

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

UNAM

INGENIERIA DE PROCESO

INFORME TÉCNICO

Sistema electromecánico para el análisis del mezclado de fluidos multifásicos



PARTICIPANTES:

Benjamín Valera Orozco
Miguel Ángel Bazán Ramírez
Gabriel Ascanio Gasca

Ciudad Universitaria, México D. F.
Diciembre de 2010

ÍNDICE

Introducción.	1
Definición del problema.	1
Entorno actual.	1
Descripción del problema a resolver.	1
Relevancia y limitaciones.	1
Relación con otras áreas.	2
Método.	2
Objetivos y resultados esperados.	2
Organización del informe.	2
 1 Sistema electromecánico.	 3
1.1. Esquema general.	3
1.2. Componente electrónica.	3
1.2.1. Control de velocidad.	4
1.2.2. Medición de torque	5
1.2.3. Medición de velocidad angular	6
1.2.4. Interfaz con el usuario local y remota.	7
1.2.5. Descripción del firmware	7
1.3. Componente mecánica.	9
 2 Software de operación.	 12
2.1. Descripción en el ámbito del usuario.	11
2.1.1. Instalación.	11
2.1.2. Operación.	15
2.2. Descripción en el ámbito del programador.	16
2.2.1. Enlace de los componentes.	16
2.2.2. Descripción de las clases.	16
2.3. Procedimiento típico de operación.	18
2.3.1. Modo local.	18
2.3.1. Operación remota.	19
 3 Resultados y discusión.	 20

3.1. Resultados y discusión.	20
3.1.1. Prototipo electromecánico.	20
3.1.2. Caracterización.	21
3.2. Discusión.	22
Conclusiones.	23
Anexos.	24
A.1. Componente electrónica.	24
A.1.1. Diagrama esquemático.	24
A.1.2. Circuito impreso.	26
A.1.3. Lista de material.	27
A.2. Componente mecánica.	29
A.2.1. Planos.	29
A.2.2. Lista de material.	43
Referencias.	44
Estructura de directorios del disco compacto	
CodigoFuente	
PIC	
VisualC	
Programa	
Manejadores	

Resumen

La hidrodinámica de los fluidos proporciona elementos para realizar eficientemente el proceso de mezclado en diversas áreas y procesos industriales. Con este objetivo, se diseñan y construyen tanques de agitación que permitan conocer el campo de presiones, velocidades y desarrollo del proceso de mezclado. En este trabajo se presenta un sistema electromecánico para llevar a cabo el mezclado y estudio de fluidos multifásicos. Es un diseño ex profeso que debe permitir observar y analizar características propias del proceso de mezclado: análisis del consumo de la potencia requerida y visualización del comportamiento de las fases presentes durante el mezclado.

El sistema está conformado por dos subsistemas: mecánico y electrónico. El subsistema mecánico consiste básicamente de un tanque cilíndrico de acrílico, un arreglo circular de 4 mamparas, un par de agitadores centrales y accesorios para la introducción de los dispositivos al tanque, mismos que son auxiliares en la visualización del proceso. Un sensor de par de torsión para el análisis de la potencia consumida durante el proceso. El subsistema electrónico cuenta con el desarrollo de una tarjeta que registra el par de torsión de la flecha eje del agitador, el control y registro de la velocidad angular del agitador. Los datos de las mediciones de par de torsión y de la velocidad angular pueden ser transferidos vía *USB* a una *PC*. Se muestran los detalles de la implementación y algunos resultados de su aplicación en el mezclado de fluidos multifásicos.

Introducción.

La hidrodinámica de los fluidos proporciona elementos para realizar eficientemente el proceso de mezclado en diversas áreas y procesos industriales. Con este objetivo, se diseñan y construyen tanques de agitación que permitan conocer el campo de presiones, velocidades y desarrollo del proceso de mezclado. En este trabajo se presenta un sistema electromecánico para llevar a cabo el mezclado y estudio de fluidos multi-fásicos. El prototipo desarrollado es un diseño ex profeso que permite observar y analizar las siguientes características propias de un proceso de mezclado: análisis del consumo de la potencia requerida y visualización del comportamiento de las fases presentes durante el mezclado.

Definición del problema.

En el presente proyecto se presenta el diseño y construcción de un sistema electromecánico para el análisis de los fluidos multifásicos con especificaciones proporcionadas por el cliente.

Entorno actual.

Actualmente en el Instituto de Biotecnología de la UNAM se llevan a cabo diversos experimentos con el fin de analizar diferentes procesos de mezclado. Particularmente, para analizar el mezclado de fluidos multifásicos, se requiere de un sistema de agitación con diseño específico ya que los sistemas comerciales no cubren las especificaciones del usuario.

Descripción del problema a resolver.

El sistema debe estar conformado por dos componentes: mecánica y electrónica. La componente mecánica consiste básicamente de un tanque cilíndrico de acrílico, un arreglo circular de 4 mamparas, un par de agitadores centrales, accesorios para la introducción de los dispositivos sensores al tanque (accesorios auxiliares en la visualización del proceso), un sensor de par de torsión para el análisis de la potencia consumida durante el proceso, un sensor de velocidad angular y motor impulsor. El subsistema electrónico debe registrar el par de torsión de la flecha del eje del agitador y controlar y registrar la velocidad angular del agitador. Los datos de las mediciones de par de torsión y de la velocidad angular pueden ser transferidos vía USB a una PC.

Relevancia y limitaciones.

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

Adicionalmente, cabe señalar que las especificaciones proporcionadas por el cliente son difíciles de cubrir por los sistemas de agitación que se comercializan en el mercado, razón por la cual el prototipo desarrollado cobra relevancia.

Las limitaciones del prototipo también están fuertemente relacionadas a las especificaciones del cliente y éste no puede ser utilizado para realizar procesos de mezclado que rebasen sus especificaciones de volumen de mezclado, velocidad de agitación y torque de operación.

Relación con otras áreas.

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

Método.

El método a emplear tiene como base el agitador de flujo continuo axial con impulsor en el centro de un tanque cilíndrico. El esquema general del equipo desarrollado se muestra en la figura 1.

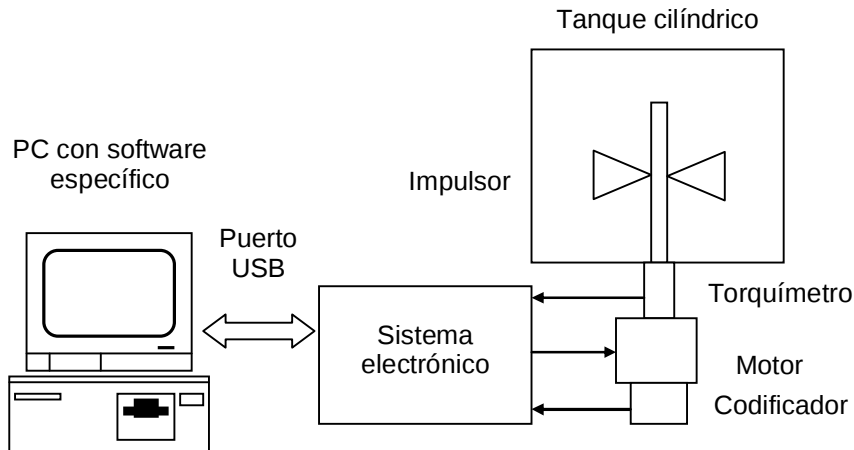


Figura 1. Sistema electromecánico para el análisis de fluidos.

Para cubrir las especificaciones del cliente, el tanque agitador es equipado con dispositivos electrónicos para la medición del torque y control de la velocidad del impulsor. El sistema electrónico genera la señal de potencia para impulsar el motor. El codificador y torquímetro están acoplados mecánicamente al eje de rotación del motor e impulsor. Las señales que generan los sensores de velocidad y torque son registradas por el sistema electrónico para su despliegue localmente o vía remota a través de una computadora con software específico y conexión USB.

Objetivos y resultados esperados.

Con el sistema propuesto se podrán mezclar fluidos con volúmenes de 20lt a velocidades de 0 a 120rpm. La medición de torque cubrirá un alcance de medición de 0 a 15Nm con división mínima de 0.01 Nm

Organización del informe.

En la sección 1 se presentan los detalles de la implementación electrónica y mecánica. La sección 2 muestra la descripción del software desarrollado en Visual C que soporta el hardware y realiza las mediciones de los parámetros de interés. 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. Sistema electromecánico.

En la presente sección se describe el sistema electromecánico propuesto para el mezclado de fluidos multifásicos. El sistema desarrollado se utiliza en el mezclado de sustancias con base en líquidos de baja viscosidad a bajas velocidades y su diseño robusto evita las vibraciones.

1.1. Esquema general.

El presente proyecto se organizó en tres componentes: electrónica, mecánica y programación. La figura 1.1 muestra el esquema general.

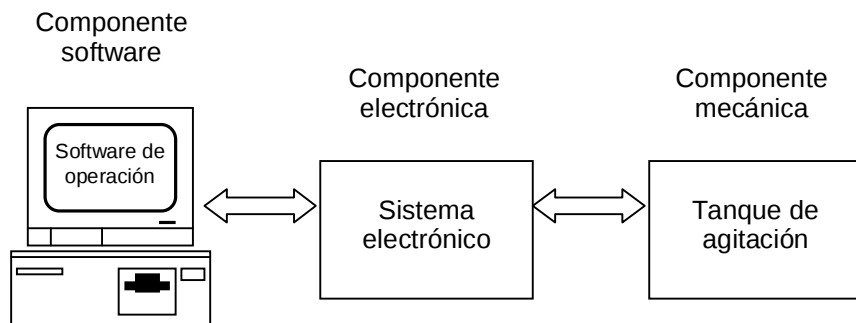


Figura 1.1. Esquema general del prototipo electromecánico.

La configuración propuesta permite el mezclado de sustancias en líquidos de baja viscosidad que son depositados en el tanque. La velocidad del agitador transversal del tanque varía desde 0% hasta 100% de la energía que suministra el sistema electrónico. Esta variación de la energía se traduce en una variación en la velocidad de rotación del agitador de 0 a 120rpm aproximadamente para 20lt de agua en el tanque. El sistema proporciona lecturas de porcentaje de energía, velocidad del agitador y el torque que desarrolla el motor. 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 el porcentaje de energía y obtiene lecturas de velocidad angular y torque.

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 mezclar. El sistema electrónico fue desarrollado con base en un microcontrolador PIC18F4550 [Microchip 2007] y dispositivos periféricos para interconectar el actuador y transductores que se muestran en la figura 1.2.

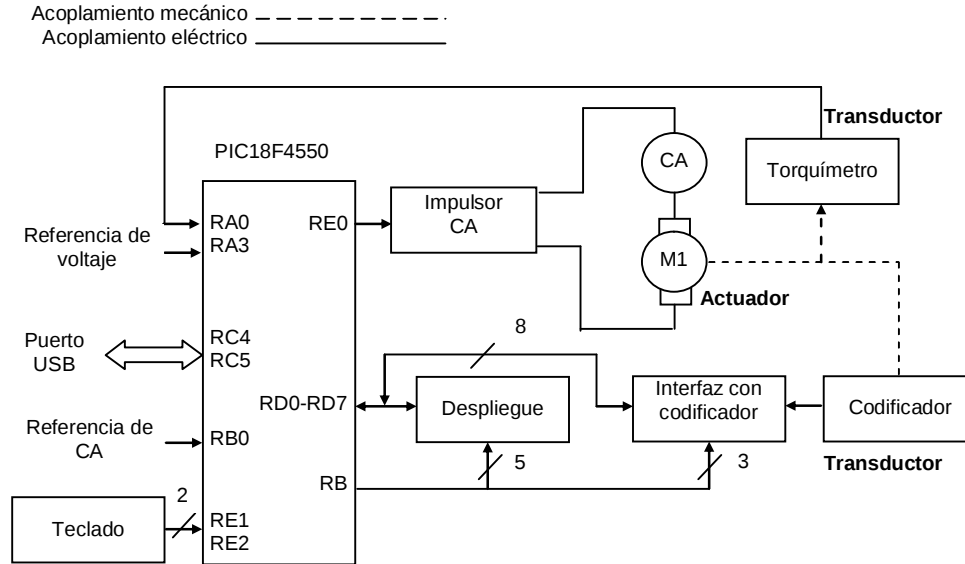


Figura 1.2. Esquema general del sistema electrónico.

El actuador M1 es un moto-reductor de corriente directa marca Baldor de 90 V [Baldor 1995]. El torquímetro es de la marca Lorenz modelo DR-2112 de 30Nm [Lorenz 2008]. El codificador es de la marca Autonics E50S8-1000-3-T-24 de 1000cuentas/revolución [Autonics 2009].

El sistema electrónico realiza las siguientes funciones principales:

- Control de velocidad del motor.
- Medición de torque.
- Medición de velocidad angular.
- 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 de velocidad del agitador del tanque se consigue mediante la técnica conocida como *control del ángulo de fase* para la variación de la energía promedio que se suministra al motor [Dewang 1975, Motorola 1989]. En este sentido, la energía promedio del motor es aproximadamente proporcional a la velocidad de la flecha.

En el esquema adoptado, la señal de la fuente CA, V_i , es suministrada de forma controlada por el ángulo de fase α , como se muestra en la figura 1.3.

Refiriéndose a la figura 1.3, la señal en RB0 es la referencia para que el microcontrolador genere el pulso de salida en RE0. La señal en RB0 es la versión cuadrada de una copia de la señal de potencia en la línea CA, V_i . El pulso en RE0 dispara el dispositivo de conducción que suministra la energía promedio al motor, V_0 . El nivel de voltaje promedio en V_0 está directamente relacionado con el ángulo de fase α . En este sentido si el retardo en α aumenta, V_0 disminuye y viceversa. En la práctica, el dispositivo de conducción es un SCR opto-acoplado al microcontrolador. La descripción anterior se muestra en la figura 1.4.

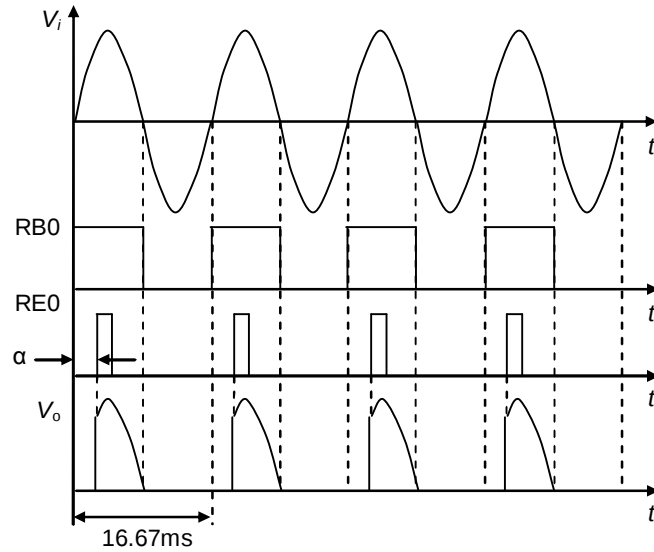


Figura 1.3. Señales para el control de ángulo de fase.

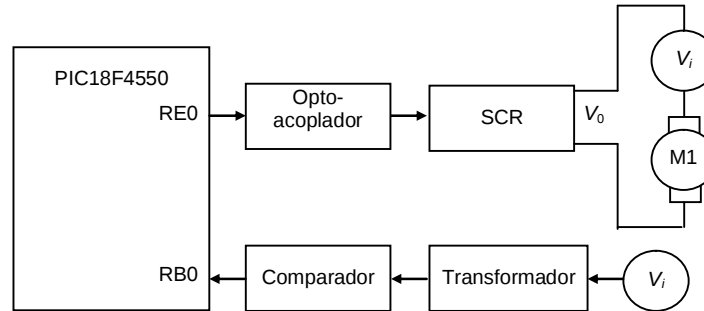


Figura 1.4. Circuito para el control de velocidad.

Los detalles de la implementación se muestran en el anexo A.1.1.

1.2.2 Medición de torque.

Para la medición de torque se utilizó un torquímetro marca Lorenz modelo DR-2112 de 30Nm a 5V [Lorenz 2008]. El circuito de conexión entre el torquímetro y el microcontrolador con convertidor analógico a digital de 10 bits se muestra en la figura 1.5.

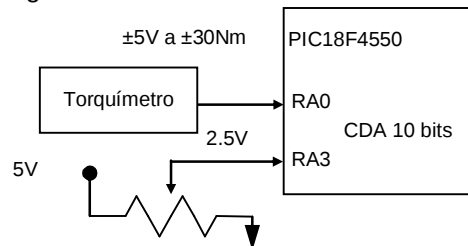


Figura 1.5. Conexión del torquímetro.

Con relación a la figura 1.5, la referencia de voltaje es 2.5V, lo que proporciona las siguientes características a la medición de torque

$$\text{Alcance} = \frac{2.5V}{5V} 30Nm = 15Nm$$

$$\text{Resolución} = \frac{15Nm}{2^{10}} \approx 0.01Nm$$

Los detalles de la implementación se muestran en el anexo A.1.1.

2.2.3. Medición de velocidad angular.

Para la medición de la velocidad angular se utilizó un codificador óptico angular marca Autonics modelo E50S8-1000-3-T-24 de 1000cuentas/revolución [Autonics 2009]. La conexión del codificador implica el uso de un circuito de interfaz entre codificador y microcontrolador, LS7266R1 [US Digital 2006]. La conexión es como se muestra en la figura 1.6.

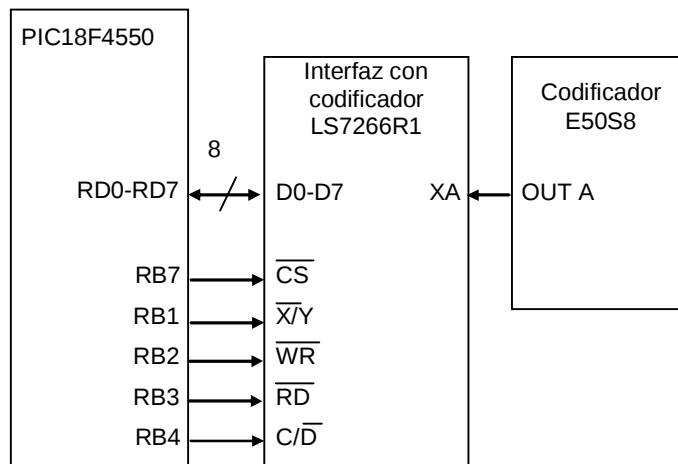


Figura 1.6. Circuito para la medición de velocidad angular.

La tabla 1.1 muestra las funciones que desempeñan las señales del circuito de la figura 1.6.

Señal en el PICF184550	Señal en el LS7266R1	Función
RD0-RD7	D0-D7	Transporta datos y comandos
RB7	CS	Habilita el LS7266R1 para lectura o escritura
RB1	X/Y	Selecciona uno de los dos codificadores que pueden conectarse al LS7266R1
RB2	WR	Habilita el LS7266R1 para la escritura de comandos de configuración
RB3	RD	Habilita el LS7266R1 para la lectura de la posición angular
RB4	C/D	Selecciona registros de control o de datos del LS7266R1

Tabla 1.1. Funciones del circuito para la medición de velocidad.

El microcontrolador envía comandos para configurar el circuito de interfaz y recibe posiciones angulares para determinar la velocidad.

Los detalles de la implementación se muestran en el anexo A.1.1.

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 1.7.

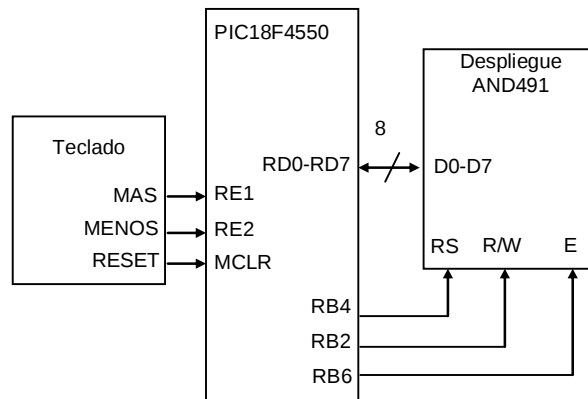


Figura 1.7. Interfaz local con el usuario.

Las tablas 1.2 y 1.3 muestran las funciones que desempeñan las señales del circuito de la figura 1.7.

Señal en el PICF184550	Señal en el LS7266R1	Función
RD0-RD7	D0-D7	Transporta datos y comandos
RB4	RS	Selecciona el caso de transporte de datos o de comandos
RB2	R/W	Selecciona el modo de lectura o escritura de caracteres y comandos
RB6	E	Habilita el AND491 para lectura o escritura

Tabla 1.2. Funciones del circuito para el despliegue de datos.

Señal en el PICF184550	Tecla	Función
RE1	MAS	Incrementa el ángulo de fase. Incrementa la velocidad del motor
RE2	MENOS	Decrementa el ángulo de fase. Decrementa la velocidad del motor
MCLR	RESET	Reinicia el circuito electrónico a 0% de velocidad del motor
RE2 MCLR	MENOS RESET	Permite ingresar al modo de conexión remota por USB

Tabla 1.3. Funciones del circuito para conexión del teclado.

Los detalles de la implementación se muestran en el anexo A.1.1.

1.2.5. Descripción del firmware.

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

- Genera la señal de disparo para variar el nivel de energía CD en el motor.

- Digitaliza el voltaje analógico del torquímetro.
- Captura la posición del codificador.
- Despliega la medición del torque en Nm, el porcentaje de energía y la velocidad 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. Las rutinas de atención a las interrupciones se encargan de generar las bases de tiempo para refrescar el despliegue cada 16.67ms, calcular la velocidad angular en rpm cada 1s, digitalizar la señal del torquímetro cada 5.46ms y generar la señal de ángulo de fase cada 16.67ms. El programa desarrollado se describe en el siguiente diagrama de flujo de la figura 1.8.

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

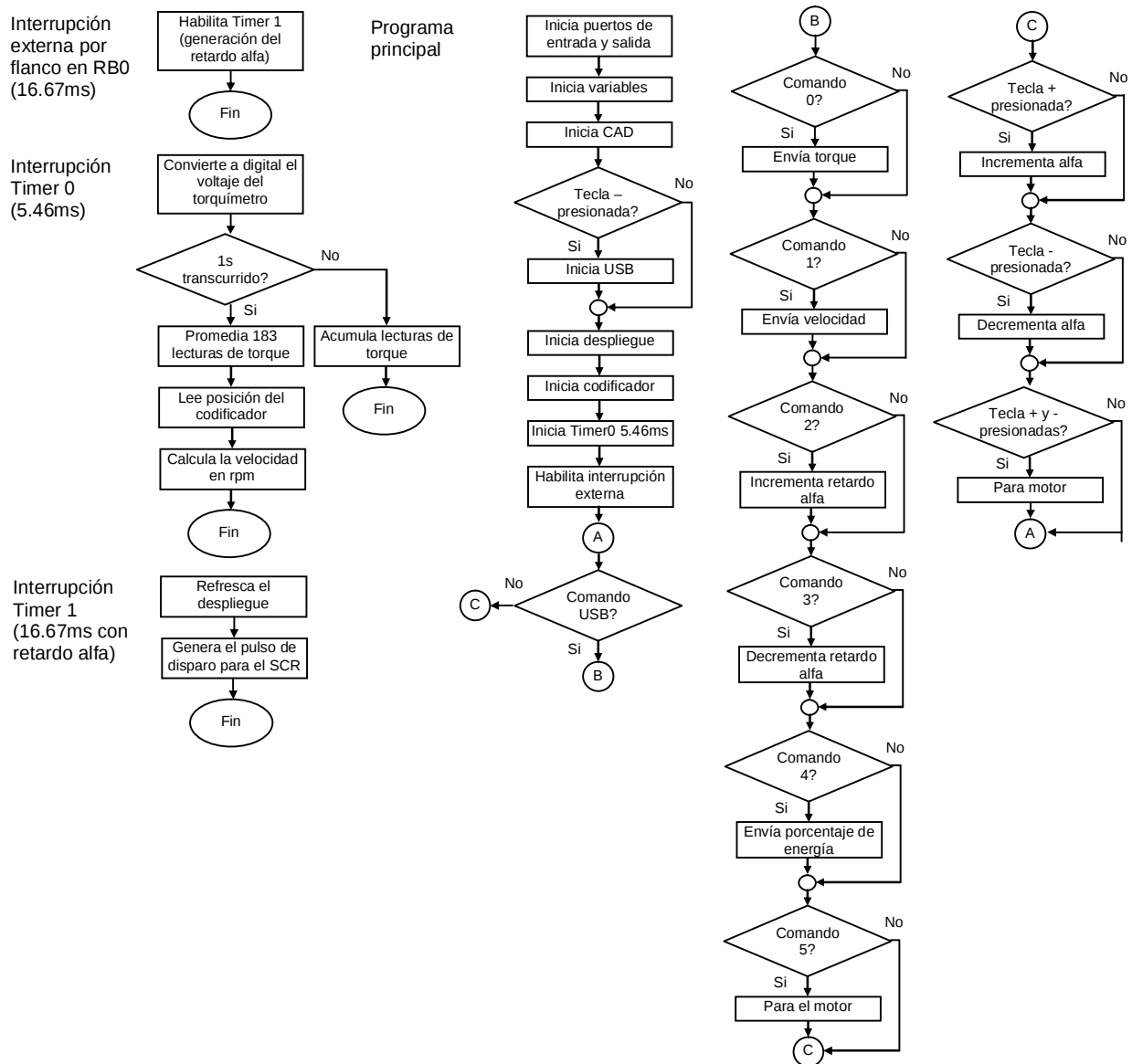


Figura 1.8. Programa para el PIC18F4550.

1.3. Componente mecánica.

En este trabajo se implementó un sistema que permite caracterizar la dispersión en un sistema modelo en zonas dentro del tanque, alejadas de la pared, utilizando un tanque de acrílico de mezclado (0.33 m de diámetro) con un sistema de posicionamiento preciso del equipo de visualización dentro del tanque. Esto permite llevar a cabo una caracterización detallada de la dispersión en distintas zonas del tanque de mezclado. Es por lo anterior que se construye un equipo electromecánico que permite realizar el mezclado de los fluidos y permite acoplar el sistema de videoendoscopia de forma segura para evitar daños a los elementos que intervienen en el proceso.

El tanque cilíndrico está constituido por dos piezas. El cuerpo cilíndrico es un tubo de acrílico de 330 mm (13 plg) de diámetro interior y una pared cilíndrica de 12.7 mm (0.5 plg), figura 1.9. El fondo del tanque es una placa circular de acero inoxidable 304 de 406 mm (16 plg) de diámetro y un barreno concéntrico de 12.7 mm (0.5 plg) de diámetro. El sistema cuenta con cuatro *baffles* de 33.78 mm x 609.6 mm (1.33 plg x 24 plg), espesor de 6.35 mm (0.25 plg), equidistantes entre sí y con una distancia de 33.78 mm (1.33 plg) respecto a la pared cilíndrica. Estos *baffles* pueden ser removidos según la necesidad de las pruebas. Se utiliza una junta de neopreno con espesor de 7.93 mm (0.3125 plg) para evitar fuga de líquido entre la base de acero inoxidable y el tubo de acrílico.

La flecha es de acero inoxidable con un diámetro de 12.7 mm (0.5 plg) y una longitud de 381 mm (15 plg). Esta altura permite utilizar una o dos turbinas equidistantes. La flecha es acoplada a dos rodamientos de bolas con doble tapa con el fin de auxiliar en el giro de los impulsores y reducir un movimiento angular fuera del eje vertical. Un sello mecánico de resorte es colocado entre los rodamientos y la placa de la base del tanque con el fin de evitar que los líquidos ingresen a los rodamientos y puedan alcanzar el sensor de par de torsión y motor. Los rodamientos y el sello mecánico se alojan en una pieza cilíndrica de 50.8 mm (2 plg) de diámetro y una longitud de 127 mm (5 plg), misma que se acopla de manera concéntrica a la placa circular del tanque. El sistema puede incorporar hasta dos turbinas Rushton de un diámetro de 109.2 mm (4.3 plg), altura de las paletas de 31.75 mm (1.25 plg) y un espesor de 6.35 mm (0.25 plg).

El tanque de acrílico cuenta con una placa de aluminio de 304.8 mm (12 plg) de largo y un espesor de 6.35 mm (0.25 plg). A lo largo de la placa se tiene un arreglo lineal de 18 barrenos roscados de diámetro 12.02 mm (0.4375 plg), 14 UNC, equidistantes a 16.68 mm (0.657 plg) respecto al centro de cada barreno. El arreglo permite utilizar tornillos de diámetro de 12.02 mm (0.4375 plg) para sellar cada barreno roscado y utilizar un tornillo con barreno pasado concéntrico de diámetro de 9.9 mm (0.39 plg). El tornillo con barreno concéntrico permite introducir el endoscopio en el tanque, lo más cercano a las zonas de mezclado deseadas.

La estructura que soporta el sistema es de 635 x 635 x 1498.6 mm (25 x 25 x 59 plg), cuenta con dos placas de acero 1018 (cold rolled) de un espesor de 12.7 mm (0.5 in) cada una; la primera placa (superior) soporta el tanque y la segunda soporta el motorreductor y los sensores. El esqueleto es de sección cuadrada de 50.8 mm (2 plg). La estructura tiene cuatro ruedas de 63.5 (2.5 plg) de diámetro, con capacidad de carga de 60 kg cada una. Además cuenta con cinco tornillos niveladores con recubrimiento de neopreno, para evitar dañar la superficie donde se instale el sistema, que permiten liberar de la carga a las cuatro ruedas mientras el equipo está en operación.

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

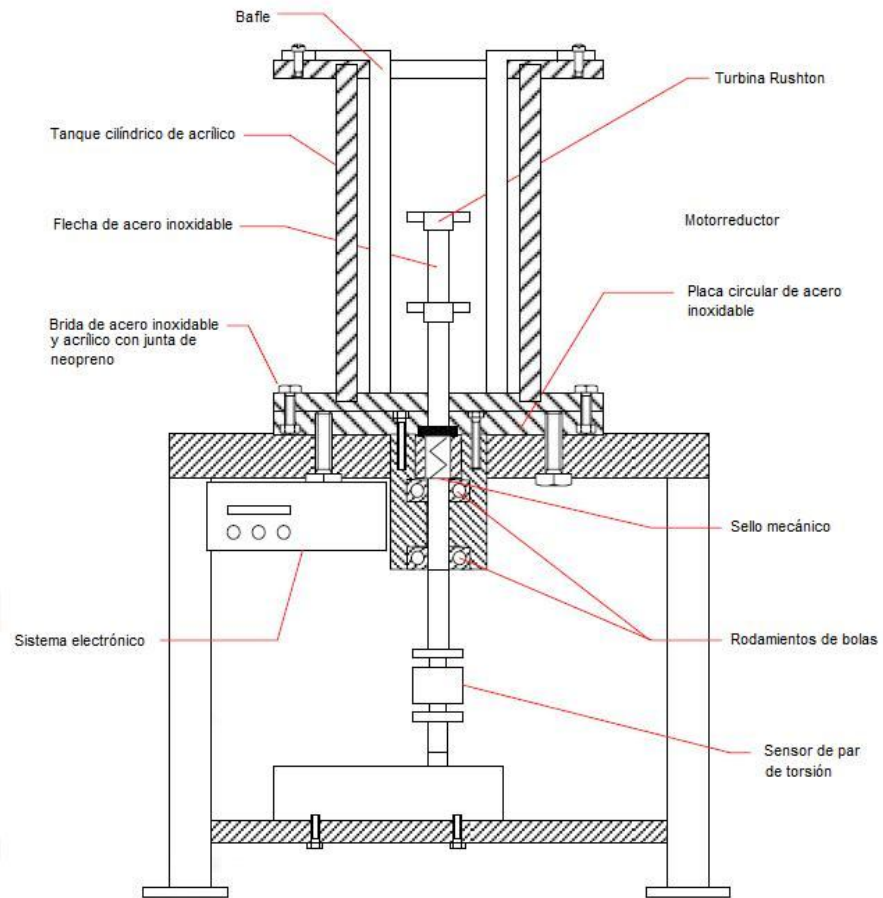


Figura 1.9. Esquema de la componente mecánica.

2. Software de operación.

El sistema de mezclado tiene como medio de operación, además de su despliegue y teclado locales, un programa para PC que controla completamente el hardware, implementa los algoritmos de control y medición descritos en 1.2 y transporta a Excel las mediciones en tiempo real. El software fue desarrollado en Visual C++ 6 y es ejecutable desde Windows XP.

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 y simplifica el registro de lecturas por medio de su conexión a una hoja de cálculo en Excel.

2.1.1. Instalación.

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

- Windows XP Profesional Edittion, Service Pack 3.
- Office Excel 2003 o superior.
- 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 sistema de mezclado.
3. En el sistema electrónico, mantener presionado el botón MENOS seguido de presionar el botón RESET. Al soltar ambos botones deberá aparecer en el despliegue 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 2.1. Acepte la opción de la figura que le indica a Windows que no se conecte al sitio "Windows Update". Presione el botón "Next".



Figura 2.1. Instalación de nuevo hardware.

6. Aparecerá la pantalla de la figura 2.2 en donde se deberá indicar que la búsqueda del software se realice desde una ubicación específica. Presione el botón "Next".



Figura 2.2. Instalación de nuevo hardware.

7. Posteriormente se desplegará la pantalla de la figura 2.3 en donde se deberá presionar el botón "Browse..." para seleccionar la ruta en donde se localiza el software manejador. La ubicación es en la carpeta "Manejadores" del CD anexo. Presione el botón "Next".



Figura 2.3. Instalación de nuevo hardware.

8. De la pantalla de advertencia de la figura 2.4 seleccione el botón “Continuar”.



Figura 2.4. Instalación de nuevo hardware.

9. Aparecerá la pantalla de la figura 2.5 en donde finaliza el proceso de instalación de nuevo hardware.



Figura 2.5. Instalación de nuevo hardware.

10. Finalmente, para verificar que el manejador ha sido correctamente instalado y que el sistema electrónico se encuentra conectado, se puede acceder al “Administrador de dispositivos” para observar que el manejador “J.M VIDAL USB2.0” aparece en la lista de “Otros dispositivos”, como se muestra en la figura 2.6.

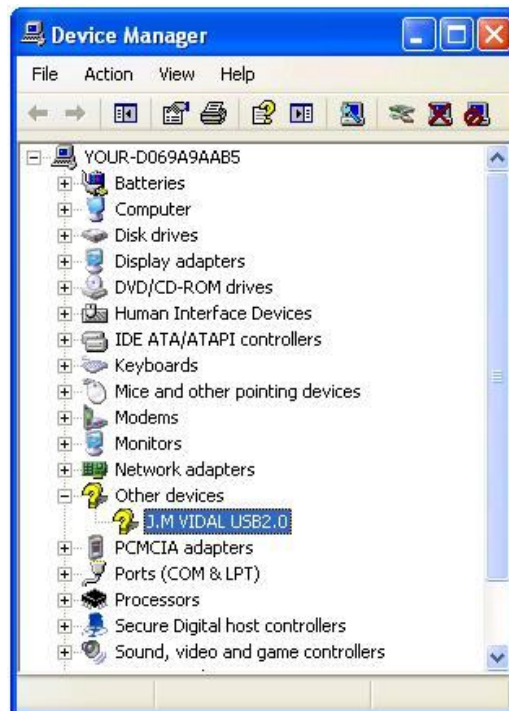


Figura 2.6. Instalación de nuevo hardware.

10. Una vez realizado lo anterior, se puede ejecutar el programa “sensores.exe” que está contenido en la carpeta seleccionada en el punto 1.

2.1.2. Operacion.

El programa “sensores.exe” ejecuta automáticamente Excel e inicia una hoja de cálculo nueva, como se muestra en la figura 2.7.

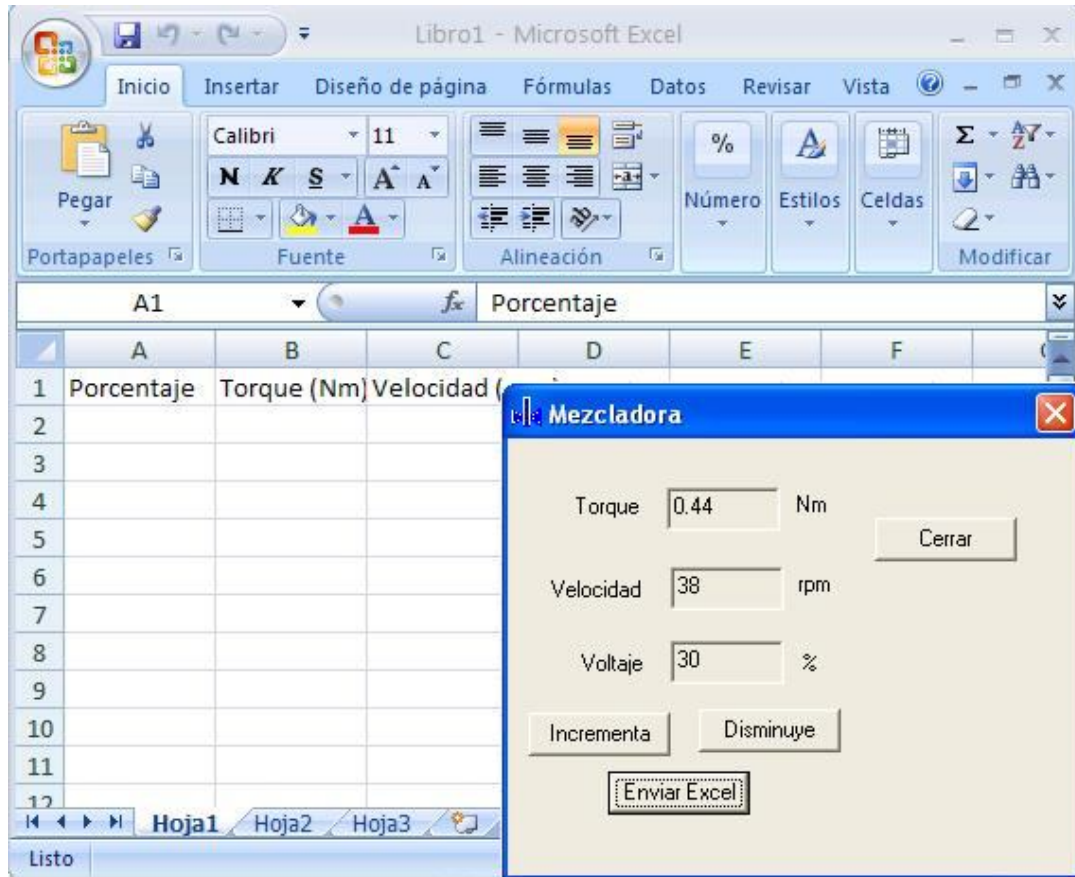


Figura 2.7. Programa “sensores.exe”.

El programa ejecutable despliega una caja de diálogo llamada “Mezcladora” y nombra las siguientes tres columnas en la hoja de cálculo: Porcentaje, Torque (Nm) y Velocidad (rpm).

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

- Incrementa: Incrementa el nivel de energía que se aplica al motor. El cambio se ve reflejado en la caja de texto “Voltaje %” y en la velocidad del agitador.
- Disminuye: Disminuye el nivel de energía que se aplica al motor. El cambio se ve reflejado en la caja de texto “Voltaje %” y en la velocidad del agitador.
- Enviar Excel: Envía las lecturas actualmente desplegadas en las cajas de texto “Voltaje %”, “Torque Nm” y “Velocidad rpm” a la hoja de cálculo para colocarlas progresivamente en las columnas “Porcentaje”, “Torque (Nm)” y “Velocidad (rpm)”. Cabe hacer mención que con cada vez que se presiona este botón, el renglón en la hoja de cálculo se incrementa.
- Cerrar: Termina la aplicación.

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

2.2. Descripción en el ámbito de programador.

El programa “sensores.exe”, fue desarrollado utilizando Visual C++ 6 [Kruglinsky 1998], la automatización de office Excel [Microsoft 2005], y la librería de comunicaciones USB2550 [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 agregaron los dos componentes siguientes:

1. Automatización de Office: Desde la pestaña de automatización en “ClassWizard” se añade una clase nueva del tipo “From a type library” y se selecciona el archivo ejecutable de Excel, generalmente localizado en C:\program Files\Microsoft Office\Office11\Excel.exe.
2. Librería de comunicaciones USB2550: Desde la pestaña “Link” en “Project settings” se incluye la librería USB2550.lib en “Object/library modules”. Después se copian los siguientes archivos al proyecto: usb2550.dll, usb2550.lib, usb2550.h, USB.cpp y USB.h

2.2.2. Descripción de las clases.

Inicialmente, “ClassWizard” crea las siguientes clases fundamentales para la aplicación: CAboutDlg, CSensoresApp y CSensoresDlg. Posteriormente, el enlace con la automatización de Office agrega numerosas clases al proyecto que se dejaron intactas. Finalmente, el enlace con la librería de comunicaciones añade la clase USB. Para el presente proyecto las clases que fueron desarrolladas de forma específica fueron CSensoresDlg y USB. A continuación se describe la funcionalidad de estas dos últimas clases.

CSensoresDlg

La clase CSensoresDlg se muestra en la figura 2.8. La descripción de sus métodos es la siguiente.

CSensoresDlg(CWnd* pParent = NULL); Constructor estándar. Insertado en el proyecto por ClassWizard.
virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Habilita el soporte para intercambio de datos con otras clases. Insertado en el proyecto por ClassWizard.
afx_msg void OnButtonEnviar(); Envía las lecturas actuales de voltaje, torque y velocidad a Excel. Incrementa el renglón para el siguiente envío.
afx_msg void OnButtonVelMas(); Envía por el puerto USB el comando para que el sistema electrónico incremente el retardo en el ángulo de fase.
afx_msg void OnButtonVelMenos(); Envía por el puerto USB el comando para que el sistema electrónico decremente el retardo en el ángulo de fase.
virtual BOOL OnInitDialog(); Habilita los servicios de comunicación con Excel. Inicia Excel y carga un nuevo libro. Inicia los encabezados de velocidad, torque y voltaje para el nuevo libro. Inicia la base de tiempo que refrescará el despliegue de la pantalla.
afx_msg void OnPaint(); Método estándar. Insertado en el proyecto por ClassWizard.
afx_msg HCURSOR OnQueryDragIcon(); Método estándar. Insertado en el proyecto por ClassWizard.
afx_msg void OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam); Método estándar. Insertado en el proyecto por ClassWizard.
afx_msg void OnTimer(UINT nIDEvent); Es la base de tiempo para refrescar el despliegue de las lecturas de voltaje, torque y velocidad. Envía los comandos respectivos para que el sistema electrónico regrese las lecturas y espera por el arribo de las mismas.

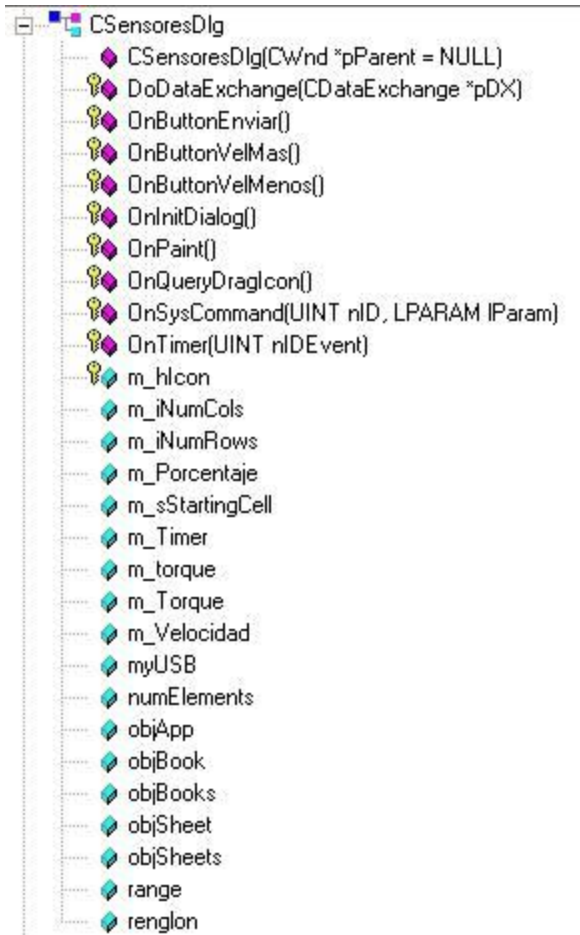


Figura 2.8. Clase “CSensoresDlg”.

USB

La clase USB que se muestra en la figura 2.9 fue modificada a partir de su distribución libre para cumplir con los requerimientos del proyecto. Los métodos que se agregaron y que son de utilidad para el proyecto son los siguientes:

`void INCFASEPIC();` Forma un paquete de 3 bytes que contiene el código de entrada para que el sistema electrónico ejecute el incremento del retardo en el ángulo de fase.

`void DECFASEPIC();` Forma un paquete de 3 bytes que contiene el código de entrada para que el sistema electrónico ejecute el decremento del retardo en el ángulo de fase.

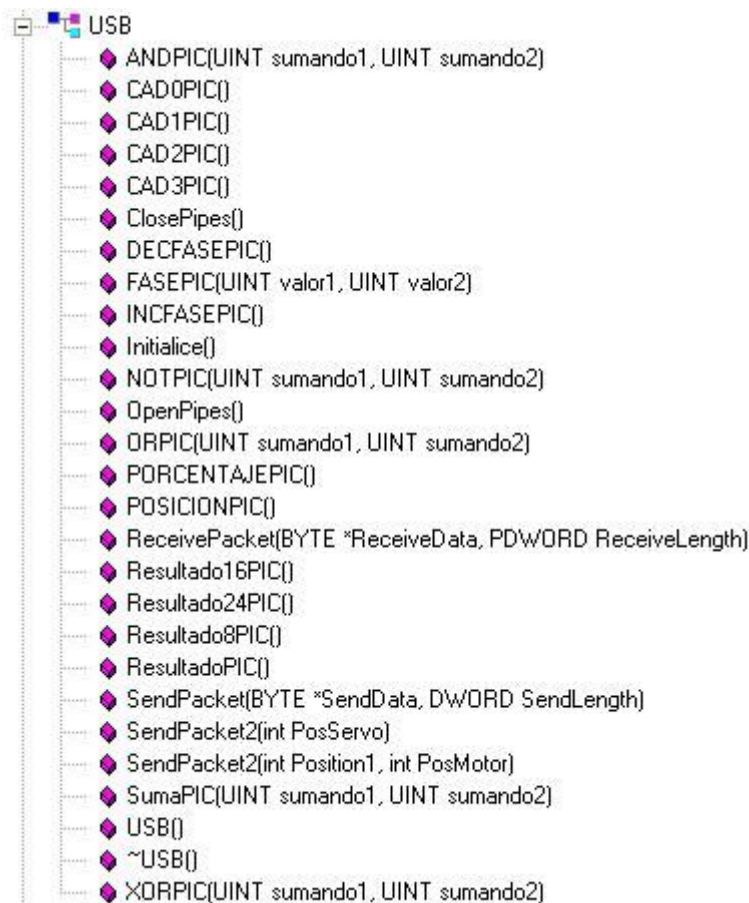


Figura 2.9. Clase "USB".

void CAD0PIC(); Forma un paquete de 1 byte que contiene el código de entrada para que el sistema electrónico ejecute la lectura de torque.

void POSICIONPIC(); Forma un paquete de 1 byte que contiene el código de entrada para que el sistema electrónico ejecute la lectura de velocidad.

void PORCENTAJEPIC(); Forma un paquete de 1 byte que contiene el código de entrada para que el sistema electrónico ejecute la lectura de voltaje.

long Resultado8PIC(); Recibe un byte por USB y lo convierte a long.

long Resultado16PIC(); Recibe dos bytes por USB y los convierte a long.

long Resultado24PIC(); Recibe tres bytes por USB y los convierte a long

El proyecto completo y código fuente se encuentran en la carpeta "CodigoFuente/VisualC" del CD.

2.3. PROCEDIMIENTO TÍPICO DE OPERACION.

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

2.3.1. Modo local.

La carátula del sistema electrónico se muestra en la figura 2.10.

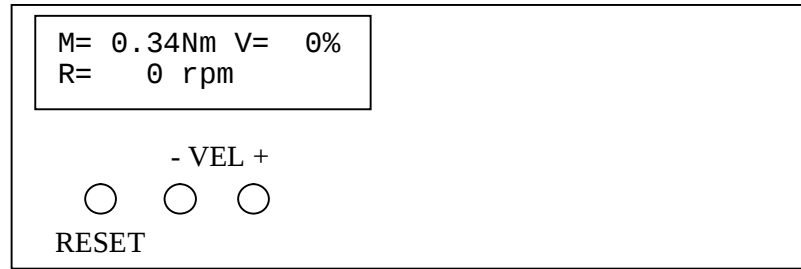


Figura 2.10. Carátula del sistema electrónico.

Con relación a la figura 2.10 la operación del sistema de mezclado puede ser de la siguiente forma:

- Energizar el sistema de mezclado. El interruptor de encendido se encuentra en la parte posterior del sistema electrónico.
- 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 + para incrementar la velocidad del agitador en el tanque.
- Presionar el botón - para decrementar la velocidad del agitador en el tanque.
- Esperar a que se estabilice el proceso.
- Repetir el proceso tantas veces como sea necesario.
- Apagar el sistema electrónico.

2.3.2. Operación remota.

Para operar en forma remota el sistema de mezclado se debe contar con una computadora anfitriona y el software instalado como se describió en 2.1.1. Con relación a la figura 2.7 la operación del sistema puede ser como se describe a continuación.

- Energizar el sistema de mezclado. El interruptor de encendido se encuentra en la parte posterior del sistema electrónico.
- Mantener el botón – presionado seguido de RESET para iniciar el modo remoto. Al soltar los botones deberá aparecer el mensaje "Conecte USB..." en el despliegue del sistema electrónico.
- Conecte el cable USB suministrado entre la computadora anfitriona y el sistema electrónico. El conector USB del sistema electrónico se encuentra en el costado izquierdo.
- Iniciar el software "sensores.exe".
- Operar el software como se describió en 2.1.2.
- Apagar el sistema electrónico.

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 el mezclado de fluidos multifásicos con las siguientes características:

- Alcance en torque: 15Nm.
- Alcance en velocidad: 130 rpm.
- Resolución en torque: 0.01Nm.
- Resolución en velocidad: aproximadamente 1rpm.
- Diseño robusto que evita vibraciones.
- Diseño mecánico con capacidad de instalar dispositivos auxiliares propiedad del cliente.
- Capacidad 20 lt.
- Conexión USB.
- Despliegue y teclado locales.
- Conexión con hojas de cálculo.

3.1.1. Prototipo electromecánico.

El sistema se instaló en la Planta Piloto del Instituto de Biotecnología de la UNAM (IBT), figura 3.1: El software desarrollado se muestra en la figura 3.2 en donde se observa el registro de datos en una hoja de cálculo en tiempo real. Lo anterior permite al usuario procesar las mediciones de acuerdo a sus propios algoritmos.

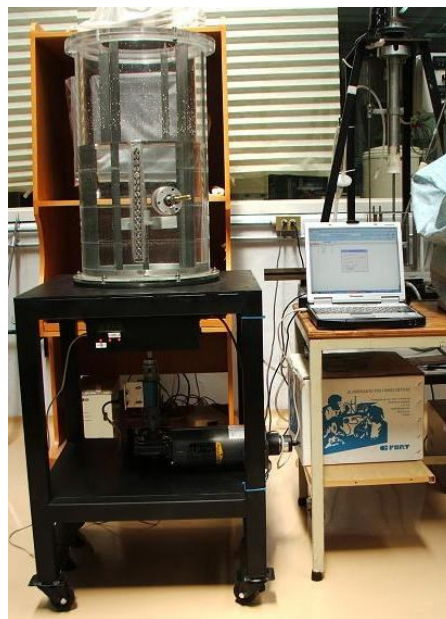


Figura 3.1. Sistema desarrollado.

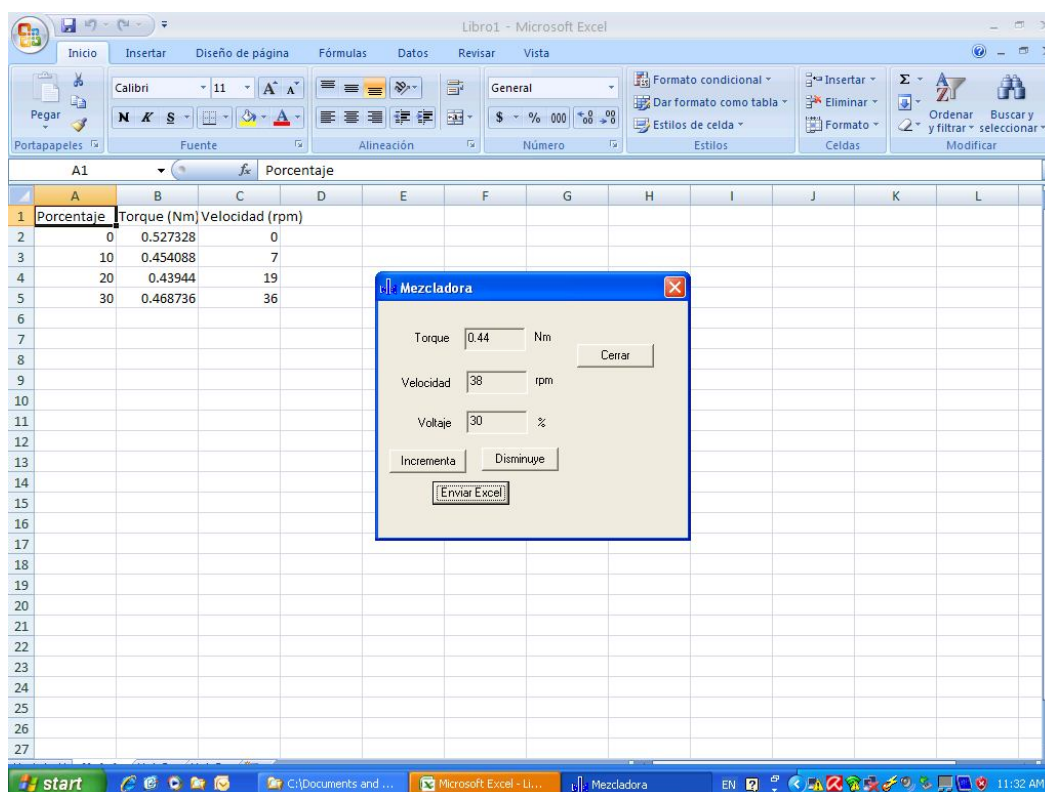


Figura 3.2. Software desarrollado.

3.1.2. Caracterización.

Al sistema se acopló el equipo de videoendoscopía de alta velocidad [Taboada 2006]. Las pruebas se realizaron utilizando una dispersión líquido-gas (agua destilada, aire 0.75 vvm) y se obtuvo la curva preliminar de potencia de la figura 3.3, para este sistema bifásico, cuyo comportamiento es el típico y esperado en estos sistemas. En la curva de la figura 3.3 el torque N y la potencia P se obtienen a partir de las mediciones efectuadas por el prototipo presentado en este informe. El volumen de trabajo utilizado fue de 0.028 m³ con una relación $T = H$, donde T es el diámetro del tanque y H es la altura del líquido.

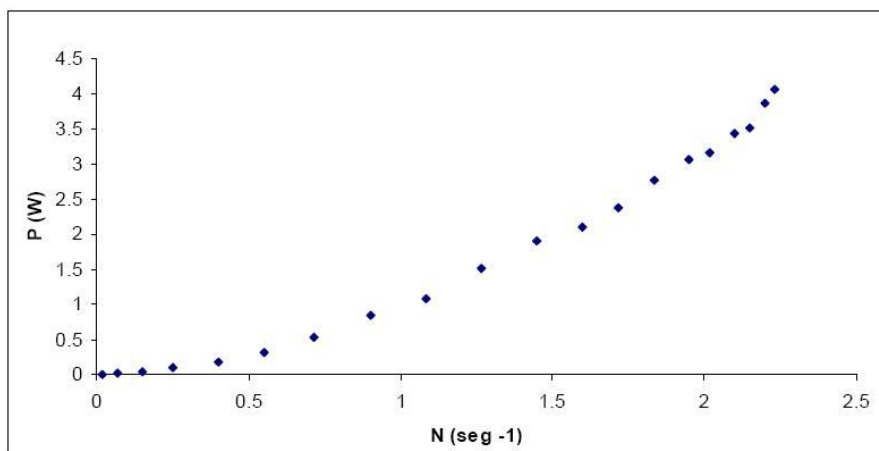


Figura 3.3. Curva de potencia para un sistema líquido – gas (0.75 vvm).

Se obtuvieron imágenes, como se describe en [Guevara-López 2008], con el sistema bifásico de prueba, utilizando una velocidad de agitación de 130 rpm, la cual corresponde a una potencia volumétrica de 0.12 kW/m³. El endoscopio se colocó a la altura del impulsor (D del fondo del tanque) y a 0.095 m de la pared del tanque en dirección radial hacia el impulsor. Se midieron los diámetros de burbujas dentro del tanque utilizando las imágenes del video grabado y se obtuvo la distribución de diámetros (figura 3.4). De forma general, estos resultados son consistentes con los obtenidos con otros sistemas de mezclado-análisis de imágenes vistos previamente [Corkidi 2008], indicando que el sistema desarrollado permite obtener resultados confiables.

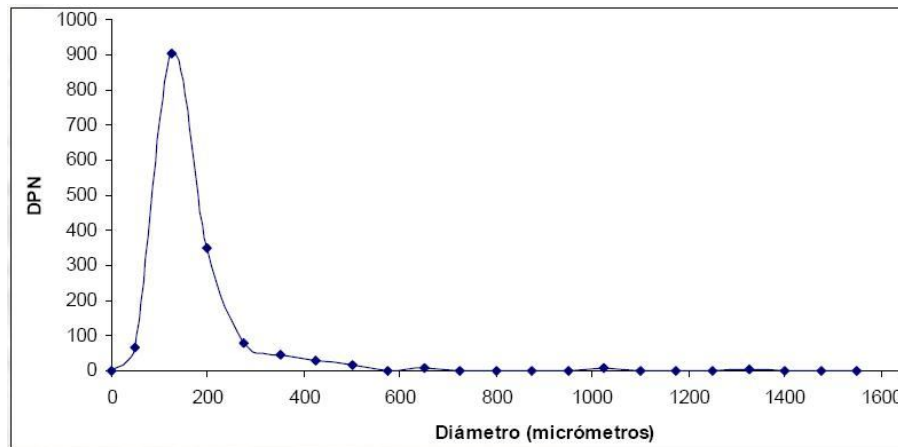


Figura 3.4. Distribución de diámetro de burbujas en un sistema líquido – gas.

3.2. Discusión.

El sistema desarrollado proporciona lecturas de torque y velocidad angular las cuales pueden ser transportadas a Excel. El envío a solicitud del usuario y ocurre cuando se presiona un botón en el programa. No obstante, los procesos de mezclado no siempre proporcionan lecturas estables de torque ya que el comportamiento del fluido en el interior del tanque es impredecible.

Conclusiones.

En este trabajo se desarrolló un prototipo hardware y software para el análisis de fluidos multifásicos.

El sistema desarrollado contribuye a la creación de infraestructura de desarrollo propio que puede ser ofrecida como una transferencia tecnológica. Adicionalmente, el sistema presenta gran capacidad de automatización y facilidad de 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.

Con el sistema desarrollado se podrán elegir diversas velocidades de agitación y utilizar diversos dispositivos sensores con lo cual se podrán analizar una gran cantidad de procesos de mezclado.

Trabajo a futuro.

Como trabajo a futuro se pretende automatizar un proceso completo de mezclado que haya sido analizado por el cliente con el objeto de mejorar el desempeño en la medición de torque.

Anexos

El presente anexo muestra los diagramas electrónicos y mecánicos que permiten replicar lo realizado en el proyecto.

A.1. Componente electrónica.

A.1.1. Diagrama esquemático.

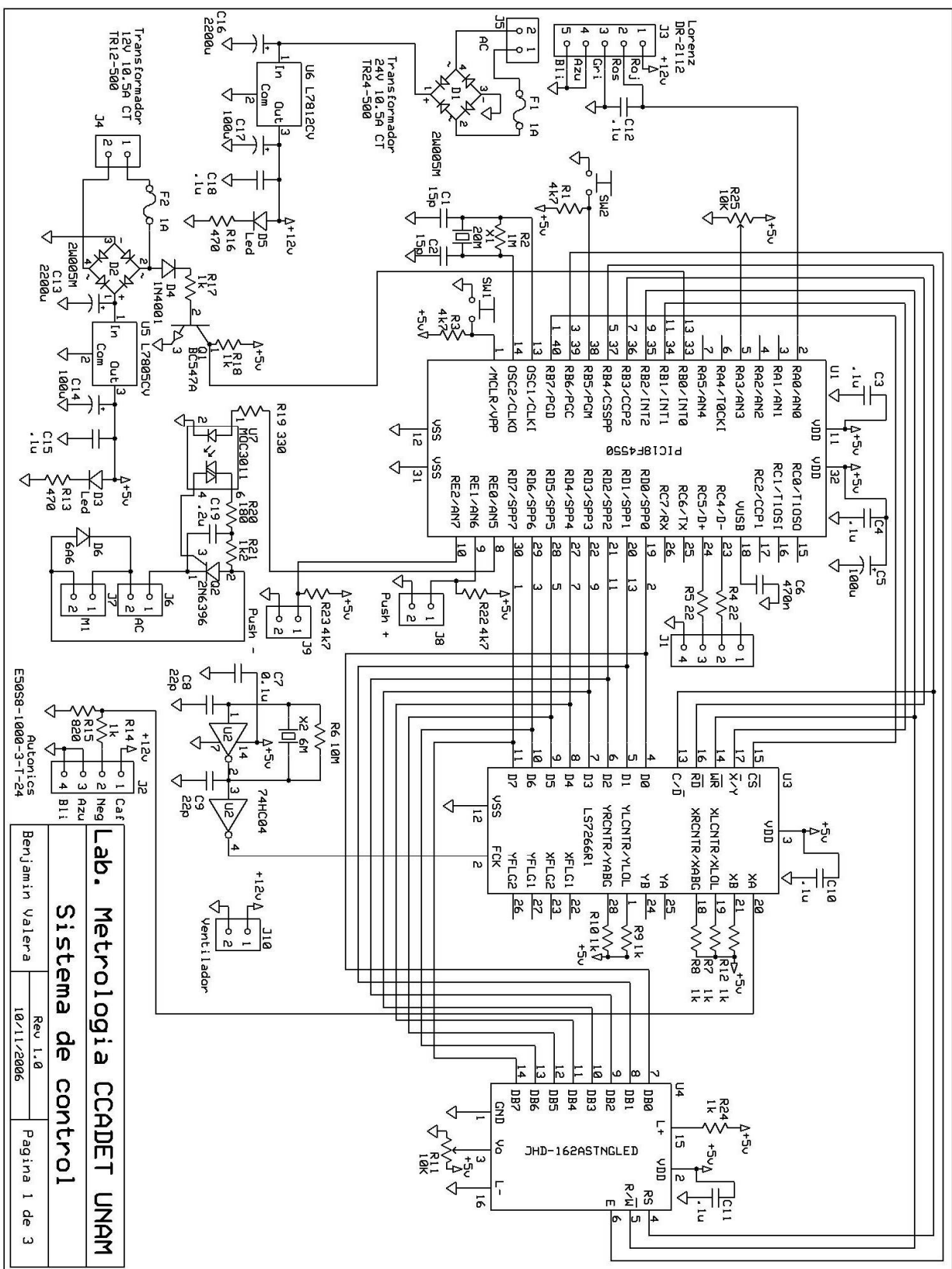


Figura A.1. Circuito esquemático.

A1.2. Circuito impreso.

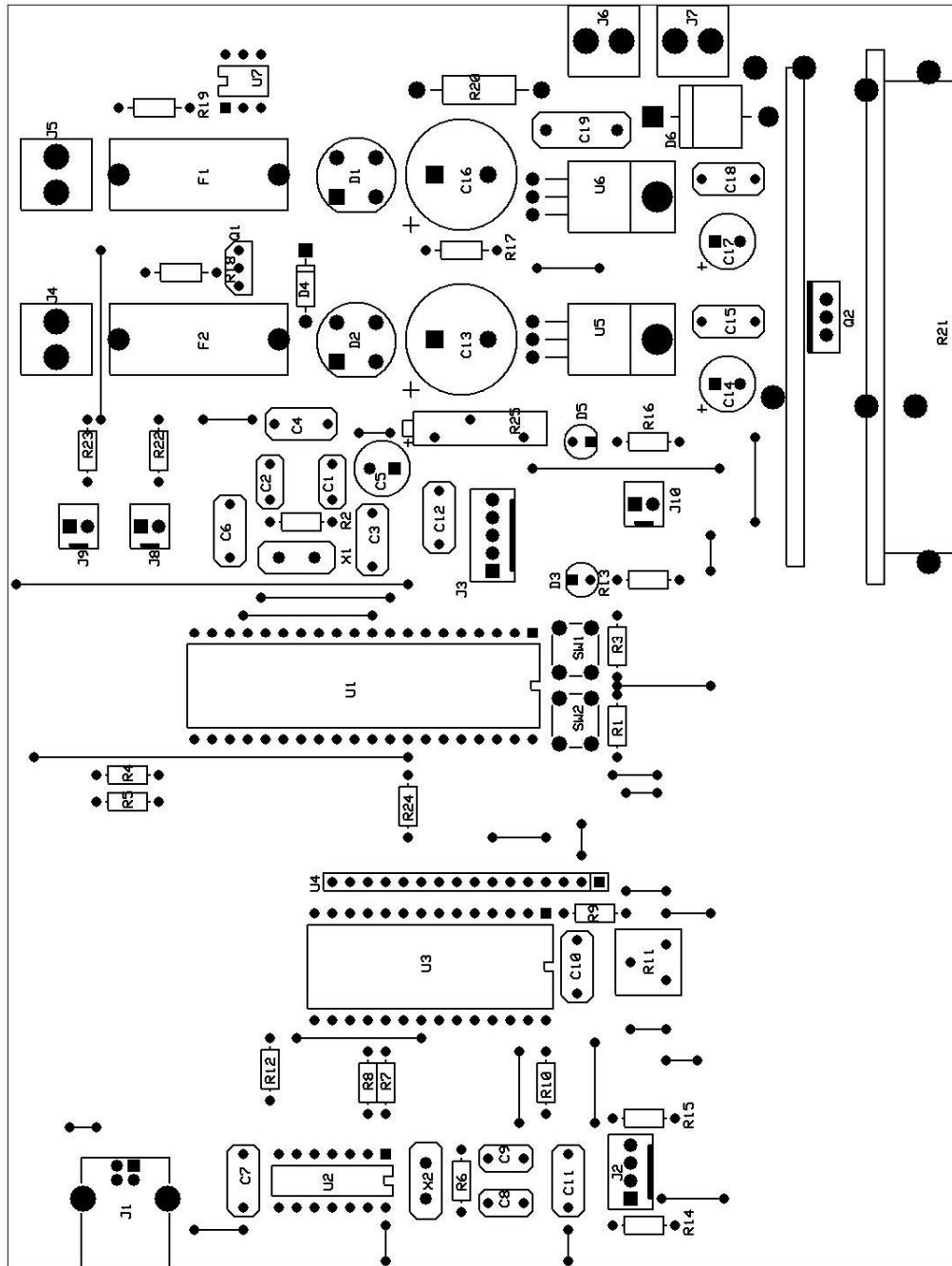


Figura A.2. Circuito impreso (Componentes).

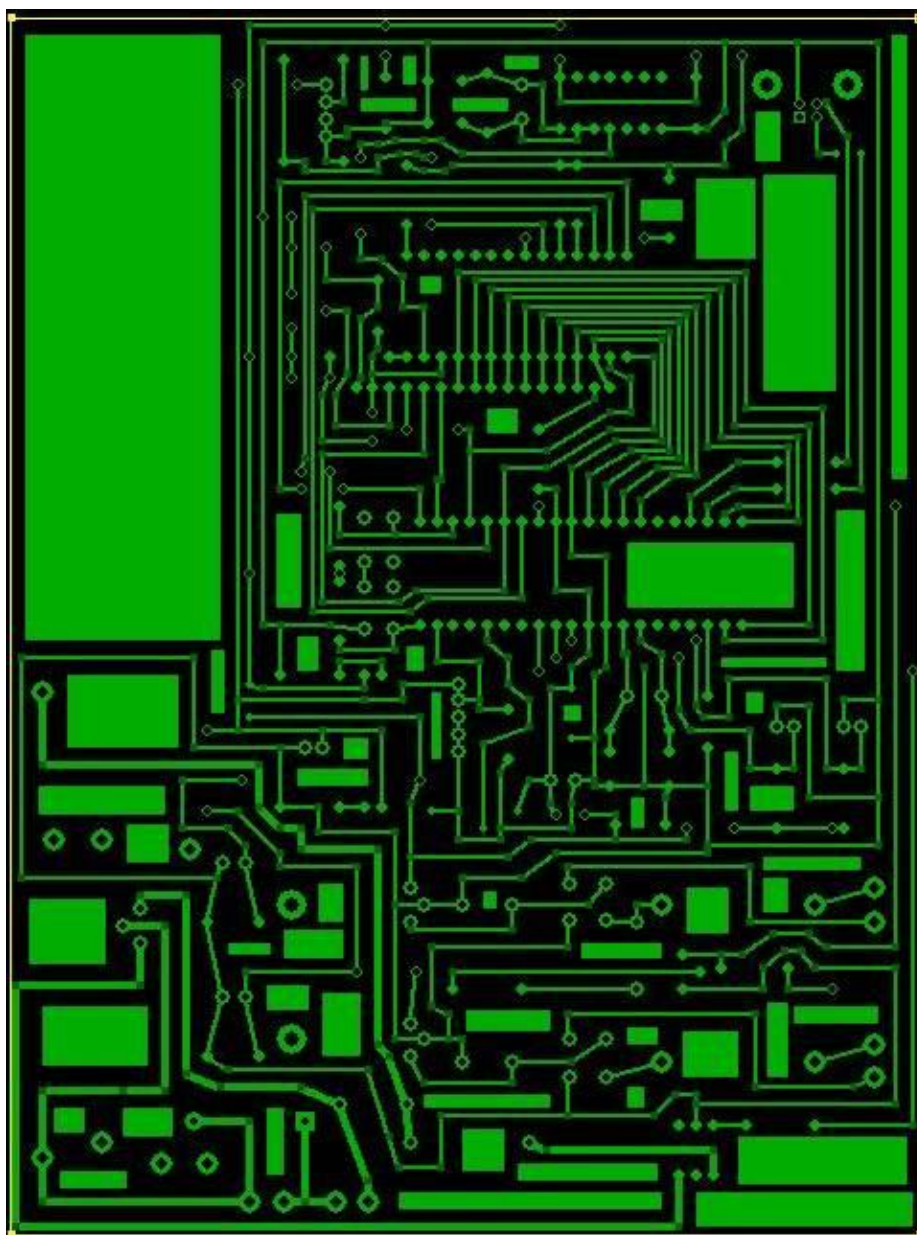


Figura A.3. Circuito impreso (Soldadura).

A.1.3. Lista de material.

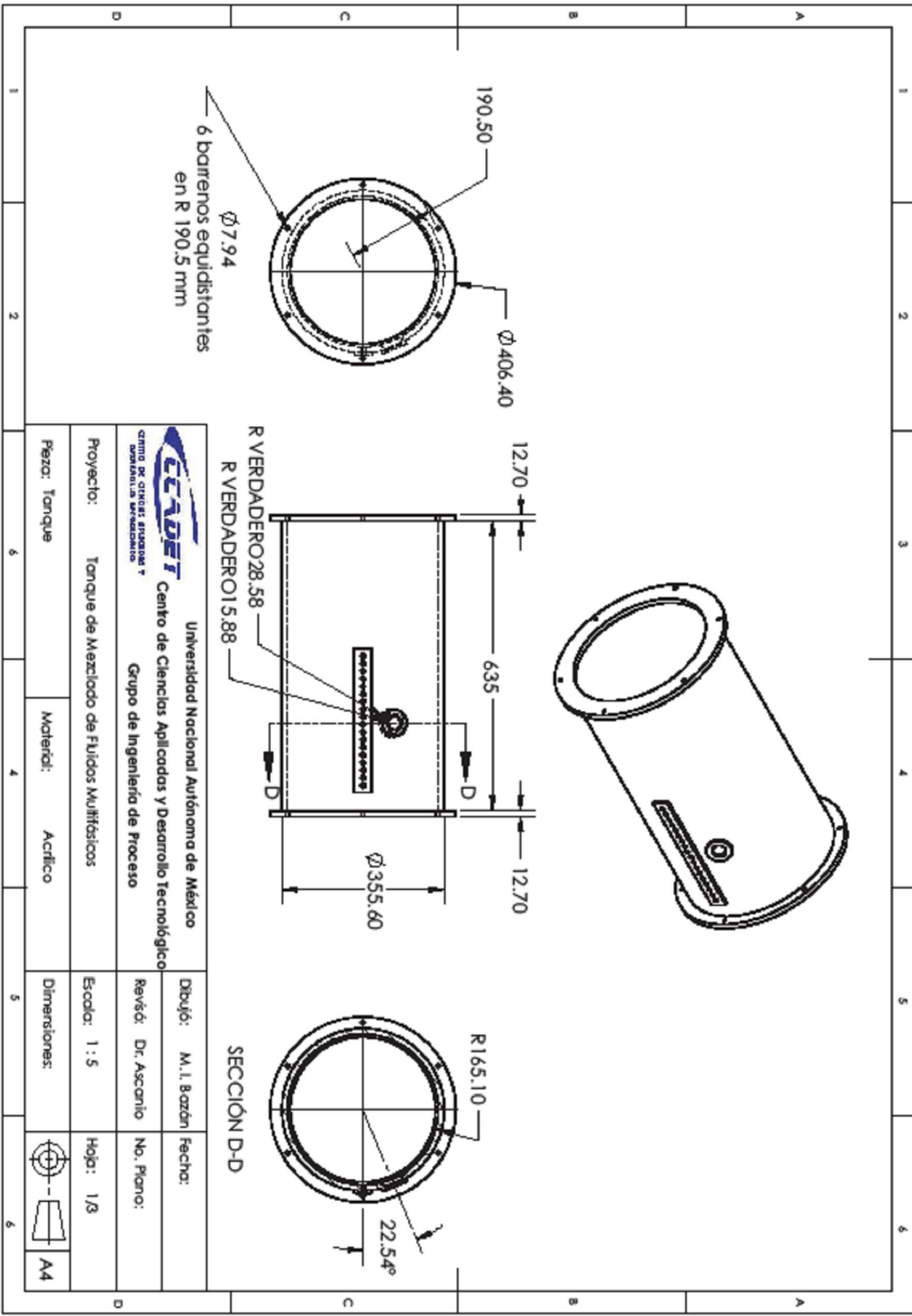
Id	Descripción	Proveedor	Código
C1	Capacitor cerámico 15p	AG Electrónica	CC-15/1000V
C2	Capacitor cerámico 15p	AG Electrónica	CC-15/1000V
C3	Capacitor monolítico 0.1u	AG Electrónica	CM-.1/50V
C4	Capacitor monolítico 0.1u	AG Electrónica	CM-.1/50V
C5	Capacitor electrolítico 100u	AG Electrónica	CE-100/16V
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

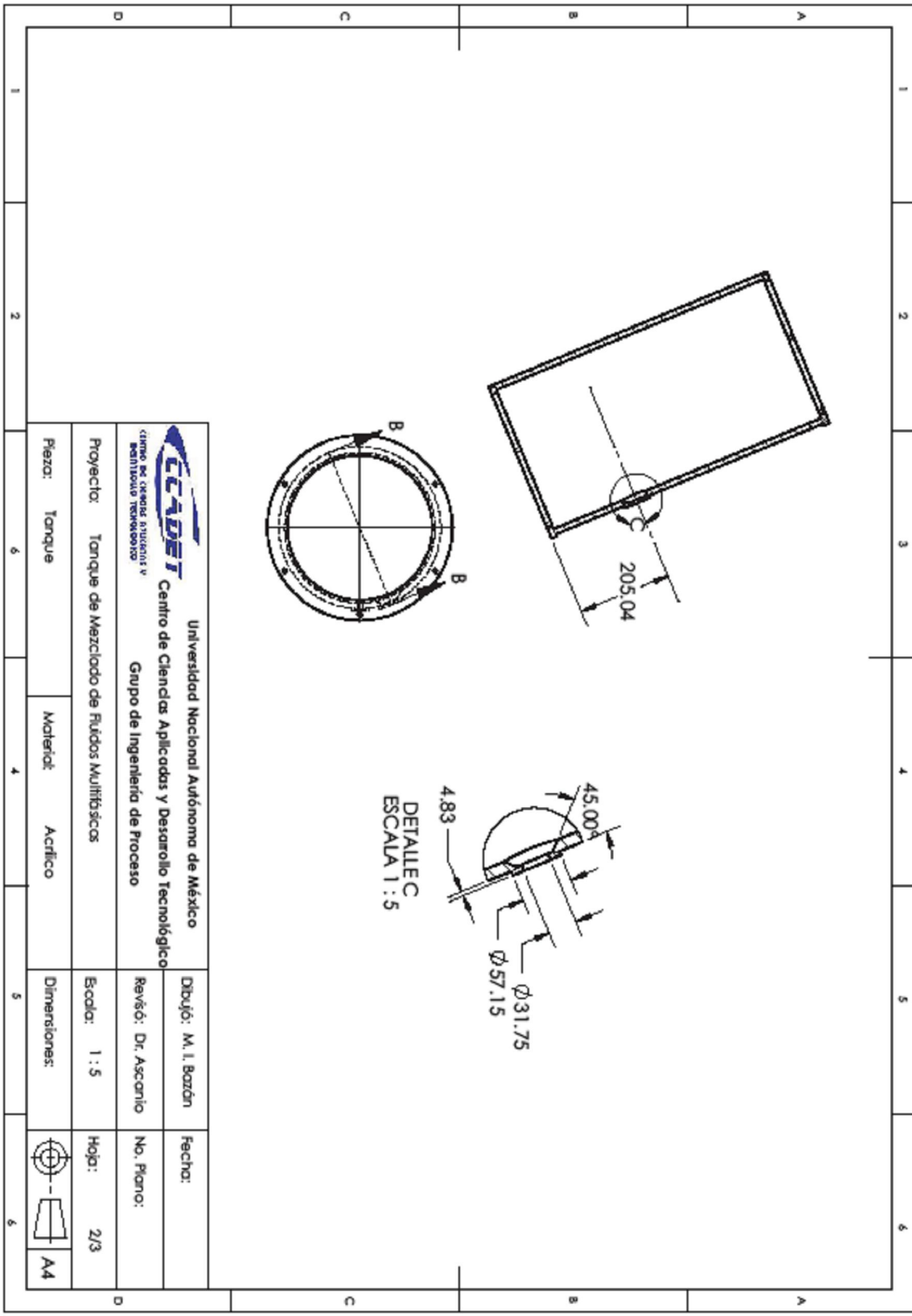
R12	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R13	Resistencia de carbón 470 1/4W	Steren	R470 1/4
R14	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R15	Resistencia de carbón 820 1/4W	Steren	R820 1/4
R16	Resistencia de carbón 470 1/4W	Steren	R470 1/4
R17	Resistencia de carbón 1k 1/4W	Steren	R1k 1/4
R18	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 línea 16 posiciones	AG Electrónica	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

A.2. Componente mecánica.

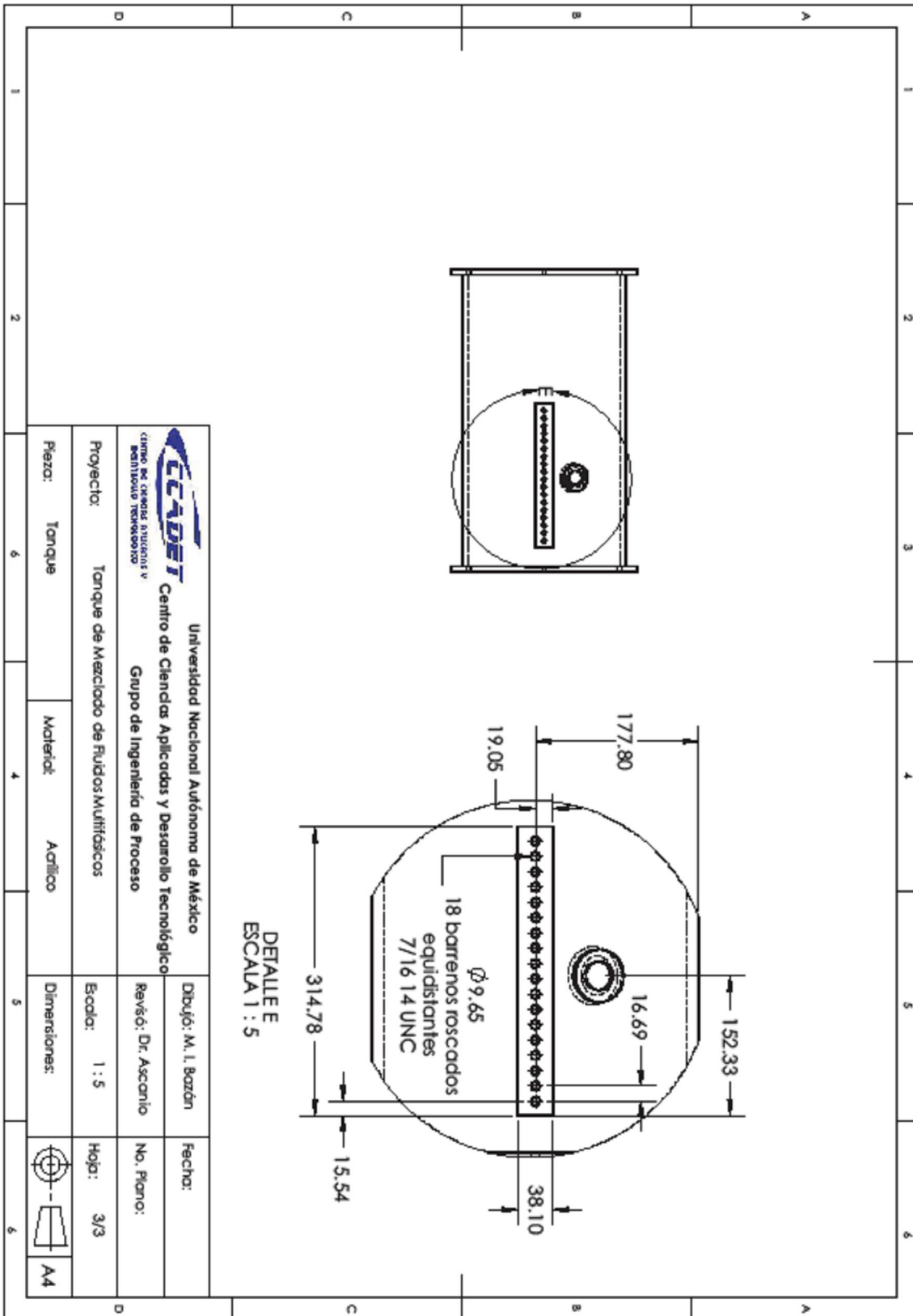
A.2.1. Planos.

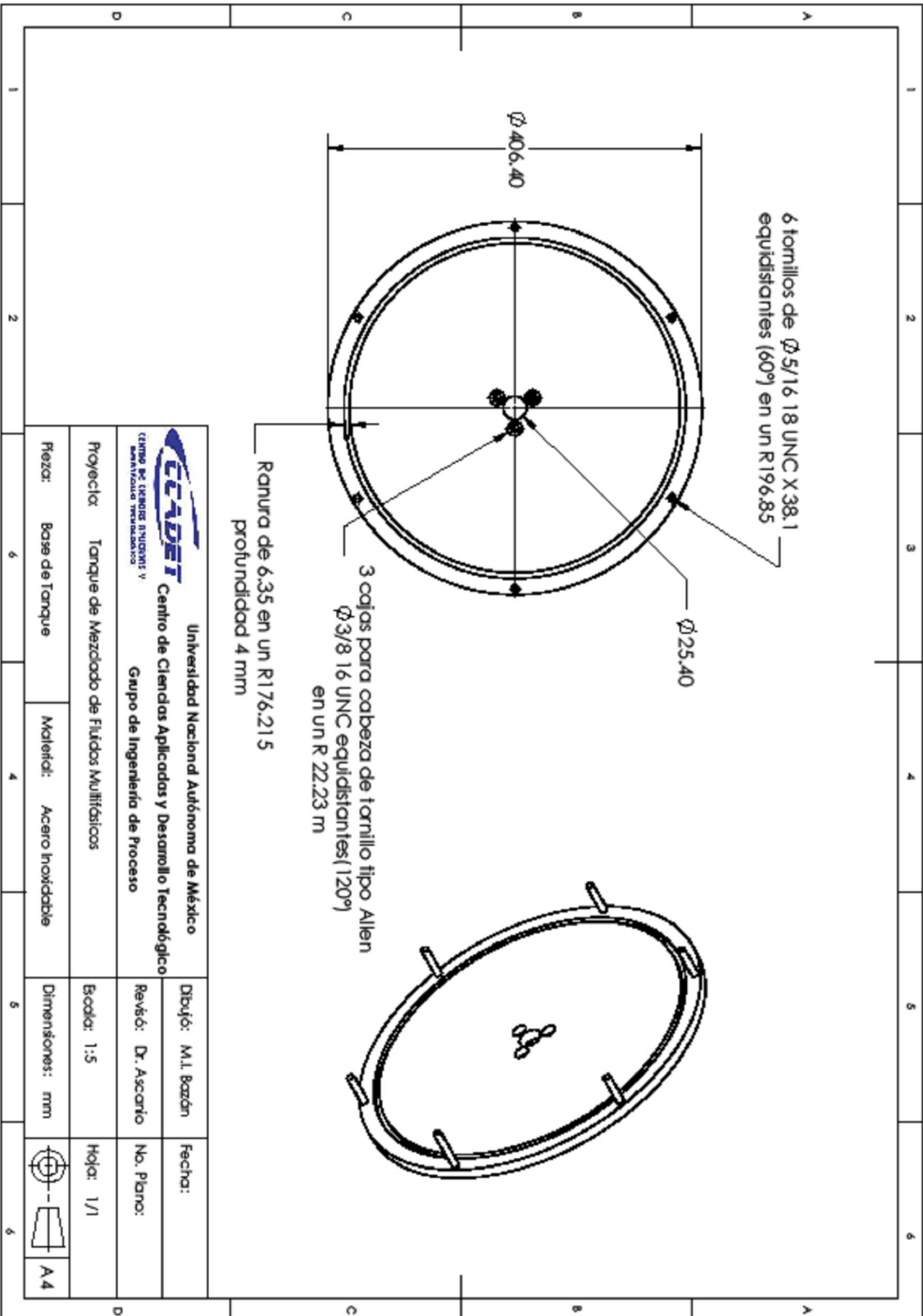


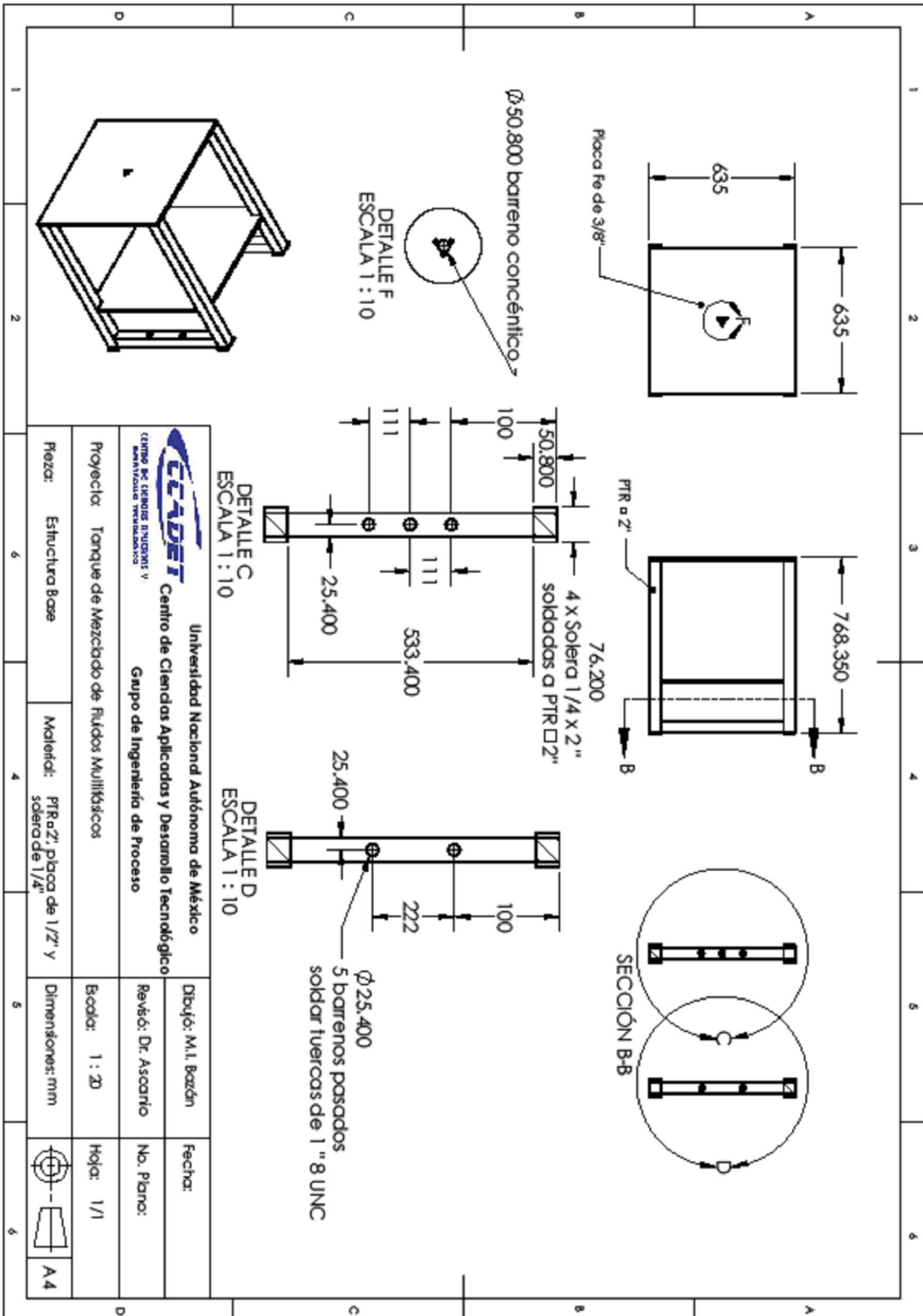
 Universidad Nacional Autónoma de México Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico Grupo de Ingeniería de Proceso		Dibujo: M. L. Bazón Fecha:
Proyecto: Tanque de Mezclado de Fluidos Multifásicos		Revisó: Dr. Ascario No. Plano:
Pieza: Tanque		Escala: 1 : 5 Hoja: 1/3
Material: Acrílico		Dimensiones:
		

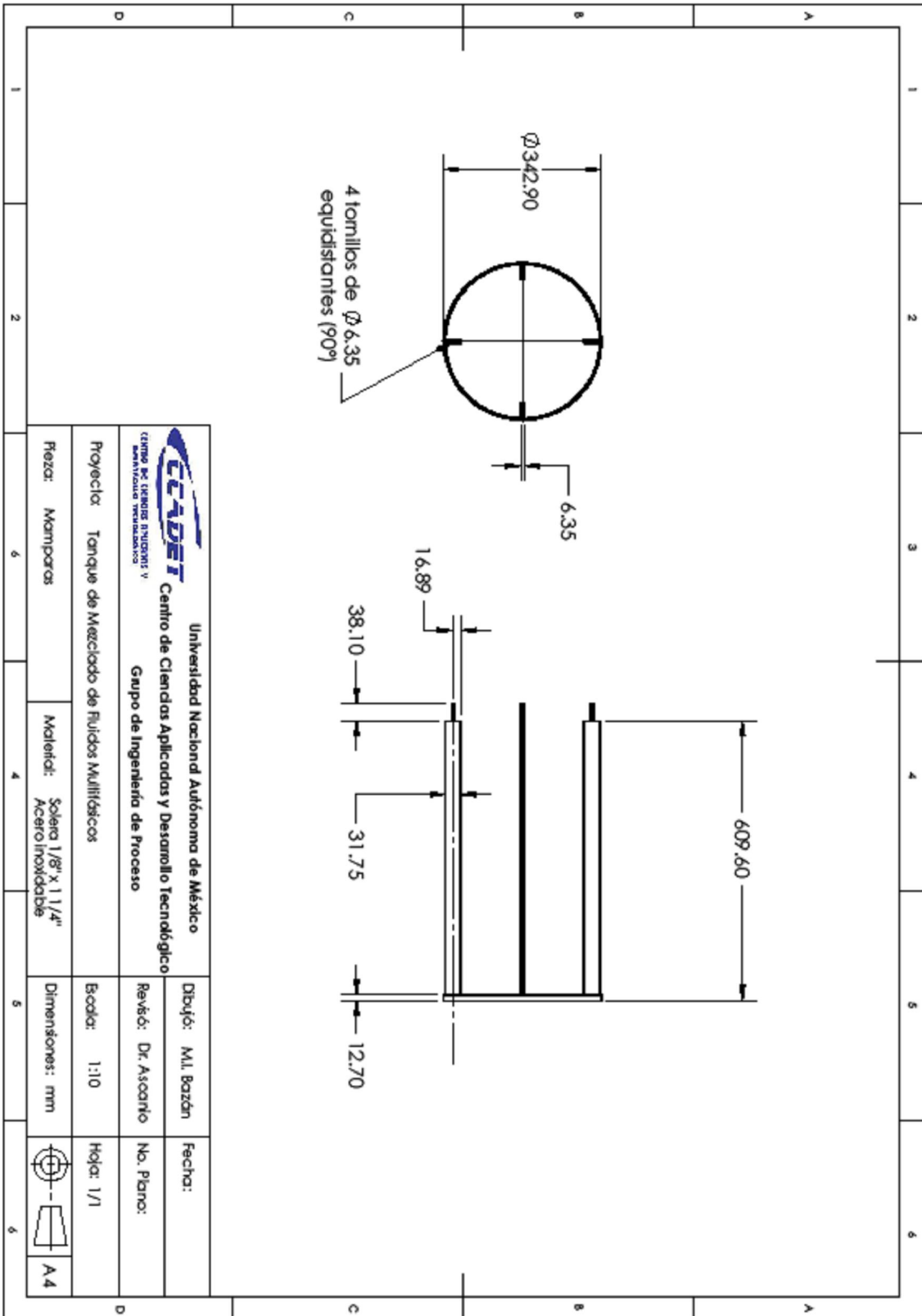


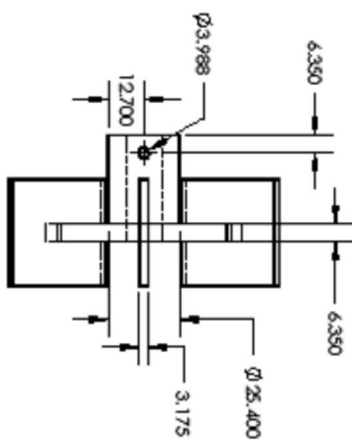
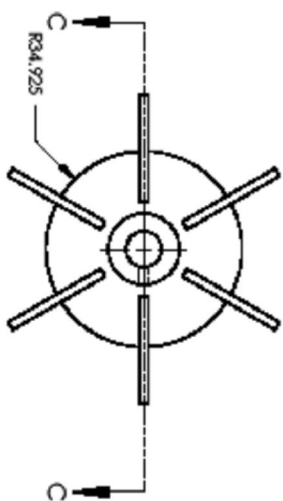
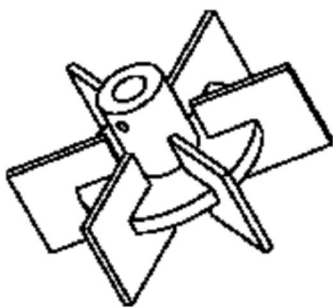
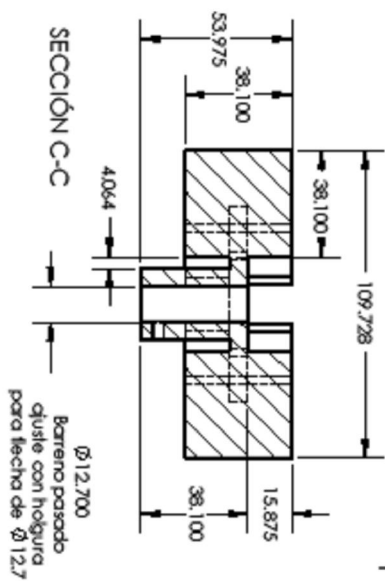
CCADET Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico Grupo de Ingeniería de Proceso		Universidad Nacional Autónoma de México Dibujo: M. I. Bozán Fecha:	
Proyecto: Tanque de Mezclado de Fluidos Multifásicos Escala: 1:5 Hoja: 2/3		Revisó: Dr. Ascarilo No. Plano:	
Pieza: Tanque	Materia: Acrílico	Dimensiones:	
		 A4	



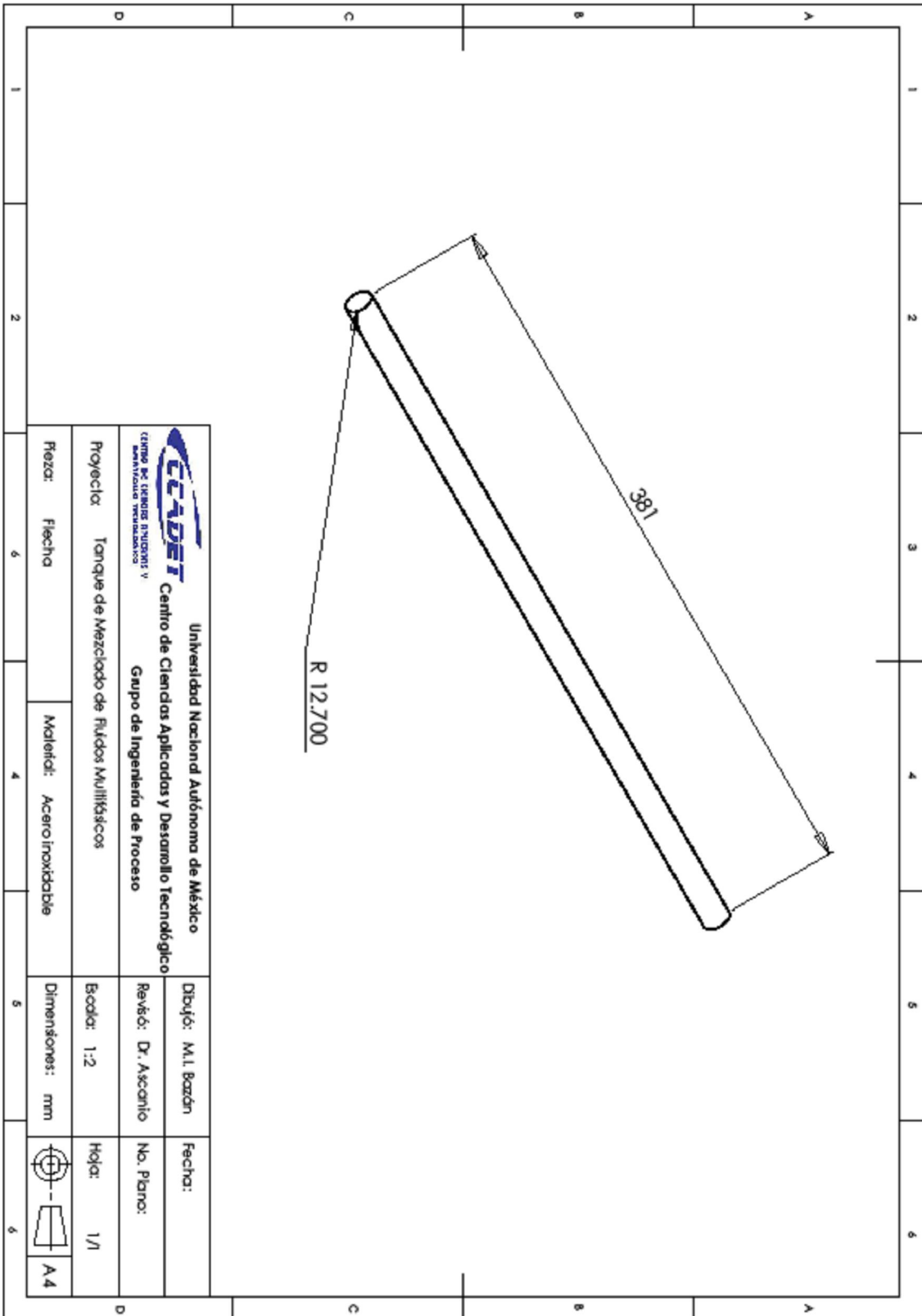




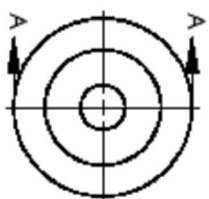
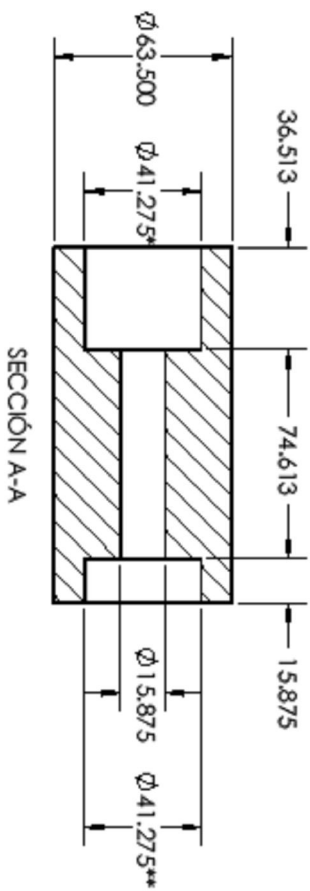




 Universidad Nacional Autónoma de México Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico Grupo de Ingeniería de Proceso		Dibujó: M.I. Bozán Revisó: Dr. Ascario No. Plano:		Fecha:	
Proyecto: Tanque de Mezclado de Fluidos Multifásicos		Escala: 1 : 2		Hoja: 1/1	
Material: Acero inoxidable		Dimensiones: mm			



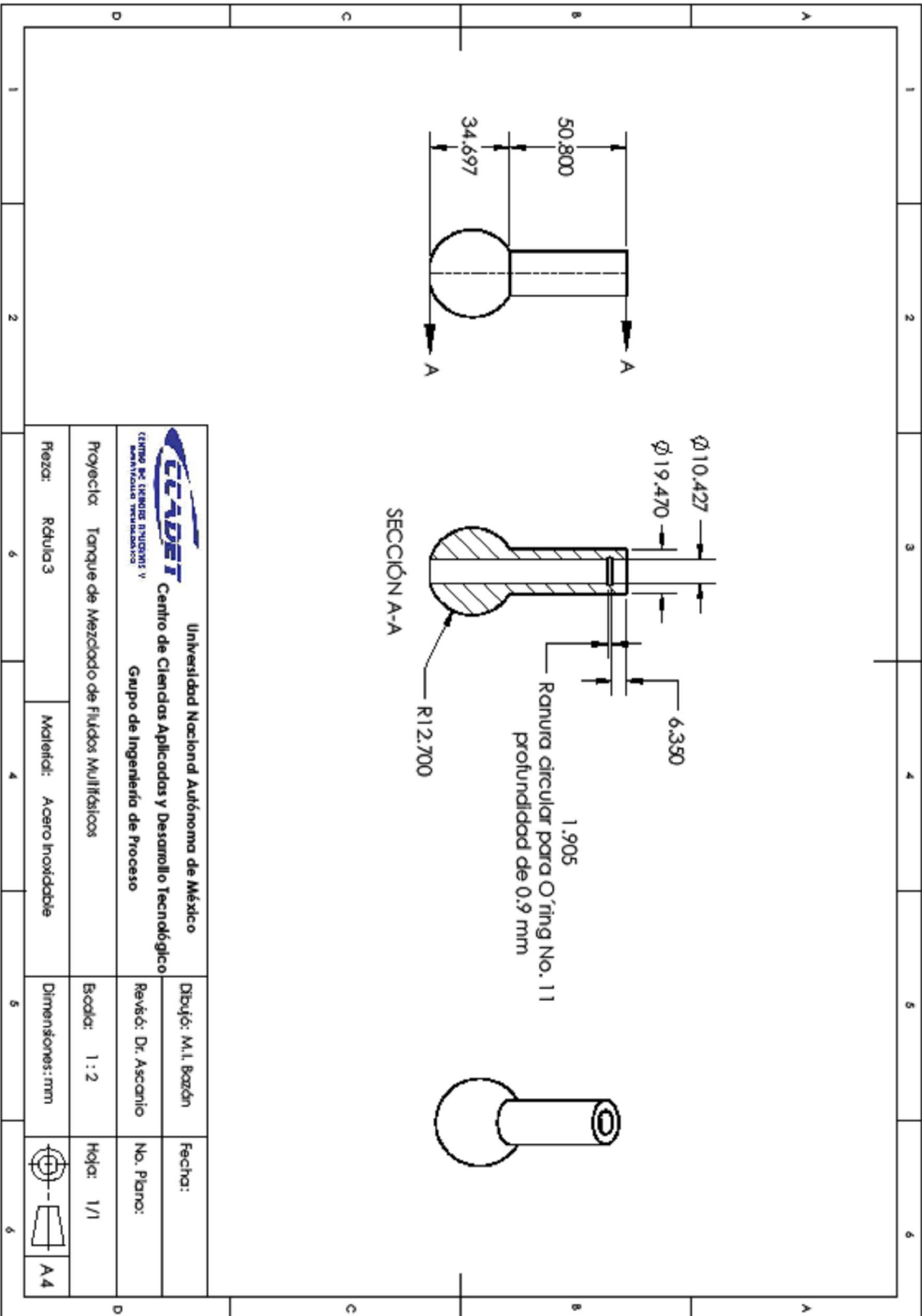
 Universidad Nacional Autónoma de México Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico Grupo de Ingeniería de Proceso					
Proyecto:		Tanque de Mezclado de Fluidos Multifásicos		Dibujo: M.L. Bozán	
Revisor:		Dr. Asconio		Fecha:	
Escala:		1:2		No. Plano:	
Material:		Acero inoxidable		Hojas: 1/1	
Dimensiones:		mm		A4	

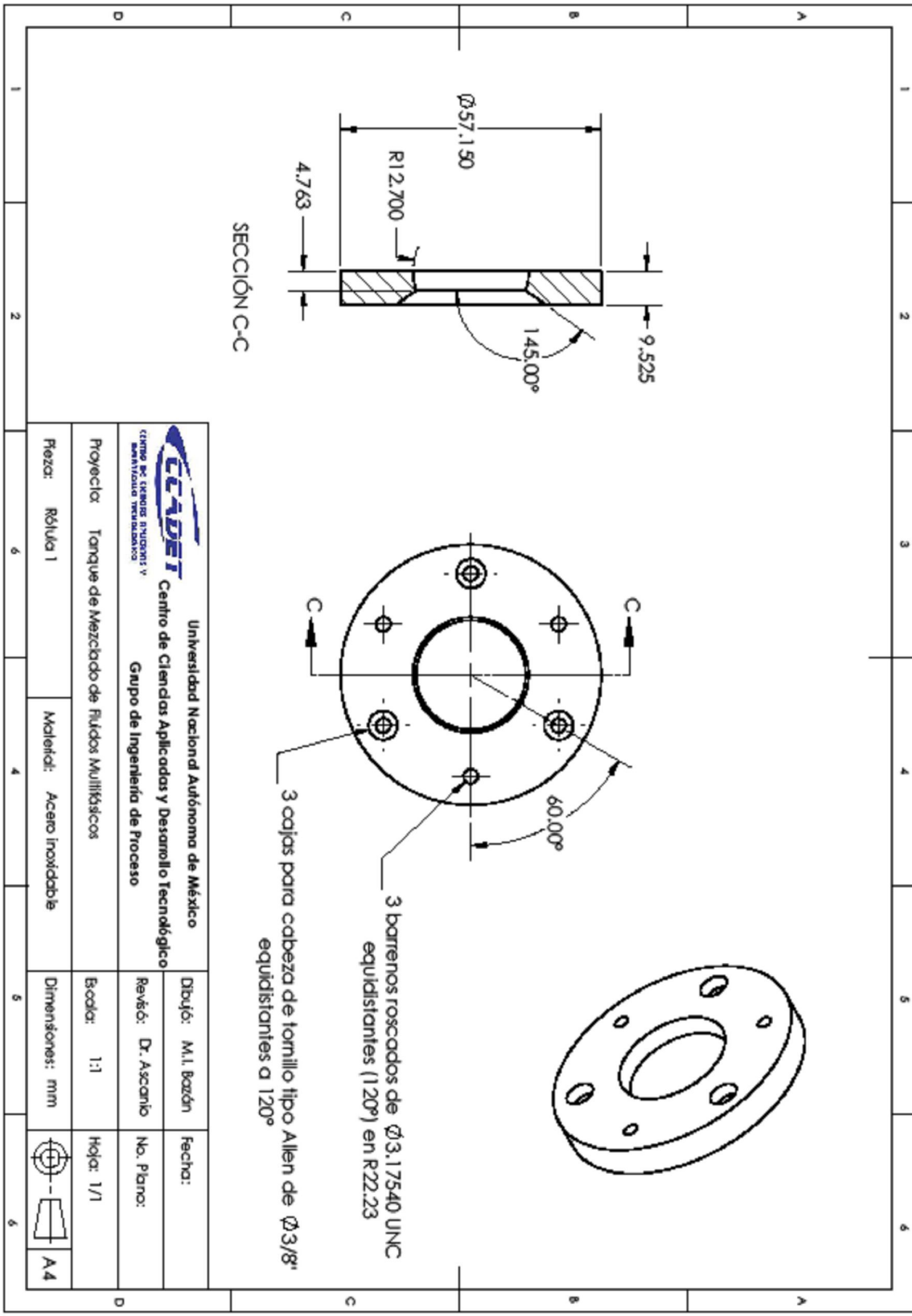


*Nota: Diámetro con ajuste con interferencia a sello mecánico(según la muestra proporcionada) y a rodamiento de diámetro exterior de 1 5/8" (según la muestra proporcionada)

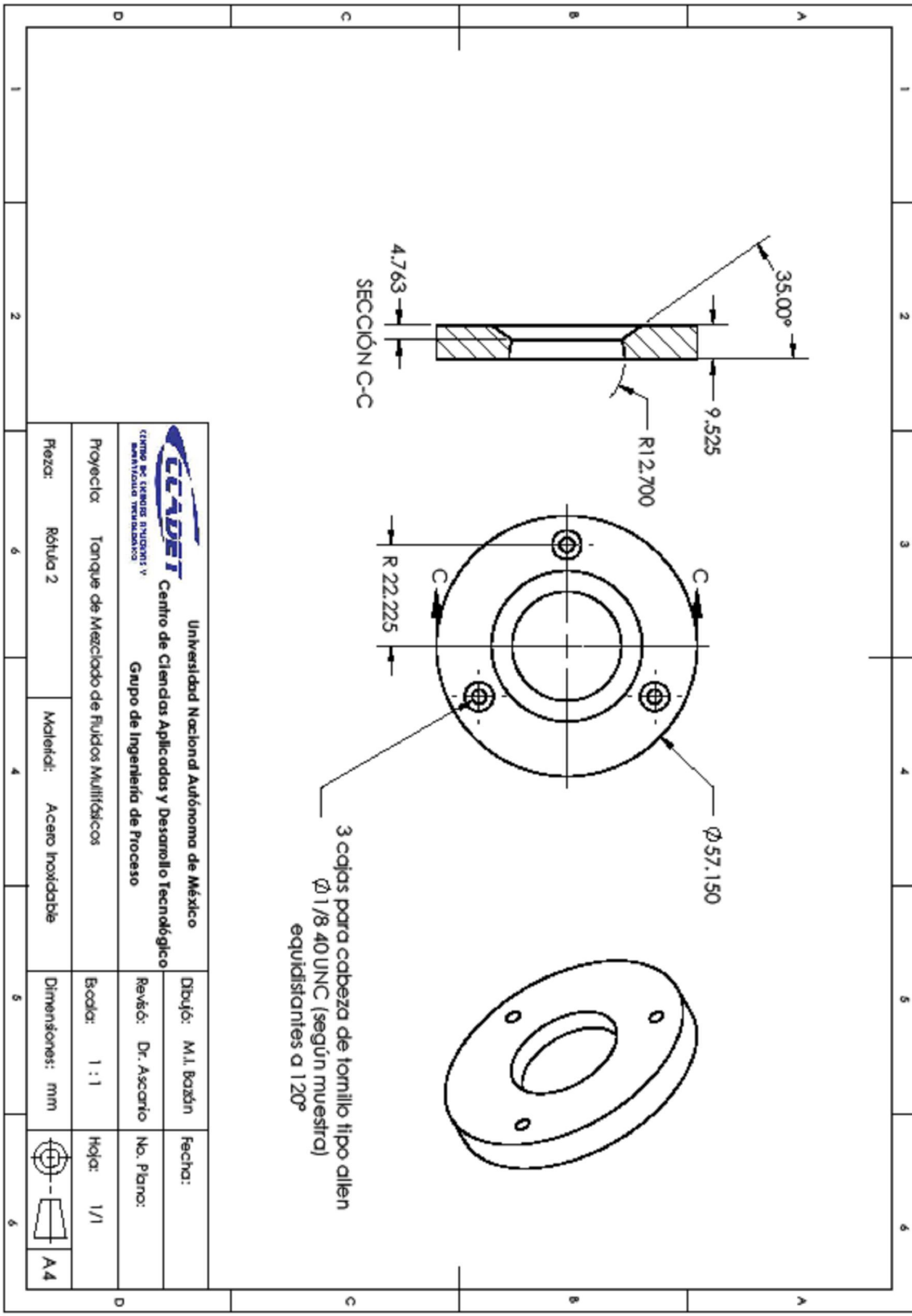
**Nota: Diámetro con ajuste con interferencia a rodamiento de diámetro exterior de 1 5/8" (según la muestra proporcionada)

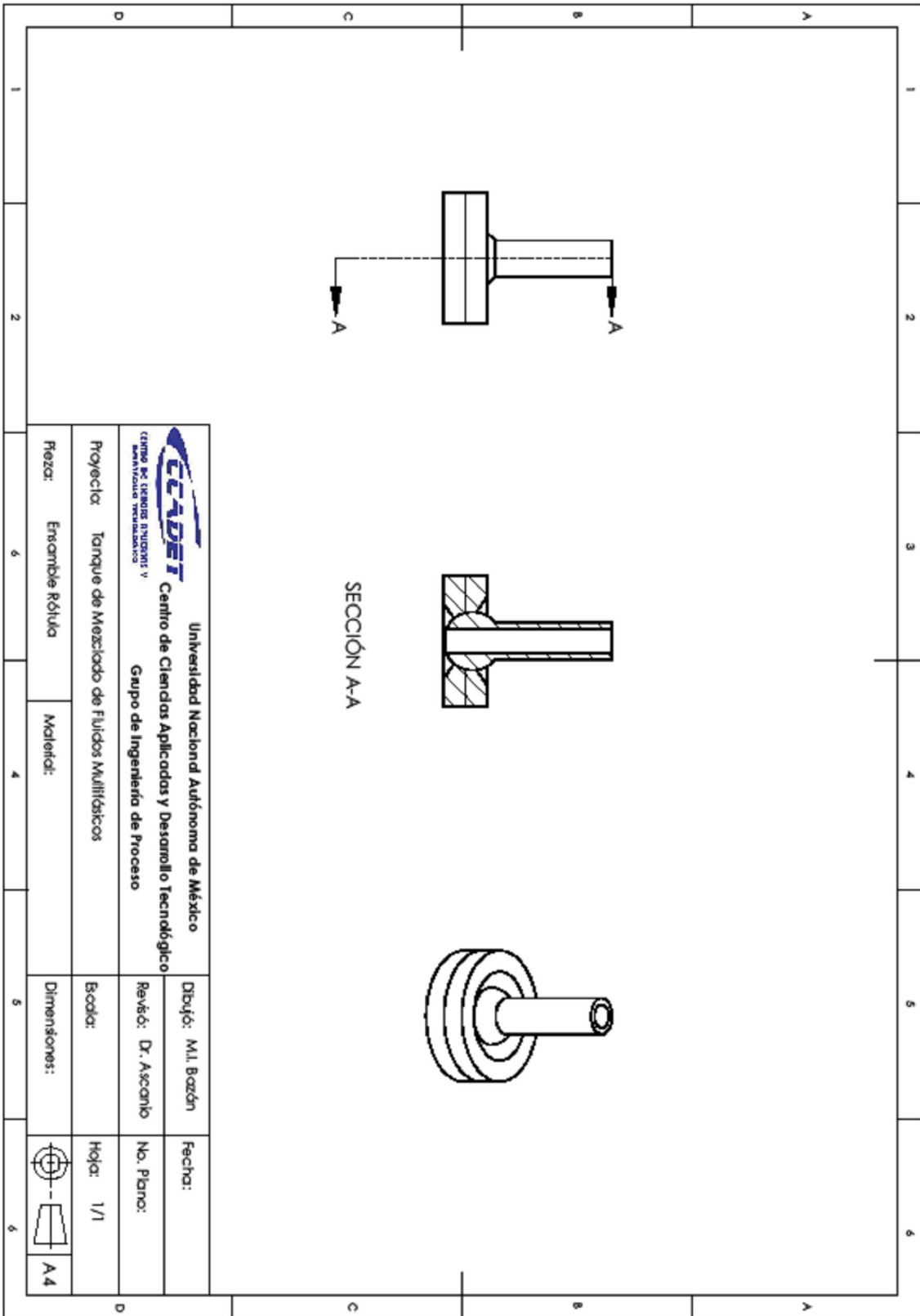
 CCADET CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO AVANZANDO TERCER MUNDO		Universidad Nacional Autónoma de México Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico Grupo de Ingeniería de Proceso		Dibujo: M.L. Bazán Fecha:	
Proyecto: Tanque de Mezclado de Fluidos Multifásicos		Revisó: Dr. Ascario		No. Plano:	
Pieza: Casquillo		Material: Acero inoxidable		Hoja: 1/1	
Dimensiones: mm					





 Universidad Nacional Autónoma de México Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico CENTRO DE CIENCIAS INGENIERÍA Y MANUFACTURA TECNOLÓGICA		Dibujó: M.L. Bazán Revisó: Dr. Ascario No. Plano:	
Proyecto: Tanque de Mezclado de Fluidos Multifásicos		Brocha: 1:1 Hoja: 1/1	
Pieza: Rótnula 1		Material: Acero inoxidable	
Dimensiones: mm		 A4	





A.2.2. Lista de material.

- Placa de Acero Inoxidable de $\frac{1}{2}$ "
- Placa de Acero Inoxidable de $\frac{3}{8}$ "
- Solera de Acero Inoxidable de $\frac{1}{8}$ " x $1\frac{1}{2}$ "
- Solera de Acero Inoxidable de $\frac{1}{8}$ " x $1\frac{3}{8}$ "
- Barra de Acero Inoxidable de diámetro de 1"
- Barra de Acero Inoxidable de diámetro de $2\frac{1}{2}$ "
- Barra de Acero Inoxidable de diámetro de $\frac{1}{2}$ "
- Balín de diámetro de 1"
- Placa de Fe. de $\frac{3}{8}$ "
- PTR 2" de Fe.
- Placa de Acrílico de $\frac{1}{2}$ "
- Tubo de Acrílico de diámetro de 14" y espesor de $\frac{1}{2}$ "
- Tornillos de Acero Inoxidable de $\frac{7}{16}$ " 14 UNC x $1\frac{1}{2}$ " cabeza hexagonal
- Tornillos de 1" 8 UNC x 2" cabeza hexagonal
- Tornillos tipo Allen de $\frac{1}{8}$ " 40 UNC X 1"
- Tornillos tipo Allen de Acero Inoxidable de $\frac{3}{8}$ " 16 UNC x $1\frac{1}{4}$ "
- Rodamientos de diámetro exterior de $1\frac{5}{8}$ " y diámetro de flecha de $\frac{1}{2}$ "
- Sello mecánico de resorte para flecha de $\frac{1}{2}$ "

Referencias

- [1]. AND, AND 1991, *AND Display Products Catalog*, AND, USA.
- [2]. Autonics, Autonics 2009, *Rotary encoder (Incremental type) E50S Series*, Autonics, Korea.
- [3]. Baldor, Baldor 1995, *Product information packet CDP3420-V24*, Baldor, USA.
- [4]. Corkidi, G, Serrano-Carreón, L & Galindo, E 2008, 'Análisis digital de imágenes para la caracterización microscópica de parámetros críticos en la producción fermentativa de metabolitos secundarios' *Rev. Col. Biotecnol*, vol. 10, no. 1, pp. 75-93.
- [5]. Custom Computer Services, Inc., Custom Computer Services 2007, *PCD C Compiler Reference Manual*, Custom Computer Services, USA.
- [6]. Dewang, SB & Straughen, A 1975, *Power semiconductor circuits*, John Wiley, USA.
- [7]. Guevara-López, E, Sanjuán-Galindo, R, Córdova-Aguilar, MS, Corkidi, G, Ascanio, G & Galindo, E 2008, 'High-speed visualization of multiphase dispersions in a mixing tank', *Chem. Eng. Res. Des.*, no 86, pp. 1382-1387.
- [8]. Kruglinski, DJ, Shepherd, G & Wingo, S 1998, *Programming Microsoft Visual C++*, Microsoft Press, USA.
- [9]. Lorenz, Lorenz 2008, *Operation manual for torque sensor*, Lorenz, Germany.
- [10]. Microchip, Microchip 2009, *MPLAB® IDE User's Guide with MPLAB Editor and MPLAB SIM Simulator*, Microchip, USA.
- [11]. Microchip, Microchip 2007, *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet*, Microchip, USA.
- [12]. Microsoft, Microsoft 2005, *Article ID: 178749, How to create an automation project using MFC and a type library*, Microsoft, USA.
- [13]. Motorola, Motorola 1989, *Thyristor device data*, Motorola Inc., USA.
- [14]. JVR , JVR 2010, *PIC Calculadora USB*, Mucho trasto, <http://www.muchostrasto.com/PICCalculadoraUSBC++.php>.
- [15]. Taboada, B, Córdova-Aguilar, MS, Galindo, E & Corkidi, G 2006, 'Aplicación de la videoendoscopia de alta velocidad en la visualización de las interacciones complejas que se llevan a cabo en sistemas multifásicos', *Memorias XXI Congreso de Instrumentación SOMI*, Ensenada, Baja California, México, 5 pp.
- [16]. US Digital, US Digital 2006, *LS7266R1 Encoder to Microprocessor Interface Chip*, US Digital, USA.