



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA

**ITM**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FUENTE DE  
ALTO VOLTAJE REGULADA (6KV) PARA  
ACTUADORES ELECTRO-REOLÓGICOS  
MECATRÓNICOS”**

**OPCIÓN I**

**(TESIS PROFESIONAL)**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

PRESENTA:

**JULIO CÉSAR MOLINA CÉSPEDES**

BIBLIOTECA **CICY**

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO  
2008

## ÍNDICE GENERAL

<b>Capítulo I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes.	2
1.2	Planteamiento del problema.	3
1.3	Objetivos.	4
1.3.1	Objetivo general.	4
1.3.2	Objetivos específicos.	4
1.4	Justificación.	5
1.5	Delimitación.	5
<b>Capítulo II.</b>	<b>EL FLUIDO ELECTRO-REOLÓGICO Y GENERACIÓN DE ALTO VOLTAJE.</b>	<b>6</b>
	Introducción.	7
2.1	El fluido Electro-reológico.	7
2.1.1	¿Que es un fluido Electro-reológico?	8
2.1.2	Origen del fenómeno ER.	8
2.1.3	Caracterización dieléctrica.	10
2.1.4	Materiales ER.	11
2.1.5	Representación eléctrica del Actuador ER.	12
2.1.6	El actuador Electro-reológico.	13
2.2	Generación de alto voltaje.	14
2.2.1	Bobinas de ignición de encendido.	15
2.2.2	Transformador “Flyback”.	16
2.2.2.1	Construcción del Flyback.	17
2.2.2.2	Funcionamiento del Flyback.	18
2.2.3	Multiplicadores de voltaje.	18
2.2.4	Otros sistemas de generación de alto voltaje.	20
2.3	Fuentes comerciales de alto voltaje.	22
<b>Capítulo III.</b>	<b>TOPOLOGÍAS DE FUENTES CONMUTADAS Y FUNDAMENTOS ELECTRÓNICOS.</b>	<b>23</b>
	Introducción.	24
3.1	Fuentes conmutadas.	24
3.1.1	Topología tipo elevadora o “boost”	25
3.1.2	Topología de retroceso o de “Flyback”.	25
3.2	Transistores IGBT's.	28
3.3	Componentes especiales.	38
3.3.1	Optoacopladores lineales.	38
3.3.2	Sensores de efecto Hall.	39
3.3.2.1	Sensor de efecto Hall Allegro A3516.	41
3.4	Características principales del Microcontrolador PIC16F877.	41
3.4.1	Arquitectura.	41

3.4.2	Diagrama de conexionado y puertos de E/S.	44
3.4.3	Modulo TMR0 y la interrupción INT.	46
3.4.4	Modulación por anchura de pulsos (PWM).	47
3.4.5	El conversor Analógico/Digital (A/D).	49
3.4.6	Módulo USART, comunicación serie asíncrona.	51
3.5	<b>Panorama general del lenguaje C Compiler, versión PCH de Custom Computer Services (CCS, Inc) para PICmicro®MCU de 16 y 18 bits.</b>	54
<b>Capítulo IV. DISEÑO Y DESARROLLO DE LA FUENTE DE ALTO VOLTAJE.</b>		55
	<b>Introducción.</b>	56
4.1	<b>Sistema propuesto.</b>	56
4.1.1	Diagrama a bloques.	56
4.1.2	Análisis de las características del sistema.	57
4.1.2.1	Selección del Flyback.	58
4.1.2.2	Características eléctricas de diseño.	58
4.1.2.3	Selección del Transistor.	61
4.1.2.4	Análisis de la linealidad del ciclo de trabajo (PWM).	62
4.1.2.5	Análisis de la fuente de alimentación del Flyback.	64
4.2	<b>Sistema mínimo PIC16F877.</b>	65
4.3	<b>Sección de control y de potencia.</b>	66
4.3.1	Fuente del Flyback, Fuente B+.	67
4.3.1.1	Control de fase.	68
4.3.1.2	Rectificación y filtrado.	73
4.3.2	Control de modulación por ancho de pulso (PWM).	76
4.3.3	Sección de potencia.	78
4.4	<b>Sección de alta tensión.</b>	79
4.5	<b>Retroalimentación.</b>	80
4.5.1	Sensado de voltaje y acondicionamiento.	81
4.5.1.1	Sensor de voltaje.	82
4.5.1.2	Acondicionamiento y optoacoplador lineal.	83
4.5.1.3	Filtro pasabajos.	84
4.5.2	Sensado de corriente y acondicionamiento.	85
4.5.2.1	Sensor de corriente Hall.	86
4.5.2.2	Acondicionamiento.	87
4.6	<b>Protección de sobre corriente.</b>	88
<b>Capítulo V. PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877.</b>		90
	<b>Introducción.</b>	91
5.1	<b>Sección local y remota.</b>	91
5.2	<b>Software del microcontrolador.</b>	92
5.2.1	Diagrama de flujo.	93
5.2.2	Funcionamiento lógico del programa.	94

<b>Capítulo VI. PRUEBAS Y RESULTADOS.</b>	101
<b>Introducción.</b>	102
<b>6.1 Curvas características de la fuente a dos distintas cargas.</b>	102
6.1.1 Curvas características con carga máxima (470Kohm).	103
6.1.2 Curvas características con carga media (785Kohm).	105
<b>6.2 Interfaz remota.</b>	107
<b>6.3 Diagramas esquemáticos.</b>	109
<b>FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO.</b>	114
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	117
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN.</b>	120
<b>ANEXO A HOJAS DE DATOS.</b>	123
Optoacoplador lineal IL300.	124
Sensor de efecto Hall 3515.	128
Flyback modelo 2437422.	132
Transistor IGBT modelo IRGPH40F.	133
TRIAC MAC16N.	135
OPTOACOPLADOR PC817.	136
Amplificador operacional LMC6001.	139
<b>ANEXO B MANUAL DEL USUARIO.</b>	142
<b>ANEXO C MANUAL TÉCNICO.</b>	152

## RESUMEN.

El presente documento tiene por objetivo ofrecer un informe a detalle del trabajo que se realizó en el departamento de instrumentación del Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. (CICY), que consiste en el **diseño, implementación, desarrollo y construcción de una fuente de alto voltaje, que es capaz de generar 6000 Volts de corriente directa (DC) que servirá para alimentar a un Actuador Electro-reológico**, utilizando como modelo principal, al sistema de fuentes conmutadas en su topología de flyback. Será controlada desde un teclado local o desde una computadora. Esta fuente debe ser posteriormente utilizada por la **unidad de materiales** del mismo centro de investigación para hacer estudios a los Fluidos Electro-reológicos y poder caracterizarlos.