindros concéntricos en donde uno de ellos tiene libertad de giro angular y contiene al fluido y el otro gira impulsando al fluido, conectado a la flecha de un motor mediante un acoplamiento rígido. La fricción del fluido se interpreta como el par que ejerce el cilindro giratorio sobre un sensor de fuerza y brazo de palanca previamente establecido.

Antecedentes.

Para la medición de viscosidad se tiene como antecedente el viscosímetro portátil desarrollado anteriormente y descrito ampliamente en [Nava, 2008]. En éste trabajo el sistema está desarrollado con base al principio del viscosímetro de cilindro, en donde un rotor, impulsado por un motor CD, gira con relación a un estator y entre ambos es contenido el fluido por analizar. En este esquema, el fluido opone resistencia al giro del rotor y demanda mayor consumo de corriente en el motor. Se demuestra que la corriente y viscosidad conservan una relación lineal dentro de un intervalo de 0.003 Pas a 0.27 Pas. Las variaciones de corriente son detectadas por un sistema electrónico y transformadas a unidades de viscosidad. Las mediciones del sistema electrónico son transportadas a una computadora huésped por medio de la conexión USB. El software en la computadora puede registrar lecturas en intervalos de tiempo programados y posteriormente enviarlas a Excel con fines de análisis

Descripción del problema a resolver.

La experiencia anterior en el desarrollo de un viscosímetro portátil ha conducido a proponer un sistema electromecánico para la medición de viscosidad que cumpla con las siguientes características:

- Facilitar el posicionamiento de la muestra de fluido.
- Incrementar la división mínima con respecto al desarrollo anterior.
- Interface electrónica USB a computadoras personales.

Por otra parte, el concepto que deseamos desarrollar es que la medición de viscosidad sea realizada con apego a su definición formal.

Relevancia y limitaciones.

La relevancia del presente proyecto radica en el apoyo a la creación de infraestructura de desarrollo propio que puede ser transferida.

Adicionalmente, cabe señalar que el equipo se desarrolla con las especificaciones de funcionalidad descritas en el apartado anterior debido a que nos están definidos los parámetros de rango y resolución.

Se espera que con la experiencia obtenida en el presente proyecto se puedan definir estos parámetros y establecerlos como criterios de diseño en versiones futuras.

Relación con otras áreas.

Existe una gran relación con las áreas de diseño mecánico, sistemas electrónicos digitales, programación de computadoras y medición e instrumentación.

Método.

El método a emplear tiene como base el viscosímetro de cilindros concéntricos con rodamiento mecánico y medición de par mecánico que se muestra en la figura 1.

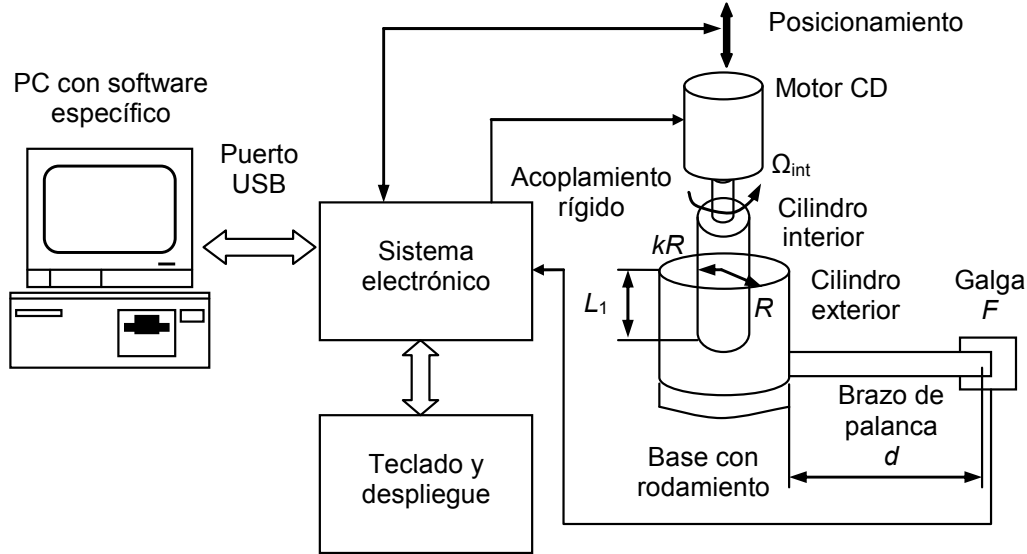


Figura 1. Sistema electromecánico para el análisis de fluidos.

En apego a la definición de viscosidad, el fluido de prueba es sometido al esfuerzo cortante generado por el movimiento relativo entre los cilindros exterior e interior de la figura 1. En éste esquema, el cilindro interior gira a velocidad constante Ω_{int} propiciando que el cilindro exterior se desplace angularmente debido precisamente a la viscosidad del fluido. El cilindro exterior puede desplazarse libremente hasta el tope del brazo de palanca con la galga debido a un rodamiento mecánico que, para propósito del presente trabajo, se considera sin fricción. La galga detecta el esfuerzo cortante F debido al par de torsión con longitud de brazo de palanca d . Se puede demostrar que en este esquema de medición la viscosidad está dada por [Bazan, 2007]

$$\mu = \frac{Fd}{4\Omega_{int}\pi R^2 L_1} \left(\frac{1-k^2}{k^2} \right) \quad (\text{Pa s}) \quad (1)$$

En donde

- F =fuerza de la galga (N)
- d =longitud del brazo de palanca (m)
- Ω_{int} =velocidad angular del cilindro interior (s^{-1})
- R =radio interior del cilindro exterior (m)
- kR =radio exterior del cilindro interior (m)
- L_1 =altura de la superficie cilíndrica del cilindro interior (m)

Para facilitar el posicionamiento de la muestra sobre el cilindro exterior, se cuenta con un mecanismo que permite subir y bajar el cilindro interior.

El sistema electrónico, con base en el microcontrolador PIC18F4550, realiza las siguientes tareas:

- Gobierna el algoritmo de medición al digitalizar el voltaje de la galga F .
- Controla el sistema de posicionamiento mediante un moto-reductor y detector de posición.

- Controla la velocidad de rotación Ω_{int} del cilindro interior mediante un motor CD y codificador óptico angular.
- Manipula la interface local con el usuario, teclado y despliegue.
- Manipula la interface remota con una computadora a través del puerto USB.

Objetivos y resultados esperados.

Con el sistema propuesto se podrá comprobar el concepto de medición de viscosidad utilizando el esquema de cilindros concéntricos con medición de par mecánico.

Organización del informe.

En la sección 1 se presentan los detalles de la implementación electrónica, mecánica y algoritmo de medición. La sección 2 muestra la descripción del software desarrollado en Visual C 2008 que soporta el hardware y realiza la medición de viscosidad. Además, se presenta el procedimiento típico para realizar una rutina de operación con el sistema desarrollado. Finalmente la sección 3 contiene los resultados, discusión y posibles líneas de trabajo a futuro. Se incluyen anexos y CD con la información complementaria.

1. Descripción del viscosímetro.

En la presente sección se describe el sistema electromecánico propuesto para la medición de viscosidad. El sistema desarrollado utiliza como base un sistema electrónico con microcontrolador y su diseño robusto evita vibraciones.

1.1. Esquema general.

El presente proyecto se organizó en tres componentes: electrónica, mecánica y programación. La figura 2 muestra el esquema general.

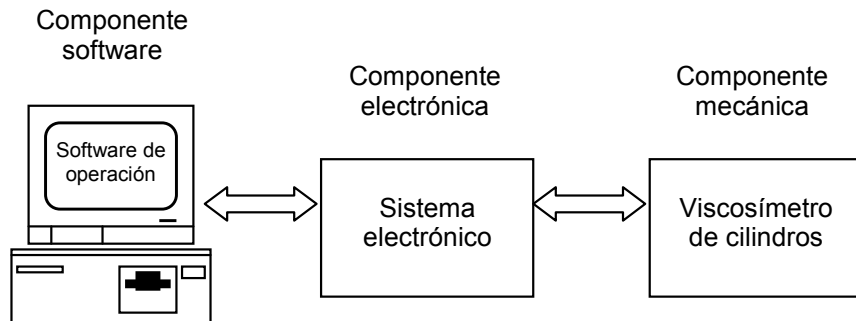


Figura 2. Esquema general del prototipo electromecánico.

La configuración propuesta permite la medición de la viscosidad al registrar la fuerza en la galga F y la velocidad angular Ω_{int} . La velocidad angular es controlada en un esquema realimentado con control exclusivamente proporcional de manera que se establece un factor aceptable de error a expensas de incrementar el tiempo de estabilización (aproximadamente 10s). El sistema proporciona lecturas de fuerza en una galga de 600 gr con 10 bits de resolución y velocidad angular mediante el conteo de posición angular de un codificador de 1024 cuentas/revolución y contador de 24 bits. El sistema puede operarse de manera local a través de un teclado y despliegue o de manera remota a través de una computadora con conexión USB.

En resumen, el usuario incrementa o disminuye la velocidad angular y obtiene lecturas de velocidad angular y fuerza.

En las siguientes secciones se describen las componentes electrónica y mecánica. La componente software se describe en la sección 2.

1.2. Componente electrónica.

El sistema electrónico es la base hardware para el control y registro de las tareas que desempeña directamente la componente mecánica sobre los fluidos por analizar. El sistema electrónico fue desarrollado con base en un microcontrolador PIC18F4550 [Microchip, 2007] y dispositivos periféricos para interconectar los actuadores y transductores que se muestran en la figura 3.

El actuador M1 es un moto-reductor de corriente directa de 330 rpm a 18 V sin marca ni modelo y es utilizado para impulsar el cilindro interior mediante acoplamiento fijo. El actuador M2 es un moto-reductor de corriente directa de 100rpm a 12V sin marca ni modelo y es utilizado para subir y bajar el motor M1 y cilindro interior de manera que se pueda posicionar fácilmente en el fluido por analizar. El transductor que indica la posición del motor M1 y cilindro interior sobre el fluido es un detector óptico On/Off. El transductor de fuerza es una galga extraída de una báscula de 600gr marca Ohaus serie YS. El transductor de velocidad angular es un codificador marca USDigital E3-1024-250-I-H-D-3 de 1024 cuentas por revolución.

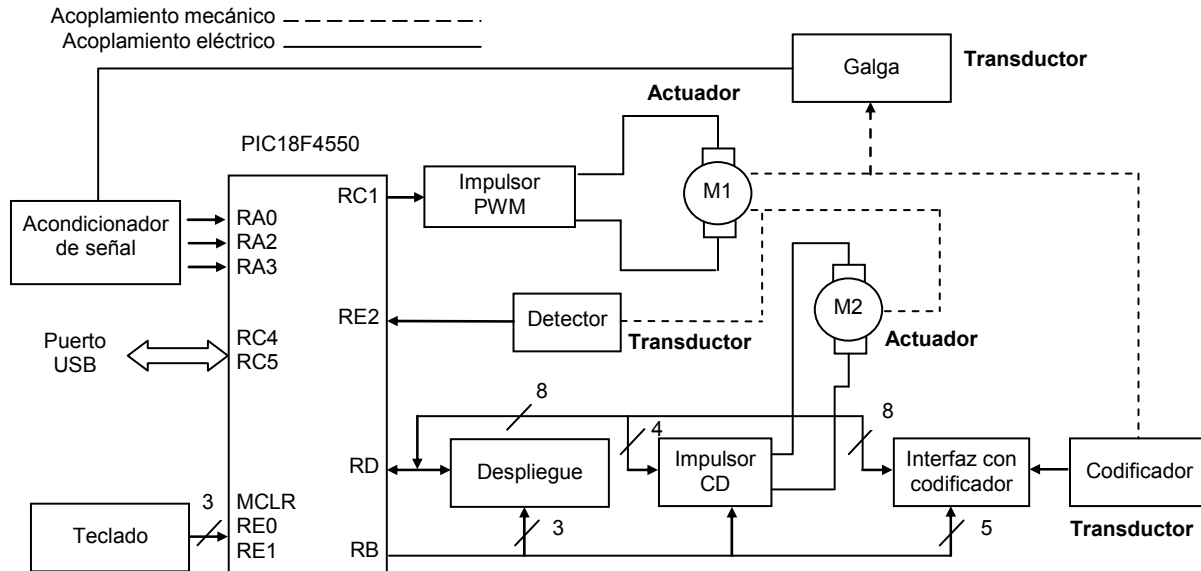


Figura 3. Esquema general del sistema electrónico.

El sistema electrónico realiza las siguientes funciones principales:

- Control de velocidad del motor M1.
- Medición de fuerza de la gala.
- Control del sistema de posicionamiento.
- Interfaz con el usuario local y remota.

A continuación se describen los detalles de cada uno de los subsistemas.

1.2.1. Control de velocidad.

El control preciso de la velocidad angular en un viscosímetro de cilindros concéntricos es un parámetro importante del cual depende la estabilidad de la medición. Con esta idea, se implementó un control de velocidad en lazo cerrado bajo un esquema de control proporcional como se muestra en la figura 4.

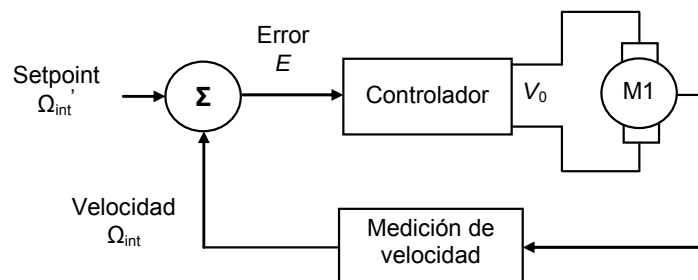


Figura 4. Esquema para el control de velocidad de lazo cerrado.

El objetivo del controlador es hacer que el error E tienda a cero, mediante la acción proporcional para el voltaje de alimentación del motor V_0

$$V_0 = K E$$

En donde

K =constante de proporcionalidad

Sustituyendo el valor del error

$$V_0 = K(\Omega_{int}' - \Omega_{int}) \quad (2)$$

De manera que cuando el error es cercano a cero, el motor no recibe voltaje V_0 , y cuando el error es grande, el voltaje en el motor crece. De esta manera se consigue que la velocidad en el motor Ω_{int} sea igual a la velocidad deseada o setpoint Ω_{int}'

El circuito electrónico que se implementó para el control de velocidad anterior se muestra en la figura 5.

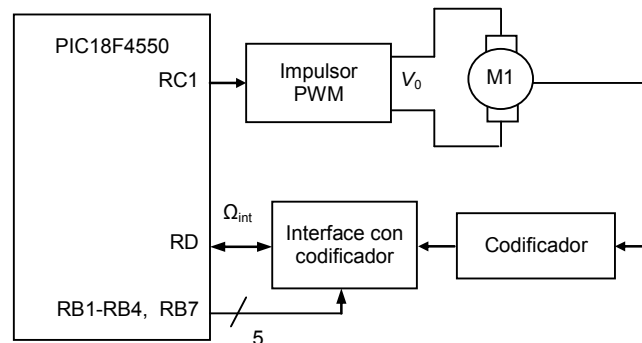


Figura 5. Circuito para el control de velocidad.

El microcontrolador PIC18F4550 genera y recibe datos de un circuito de interface entre microprocesador y codificador óptico LS7266R1 [US Digital, 2006] a través del bus de datos RD y el bus de control RB. Con este esquema, el microcontrolador conoce la posición del codificador óptico angular E3-1024-250-I-H-D-3 [US Digital, 2012] y de la posición se obtiene la velocidad al derivar con respecto al tiempo.

La salida de voltaje modulado por ancho del pulso, PWM del puerto RC1 se aplica a un impulsor LMD18201 [Texas Instruments, 2011] que le proporciona potencia y genera el voltaje V_0 en el motor M1.

Los detalles de la implementación se muestran en el anexo A.1.

1.2.2. Medición de fuerza.

Para la medición de fuerza se utilizó una galga extraída de una báscula de 600gr marca Ohaus serie YS. El circuito de conexión entre la galga y el microcontrolador con convertidor analógico a digital de 10 bits se muestra en la figura 6.

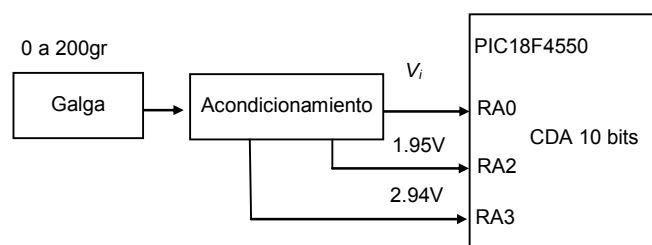


Figura 6. Acondicionamiento de la señal de la galga.

Con relación a la figura 6, la referencia de voltaje baja es $V_{RL}=1.95V$ y la referencia de voltaje alta es $V_{RH}=2.94$. El circuito de acondicionamiento se diseña para cubrir la escala de voltaje anterior con 10 bits de resolución y 0 a 200gr de fuerza, lo que proporciona las siguientes características a la medición de fuerza

$$\text{Alcance} = 200(\text{gr})$$

$$\text{Resolucion} = \frac{200\text{gr}}{2^{10}} \approx 0.2\text{gr}$$

La relación ideal entre voltaje y fuerza se muestra en la tabla 1

Masa (kg)	V_i (V)	V_i (Hexadecimal)
0	1.95	0
0.2	2.94	1024

Tabla 1. Relación fuerza-voltaje.

Lo que proporciona la siguiente ecuación

$$\text{Masa}(\text{kg}) = \frac{0.2}{1024} V_i(\text{Hexadecimal}) \approx 0.0002 V_i(\text{Hexadecimal}) \quad (3)$$

La ecuación 3 debe ser depurada mediante una calibración para disminuir efectos de deriva electrónica y mecánica.

El circuito de acondicionamiento de señal tiene como base el amplificador de instrumentación AD620 [Analog Devices, 1999] y referencias de voltaje con divisores de tensión.

Los detalles de la implementación se muestran en el anexo A.1.

1.2.3. Sistema de posicionamiento.

Para posicionar el conjunto de motor M1 y cilindro interior sobre el fluido por analizar, se diseñó un sistema mecánico con tornillo sin fin impulsado por un moto-reductor de CD M2. La posición final sobre la muestra se detecta con un opto-interruptor como se muestra en la figura 7.

El microcontrolador genera hasta cuatro salidas de CD en el bus multiplexado RD de datos más un bit de control en RB0. El circuito impulsor CD contiene un circuito integrado L293 conteniendo cuatro puentes H [Texas Instruments, 2002].

El arreglo mecánico arrastra un obturador que, cuando llega a la posición del fluido, genera la señal en RE2 mediante el detector óptico.

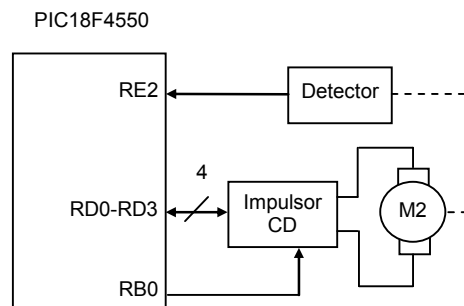


Figura 7. Circuito para la medición de velocidad angular.

Los detalles de la implementación se muestran en el anexo A.1.

1.2.4. Interfaz con el usuario local y remota.

La interfaz local del sistema con el usuario consiste de un despliegue compatible con AND 491 [AND, 1991] y un teclado de tres botones, como se muestra en la figura 8.

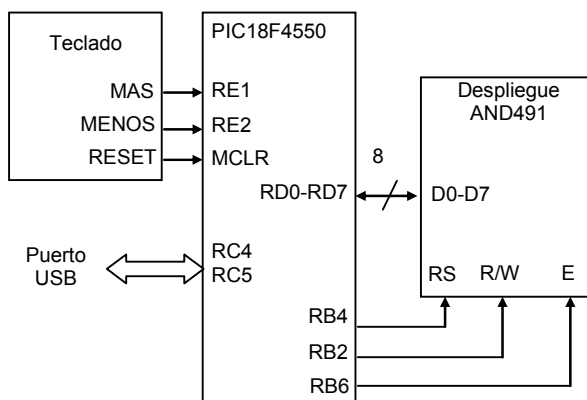


Figura 8. Interfaz local con el usuario.

La tabla 2 muestra las funciones que desempeñan las señales del circuito de la figura 8.

Señal en el PIC18F4550	Tecla	Función
RE0	MAS	Incrementa la velocidad deseada del motor M1
RE1	MENOS	Decrementa la velocidad deseada del motor M1
RE0 RE1	Baja cilindro	En modo de reposo, baja el cilindro y establece el modo de medición
RE0 RE1	Sube cilindro	En modo de medición, sube el cilindro y establece el modo de reposo
MCLR	RESET	Reinicia el circuito electrónico
RE0 RE1 MCLR	Reset USB	Permite ingresar al modo de conexión remota por USB

Tabla 2. Funciones del circuito para conexión del teclado.

El puerto USB del sistema electrónico es a través de los pines RC4 y RC5, configurado como esclavo.

Los detalles de la implementación se muestran en el anexo A.1.

1.2.5. Descripción del algoritmo de control y medición.

El programa desarrollado para el microcontrolador PIC18F4550 realiza las siguientes operaciones básicas

- Genera el control de velocidad en lazo cerrado, ecuación (2).
- Digitaliza el voltaje analógico de la galga.
- Captura la posición del codificador y calcula la velocidad en rpm.
- Controla el posicionamiento del cilindro interior.
- Encuesta el estado del teclado y conexión USB.

- Despliega la medición de la galga en hexadecimal, la velocidad deseada en el cilindro en rpm y la velocidad medida en rpm.

El programa fue desarrollado en MPLAB IDE [Microchip, 2009] en lenguaje PIC C [Custom Computer Services, 2007]. El esquema adoptado contiene un segmento de programa principal que encuesta el estado del teclado y la conexión USB principalmente. La rutina de atención a la interrupción se encarga de generar la base de tiempo para refrescar el despliegue cada 0.25s, calcular la velocidad angular en rpm cada 0.25s, generar la ecuación (2) para el control de velocidad cada 0.25s, digitalizar la señal de la galga cada 5.46ms y promediar 45 lecturas de la galga cada 0.25s. El programa desarrollado se describe en el siguiente diagrama de flujo de la figura 9.

El código fuente completo se encuentra en la carpeta “CodigoFuente/PIC” del CD anexo.

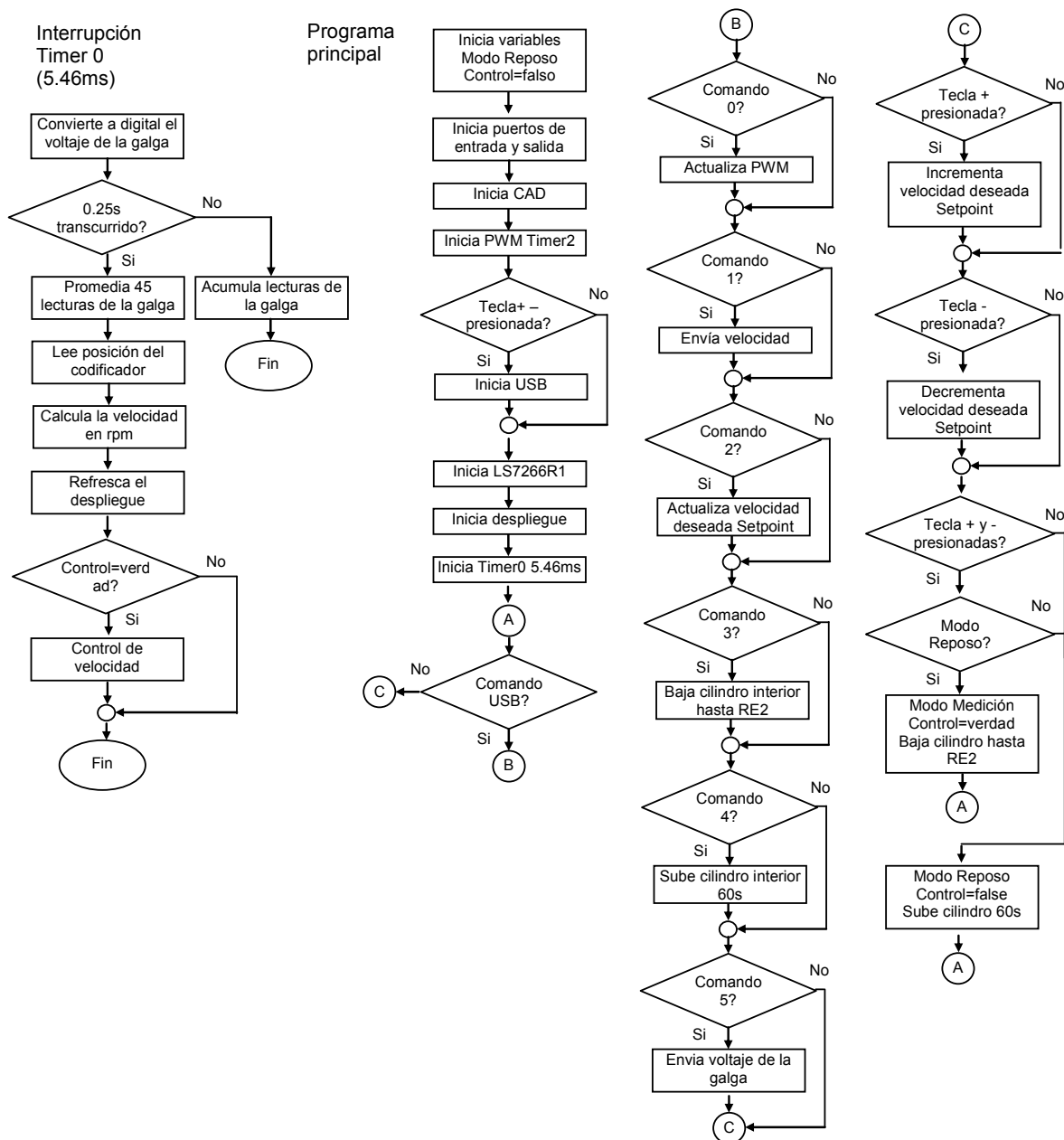


Figura 9. Programa para el PIC18F4550.

1.3. Componente mecánica.

El sistema mecánico que permite medir la viscosidad de diferentes fluidos, está diseñado para que sea un equipo didáctico. El sistema mecánico principalmente consta de un cilindro interior que gira a diferentes RPM (20 mínima y 120 máxima), que posteriormente se aloja en un cilindro exterior, con una holgura entre ambos de 1.13 mm radial. El cilindro exterior es el contenedor del fluido por analizar. Durante una medición de viscosidad, se gira el cilindro interior y con el arrastre que existe entre el fluido, el cilindro exterior e interior, se genera una fuerza entre estos por medio de un brazo de palanca, que se encuentra en la base del cilindro exterior. Al moverse este brazo de palanca, se registra el esfuerzo que impone el fluido ya que el brazo de palanca hace contacto con la galga fija sobre el soporte del equipo, como se muestra en la figura 10.

Con referencia a la figura 10 los dispositivos mecánicos están montados en el soporte del equipo (20), fabricado en aluminio de 276mm largo X 250mm ancho X 12.7mm de espesor, con diferentes diámetros de barrenos, en los cuales van sujetos los diferentes componentes, como son las 4 patas de goma (22), con dimensiones de 25.4mm de diámetro X 12.7 de alto. También en esta misma están los 4 separadores (18) de PVC con dimensiones de 25.4mm de alto X 19.05 de diámetro y que en el centro tienen barrenos pasados de 6.350mm de diámetro que por estos se alojan tornillos. Estos tornillos se utilizan para separar el soporte del equipo (20) de la base (15). De igual forma se encuentra la galga (19) fija sobre el soporte del equipo.

La base (15) de aluminio, con dimensiones de 220mm de largo X 140mm de ancho y un espesor de 30mm, es utilizada para soportar las partes fundamentales del mecanismo como es, la columna (8), de igual forma de aluminio, con dimensiones de 320 mm de largo X 60mm de ancho X 15mm de espesor. Esta es la que soporta una columna guía (10) comercial que permite el desplazamiento hacia arriba y abajo de la plataforma móvil (6), de dimensiones 130 mm de largo X 47 mm de ancho y 19mm de espesor en la cual van alojados 2 rodamientos SKF (14).

También en la base (15), se encuentran el porta rodamientos (16), con dimensiones de 37 mm de diámetro exterior por 16.980 mm de diámetro interior, en donde éste último diámetro es para el ajuste en el montaje del rodamiento de la marca SKF (14). El tornillo sin fin (12) de dimensiones de 320 mm de largo X 12.7mm de diámetro, de 20 hilos por pulgada se encarga de subir y bajar a la plataforma móvil (6) impulsado por el moto-reductor M2 (1) soportado sobre la base (2).

De igual forma en la base (15), se encuentra un rodamiento de baja fricción de la marca SKF (17), que esta ahogado la mitad en la base (15), y la otra mitad en el cilindro exterior (13) que está fabricado de acero inoxidable, con dimensiones de diámetro exterior de 34.070mm, diámetro interior de 29.070mm y una longitud de 87.20mm. Estos diámetros están dados por la norma DIN 53019 y su homóloga ISO 3219 ya que en el cilindro exterior (13), se aloja el cilindro interior (11) de igual forma de acero inoxidable de dimensiones 130.2mm de longitud y un diámetro igual a 26.8 mm. La punta de éste último, es cónica y cumple con un ángulo de 120° que de igual forma esta dado por la norma DIN 53019 y su homóloga ISO 3219.

En la parte superior del cilindro interior se tiene un barreno para que en este se aloje la flecha de la polea (5) fabricada en latón, de dimensiones de diámetro exterior de 19.05 y un diámetro en donde se aloja la flecha de 4.980mm. La polea (5) va impulsada por la polea (9) y su moto-reductor M1 (4) por medio de una banda elástica (7). La velocidad angular en el motoreductor M1 se registra mediante el codificador (3). El diámetro va ajustado para el par de rodamientos (14) que garantizan el correcto alineamiento del cilindro interior (11) con respecto al cilindro exterior (13). En la parte inferior del cilindro exterior se encuentra el brazo de palanca (21), de acero inoxidable de dimensiones de 110 mm de largo X 4.763 mm de diámetro.

El mecanismo cuenta también con dos piezas que son el obturador (23) y el opto-interruptor (24), que determinan la carrera del tornillo sin fin y por lo consiguiente la distancia necesaria de operación entre el cilindro interior (11) y el cilindro exterior (13).

Los detalles de la implementación se muestran en el anexo A2.

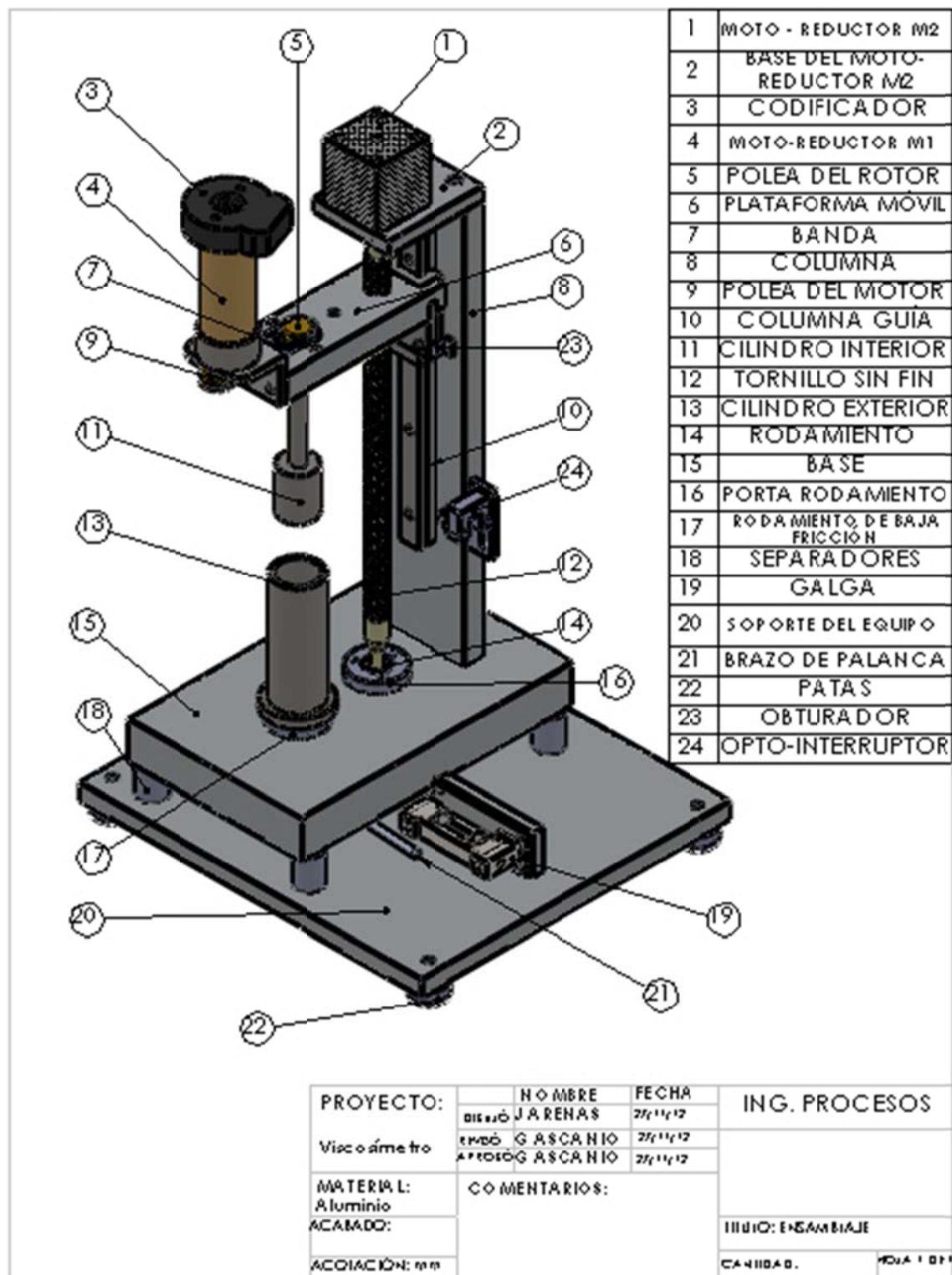


Figura 10. Prototipo mecánico.

2. Software de operación.

El viscosímetro tiene como medio de operación, además de su despliegue y teclado locales, un programa para PC que controla completamente el hardware descrito en el capítulo 1. El software fue desarrollado en Visual C++ 2008 y es ejecutable desde Windows Vista.

2.1. Descripción en el ámbito de usuario.

El programa desarrollado es una aplicación sobre la base de una caja de diálogo que contiene una cantidad reducida de controles. Su operación es de fácil manejo, implementa la funcionalidad completa que se obtiene con la interfaz local y constituye la opción para incluir mejoras futuras en cuanto al procesamiento de mediciones.

2.1.1. Instalación.

Para instalar el software se requieren las siguientes características en la computadora anfitriona:

- Windows Vista Profesional Edittion, Service Pack 3.
- Puerto USB disponible
- Al menos 4MB de espacio en disco duro
- Al menos 500MB de RAM

El proceso de instalación se realiza como se indica a continuación:

1. Copiar el contenido de la carpeta "Programa" del CD anexo en algún directorio en la computadora anfitriona.
2. Energizar el viscosímetro.
3. En el sistema electrónico, mantener presionados los botones MAS y MENOS seguido de presionar el botón RESET. Al soltar los botones deberá aparecer en el despliegue local el mensaje "Conecte USB...".
4. Conectar el cable USB entre el sistema electrónico y la computadora anfitriona. Al realizar esta operación, la computadora iniciará el proceso de instalación de hardware nuevo.
5. Se desplegará en la computadora la pantalla de la figura 11. Acepte la opción de la figura que le indica Windows como recomendada "Buscar e instalar el software de controlador".



Figura 11. Instalación de nuevo hardware.

6. Aparecerá la pantalla de la figura 12 en donde se indica que la búsqueda del software está en proceso.

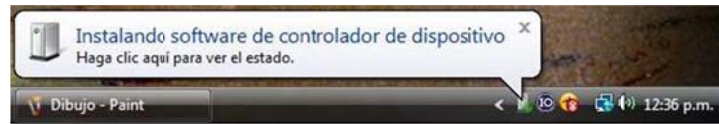


Figura 12. Instalación de nuevo software controlador de dispositivo.

7. Posteriormente se desplegará la pantalla de la figura 13 en donde se indica que el software se debe instalar desde una unidad de disco. Presione siguiente.

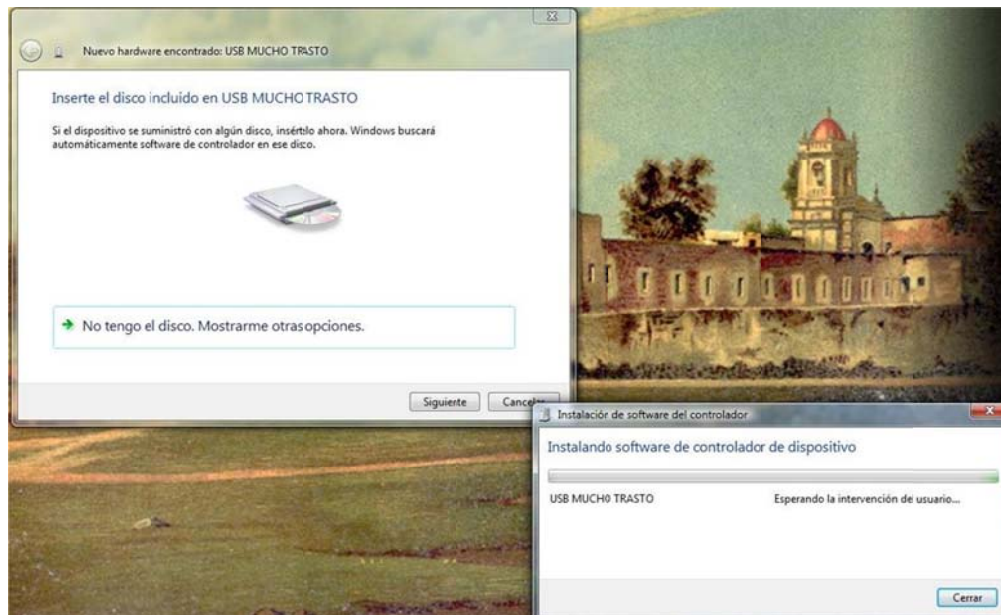


Figura 13. Petición para insertar disco.

8. En caso de que no se haya insertado la unidad de disco con el controlador, aparecerá la pantalla de la figura 14.



Figura 14. No se pudo instalar nuevo hardware.

9. Ejecute el programa “Administrador de dispositivos” del “Panel de control”, tal como se muestra en la figura 15.

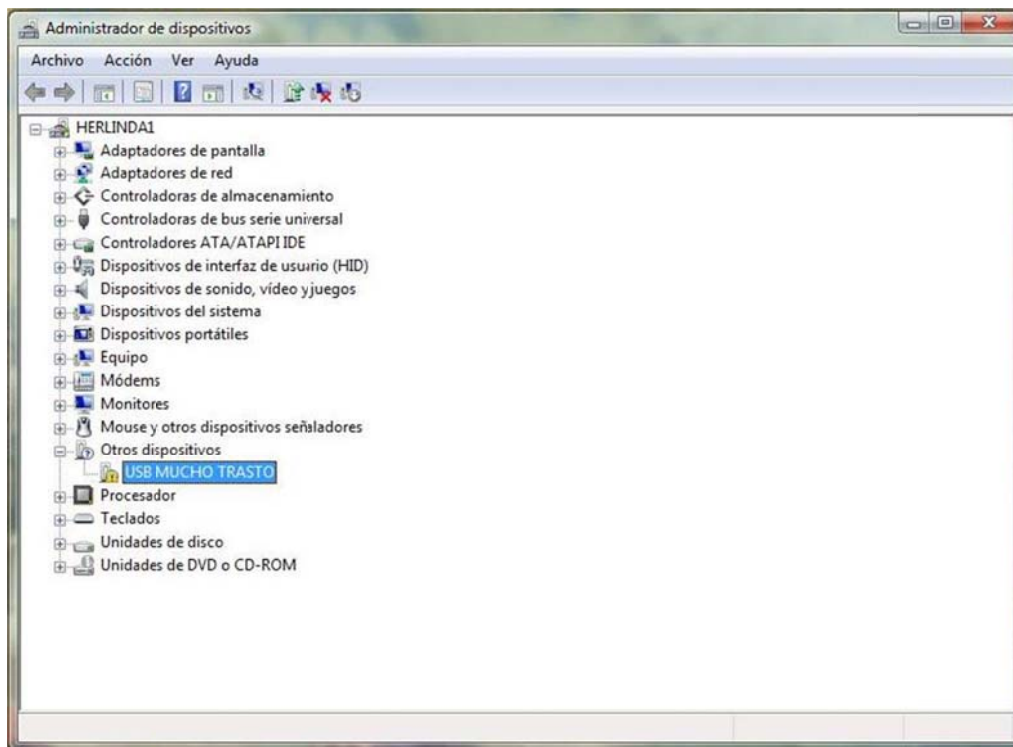


Figura 15. Administrador de dispositivos.

10. Sobre “Otros dispositivos/USB MUCHO TRASTO” presione el botón derecho del ratón de manera que se despliegue la pantalla de la figura 16.

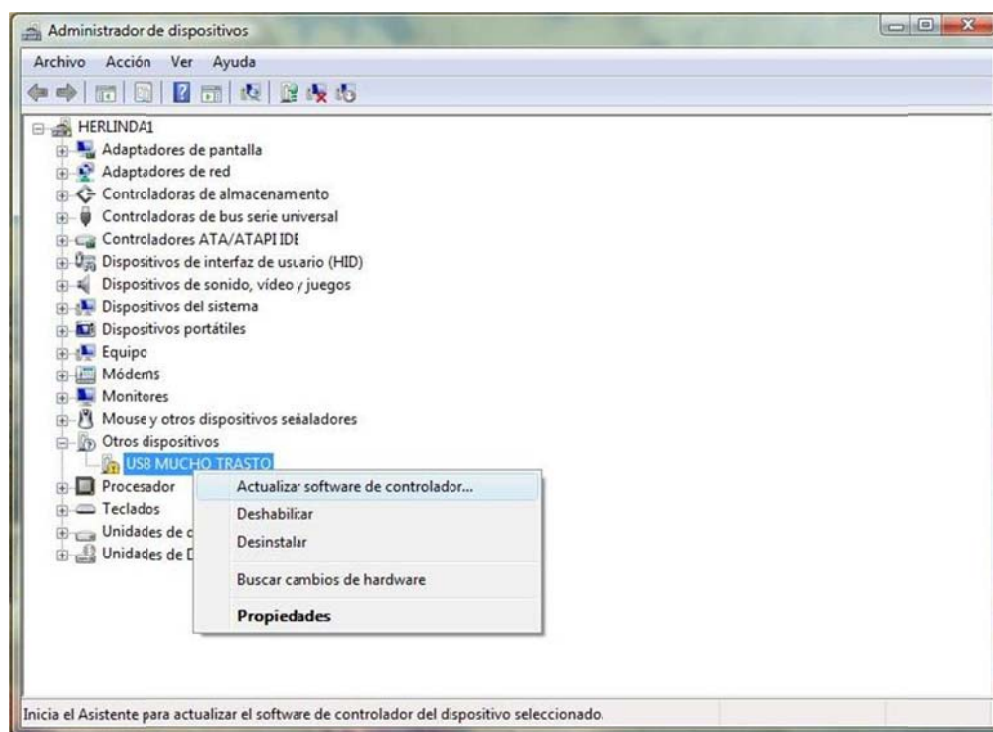


Figura 16. Actualizar software de controlador.

10. Elija la opción “Actualizar software de controlador...” de manera que se despliegue la pantalla de la figura 17.

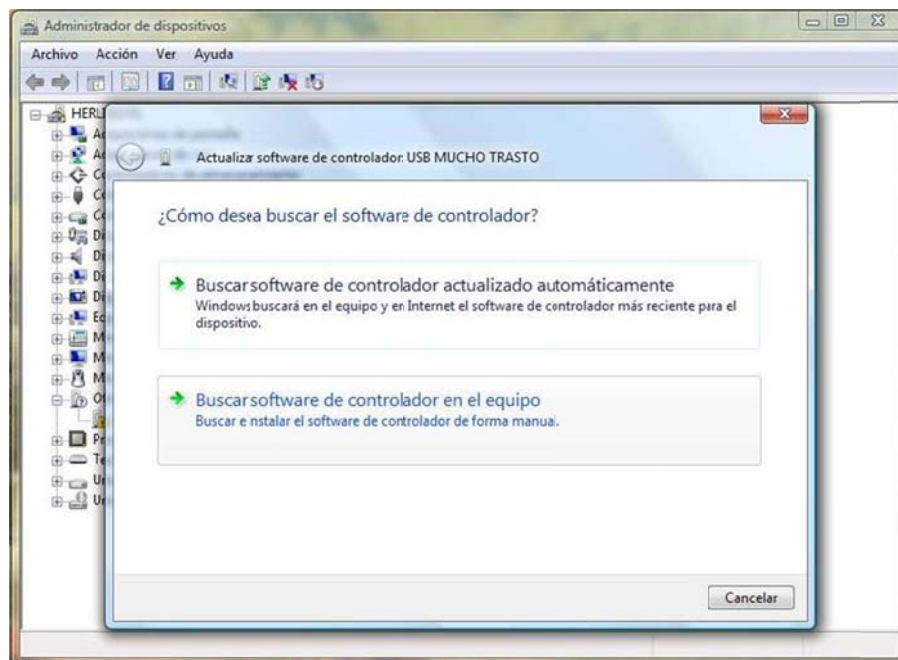


Figura 17. Buscar software de controlador en el equipo.

11. Elija la opción “Buscar software de controlador en el equipo” para que aparezca la pantalla de la figura 18.

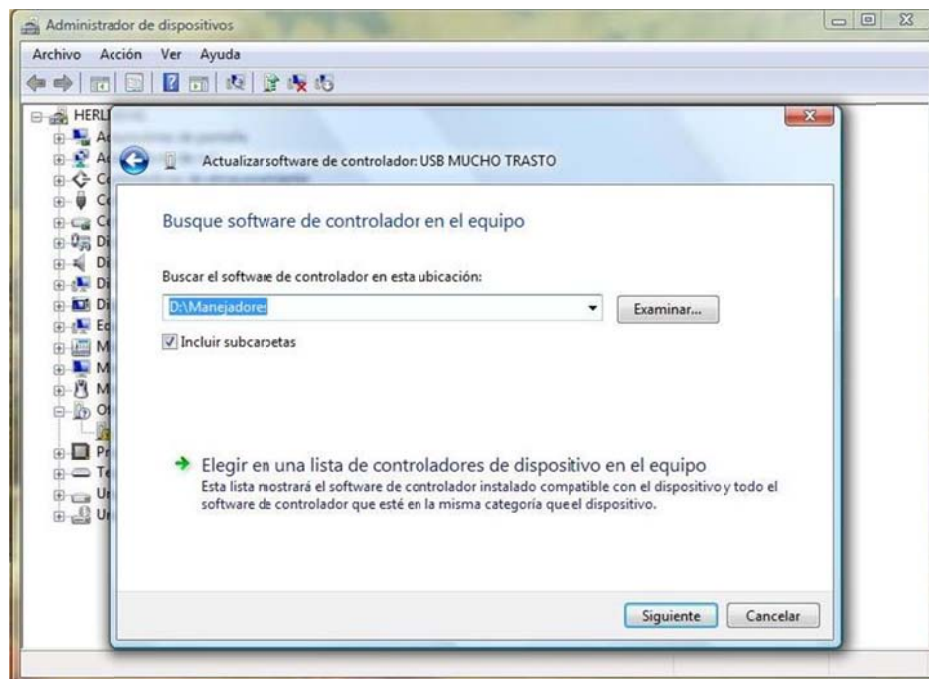


Figura 18. Ubicación del software controlador.

12. Inserte el CD anexo y elija la ruta "D:\Manejadores". Presione el botón "Siguiente" para desplegar la pantalla de la figura 19.

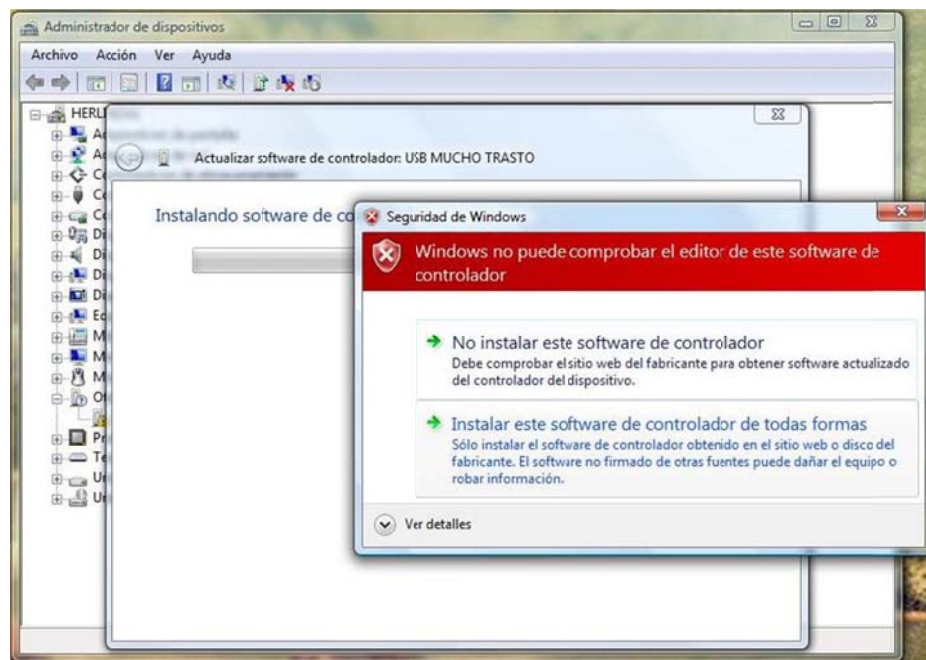


Figura 19. Alerta de seguridad de Windows.

13. Elija la opción "Instalar este software de controlador de todas formas" para que aparezca la pantalla de la figura 20.

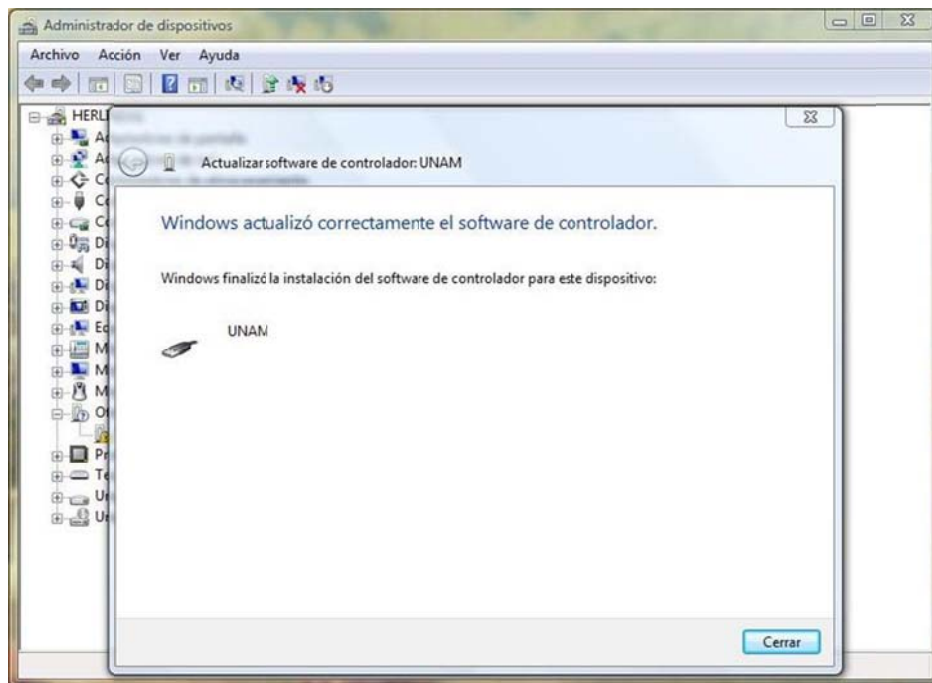


Figura 20. Finalización de la actualización del software controlador.

14. Elija la opción “Cerrar” ya que el controlador ha sido actualizado correctamente. Verifique que en el “Administrador de dispositivos” aparezca la pantalla de la figura 21

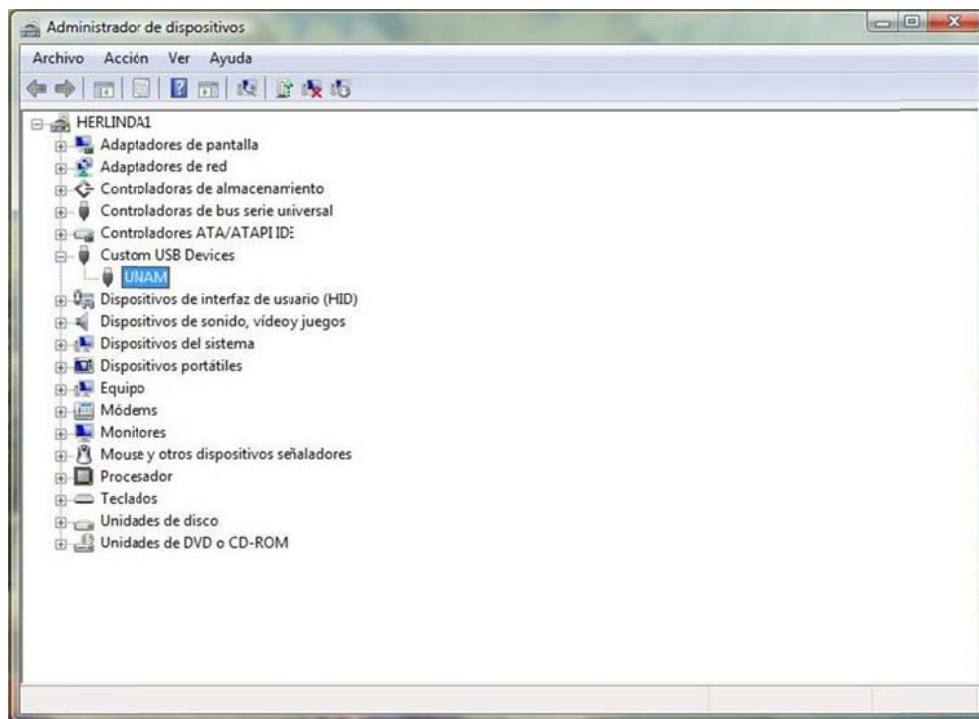


Figura 21. Verificación de la correcta instalación del software controlador.

2.1.2. Operación.

El programa “velocidad.exe” presenta en la computadora la pantalla de la figura 22.

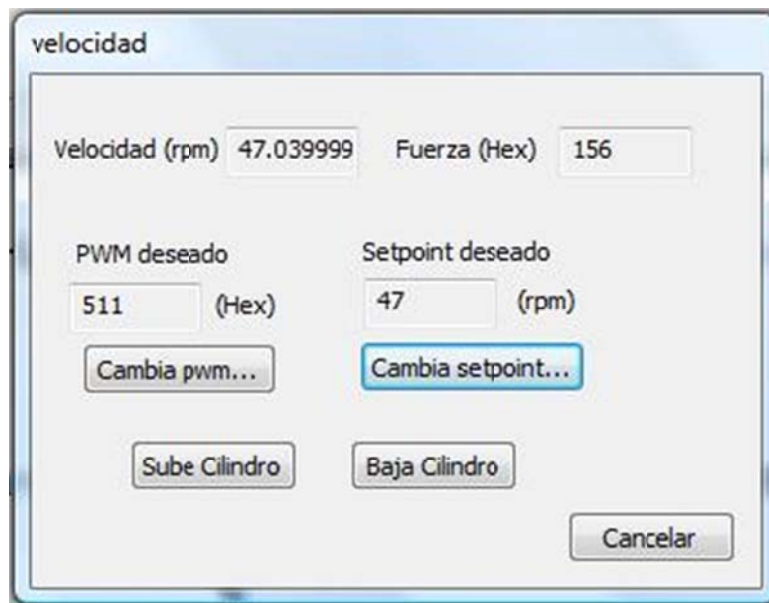


Figura 22. Programa “velocidad.exe”.

El programa ejecutable despliega una caja de diálogo llamada “velocidad” y presenta la siguiente información.

- Velocidad (rpm): La velocidad angular capturada cada segundo del viscosímetro.
- Fuerza (Hex): El valor en hexadecimal de 10 bits capturada del viscosímetro cada segundo.
- PWM deseado: El valor de PWM o velocidad que se desea aplicar directamente al motor M1 en 10 bits.
- Setpoint deseado: El valor de velocidad angular deseada o setpoint que se desea aplicar al viscosímetro.

La operación del programa se limita a seleccionar los siguientes botones:

- Cambia pwm... Permite cambiar el valor de PWM que se aplica directamente al motor M1.
- Cambia setpoint... Permite cambiar el valor de la velocidad deseada o setpoint del viscosímetro.
- Sube cilindro. Sube el conjunto motor M1 y cilindro interior del viscosímetro con el objeto de introducir el fluido por analizar.
- Baja cilindro. Baja el conjunto de motor M1 y cilindro interior del viscosímetro con el objeto de realizar una medición sobre el fluido de muestra.
- Cancelar: Termina la aplicación.

Las lecturas en las cajas de texto se actualizan en aproximadamente 1s y se obtienen directamente del viscosímetro con operación en tiempo real.

2.2. Descripción en el ámbito de programador.

El programa “velocidad.exe”, fue desarrollado utilizando Visual C++ 2008 [Kruglinski, 1998] y la librería de comunicaciones mpusbapi [JVR, 2010]. El código fuente completo se encuentra en el directorio “CodigoFuente/VisualC” del CD anexo.

2.2.1. Enlace de los componentes.

El proyecto es una aplicación MFC del tipo caja de dialogo a la cual se le agregó la componente mpusbapi.dll, librería de comunicaciones USB, explícitamente para cargar el conjunto de funciones: En este sentido se debe copiar el archivo mpusbapi.dll al directorio proyecto.

2.2.2. Descripción de las clases.

Inicialmente, el entorno de programación Visual C++2008 crea las siguientes clases fundamentales para la aplicación: CvelocidadApp y CvelocidadDlg. Posteriormente, con la creación de las cajas de diálogo para modificar el PWM y Setpoint, se agregan las clases CCambiaPWM y CSetPoint, respectivamente. La figura 23 muestra las clases del proyecto llamado “velocidad”. A continuación se describe la funcionalidad de estas clases. El proyecto completo se incluye en el directorio CodigoFuente/VisualC del CD anexo.

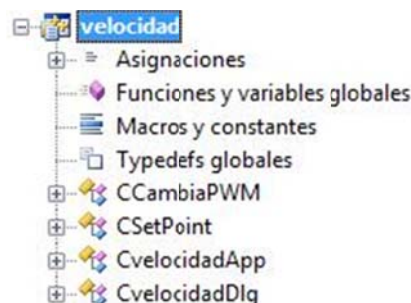


Figura 23. Proyecto “velocidad”.

CvelocidadApp

La clase CvelocidadApp se muestra en la figura 24. La descripción de sus métodos es la siguiente.

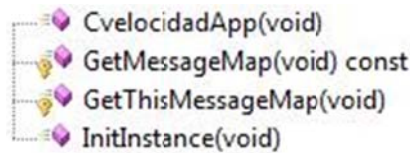


Figura 24. Clase “CvelocidadApp”.

CvelocidadApp(); Es el constructor de la clase. Insertado por el ambiente de programación por omisión. No se agrega código.

GetMessageMap(void); Creado por el ambiente de programación por omisión. No contiene código. Se utiliza para correlacionar los mensajes con las funciones miembro.

GetThisMessageMap(void); Creado por el ambiente de programación por omisión. No contiene código. Se utiliza para correlacionar los mensajes con las funciones miembro.

virtual BOOL InitInstance(); Creado por el ambiente de programación por omisión. Contiene la inicialización estándar de la aplicación. No se modifica el código. Contiene el manejador del evento por presionar el botón “Cancelar”.

CvelocidadDlg

La clase CvelocidadDlg se muestra en la figura 25. Esta es la clase que contiene la totalidad del código desarrollado de manera específica para el presente proyecto. La descripción de sus métodos es la siguiente.

CvelocidadDlg(CWnd* pParent = NULL); Es el constructor estándar de la clase insertado por omisión por el ambiente de programación. Contiene la inicialización de los valores de las cajas de texto de la aplicación.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Insertado por omisión por el ambiente de programación. Establece la compatibilidad con DDX/DDV para las variables que representan las cajas de texto.

GetMessageMap(void); Creado por el ambiente de programación por omisión. No contiene código. Se utiliza para correlacionar los mensajes con las funciones miembro.

GetThisMessageMap(void); Creado por el ambiente de programación por omisión. No contiene código. Se utiliza para correlacionar los mensajes con las funciones miembro.

afx_msg void OnBnClickedBajaCilindro(); Es el manejador del evento por presionar el botón “Baja cilindro”. Contiene el llamado a la función PICEnviaBajaCilindro.

afx_msg void OnBnClickedPwm(); Es el manejador del evento por presionar el botón “Cambia pwm...”. Despliega la caja de diálogo “Cambiar PWM” en donde el usuario modifica la variable. Contiene el llamado a la función PICEnviaPWM.

afx_msg void OnBnClickedSetPoint(); Es el manejador del evento por presionar el botón “Cambia setpoint...”. Despliega la caja de diálogo “Cambia Set Point” en donde el usuario modifica la variable. Contiene el llamado a la función PICEnviaSetPoint.

afx_msg void OnBnClickedSubeCilindro(); Es el manejador del evento por presionar el botón “Sube cilindro”. Contiene el llamado a la función PICEnviaSubeCilindro.

virtual BOOL OnInitDialog(); Insertado por el ambiente de programación para establecer las propiedades del icono. Carga la DLL mpusbapi.dll en memoria y obtiene la dirección de sus funciones. Establece un timer para refrescar la aplicación cada segundo.

afx_msg void OnPaint(); Insertado por omisión por el ambiente de programación. No se modifico el código.

afx_msg HCURSOR OnQueryDragIcon(); Insertado por omisión por el ambiente de programación. No se modifico el código.

afx_msg void OnTimer(UINT_PTR nIDEvent); Es el manejador del evento del timer cada segundo. Contiene el llamado a las funciones PICLeeVelocidad y PICLeeFuerza para actualizar el valor de las cajas de texto de la aplicación.

void PICEnviaBajaCilindro(void); Inicia el buffer de transmisión para enviar la orden al sistema electrónico para bajar el cilindro interior. Contiene el llamado a la función USBSendPacket.

void PICEnviaPwm(UINT LB, UINT HB); Inicia el buffer de transmisión para enviar la orden al sistema electrónico para actualizar la variable PWM. Contiene el llamado a la función USBSendPacket.

void PICEnviaSetPoint(UINT LB, UINT HB); Inicia el buffer de transmisión para enviar la orden al sistema electrónico para actualizar la variable Setpoint. Contiene el llamado a la función USBSendPacket.

void PICEnviaSubeCilindro(void); Inicia el buffer de transmisión para enviar la orden al sistema electrónico para subir el cilindro interior. Contiene el llamado a la función USBSendPacket.

void PICLeeFuerza(void); Inicia el buffer de transmisión para enviar la orden al sistema electrónico para que a su vez envíe la lectura de la galga. Contiene el llamado a la función USBSendPacket.

void PICLeeVelocidad(void); Inicia el buffer de transmisión para enviar la orden al sistema electrónico para que a su vez envíe la lectura de la velocidad. Contiene el llamado a la función USBSendPacket.

long PICResultado16(void); Inicia el buffer de recepción para recibir el resultado de 16 bits para la lectura de la galga.

long PICResultado24(void); Inicia el buffer de recepción para recibir el resultado de 24 bits para la lectura de la velocidad.

void USBClosePipes(void); Finaliza las variables establecidas para la conexión USB.

void USBOpenPipes(void); Inicia las variables para establecer la conexión USB.

void USBReceivePacket(BYTE* ReceiveData, DWORD* ReceiveLength); Establece la conexión USB con fines de recepción.

void USBSendPacket(byte* SendData, DWORD SendLength); Establece la conexión USB con fines de transmisión.

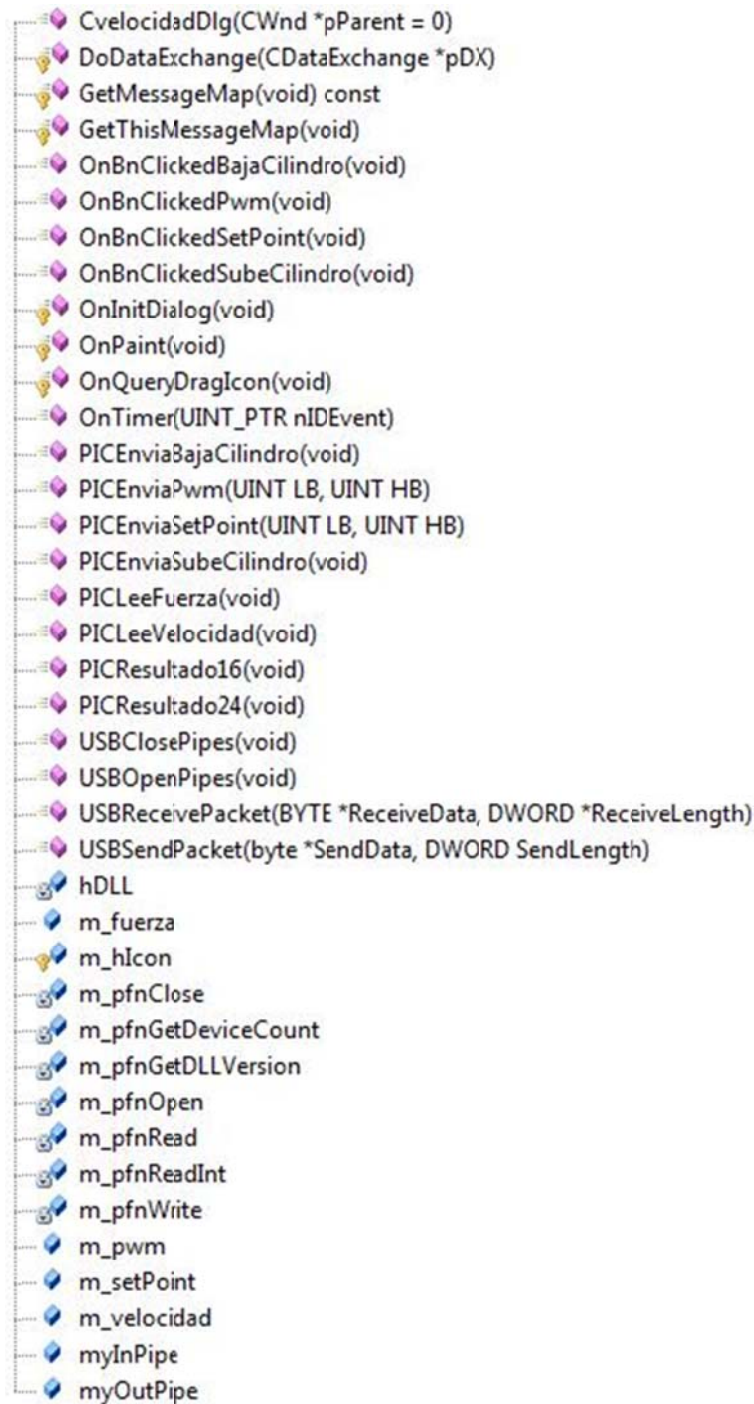


Figura 25. Clase “CvelocidadDlg”.

CCambiaPWM

La clase CCambiaPWM se muestra en la figura 26. La descripción de sus métodos es la siguiente.

virtual ~CCambiaPWM(); Es el destructor estándar. No contiene código.

CCambiaPWM(CWnd* pParent = NULL); Es el constructor estándar. Inicia la variable de la caja de texto.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Establece la compatibilidad con DDX/DDV para la variable de la caja de texto.

_GetBaseClass(void); Insertado por omisión por el ambiente de programación. No contiene código.

GetMessageMap(void); Creado por el ambiente de programación por omisión. No contiene código. Se utiliza para correlacionar los mensajes con las funciones miembro.

GetRuntimeClass(void); Insertado por omisión por el ambiente de programación. No contiene código.

GetThisClass(void); Insertado por omisión por el ambiente de programación. No contiene código.

GetThisMessageMap(void); Creado por el ambiente de programación por omisión. No contiene código. Se utiliza para correlacionar los mensajes con las funciones miembro.

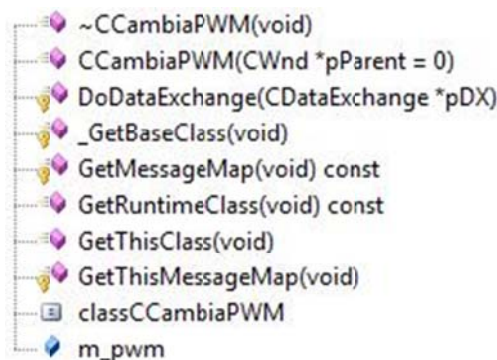


Figura 26. Clase "CCambiaPWM".

CSetPoint

La clase CSetPoint se muestra en la figura 27. La descripción de sus métodos es la siguiente.

virtual ~CSetPoint(); Es el destructor estándar. No contiene código.

CSetPoint(CWnd* pParent = NULL); Es el constructor estándar. Inicia la variable de la caja de texto.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Establece la compatibilidad con DDX/DDV para la variable de la caja de texto.

_GetBaseClass(void); Insertado por omisión por el ambiente de programación. No contiene código.

GetMessageMap(void); Creado por el ambiente de programación por omisión. No contiene código. Se utiliza para correlacionar los mensajes con las funciones miembro.

GetRuntimeClass(void); Insertado por omisión por el ambiente de programación. No contiene código.

GetThisClass(void); Insertado por omisión por el ambiente de programación. No contiene código.

GetThisMessageMap(void); Creado por el ambiente de programación por omisión. No contiene código. Se utiliza para correlacionar los mensajes con las funciones miembro.

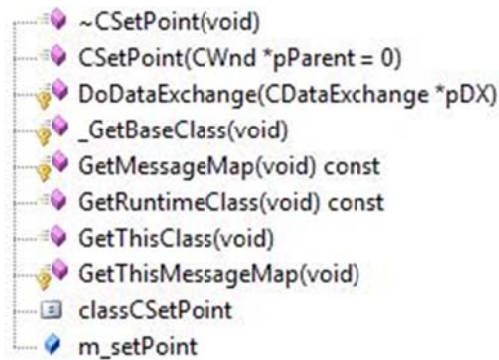


Figura 27. Clase "CSetPoint".

2.3. Procedimiento típico de operación.

A continuación se describen los pasos a seguir para operar el viscosímetro de forma local y remota.

2.3.1. Modo local.

La carátula del viscosímetro se muestra en la figura 28.

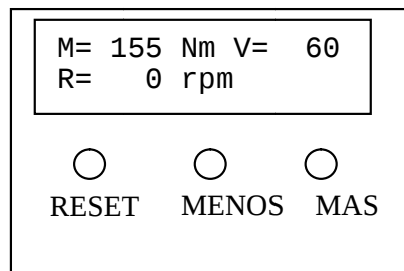


Figura 28. Carátula del viscosímetro.

Con relación a la figura 28 la operación del viscosímetro puede ser de la siguiente forma:

- Energizar el viscosímetro con 127Vac 60Hz.
- Presionar el botón RESET para asegurar el estado inicial a cero.
- Esperar 5 min para que los transductores alcancen su estado estacionario.
- Presionar el botón MAS para incrementar la velocidad del cilindro interior. Observar que el dato V=60 (velocidad deseada) del despliegue se incrementa.
- Presionar el botón MENOS para decrementar la velocidad del cilindro interior. Observar que el dato V=60 (velocidad deseada) del despliegue se decrementa.
- Una vez establecida la velocidad deseada, presionar simultáneamente los botones MAS y MENOS para iniciar un proceso de medición. Observar la indicación del despliegue "Bajando cilindro...".
- Una vez que el cilindro interior alcanzó su posición sobre el fluido por analizar dentro del cilindro exterior, se podrá observar el despliegue similar a la figura 28.
- Después de algunos segundos, el dato R= del despliegue (velocidad medida) deberá igualar al dato V= (velocidad deseada). En este momento las mediciones de fuerza sobre la galga M= son confiables.
- Una vez realizada la medición, presionar simultáneamente los botones MAS y MENOS para liberar el cilindro interior del fluido. Observar la indicación del despliegue "Subiendo cilindro...".
- Repetir el proceso tantas veces como sea necesario.

- Apagar el viscosímetro.

2.3.2. Operación remota.

Para operar en forma remota el viscosímetro se debe contar con una computadora anfitriona y el software instalado como se describió en 2.1.1. La operación del sistema puede ser como se describe a continuación.

- Energizar el viscosímetro.
- Mantener los botones MAS y MENOS presionados seguido de RESET para iniciar el modo remoto. Al soltar los botones deberá aparecer el mensaje "Conecte USB...". en el despliegue del viscosímetro.
- Conecte el cable USB suministrado entre la computadora anfitriona y el viscosímetro. El conector USB del sistema electrónico se encuentra en el costado izquierdo.
- Iniciar el software "velocidad.exe".
- Operar el software como se describió en 2.1.2.
- Apagar el viscosímetro.

3. Resultados y discusión.

En la presente sección se muestra el sistema desarrollado y algunos experimentos realizados para verificar su desempeño.

3.1. Resultados.

Se desarrolló un prototipo electromecánico para la medición de viscosidad con las siguientes características:

- Alcance de la galga: 0.2 (kg).
- Alcance en velocidad: 300 (rpm).
- Resolución de la galga: 0.0002 (kg).
- Resolución en velocidad: aproximadamente 1 (rpm).
- Diseño robusto que evita vibraciones.
- Conexión USB.
- Despliegue y teclado locales.
- Facilidad para colocar y retirar los fluidos bajo prueba

3.1.1. Prototipo electromecánico.

El prototipo desarrollado se muestra en la figura 29.



Figura 29. Sistema desarrollado.

3.1.2. Calibración de la galga.

Con el objeto de depurar la ecuación 3 se calibró la galga usando una masa patrón de 0.11875 (kg). La calibración se realizó con la galga en la posición horizontal, ya que la fuerza actúa por la gravedad de la

tierra. La tabla 3 contiene los valores obtenidos de masa y valor en hexadecimal que se obtiene del sistema de adquisición de datos.

Masa (kg)	Lectura (Hex)
0	102
0.11875	683

Tabla 3. Calibración de la galga.

La figura 30 muestra la gráfica obtenida y el ajuste de los datos a una línea recta.

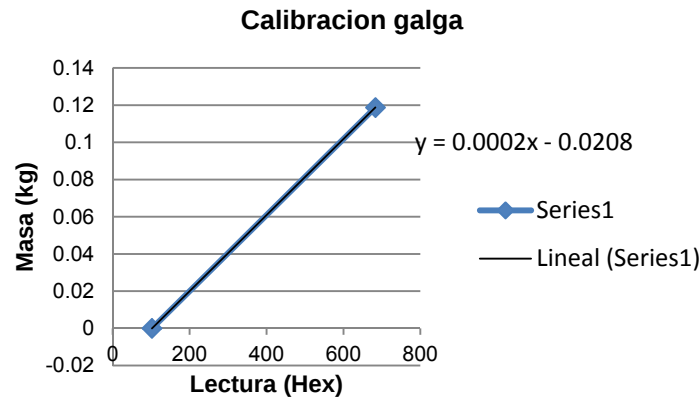


Figura 30. Calibración de la galga y ajuste a recta.

De la figura 30., la relación entre masa en (kg) y valor en hexadecimal es la siguiente

$$\text{Masa(kg)} = 0.0002 V_i(\text{Hex}) - 0.0208 \quad (4)$$

En donde V_i es el voltaje en hexadecimal que se obtiene del sistema de adquisición.

3.1.3. Medición de la viscosidad.

Con el objeto de comprobar el desempeño del sistema desarrollado, se realizó la medición de la viscosidad, a diferentes velocidades angulares Ω , del aceite SAE 40. Los resultados se muestran en la tabla 4.

Velocidad angular Ω_{int} (rpm)	Velocidad angular Ω_{int} (1/s)	V_i sin carga (hex)	V_i con carga (Hex)	Fuerza F (N)	Radio interior R (m)	Altura L_1 (m)	Brazo d (m)	k	Viscosidad μ (Pa.s)	Viscosidad promedio μ (Pa.s)
0	0.00000	136	136	0.00000	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.00000	0.14237
30	3.14160	136	136	0.00000	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.00000	0.14237
60	6.28320	134	140	0.01202	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.10790	0.14237
90	9.42480	130	143	0.02604	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.15586	0.14237
120	12.56640	130	148	0.03605	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.16186	0.14237
150	15.70800	130	150	0.04006	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.14387	0.14237
180	18.84960	130	152	0.04407	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.13188	0.14237
210	21.99120	126	154	0.05608	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.14387	0.14237
240	25.13280	125	158	0.06610	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.14837	0.14237
270	28.27440	124	160	0.07211	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.14387	0.14237
300	31.41600	132	172	0.08012	0.02900	0.03350	0.13000	0.93103	0.14387	0.14237

Tabla 4. Medición de aceite SAE 40.

En la tabla 4 la velocidad angular Ω_{int} en (rpm) se convierte a velocidad angular Ω_{int} en (1/s) utilizando la siguiente conversión de unidades.

$$\Omega_{\text{int}} \left(\frac{1}{\text{s}} \right) = \frac{2\pi \Omega_{\text{int}} (\text{rpm})}{60}$$

En la tabla 4 el voltaje generado por la galga V_i en (Hex) se convierte a fuerza F en (N) utilizando la ecuación (4) y la siguiente conversión de unidades.

$$F(\text{N}) = 9.8(\text{m/s}^2)[(0.0002V_i \text{ con carga (Hex)} - 0.0208)(\text{kg}) - (0.0002V_i \text{ sin carga (Hex)} - 0.0208)(\text{kg})]$$

En donde V_i sin carga es el voltaje de la galga cuando no hay contacto entre el brazo de palanca y la galga y V_i con carga es el voltaje cuando el brazo de palanca hace contacto con la galga. De esta manera se compensa el cero de la medición.

La columna de viscosidades se obtiene al sustituir los datos de la tabla 4 en la ecuación (1) que se repite a continuación.

$$\mu = \frac{Fd}{4\Omega_{\text{int}}\pi R^2 L_1} \left(\frac{1-k^2}{k^2} \right) \text{ (Pa s)}$$

La viscosidad promedio se obtiene al promediar la columna de viscosidades sin considerar las lecturas que proporcionaron cero viscosidad.

La figura 31 muestra la viscosidad obtenida del experimento para diferentes velocidades angulares y la viscosidad promedio.

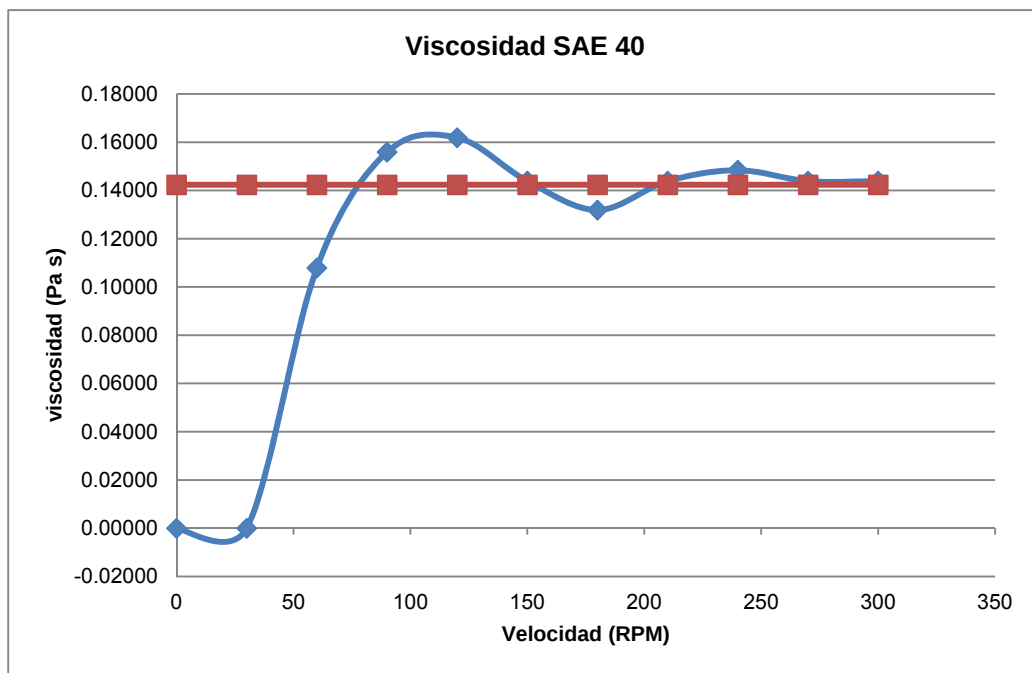


Figura 31. Medición de viscosidad a diferentes velocidades (en azul) y viscosidad promedio (en rojo).

El CD anexo incluye la hoja de cálculo de Excel con el experimento realizado.

3.2. Discusión.

Se diseñó y construyó un prototipo electromecánico para la medición de viscosidad sobre la base de la definición de esta variable física. Si bien el diseño careció de especificaciones para el alcance y resolución de la variable física, se obtuvo un prototipo funcional que nos proporciona indicios para plantear, en un futuro, especificaciones más sólidas y justificables. El prototipo mecánico demostró amplia utilidad en el momento de posicionar los fluidos por analizar ya que el mecanismo de posicionamiento con tornillo sin fin facilita dicha tarea.

Un aspecto que cabe resaltar es el hecho de que la medición de viscosidad no es confiable a bajas velocidades angulares. Esto se puede observar en la figura 31 en donde la viscosidad es cero para $\Omega_{int}=30$ (rpm). De igual forma la viscosidad a $\Omega_{int}=60$ (rpm) está alejada del promedio. Los valores más confiables para la medición se encuentran a partir de $\Omega_{int}=90$ (rpm). Lo anterior se debe a fricciones en el sistema mecánico y falta de resolución en el sistema de adquisición de datos.

Otro aspecto a considerar en versiones futuras es el error de medición que introduce la posición vertical de la galga ya que esta fue calibrada de forma horizontal e inclusive se sabe que las galgas en básculas operan de manera horizontal. Prueba de esto es que el cero horizontal de la galga es una lectura de 102 hexadecimal, como se muestra en la tabla 3. No obstante, el cero vertical de la galga, que es la manera en que se posiciona en este prototipo electromecánico, oscila entre 124 y 136 hexadecimal, dependiendo de la velocidad angular, como se muestra en la tabla 4. De este resultado, podemos deducir que la etapa electrónica de potencia que se utiliza para impulsar el cilindro interior, introduce ruido eléctrico y su efecto se ve reflejado en las variaciones de la medición sin carga en la galga.

Conclusiones.

En este trabajo se desarrolló un prototipo hardware y software para la medición de viscosidad.

El sistema desarrollado contribuye a la creación de infraestructura de desarrollo propio que puede ser ofrecida como una transferencia tecnológica. Adicionalmente, el sistema facilita la medición y su operación.

En el desarrollo del prototipo se utilizaron exclusivamente herramientas de desarrollo básicas y se prescindió del uso de soluciones avanzadas como las que actualmente comercializan empresas de automatización de procesos y adquisición de datos.

Con el sistema desarrollado se podrán elegir diversas velocidades angulares de medición con lo cual se podrá observar el desempeño del instrumento con las variaciones de éste parámetro.

Trabajo a futuro.

Como trabajo a futuro se pretende incrementar la resolución en el sistema de adquisición de datos y aislar las etapas de potencia electrónica de las etapas de adquisición de datos para hacer mas estables y confiables las lecturas de fuerza.

Anexo A. Componente electrónica.

A.1.1. Diagrama esquemático.

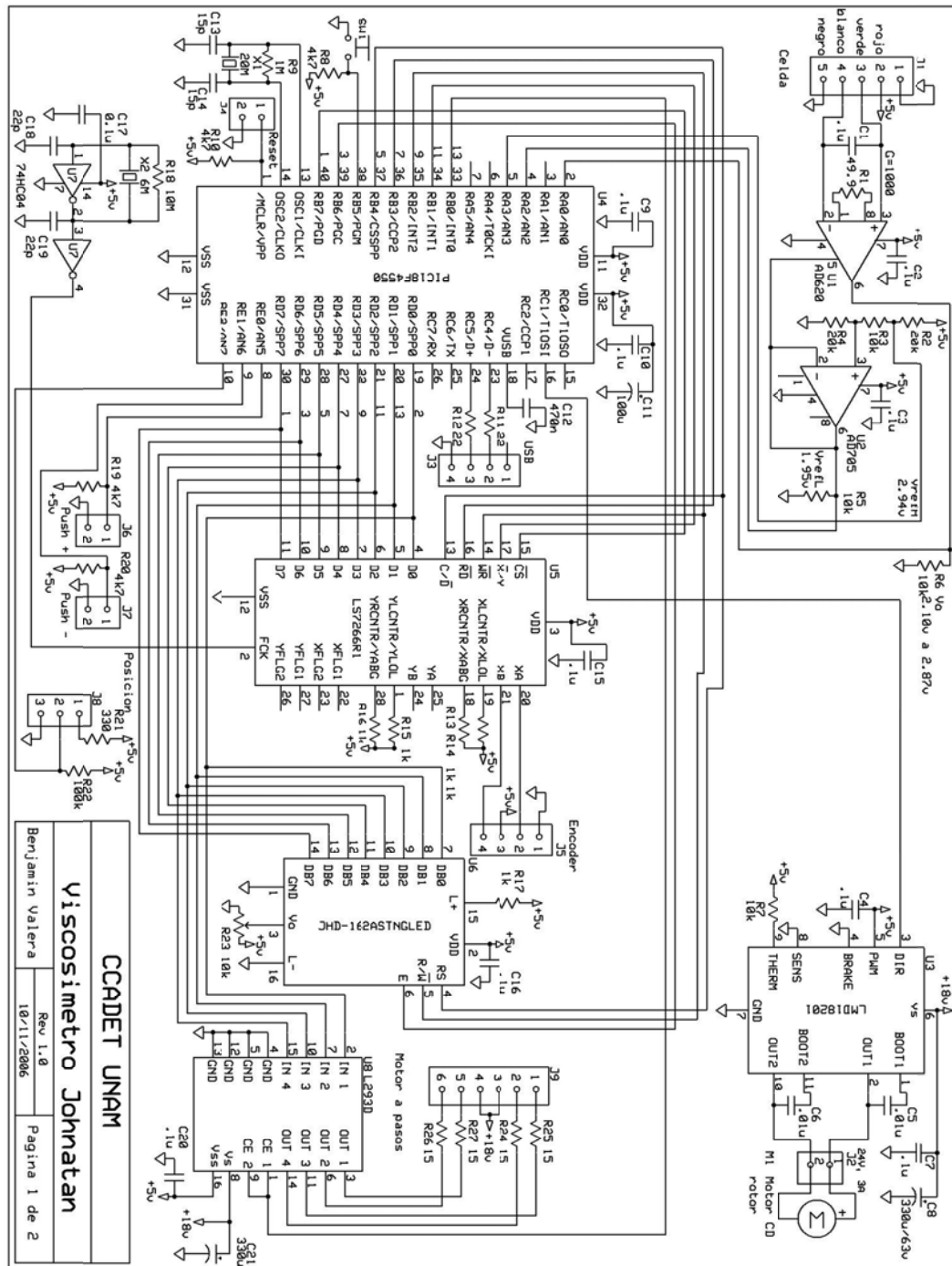
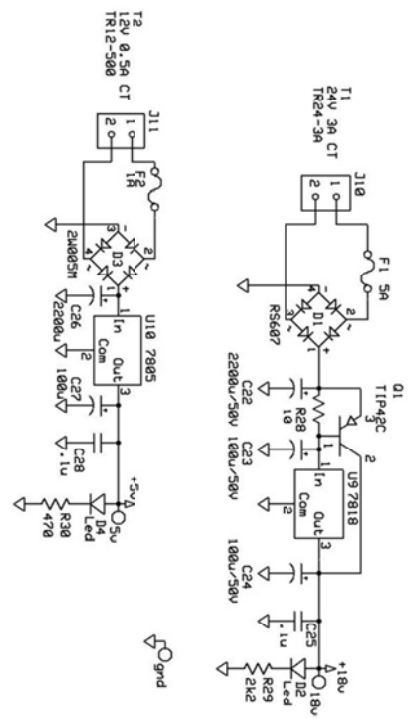


Figura 32. Circuito esquemático (1).



CCADET UNAM		
Viscocimetro Johnatan		
Benjamin Valera	Rev 1.0	Pagina 2 de 2

Figura 33. Circuito esquemático (2).

A.1.2. Circuito impreso.

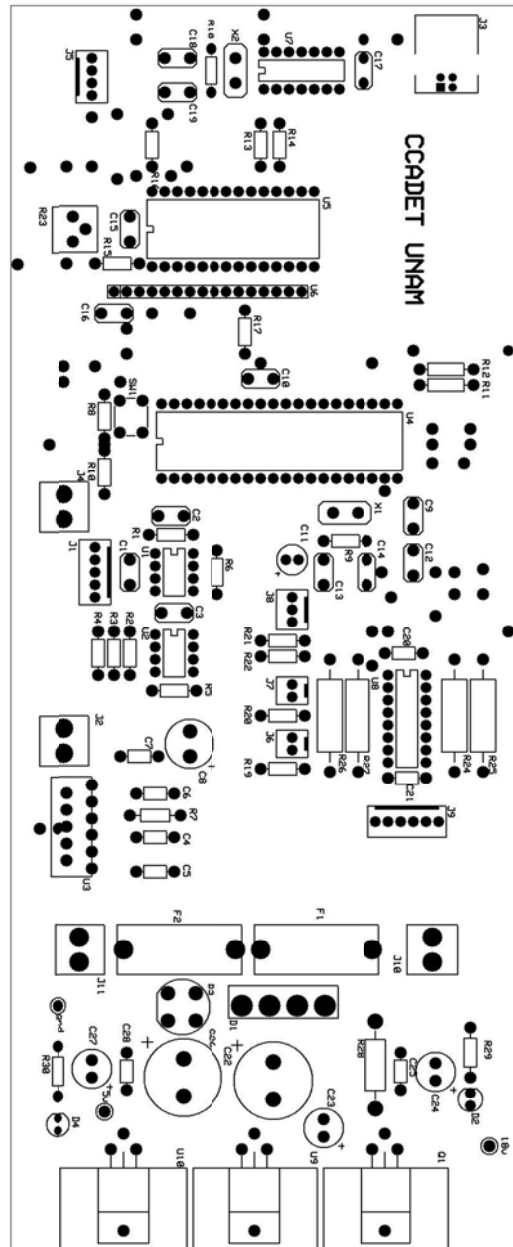


Figura 34. Circuito impreso (Mascarilla).

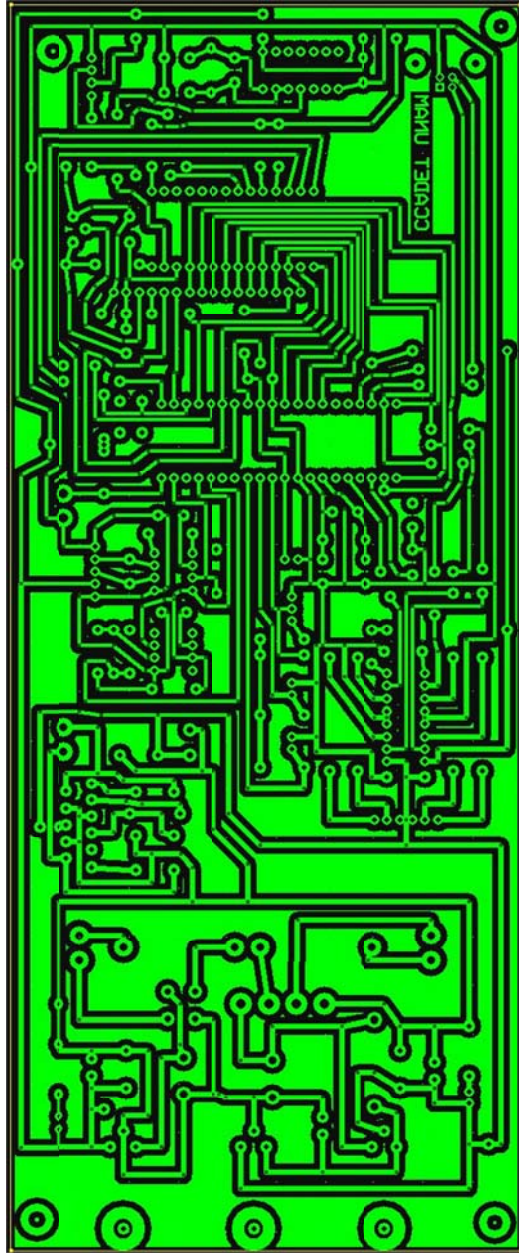


Figura 35. Circuito impreso (Soldadura).

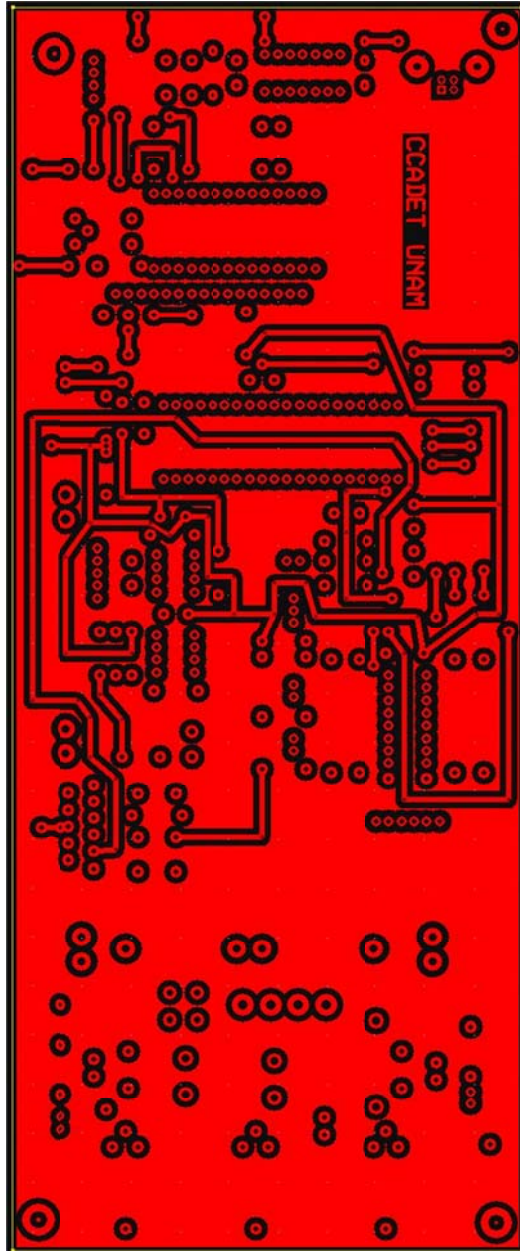


Figura 36. Circuito impreso (Componentes).

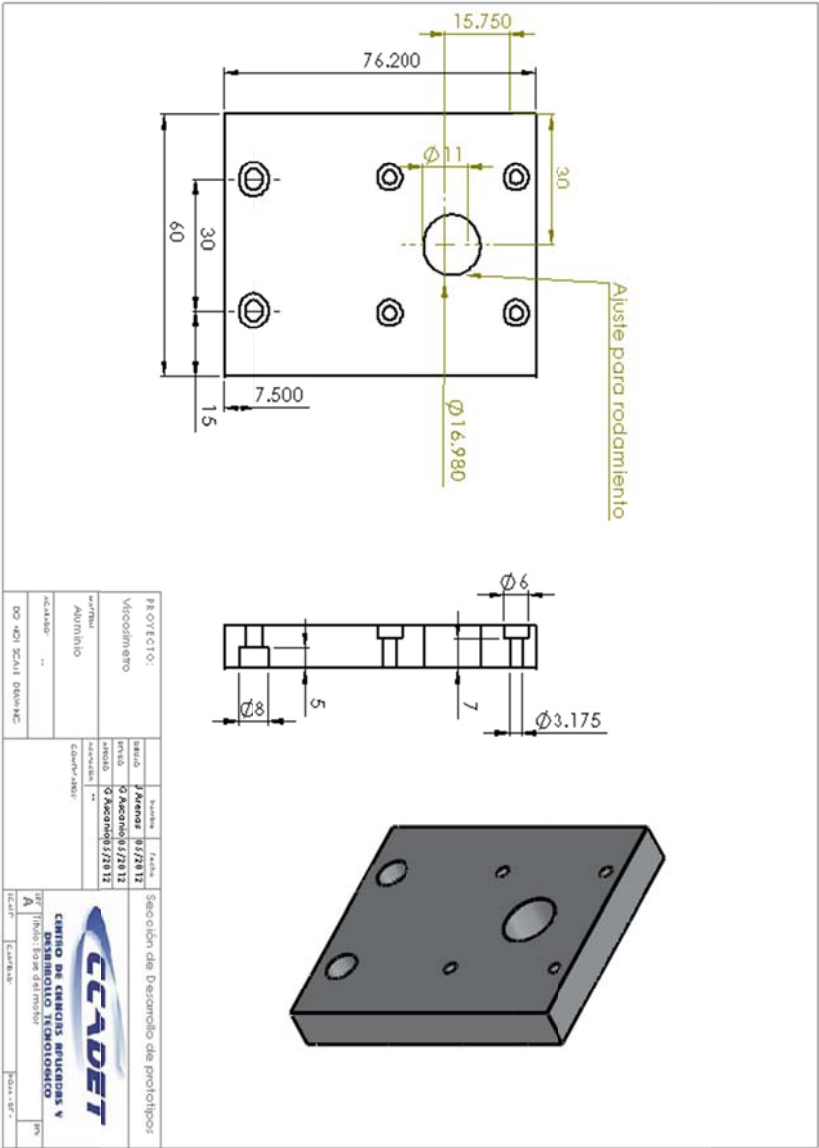
A.1.3. Lista de material.

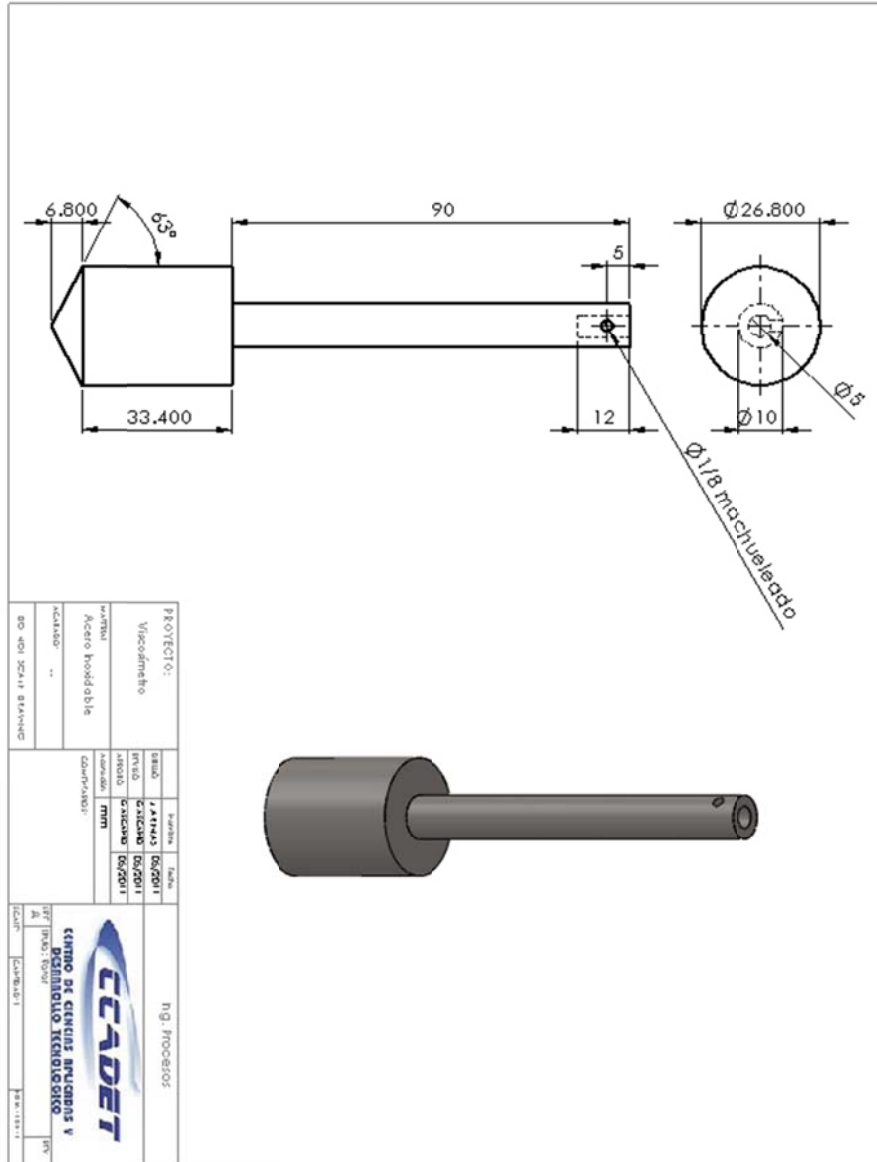
Id	Descripción	Proveedor	Código
C1	Capacitor cerámico 15p	AG Electrónica	CC-15/1000V
C2	Capacitor cerámico 15p	AG Electrónica	CC-15/1000V
C3	Capacitor monolítico 0.1u	AG Electrónica	CM-.1/50V
C4	Capacitor monolítico 0.1u	AG Electrónica	CM-.1/50V
C5	Capacitor electrolítico 100u	AG Electrónica	CE-100/16V
C6	Capacitor monolítico 470n	AG Electrónica	CM-.47/50V
C7	Capacitor monolítico 0.1u	AG Electrónica	CM-.1/50V
C8	Capacitor cerámico 22p	AG Electrónica	CC-22/1000V
C9	Capacitor cerámico 22p	AG Electrónica	CC-22/1000V
C10	Capacitor monolítico 0.1u	AG Electrónica	CM-.1/50V
C11	Capacitor monolítico 0.1u	AG Electrónica	CM-.1/50V
C12	Capacitor monolítico 0.1u	AG Electrónica	CM-.1/50V
C13	Capacitor electrolítico 2200u	AG Electrónica	CE-2200/50V
C14	Capacitor electrolítico 100u	AG Electrónica	CE-100/50V
C15	Capacitor monolítico 0.1u	AG Electrónica	CM-.1/50V
C16	Capacitor electrolítico 2200u	AG Electrónica	CE-2200/50V
C17	Capacitor electrolítico 100u	AG Electrónica	CE-100/50V
C18	Capacitor monolítico 0.1u	AG Electrónica	CM-.1/50V
C19	Capacitor poliéster 0.2u	AG Electrónica	CP-.22/250V
D1	Puente de diodos 2W005M	AG Electrónica	2W005M
D2	Puente de diodos 2W005M	AG Electrónica	2W005M
D3	Led	Steren	10/AZUL ULTRA
D4	Diodo 1N4001	AG Electrónica	1N4001
D5	Led	Steren	10/AZUL ULTRA
D6	Diodo 6A6	AG Electronica	6A6
F1	Fusible europeo 1A	Steren	FEUR 1
F1	Portafusible europeo para CI	Ultimo recurso	No
F2	Fusible europeo 1A	Steren	FEUR 1
F2	Portafusible europeo para CI	Ultimo recurso	No
J1	Conector USB tipo B DIP	AG Electrónica	USBB/F90_DIP
J2	Header 4 pin	Ultimo recurso	No
J2	Caja 4 pin	Ultimo recurso	N
J3	Header 5 pin	Ultimo recurso	No
J3	Caja 5 pin	Ultimo recurso	No
J4	Terminal con 2 tornillos	Steren	TRT-02
J4	Transformador 12V 0.5A	Steren	TR12-500
J5	Terminal con 2 tornillos	Steren	TRT-02
J5	Transformador 24V 0.5A	Steren	TR24-500
J6	Terminal con 2 tornillos	Steren	TRT-02
J7	Terminal con 2 tornillos	Steren	TRT-02
J8	Header 2 pin	Ultimo recurso	No
J8	Caja 2 pin	Ultimo recurso	No
J8	Push botton	Steren	AU-102R
J9	Header 2 pin	Ultimo recurso	No
J9	Caja 2 pin	Ultimo recurso	No
J9	Push botton	Steren	AU-102R
J10	Header 2 pin	Ultimo recurso	No
J10	Caja 2 pin	Ultimo recurso	No
Q1	Transistor BC547A	AG Electrónica	BC547A
Q2	SCR 2N6396	AG Electrónica	2N6396
R1	Resistencia de carbón 4k7 1/4W	Steren	R4k7 1/4

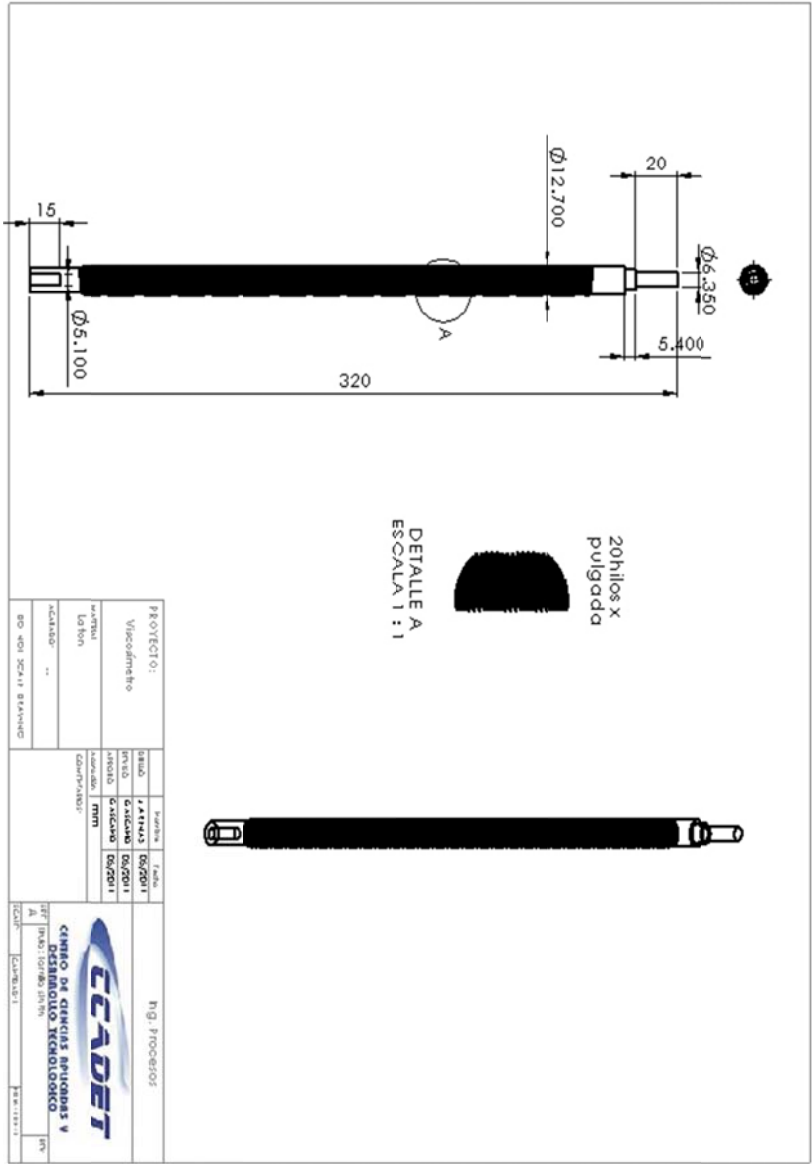
R2	Resistencia de carbón 1M 1/4W	Steren	R1M 1/4
R3	Resistencia de carbón 4k7 1/4W	Steren	R4k7 1/4
R4	Resistencia de carbón 22 1/4W	Steren	R22 1/4
R5	Resistencia de carbón 22 1/4W	Steren	R22 1/4
R6	Resistencia de carbón 10M 1/4W	Steren	R10M 1/4
R7	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R8	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R9	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R10	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R11	Potenciometro 10K	AG Electrónica	3386P-1-103
R12	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R13	Resistencia de carbón 470 1/4W	Steren	R470 1/4
R14	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R15	Resistencia de carbón 820 1/4W	Steren	R820 1/4
R16	Resistencia de carbón 470 1/4W	Steren	R470 1/4
R17	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R18	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R19	Resistencia de carbón 330 1/4W	Steren	R330 1/4
R20	Resistencia de carbón 180 1W	Steren	R180 1W
R21	Resistencia de alambre 1k2 25W	AG Electrónica	RA-1K2/25W
R22	Resistencia de carbón 4k7 1/4W	Steren	R4k7 1/4
R23	Resistencia de carbón 4k7 1/4W	Steren	R4k7 1/4
R24	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R25	Trimpot	AG Electrónica	3006P-1-103
SW1	Push botón para CI	Steren	AU-101
SW2	Push botón para CI	Steren	AU-101
U1	Circuito integrado PIC18F4550	AG Electrónica	PIC18F4550-I/P
U1	Base para CI 40 posiciones	Steren	IC40P
U2	Circuito integrado 74HC04	AG Electrónica	SN74HC04N
U2	Base para CI 14 posiciones	Steren	IC14P
U3	Circuito integrado LS7266R1	USDigital	No
U3	Base para CI 28 posiciones	Steren	IC28P
U4	Despliegue LCD AND491	AG Electrónica	JHD-162ASTN
U4	Base para CI 40 posiciones	Steren	IC40P
U4	Header 1 linea 16 posiciones	AG Electronica	HEADER-1
U5	Regulador de voltaje L7805CV	AG Electrónica	L7805CV
U5	Disipador de calor	Steren	TO-200
U6	Regulador de voltaje L7812CV	AG Electrónica	L7812CV
U6	Disipador de calor	Steren	TO-200
U7	Circuito integrado MOC3011	AG Electrónica	MOC3011M
U7	Base para CI 8 posiciones	Steren	IC8P
X1	Cristal 20M	AG Electrónica	20MHZ-MINI
X2	Cristal 6M	AG Electrónica	6MHZ-MINI

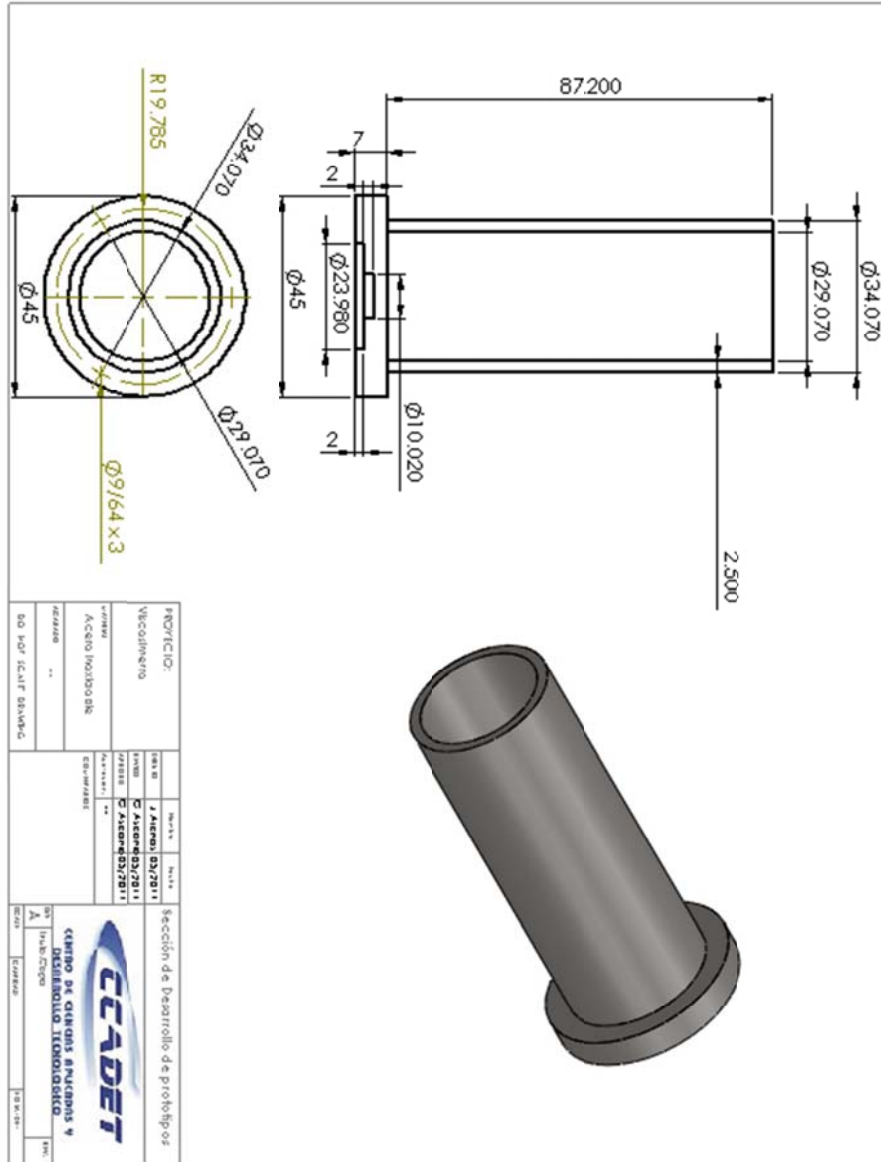
Anexo B. Componente mecánica.

B.1. Planos.

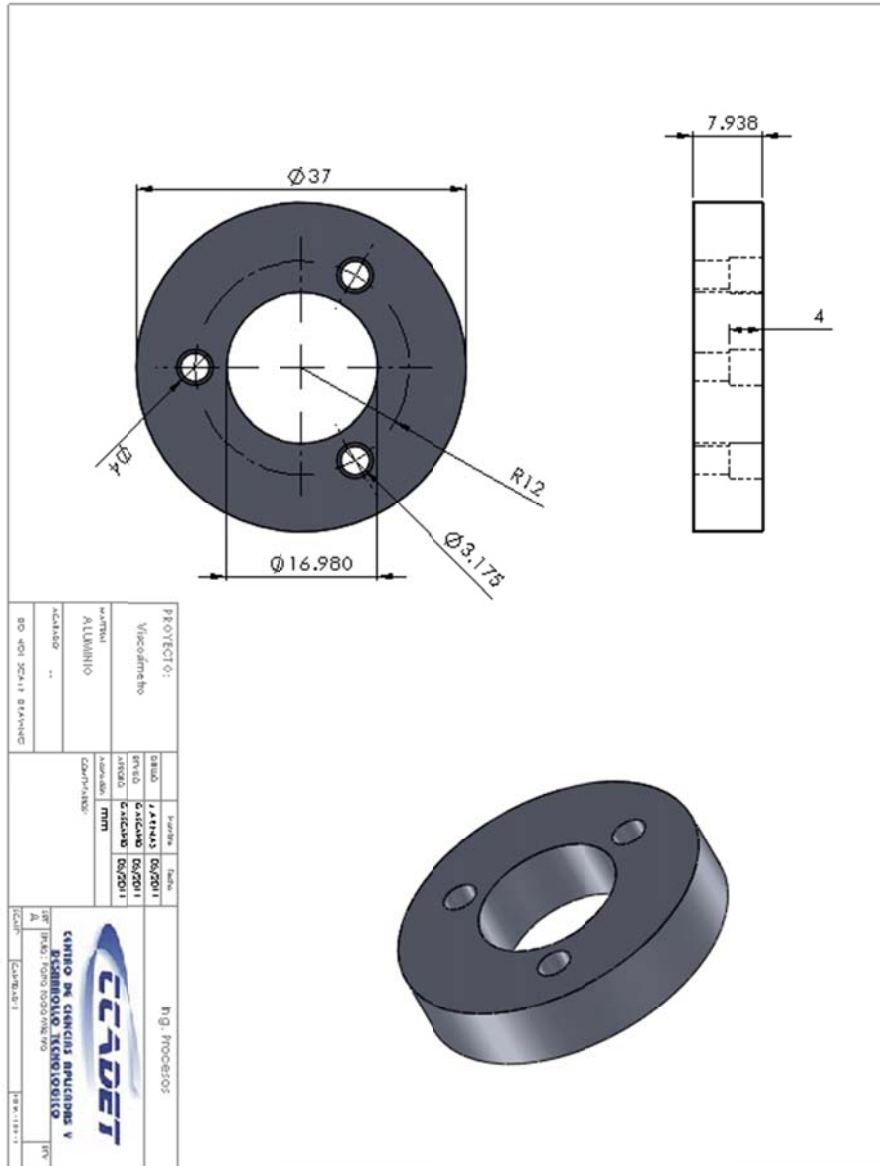


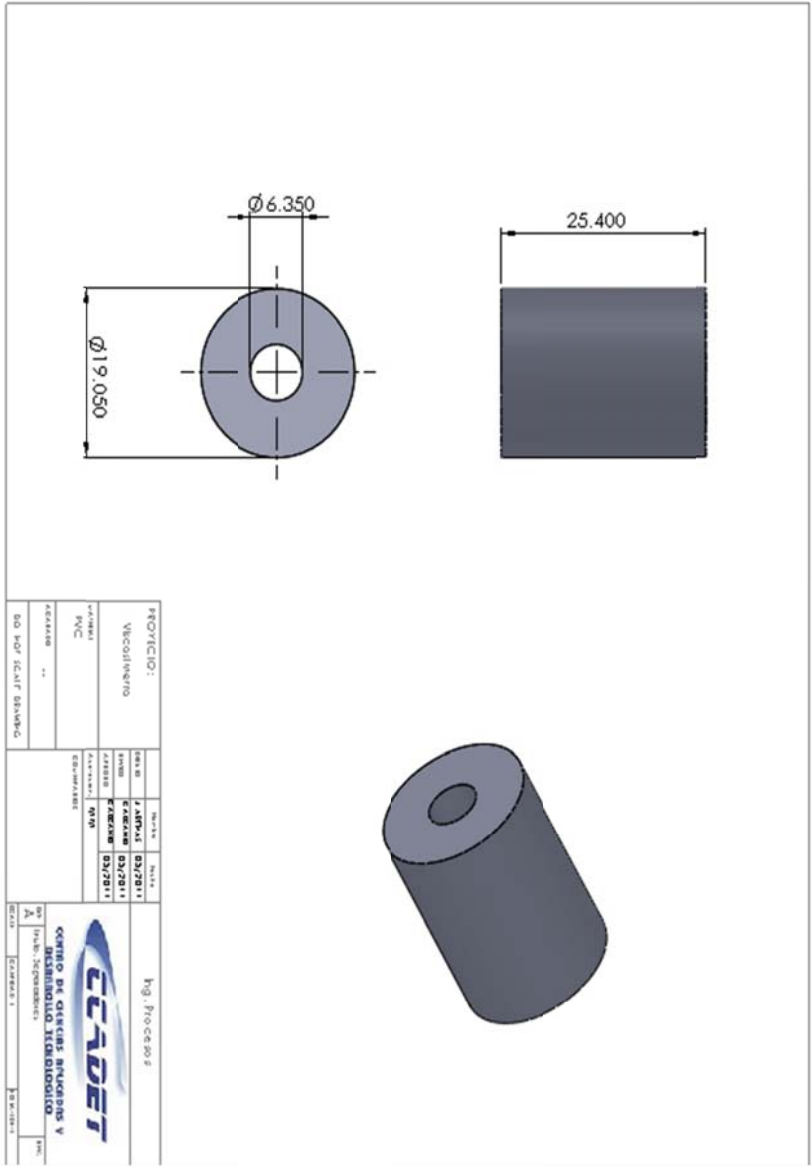






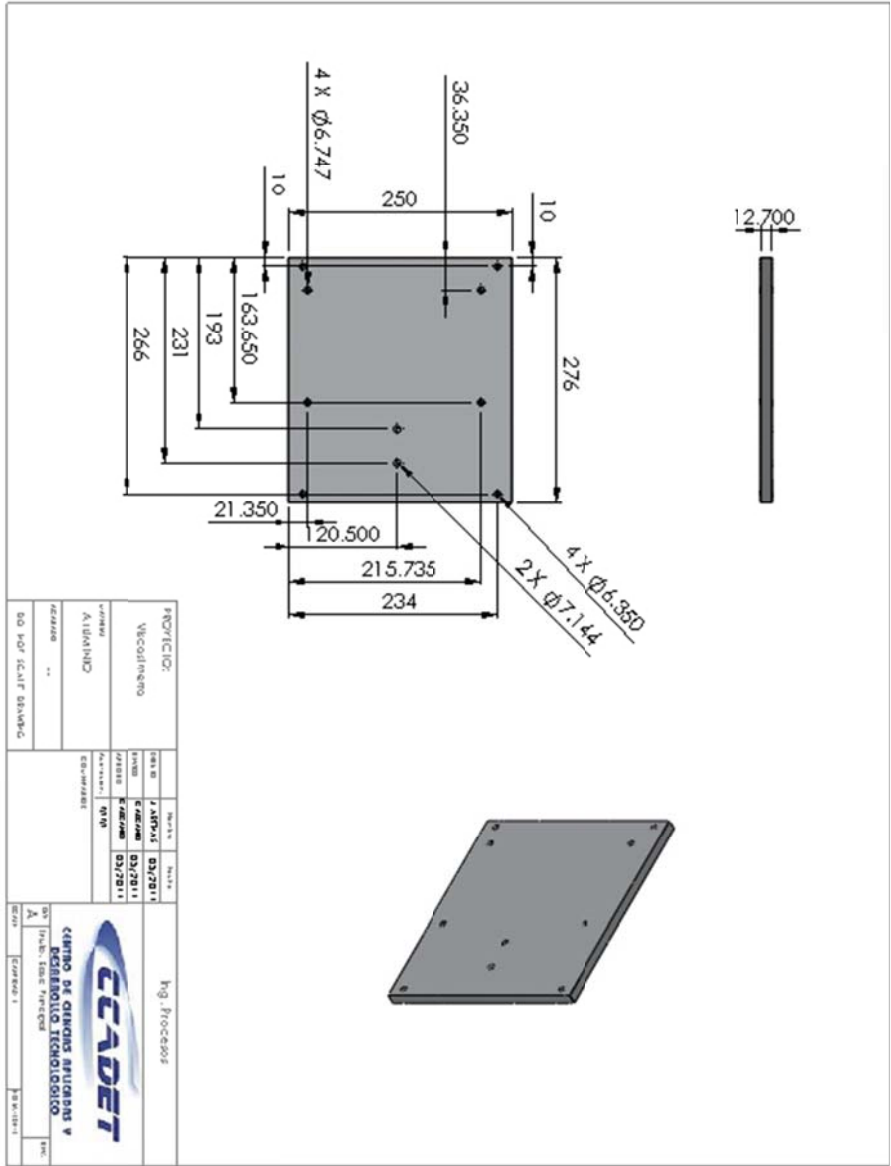


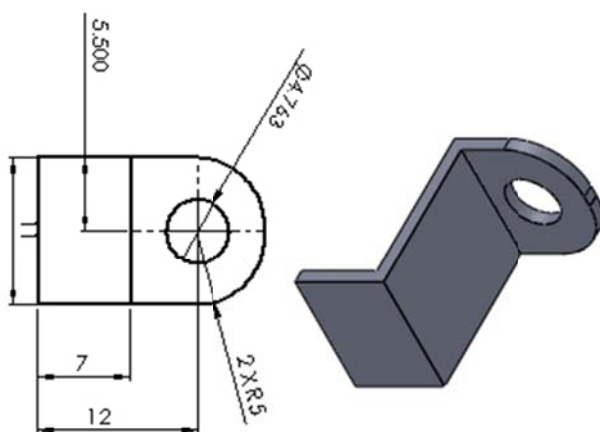




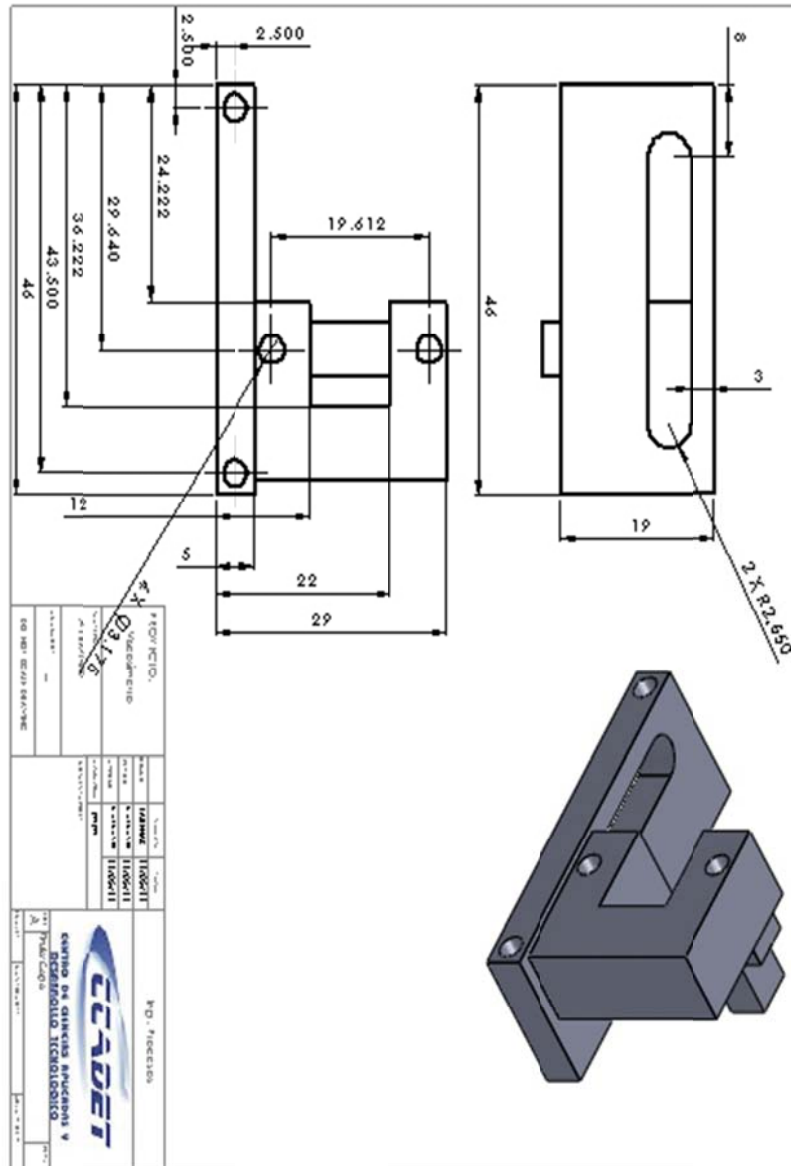
REVISÃO:		PROJETO:	
VISCOSIMETRO		MATERIAL	
N/C		N/C	
ACABADO		N/C	
BO POR SCAR BRUNO		N/C	

Fig. Processo	
CCADET	
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E	
DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO	
N/C	
N/C	





PROVIDIDO:		Ing. Procecos																	
Vendedor:		CCADET																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ORDEN</th> <th>FECHA</th> <th>PRECIO</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>919533</td> <td>1/1/2011</td> <td>6.000,00</td> <td>6.000,00</td> </tr> <tr> <td>919534</td> <td>1/1/2011</td> <td>6.000,00</td> <td>6.000,00</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Subtotal</td> <td>12.000,00</td> <td>12.000,00</td> </tr> </tbody> </table>		ORDEN	FECHA	PRECIO	TOTAL	919533	1/1/2011	6.000,00	6.000,00	919534	1/1/2011	6.000,00	6.000,00	Subtotal		12.000,00	12.000,00		
ORDEN	FECHA	PRECIO	TOTAL																
919533	1/1/2011	6.000,00	6.000,00																
919534	1/1/2011	6.000,00	6.000,00																
Subtotal		12.000,00	12.000,00																
*OTROS:																			
ALIBANIZ																			
FECHA:																			
**																			
BO POR LEANT BANCAR																			



B.2. Lista de material.

Descripción	Proveedor	Código
Rodamiento de bolas radial	SKF	AFBMA 20.1-10-10-8,SI,NC,8_68
Rodamiento de carga axial	SKF	51100-8,SI,NC,8_68
Placa de aluminio de 5/8in.		
Placa de aluminio de 3/16		
Barra de acero inoxidable de 2in.		316
Barra de latón de 1in.		
Barra de PVC de 1in.		
Tornillos Allen de 1/8in, 3/16in, 5mm,		
Tornillo cabeza de gota 3/16		
Prisioneros de 1/8in, 3/16in.		
O-Ring	Parker	Serie 2-XXX

Referencias

Analog Devices. (1999), *AD620 low cost low power instrumentation amplifier*, Analog Devices, USA, 16 pp.

AND. (1991), *AND Display Products Catalog*, AND, USA, 242 pp.

Bazan, MAR (2007), *Diseño mecánico de un reómetro de cilindros concéntricos*, Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México, México, 50 pp.

Custom Computer Services. (2007), *PCD C Compiler Reference Manual*, Custom Computer Services, USA, 319 pp.

JVR. (2013) "PIC Calculadora USB" en Mucho trasto. [On line].

Available at: <http://www.muchotrasto.com/PICCalculadoraUSBC++.php>. [Accessed on Sept 12, 2013].

Kruglinski DJ, Shepherd G y Wingo S. (1988) *Programming Microsoft Visual C++*. Microsoft Press, USA, 1153 pp.

Microchip (2009), *MPLAB® IDE User's Guide with MPLAB Editor and MPLAB SIM Simulator*, Microchip, USA. 360 pp.

Microchip (2007), *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet*, Microchip, USA, 430 pp.

Nava SR, Valera OB, Pérez LJS y Vázquez, PLA (2008), *Viscosímetro portátil USB*, XXIII Congreso de Instrumentación, Sociedad Mexicana de Instrumentación, Jalapa Veracruz, 1 al 3 de octubre, pp. ref. 119RNS.

Texas Instruments (2011), *LMD18201 3A 55V H-Bridge*, Texas Instruments, USA, 16 pp.

Texas Instruments (2002), *L293 quadruple half-h drivers*, Texas Instruments, USA, 17 pp.

US Digital (2006), *LS7266R1 Encoder to Microprocessor Interface Chip*, US Digital, USA, 6 pp.

US Digital (2012), *E3 Optical Kit Encoder*, US Digital, USA, 14 pp.