



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias de la Electrónica

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL ANÁLISIS DE MATERIALES ÓPTICAMENTE ESTIMULADOS"

TESIS

Para obtener el título de:
Licenciado en Ingeniería en Mecatrónica

Presenta:

Carlos Emilio Tobón Ituarte

Asesores:

Dr. Eduardo Moreno Barbosa

Dr. Jaime Hernández Sánchez

H. Puebla de Zaragoza Julio 2017

Resumen

Dentro de los últimos avances en la medicina, en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el cáncer, se tiene la necesidad de medir o estimar las dosis de radiación ionizante absorbidas por los individuos. La dosimetría es la medición y estimación de dosis de radiación ionizante absorbida. Existen varias técnicas dosimétricas, como la luminiscencia térmicamente estimulada (TL) y la luminiscencia ópticamente estimulada (OSL), esta última mide la cantidad de luz emitida o luminiscencia, desde distintos materiales como aislantes o semiconductores, durante su exposición a ciertas longitudes de onda de luz. La intensidad de esta luminiscencia es una función de la dosis de radiación absorbida por la muestra, con lo que se puede calcular dosis de radiación en distintos áreas de la medición de la radiación ionizante: personal, ambiental, espacial, médico y datación geológica, etc.

Esta tesis de licenciatura trata sobre el diseño y construcción de un dispositivo mecatrónico para el análisis de materiales ópticamente estimulados.

Para el cálculo de las dosis de radiación absorbidas por distintas muestras, se necesitan realizar ciclos de irradiación, estimulación y lectura. El presente trabajo consistió en desarrollar un dispositivo capaz de automatizar esos ciclos, para generar resultados para su análisis, en la Unidad de Irradiación y Seguridad Radiológica del Instituto de Ciencias Nucleares, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma De México, en conjunto con la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Agradecimientos

Agradezco la atención, dedicación, participación y paciencia de mis asesores:

Dr. Eduardo Moreno Barbosa y Dr. Jaime Hernández Sánchez

Agradezco al Dr. Epifanio Cruz Zaragoza jefe de la Unidad de Irradiación y Seguridad Radiológica del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM por su atención.

Agradezco al Dr. Jesús Román López de la UNAM por su atención, colaboración y tiempo.

Agradezco al Dr. Julián Marcazzó del UNICEN Argentina por su colaboración.

Agradezco a mis maestros de la carrera quienes contribuyeron a mi formación.

Agradezco a mis padres Lupita y Emilio por su apoyo incondicional siempre.

Agradezco a mi hermana Elizabeth por todo su cariño y apoyo.

Agradezco a mi abuelo Jesús D.E.P por inspirarme a crear mecanismos.

Índice general

1	FUNDAMENTOS	1
1.1	INTRODUCCIÓN	2
1.1.1	Motivación y justificación del proyecto	4
1.1.2	Planteamiento y objetivo del proyecto	6
1.1.3	Sumario de los contenidos de esta tesis	7
1.2	RADIACIÓN	8
1.2.1	Origen de la radiación	9
1.2.2	Tipos de radiación	10
1.2.3	Decaimiento radiactivo	12
1.2.4	Detectores de radiación	13
1.2.5	Regulaciones y aplicaciones prácticas	14
1.3	DOSIMETRÍA	15
1.3.1	Unidades relacionadas	16
1.3.2	Dosis	17
1.3.3	Dosímetros	18
1.3.4	Dosimetría activa y pasiva	18
1.4	LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA (OSL)	20
1.4.1	Luminiscencia	21
1.4.2	Comparativa OSL vs TL	22
1.4.3	Curva OSL	23
1.4.4	Materiales OSL	23
1.5	TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN OSL	24
1.5.1	Fuentes de estimulación óptica	24
1.5.2	Modos de estimulación OSL	25
1.5.3	Sistemas de detección de luz	26
1.6	DISPOSITIVOS OSL COMERCIALES	27

2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO OSL	28
2.1	INTRODUCCIÓN	29
2.2	SISTEMAS MECATRÓNICOS	30
2.3	DISEÑO DE SISTEMAS MECATRÓNICOS	33
2.3.1	Fases de diseño mecatrónico	34
2.3.2	Diseño mecánico	35
2.3.3	Diseño electrónico	38
2.3.4	Diseño de control	39
2.3.5	Herramientas de diseño	42
2.4	ALCANCES Y LIMITACIONES	43
2.5	CICLOS DE FUNCIONAMIENTO OSL	44
2.5.1	Posicionamiento	44
2.5.2	Irradiación	45
2.5.3	Lectura y estimulación	46
2.6	COMPONENTES PRINCIPALES	47
2.6.1	Dispositivos de entrada	49
2.6.2	Dispositivos de salida	50
2.6.3	Estructuras de soporte	51
2.6.4	Fuentes de voltaje	54
2.7	ESTRUCTURA INFERIOR	55
2.7.1	Control de posición	55
2.7.1.1	Posiciones	58
2.7.1.2	Sensor de posición	59
2.7.1.3	Motor a pasos	61
2.7.1.4	Driver Pololu a4988	63
2.7.2	Electrónica	65
2.7.2.1	Microcontroladores PIC	65
2.7.2.2	DAQ	67
2.7.2.3	Placa de circuito impreso	69
2.8	ESTRUCTURA SUPERIOR	70
2.8.1	Ventana de carga	71
2.8.2	Dispositivo irradiador	72
2.8.2.1	Servomotor	75
2.8.3	Soporte PMT y guía	76
2.8.4	Estimulación OSL	78

2.8.5	Lectura OSL	80
2.8.5.1	CT2	80
2.8.5.2	PMT	82
2.9	SOFTWARE	84
2.9.1	INTRODUCCIÓN	84
2.9.2	PIC CCS	86
2.9.3	LabVIEW	88
2.9.3.1	Variables de entrada	91
2.9.3.2	Control del DAQ	92
2.9.3.3	Control del CT2	93
2.9.3.4	Salida de datos	94
3	RESULTADOS	95
3.1	INTRODUCCIÓN	96
3.2	PRIMERAS PRUEBAS ICN (2013)	97
3.3	PRUEBAS DE RUIDO DE FONDO (2014)	98
3.4	PRUEBAS FINALES (2016)	99
3.5	CURVAS DE LOS MODOS DE ESTIMULACIÓN OSL	102
3.6	CURVAS DOSIMÉTRICAS SONORA 2002	103
3.7	RESULTADOS EXPERIMENTALES	104
3.7.1	$Ca_2P_2O_7 : Ce$	105
3.7.2	$KMgF_3 : Tm - 0.5$	106
3.7.3	Minerales de sal del mar muerto	107
3.7.4	Poliminerales de camarón	109
4	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	111
4.1	DISCUSIÓN	112
4.1.1	DISPOSITIVO MECATRÓNICO OSL VS RISØ	114
4.1.2	COSTOS DE DESARROLLO	115
4.1.3	TRABAJO FUTURO	116
4.2	CONCLUSIONES	117
	REFERENCIAS	118
	Ápndice A - Códigos de microcontroladores	120
	Ápndice B - Diagramas electrónicos	123
	Ápndice C - Dibujos CAD	125

Índice de figuras

1.1	Ciclos operación OSL	6
1.2	Ionización de un átomo	10
1.3	Ciclo OSL	20
1.4	Curva OSL/TL	23
1.5	Diagrama de un sistema OSL con una fuente de estimulación óptica	24
2.1	Ejemplo de un sistema	30
2.2	Elementos de sistema de medición.	31
2.3	Lazo abierto	31
2.4	Lazo cerrado	32
2.5	Fases del diseño mecatrónico	33
2.6	Fases del diseño	35
2.7	Diseños conceptual y técnico	40
2.8	Ciclo OSL	44
2.9	Posiciones	45
2.10	Ciclo de irradiación	45
2.11	Ciclo de lectura y estimulación	46
2.12	Diagrama sistema OSL	47
2.13	Mapa conceptual dispositivo OSL	48
2.14	Entradas del sistema	49
2.15	Salidas del sistema	50
2.16	Operaciones comunes de maquinado	53
2.17	Maquinando manualmente	53
2.18	Diagrama a bloques de estructura inferior	55
2.19	Plato y porta muestras	56
2.20	Foto estructura inferior	56

2.21	Posición inicial	58
2.22	Optointerruptor	59
2.23	Diagrama esquemático del optointerruptor	60
2.24	Motor Nema 17	61
2.25	Devanados internos y giro del rotor	62
2.26	Pines de los microcontroladores empleados	66
2.27	Vistas Modulo USB-6008	67
2.28	Comunicación módulo USB-6008	68
2.29	Diagrama a bloques del PCB	69
2.30	Render PCB instalado	69
2.31	Diagrama a bloques de la estructura superior	70
2.32	Foto de la estructura superior	70
2.33	Ciclo de carga	71
2.34	Ventana de carga	71
2.35	Movimientos del irradiador	72
2.36	Vista de componentes	73
2.37	Vista interior	73
2.38	Especificaciones fuente radiactiva	74
2.39	Foto dispositivo irradiador	74
2.40	Servomotor	75
2.41	Diagrama de tiempos	75
2.42	Soporte PMT y guía	76
2.43	Partes de estimulación y lectura	76
2.44	Soporte de PMT y guía láser	77
2.45	Foto del controlador Newport	78
2.46	Sistema de estimulación OSL	79
2.47	Conexión del sistema de lectura	80
2.48	Dimensiones del módulo CT2	81
2.49	Fotodetector P25PC	82
2.50	Diagrama de comunicaciones	84
2.51	Conexiones pickit2	86
2.52	Diagrama de comunicaciones de los microcontroladores	87
2.53	Componentes de un .vi	88
2.54	Panel frontal de .Vi	89
2.55	Sección gráfica de estado	90

2.56	Sección gráfica de estado	90
2.57	Entrada de datos	91
2.58	VI del DAQ Assist	92
2.59	DAQ Assist	92
2.60	Adquisición de datos	93
2.61	Generación de datos	94
3.1	Primeras pruebas ICN	97
3.2	Prueba de disparo de láser con driver	97
3.3	Gráficas del ruido de fondo	98
3.4	Archivo .txt generado	98
3.5	Interfaz gráfica final	100
3.6	Fuente de prueba	101
3.7	Sistema mecatrónico OSL conectado	101
3.8	Curvas obtenidas con el modelo Risø TL/OSL-DA-20	102
3.9	Curvas de películas de diamante	103
3.10	Materiales Analizados	104
3.11	Curvas de $Ca_2P_2O_7 : Ce$	105
3.12	Curvas de $KMgF_3 : Tm-0.5$	106
3.13	Curvas de minerales de sal del mar muerto	107
3.14	Dosis de carga liberada de sal del mar muerto	108
3.15	Curvas de Poliminerales de camarón	109
3.16	Dosis de carga liberada de poliminerales	110
4.1	Sistema Risø	114
4.2	Código C del Pic16f628a	120
4.3	Código C del Pic16f877a	121
4.4	Archivo de cabecera del Pic16f877a	122
4.5	Diagrama esquemático	123
4.6	Diagrama ruteo	124
4.7	Imagen 3D del PCB	124
4.8	Vista superior e inferior de ensamble	125
4.9	Estructuras de soporte	126
4.10	Vista frontal y lateral del ensamble	127
4.11	Imágenes renderizadas del dispositivo mecatrónico OSL	128

Índice de cuadros

1.1	Uso actual del sistema mecatrónico OSL	4
1.2	Costos de sistema RISO TL/OSL Modelo DA-20	5
1.3	Unidades de radiación y dosimetría	16
1.4	Efectos sobre algunos tejidos y órganos expuestos según la dosis	17
1.5	Tipos de luminiscencia	21
2.1	Motores empleados	57
2.2	Secuencia para controlar motores a pasos bipolares	62
2.3	Comparativa micropasos	63
2.4	Tabla de verdad de resolución de micropasos	63
2.5	Cantidad de micropasos	64
2.6	Microcontroladores utilizados	65
2.7	Características USB-6008	67
2.8	Puertos USB-6008	67
2.9	Leds utilizados	79
2.10	Filtros empleados	83
2.11	Lista de software usado	85
3.1	Margen de error de dosis lineal de carga liberada	108
3.2	Margen de error de dosis lineal de carga liberada	110
4.1	Sistema mecatrónico OSL vs sistema Risø	114
4.2	Costos del sistema OSL	115
4.3	Comparativa versiones	116

Capítulo 1

FUNDAMENTOS

1.1 INTRODUCCIÓN

La radiación, es una forma básica de transferencia de energía de una fuente a otra. Es un tema de mucha importancia no solo desde el punto de vista físico y el estudio del universo, sino también por sus efectos en los seres vivos.

De acuerdo a la energía que poseen, pueden clasificarse como radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes. Las radiaciones ionizantes tienen aplicaciones muy importantes en la industria, investigación y la medicina.

Los efectos biológicos de la radiación se deben a la ionización que produce y sus consecuencias en las células. Ya que la radiación transfiere una cantidad de energía a la materia orgánica, la distribución de esta energía determina el daño biológico producido. Dependiendo de la cantidad de energía depositada, los efectos pueden ser leves, como en el caso de los procedimientos médicos de diagnóstico o letales como los ocurridos en situaciones bélicas o accidentes nucleares. [6]

Las radiaciones son imperceptibles para nuestros sentidos, por lo que es necesario utilizar métodos para detectarla y cuantificarla, estos métodos dependen del tipo de radiación y de su energía, se basan en el uso de detectores con características muy especiales.

El uso extensivo de la radiación en muchos campos ha propiciado el desarrollo del campo de dosimetría de radiación. Originalmente el objetivo era determinar la dosis recibida por una persona trabajando en un ambiente con intensa radiación, sin embargo el descubrimiento de que la radiación también afecta materiales hasta el punto de volverlos inutilizables, ha acercado la aplicación de este campo a propósitos industriales y de investigación. [18]

La Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL por sus siglas en inglés Optically Stimulated Luminescence) es una técnica dosimétrica que permite calcular dosis de radiación absorbidas por materiales. Al medir su luminiscencia emitida, después de ser estimulados previamente por una fuente de luz. [11]

Tiene muchas aplicaciones en el monitoreo personal y del ambiente, datación geológica, el espacio exterior, etc.

En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), dentro del Instituto de Ciencias Nucleares (ICN), la Unidad de Irradiación y Seguridad Radiológica del ICN se hacen investigaciones de materiales con la técnica OSL.

Para poder cuantificar las dosis de radiación absorbidas por materiales se necesitan herramientas especializadas. Por lo tanto en esta tesis se desarrolló un dispositivo mecatrónico que ocupa la técnica OSL para poder medir la cantidad de radiación absorbida por distintos materiales.

Se trabajó en colaboración del Dr. Epifanio Cruz Zaragoza, jefe de la Unidad de Irradiación del Instituto de Ciencias Nucleares (ICN) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y con la colaboración del Dr. Jesús Román López del ICN que tiene puesto de investigador en dicho instituto. Así también con el Dr. Julián Marcazzó y junto con el Dr. Eduardo Moreno Barbosa de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas (FCFM) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP).

El trabajo de diseñar y construir un dispositivo mecatrónico, se fundamenta en la necesidad que se tiene de investigar materiales con la técnica OSL y en desarrollar un equipo de bajo costo a comparación de las opciones comerciales existentes, como lo es el sistema RISØ TL/OSL Modelo DA-20.

Los objetivos se lograron. Hacer lecturas repetitivas, precisas y confiables de la respuesta de diversos materiales al estimularlos ópticamente, para generar resultados para su análisis posterior.

Actualmente el sistema mecatrónico se encuentra funcionando correctamente en la Unidad de Irradiación y Seguridad Radiológica del ICN. Se emplea mayoritariamente para analizar poliminales de alimentos

1.1.1 Motivación y justificación del proyecto

- MOTIVACIÓN PERSONAL:

Fue en el año 2011, que mientras aún cursaba los últimos semestres de mi carrera de ingeniería en mecatrónica en la BUAP, cuando se hizo un grupo de colaboración de Física Médica por parte del Dr. Eduardo Moreno Barbosa miembro de la Facultad de Física Matemáticas (FCFM) y el Dr. Jaime Hernández miembro de la Facultad de Ciencias de la Electrónica (FCE).

Dentro de la línea de investigación de ambos doctores, estaba el desarrollar un equipo para el estudio de materiales usando la técnica OSL.

Me presentaron un problema en concreto de control de posición de un disco giratorio, lo cual me llevó a integrarme finalmente al proyecto, y a que posteriormente éste fuera el tema de mi tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica.

El proyecto se realizó en varias etapas, la principal fue del 2011 al 2013, en la cual se diseñó y construyeron los fundamentos del sistema mecatrónico. Y la etapa posterior del 2013-2016 la cual fue la puesta a punto y pruebas del dispositivo OSL, en la cual surgieron problemas, como la disponibilidad del taller de maquinado del ICN, demoras en la importación de la fuente de irradiación, etc. Hasta que se logró integrar todo el sistema para poder hacer lecturas de ruido de fondo y finalmente obtener las curvas de respuestas OSL con distintos materiales.

- INVESTIGACIÓN:

Obtener datos y análisis de materiales al estimularlos ópticamente, análisis con dosimetría, sus gráficas y curvas de respuesta. Para caracterizar materiales y poder emplearlos para diversos fines y estudios. En el Instituto de Ciencias Nucleares (ICN) se llevan a cabo principalmente análisis de curvas de respuesta de materiales (Cuadro 1.1).

PRUEBAS	OBJETIVOS
Irradiar a diferentes dosis	Obtener su respuesta lineal.
Curva de calibración	Medir cuanto se ha irradiado.
Irradiar varias veces	Medir que tantas veces se puede usar el mismo material.
Desvanecimiento	Medir cuanta energía se pierde después de irradiarlo.

Cuadro 1.1: Uso actual del sistema mecatrónico OSL

- ECONÓMICA:

El sistema “RISØ TL/OSL Modelo DA-20” es un sistema que emplea el TL (Termoluminiscencia) y el OSL (Luminiscencia Ópticamente Estimulada). Desarrollado por la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU NUTECH), se presenta como la opción comercial mas completa para realizar este tipo de mediciones.

El componente principal del sistema comercial que se encarga de leer y estimular materiales OSL, tiene un costo aproximado (Septiembre 2016) de \$1,500,000 Mxn.

En total el sistema RISØ TL/OSL Modelo DA-2 cuesta aproximadamente \$3,000,000 Mxn (Cuadro 1.2). Debido a su alto precio, se hace muy difícil de adquirir, en el contexto de universidades públicas como lo son la UNAM y la BUAP.

COMPONENTES DEL SISTEMA	COSTO (EUR)	COSTO (MXN)
TL/OSL Reader con IR/azul LED OSL	71,000	1,447,000
Fuente de rayos beta, Estroncio 90 de 40mCi	6,200	126,000
Láser estándar OSL 532nm 10mW	50,500	1,029,000
Accesorios OSL	7,200	147,000
Instalación y comisiones	9,900	202,000
Total	€144,800	\$2,950,000

Cuadro 1.2: Costos de sistema RISO TL/OSL Modelo DA-20

El dispositivo mecatrónico OSL diseñado en el presente trabajo, es un prototipo a medida, de acuerdo a las necesidades de funcionamiento particulares del ICN. No es un dispositivo listo para comercializar y distribuir en el mercado.

Sin embargo si se decidiera hacer en una versión diseñada específicamente para la venta y distribución (evaluando el escenario con el Dr. Jesús Román López), se estima que es factible desarrollar un equipo similar completo que se pueda vender entre \$600,000 - \$700,000 Mxn. En una configuración para ser un sistema sobrado y robusto.

El mercado potencial serían distintas Universidades Latinoamericanas que estén interesadas en investigación con OSL. Ya que las universidades estadounidenses y europeas cuentan con mayores recursos económicos, para poder comprar sistemas comerciales como el RISØ de NUTECH.

1.1.2 Planteamiento y objetivo del proyecto

El estudio de materiales con la técnica OSL requiere del entendimiento de conceptos como radiación ionizante, dosimetría, irradiación, estimulación y lectura OSL. Dichos conceptos serán explicados a lo largo de este capítulo uno.

El diseño y construcción de un sistema mecatrónico, incluye conceptos como sensores, actuadores, controladores, interfaces y protocolos de comunicaciones. Requiere controlar fundamentalmente posición y tiempo, para lo cual se necesita teoría de diseño de sistemas que se abordará en el capítulo dos.

El objetivo del proyecto es desarrollar un dispositivo capaz de automatizar ciclos de irradiación, estimulación y lectura, véase (Figura 1.1). Para poder efectuar la medición de materiales ópticamente estimulados.

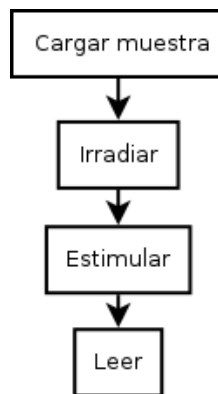


Figura 1.1: Ciclos operación OSL

A grandes rasgos el diseño del sistema mecatrónico para medir OSL se integra por 3 partes:

- Estructura mecánica. Soporta el peso de la fuente radiactiva, permite la irradiación segura de los materiales. Brinda rigidez estructural y permite un movimiento circular para mover las muestras libremente por diversas posiciones. También cumple la función de albergar en su interior los componentes electrónicos para comunicación y control.
- Componentes electrónicos. Brindan comunicación entre microcontroladores y PC, para detectar la posición inicial y control de motores.
- software de control. Se encarga del procesamiento, análisis e interpretación de los datos obtenidos de las mediciones mediante una PC.

1.1.3 Sumario de los contenidos de esta tesis

Esta tesis de licenciatura: “Diseño y construcción de un sistema mecatrónico para el análisis de materiales ópticamente estimulados”, contiene múltiples conceptos que necesitan ser desglosados para entender de manera más fácil el contenido y relevancia de esta investigación. Para desarrollarla se emplearon 2 grandes disciplinas: Física y Mecatrónica.

En el Capítulo 1. Fundamentos. Se hace una introducción sobre la motivación y objetivos, en el contexto sobre como se generó la idea para diseñarlo y construirlo. Además se plantean los conceptos físicos como radiación ionizante, luminiscencia, dosimetría y la luminiscencia ópticamente estimulada; así como la tecnología actual o estado del arte para su medición. Se desglosan conceptos empleados en la Mecatrónica como: sistema, desarrollo concurrente, sensores, actuadores; se plantean los diferentes sistemas que integran al dispositivo mecatrónico construido. Además de las herramientas necesarias para su diseño.

En el Capítulo 2. Diseño y construcción del dispositivo OSL. Se mencionan los alcances y limitaciones. Se explican los ciclos de funcionamiento OSL, los componentes principales del dispositivo, así como el desarrollo y la construcción de todo su hardware y software.

En el Capítulo 3. Resultados. Se muestran las pruebas de las secuencias de los ciclos de funcionamiento. Pruebas de ruido de fondo con el tubo fotomultiplicador. Y finalmente se exponen resultados experimentales obtenidos con materiales reales, con lo que se demuestra que el dispositivo mecatrónico OSL está funcionando correctamente.

En el Capítulo 4. Discusión y conclusiones. Se expone la metodología usada, los costos de desarrollo, se menciona la posibilidad de un trabajo futuro. Finalmente se exponen conclusiones académicas y personales adquiridas durante el diseño y construcción de este dispositivo.

1.2 RADIACIÓN

La masa y energía son las dos entidades que componen nuestro universo, están sumamente relacionadas como Einstein lo demostró con su famosa ecuación $E = mc^2$. Como la materia, la energía también es capaz de moverse de un lugar a otro en el espacio a través de ondas o partículas. Estos portadores de energía siempre se originan de una fuente hasta que son absorbidos o aniquilados por algún material. “El término radiación, se utiliza para describir este transporte de masa y energía a través del espacio”. [18]

Desde que descubrieron su potencial, la radiación ha sido crucial en los avances tecnológicos del siglo XX, como los beneficios de la radiación en el diagnóstico médico y tratamiento. Sin embargo también el mundo ha sido testigo de los peligros de los usos de la radiación, con explosiones atómicas y accidentes nucleares en lugares como Ucrania (Chernobil , 1986) y Japón (Fukushima,2011).

Antecedentes

La radiactividad, fue descubierta por Henri Becquerel en 1896 cuando experimentando con el elemento uranio, descubrió que algo emitido invisiblemente empañó sus placas fotográficas. El término radiactividad fue sugerido por Marie Curie aproximadamente 4 años después.

Naeem Ahmed definió la radiactividad como: “El proceso a través del cual los núcleos emiten espontáneamente partículas subatómicas”. [18]

Primero se descubrieron tres tipos de radiación: Rayos alfa (α) (núcleo de helio con 2 protones y 2 neutrones), Rayos beta (β) (electrones) y Rayos gamma (γ) (fotones)

Después se descubrieron otras partículas como los neutrones, protones, positrones y neutrinos, también emitidos por procesos de decaimientos del núcleo.

Los rayos X descubiertos por Röntgen en 1895 y en 1900 Planck introdujo el concepto fundamental del cuanto de energía.

Así, en el breve lapso de cinco años, se sentaron algunos fundamentos de mucha importancia de la era nuclear, en cuyo umbral se encuentra actualmente el mundo. [17]

1.2.1 Origen de la radiación

Las fuentes de radiación se clasifican en dos: naturales y originadas por el hombre. [18]

Fuentes naturales

1. Radiación cósmica. El espacio exterior está lleno de radiación originada por las estrellas como nuestro sol, y por estrellas explotando como las supernovas. Generan una cantidad inmensa de radiación que llega a nuestro planeta, sin embargo la tierra tiene una capa atmosférica llamada magnetosfera, la cual actúa de escudo, y nos protege de la inmensa mayoría de radiación cósmica. Este escudo es generado desde el núcleo del planeta y posibilita la existencia de vida, provoca fenómenos visibles como las auroras boreales.
2. Fuentes de radiación terrestre. Este tipo de radiación está presente en pequeñas cantidades en nuestro alrededor. En el agua, en el aire, en los alimentos, todo está contaminado con pequeñas cantidades de radiación que emiten isótopos de la naturaleza, aunque no causan daño apreciable a nuestros cuerpos, excepto cuando están presentes en mayores concentraciones a las normales. La principal fuente de radiación terrestre es el uranio y su decadencia en torio, radio y radón. Las explosiones y el vertido de desperdicios nucleares han contribuido también a esto.
3. Fuentes de radiación interna. Nuestro cuerpo contiene algunas trazas de elementos radiactivos que exponen nuestros tejidos a la radiación continua de bajo nivel. Proviene de los isótopos Potasio-40 y Carbono-14. Sin embargo la dosis absorbida y el daño a los tejidos debido a esta radiación es mínima.

Fuentes originadas por la humanidad

Justo después del descubrimiento de la radiación y sus potencial, los científicos han trabajado en fuentes de desarrollo que se pueden utilizar para producir radiación en condiciones controladas de laboratorio. Generalmente emiten un solo tipo de radiación como por ejemplo:

- Máquinas médicas rayos-x
- Escaners de rayos-x en los aeropuertos
- Medicina nuclear
- Aceleradores de partículas
- Láseres

1.2.2 Tipos de radiación

De acuerdo con la energía que posee, pueden clasificarse como radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes. [2]

Las radiaciones ionizantes son aquellas que por su energía, longitud de onda y frecuencia pueden desligar a un electrón de su átomo, en ese instante en que el electrón es separado del átomo al que pertenecía, se produce un proceso conocido como ionización (Figura 1.2), consiste en la formación de un par de iones, el negativo (electrón libre) y el positivo (el átomo sin uno de sus electrones).

Tiene efectos nocivos sobre la materia en general y sobre la materia biológica en particular.

La radiación no ionizante tiene menos energía que la ionizante, por lo tanto no puede remover un electrón de un átomo. Ejemplos de este tipo de radiación incluye a las ondas de radio y las microondas.

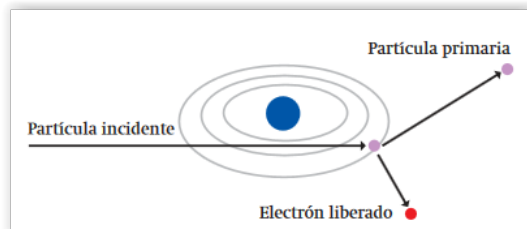


Figura 1.2: Ionización de un átomo

Existen dos tipos de radiaciones ionizantes:

- De origen electromagnético. Constituido por rayos gamma, rayos X y rayos ultravioleta. La radiación viaja formando paquetes discretos de energía llamados fotones, la energía de un fotón depende de la frecuencia de onda de radiación.
- Partículas subatómicas. Como electrones, protones y neutrones. El número de protones presente en un núcleo de un átomo corresponde a su número atómico, la suma de protones y neutrones corresponde a su número másico.

- Radiación alfa (α). Consiste de partículas alfa hechas de dos protones y dos neutrones, con doble carga positiva. Debido a su gran masa y carga eléctrica, tienen una habilidad limitada de penetrar la materia. Puede ser detenida con una hoja de papel. Un ejemplo de sustancia que emite radiación alfa es el isótopo radón-222 que decae en polonio-218.
- Radiación beta (β). Consiste en partículas cargadas, que son expulsadas de los núcleos y son físicamente idénticas a los electrones. Son pequeñas partículas eléctricamente negativas, que pueden penetrar mas profundo que las partículas alfa. Puede ser detenida por escudos hechos de plástico, vidrio o metal. Un ejemplo de sustancia que emite radiación beta es el tritio (hidrógeno-3) que decae en helio-3.
- Radiación de fotones (rayos gamma [γ] y rayos X). La radiación de fotones es radiación electromagnética. Puede penetrar muy profundamente y a veces solo puede ser detenida por materiales muy densos como el plomo o acero. Puede viajar distancias mucho mas largas que la radiación alfa y beta y puede penetrar órganos y tejidos, cuando la fuente esta cerca del cuerpo. Un ejemplo de sustancia que emite radiación de fotones es el cobalto-60 que decae en níquel-60.
- Radiación de neutrones (n). Aparte de la radiación cósmica, la fisión espontánea es la única fuente de la radiación de neutrones. Una fuente común son los reactores nucleares en el cual la división de uranio o plutonio está acompañada de la emisión de neutrones.

La radiación alfa y beta es emitida por núcleos que sufren desintegración radiactiva. Las partículas alfa y beta son acompañadas por liberación de energía adicional en forma de radiación de fotones.[4]

La radiación de neutrones, se produce por fisión nuclear que ocurre solo para ciertas sustancias con un número atómico alto como el uranio o plutonio.

1.2.3 Decaimiento radiactivo

El núcleo de todos los átomos de un mismo elemento en particular tiene el mismo número de protones, pero puede diferir en número de neutrones, en este caso se tienen los denominados isótopos. [4]

Por ejemplo el hidrógeno tiene tres isótopos:

- Hidrógeno o Protio (H-1) tiene un protón.
- Deuterio (H-2) tiene un protón y un neutrón.
- Tritio (H-3) tiene un protón y dos neutrones.

Los isótopos se pueden dividir en dos categorías: estables y radiactivos. [4]

En un isótopo estable: El número de protones y neutrones en el núcleo es equilibrada en una configuración estable.

Un isótopo radiactivo: Es inestable debido a un número desigual de los protones y neutrones en el núcleo. Su núcleo se desintegra a través de un proceso conocido como desintegración radiactiva, durante el cual emite el exceso de energía con el fin de estabilizarse. Esta energía se llama radiación.

A la rapidez con la que ocurre es el número de transformaciones o desintegraciones por unidad de tiempo se le llama decaimiento radiactivo. [6]

Para medir este parámetro se utiliza el Becquerel (Bq) o bien el Curie (Ci), Un Ci equivale a 37,000 millones de desintegraciones por segundo. En la práctica, esta cantidad es muy elevada, por lo que se ha convenido usar como unidad el milicurie (mC) y microcurie (μC).

$$1Ci = 3,7 \times 10^{10} Bq$$

1.2.4 Detectores de radiación

La radiación es invisible al ojo humano, por lo tanto se necesitan equipos para cuantificarla. Se muestra a continuación una lista de los principales tipos de detectores. [21]

- Detectores llenos de gas. La radiación que pasa a través de un gas ioniza las moléculas de gas, proporcionándole energía. Los pares de carga que se producen pueden moverse en direcciones opuestas por la aplicación de un campo eléctrico externo. El resultado es un impulso eléctrico que se puede cuantificar por un dispositivo de medición asociado. Los principales detectores de este tipo son: cámaras de ionización y contadores Geiger-Mueller.
- Detectores llenos de líquidos. Cuando la radiación pasa a través de un líquido, produce pares de carga. Que al igual que los detectores llenos de gas, pueden ser dirigidos hacia electrodos para la generación de un impulso eléctrico que se puede medir. Los principales detectores de este tipo son: cámaras de ionización líquida, detectores Cherenkov, cámaras de burbuja y detectores líquidos de centelleo.
- Detectores de estado sólido. Los detectores llenos de gas y líquidos, tienen limitaciones en ambientes donde se requiere una alta resolución y se tiene un ambiente de radiación baja. Los semiconductores tienen una capacidad de producir pares de cargas superior a la de los gases. El germanio (Ge) y el silicio (Si) son dos de los materiales semiconductores más comúnmente utilizados. Los principales detectores de este tipo son: Detectores de semiconductores, detectores de diamante y detectores termoluminiscentes.
- Detectores de centelleo y fotodetectores. Cuando la radiación interactúa con los átomos de materiales de centelleo, transfieren parte de su energía a los átomos de estos materiales. Provocando un estado de excitación por cortos periodos de tiempo, al regresar a su estado de reposo emiten fotones, en su mayoría en las regiones visible y ultravioleta del espectro. Esto proporciona una alternativa al mecanismo de ionización de los detectores llenos de gas, líquidos y estado sólido para detectar y medir la radiación. Los principales detectores de este tipo son: Centelladores orgánicos, centelladores inorgánicos y fotodetectores.

1.2.5 Regulaciones y aplicaciones prácticas

Regulaciones

Todas las regulaciones en Estados Unidos sobre protección a los humanos puede encontrarse en el Código Federal de Regulaciones (10CFR20), el cual está basado en la Comisión Internacional de Protección Radiológica (International Commission on Radiological Protection ICRP por sus siglas en inglés). Los principios generales que establece son:

1. Ninguna persona puede ser expuesta a radiación generada por el hombre, a menos que tenga algún beneficio derivado de esa exposición.
2. Los límites a la exposición de radiación, están establecidos cuando los niveles son minimizados y se vuelven aceptables viendo los beneficios derivados de la exposición.

En México el organismo que regula este tipo de cuestiones es la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), presta diferentes servicios, trámites, licenciamiento, monitoreo ambiental y atención a emergencias. Esta comisión es una dependencia a cargo de la Secretaría de energía (SENER) del gobierno federal. Se encarga de:

- Adquisición y transferencia. De fuentes de uso médico y material radiactivo.
- Calibración - Aceleradores, detectores, teleterapia, mastógrafos.
- Cambio de fuentes.
- Cursos de protección radiológica.
- Instalación, cambio de fuentes y mantenimiento - Aceleradores, rayos X, etc.
- Pruebas de fuga.
- Transporte. De material radiactivo.

El Instituto de Ciencias Nucleares tiene fuentes radiactivas con las normativas de seguridad radiológicas correspondientes de la CNSNS.

Aplicaciones prácticas de las radiaciones ionizantes

Las radiaciones ionizantes tienen aplicaciones muy importantes en la industria, investigación y medicina. [2]

- En la industria se usan en la producción de energía, para la esterilización y conservación de alimentos, para la esterilización de instrumentos, conocer la composición interna de muchos materiales, detectar problemas en su estructura como fracturas o dislocaciones y errores de fabricación o ensamblaje.
- En la medicina nuclear para investigar funciones normales y patológicas en el organismo. También para diagnósticos (radiología) y tratamientos (radioterapia).

1.3 DOSIMETRÍA

La radiación dependiendo de su tipo y energía, causa daños en materiales y seres vivos. Por lo tanto hay que evitar los efectos nocivos, sobre todo cuando procede de fuentes artificiales con las que pueden presentarse abusos en su utilización, sobretodo en el ámbito clínico.

Desafortunadamente, el daño causado por la radiación no siempre puede ser fácilmente cuantificable. Algunos tipos de mutaciones celulares causados por la radiación tardan años en desarrollarse en cáncer detectable. Lo mismo pasa con componentes electrónicos que se encuentran en un ambiente hostil con mucha radiación como satélites y naves espaciales. El daño es tan lento que es difícil darse cuenta de la pequeña degradación en el rendimiento que sufren dichos aparatos. [21]

Se han hecho muchos estudios para determinar los niveles de radiación seguros para los individuos, trabajadores expuestos a radiación y los equipos. Con base en esos estudios, las normas se han establecido dosis máximas permisibles para el ser humano. Para los materiales, como detectores de silicio en un acelerador de partículas, el problema está en su funcionamiento ya que hay degradación, pero no existen normas universales para estos aparatos.

La dosimetría es el acto de medir o estimar dosis de radiación y asignarle esas dosis a individuos. [4]

Tres métodos son comúnmente usados para determinar dosis de radiación a humanos:

- Dosimetría personal. Se usa principalmente para determinar las dosis a los trabajadores de la industria nuclear. Las exposiciones externas son controladas con pequeños detectores de radiación, llamados dosímetros, que llevan las personas. Las exposiciones internas son controladas por la medición de sustancias nucleares dentro del cuerpo o excretadas por el mismo.
- Monitoreo indirecto usando tazas de dosis medidas o concentraciones en el aire de sustancias nucleares. Este método de control se utiliza cuando una persona ocupa un área con una concentración conocida, por un periodo de tiempo conocido. Este conocimiento se utiliza para estimar la dosis de radiación.
- Monitoreo indirecto usando análisis de rutas ambientales. La exposición de la población, se modela mediante la cantidad de sustancias nucleares liberadas en el medio ambiente desde una fuente, tales como la cantidad de sustancias nucleares en la atmósfera, el agua o productos agrícolas.

1.3.1 Unidades relacionadas

La protección de individuos contra la radiación necesita dos tareas:

1. Desarrollar un límite de exposición segura de radiación, incluyendo un modelo de las interacciones de la radiación con sistemas biológicos.
2. Construir instrumentos que midan la intensidad de radiación.

Las dos tareas anteriores requieren una descripción cuantitativa de la radiación. Su efecto es medido en términos de exposición o dosis. Tsoulfanidis and Landsberger [21]

La exposición se define como una carga liberada por unidad de masa en el aire. Se mide con referencia, a un intervalo de tiempo (segundo, minuto, hora). Se utiliza el roentgen R, equivale a la exposición en aire correspondiente, a la cantidad de radiación electromagnética (X o γ) necesaria, para producir una determinada ionización por unidad de aire $2.58 \times 10^{-4} C/Kg$.

El roentgen (R) ha sido fundamentalmente sustituido por el rad (radiation absorbed dose o dosis absorbida de radiación) en 1953 y se define en función de la energía absorbida. Un rad es la cantidad de radiación que deposita $10^{-2} J/Kg$ de energía en cualquier material. La unidad en el sistema internacional J/Kg se llama ahora gray (Gy), por lo tanto $1 \text{ rad} = 10^{-2} Gy$. En tejidos blandos 1 rad es aproximadamente igual a 1R.

La unidad rem (roentgen equivalent in man, equivalente al roentgen en el hombre), es la dosis que tiene el mismo efecto biológico que un rad de radiación (β o γ). $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times \text{RBE}$ (Relative Biological Effectiveness Factor, es decir factor de efectividad biológica relativa).

A continuación se muestra en el (Cuadro 1.3) las diversas unidades de radiación.

Magnitud	Unidad usual		Unidad S. I.	
	Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo
Energía	Electrón	eV Volt	Joule	J
Exposición	Roentgen	R	Coulomb x Kg	C/kg
Dosis absorbida	rad	rad o rd	Gray	Gy = J/kg
Dosis equivalente	rem	rem	Sievert	Sv
Actividad	Curie	Ci	Becquerel	Bq = 1/s

Cuadro 1.3: Unidades de radiación y dosimetría

1.3.2 Dosis

Una vez que se expone la materia a la radiación ionizante, se deposita energía, misma que se convierte en la “dosis”. Esta es definida por la Comisión de Seguridad Nuclear Canadiense “como la energía absorbida por unidad de masa de la exposición a la radiación”. CNSC [4]

Existen tres tipos de dosis:

- Dosis absorbida. Es el monto de energía depositada por unidad de masa en una sustancia. Su unidad original fue el rad, actualmente también se utiliza con frecuencia, la unidad de medida el Gray (Gy), equivalente a 1 unidad de energía (joule) depositada en 1 kilogramo de sustancia, que equivale a 100 rads.
- Dosis equivalente. Las investigaciones en radiobiología demuestran que para un mismo valor de dosis absorbida, los daños biológicos son diferentes en función de la radiación incidente[1]. Por ejemplo 1 Gy de radiación alfa es más perjudicial para la piel que 1 Gy de radiación beta. Se define como la dosis depositada en el organismo, multiplicada por un factor especial que caracteriza la radiación específica. Su unidad original es el rem, aunque también actualmente se utiliza el Sievert (Sv). Un Sv equivale a 100 rem. Para darnos una idea de lo que estas cantidades significan, se presentan en el (Cuadro 1.4) valores de dosis equivalente correspondientes a algunas fuentes de radiación.

ÓRGANO	DOSIS MEDIA ABSORBIDA (Gy)	EFFECTOS
Piel	5	Alopecia
Piel	2 a 5	Eritema
Testículo	> 4	Esterilidad permanente
Testículo	0.15 a 4	Esterilidad temporal
Ovarios	> 3	Esterilidad permanente
Ovarios	> 0.6	Esterilidad temporal
Cristalino	> 2	Cataratas
Médula ósea	0.25	Decrecimiento plaquetario

Cuadro 1.4: Efectos sobre algunos tejidos y órganos expuestos según la dosis

- Dosis efectiva. En este caso se toma en cuenta la respuesta biológica que tienen los diferentes tipos de materia a determinado tipo de radiación. La dosis que para un órgano pueden ser letal para otro puede no representar grandes riesgos. Los efectos pueden ser tanto de tipo como de magnitud y se deben considerar al momento de asignar las dosis. Esto se toma en cuenta multiplicando la dosis equivalente a una materia (en Sv) por su respectivo factor de ponderación (wT) el cual se estima según los diferentes órganos y tejidos.

1.3.3 Dosímetros

Un dosímetro es un pequeño dispositivo de detección de radiación, para medir la dosis de radiación ionizante. [4]

Los dosímetros se clasifican en dos categorías, activos y pasivos:

- Un dosímetro pasivo. Produce una señal inducida por la radiación, que se almacena en el dispositivo. Después se procesa y se analiza la salida.

- Un dosímetro activo. Produce una señal inducida por la radiación y muestra una lectura directa de la dosis en tiempo real.

Los dosímetros pasivos son los más usuales, que son los que usa una persona mientras realiza alguna actividad relacionada con el uso de radiación, como puede ser en plantas nucleares, hospitales, laboratorios, etc. Con la finalidad de medir la dosis de radiación a la que estuvo expuesto la persona y el dosímetro. Generalmente después de su uso, los dosímetros son regresados a un laboratorio de dosimetría, el cual los analiza y envía de vuelta los resultados de las dosis a los usuarios. Se utilizan generalmente para estimar las dosis efectivas, se usan típicamente entre la cintura y el cuello, en la parte frontal del torso (también llamados dosímetros de todo el cuerpo), también pueden ser usados en las extremidades o cerca del ojo para medir la dosis equivalente a estos tejidos.

Un dosímetro personal ofrece las siguientes ventajas principales:

- Dado que lo lleva una persona, da la mejor estimación de la dosis, en el en el campo de trabajo donde esté.

- Mide la dosis sin necesidad de interpretación por parte del usuario.

1.3.4 Dosimetría activa y pasiva

Dosimetría Activa

La dosimetría activa implica el uso de un detector electrónico y es empleado para medir dosis instantáneas, se dividen dependiendo del tipo de detector de radiación que tienen.

Los detectores de cámaras de iones, han sido ampliamente utilizado en dosimetría por su simplicidad de diseño y bajo costo operativo, fundamentalmente en el ámbito clínico, sin embargo la tendencia esta cambiando para usar detectores con semiconductores.

A continuación tenemos una lista de los principales ramas de la dosimetría activa:

- Dosimetría de cámara de iones
- Dosimetría de estado sólido
- Dosímetro de plástico centellador.
- Electroscopio de fibra de cuarzo

Dosimetría Pasiva

La dosimetría pasiva implica el uso de un material para grabar en él una dosis y posteriormente tomar el material fuera del entorno de radiación para leer el valor registrado. Este método no es adecuado para la medición de las tasas de dosis instantáneas. Algunas de las técnicas de dosimetría pasiva más populares son:

- Dosimetría termoluminiscente. (TL)

Existen materiales que pueden almacenar la energía que a la que son expuestos. Al calentarlos liberan la almacenada energía en forma de fotones. Dado que la energía liberada es proporcional a la energía almacenada por lo tanto, estos materiales se puede utilizar como dosímetros. Tales materiales son conocidos como materiales termoluminiscentes y los detectores basados en ellos son conocido como dosímetros termoluminiscentes TLD.

- Dosimetría ópticamente estimulada. (OSL)

La estimulación térmica no es la única manera para recuperar la energía almacenada a partir de materiales. Existen materiales que emiten luz cuando son estimuladas por fotones de luz.

Estos materiales OSL, son otro tipo de dosímetros con cualidades muy superiores a los dosímetros convencionales TLD, ya que pueden almacenar la energía de la misma manera como materiales TL, pero emiten luz cuando son estimulados ópticamente, en lugar de térmicamente.

- Dosimetría de película.

Está basada en los llamados materiales radiocromáticos, que cambian de color cuando se exponen a la radiación. Como la cantidad de esta coloración es proporcional a la dosis administrada, las películas radiocromáticas proporcionan un medio directo de medición de dosis.

1.4 LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA (OSL)

La luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) es “la luminiscencia emitida desde un aislante o semiconductor irradiado durante la exposición a la luz.” [11]. Es por esto que la intensidad de una OSL es una función de la dosis de radiación absorbida por la muestra y por lo tanto se puede utilizar como la base de un método de dosimetría de la radiación.

En los últimos años, esta técnica (OSL) se ha convertido en un procedimiento popular para poder determinar dosis de radiación ambiental absorbidos por los materiales arqueológicos y geológicos para poder datarlos, aunque se está popularizando en varios campos del conocimiento, como en la medicina, el espacio exterior, datación geológica, monitoreo ambiental, etc.

La técnica OSL (Figura 1.3), se compone de diferentes etapas de un ciclo, al irradiar una muestra con radiación ionizante se crean electrones libres y agujeros, la latencia es un periodo caracterizado por una concentración estable de electrones y agujeros capturados en la muestra, la estimulación con luz provoca una recombinación del par electron-agujeros y provoca la emisión de luz (OSL).

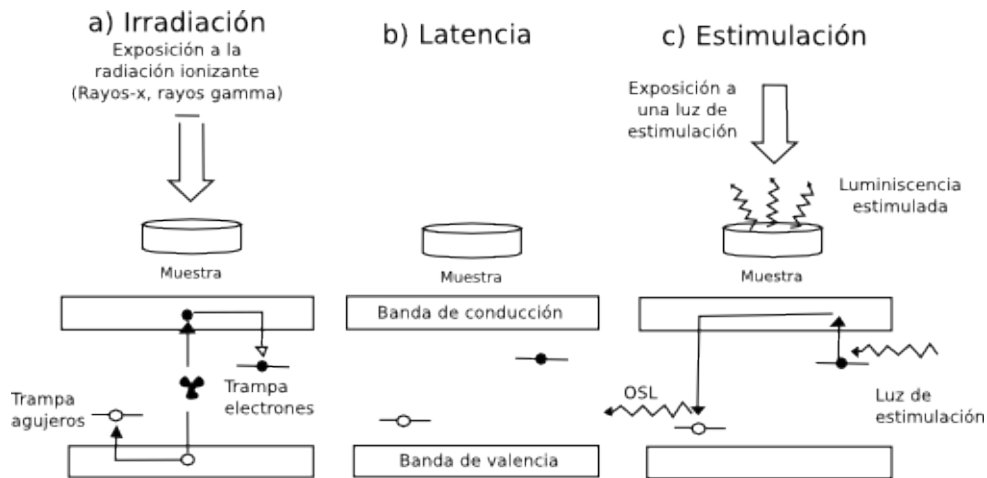


Figura 1.3: Ciclo OSL

1.4.1 Luminiscencia

La luminiscencia se define como la des-excitación de un átomo o molécula, por emisión de fotones [3]. Este fenómeno ocupa un papel fundamental en la vida. Procesos como la visión, el secuenciamiento del genoma humano y el desarrollo de las tecnologías de la información, serian imposibles de concebir sin la luminiscencia. La excitación del material es requisito para la emisión.

Los procesos luminiscentes se nombran, de acuerdo al origen de la excitación que la origina, como se puede apreciar en el (Cuadro 1.5).

LUMINISCENCIA	TIPO DE EXITACIÓN QUE LA ORIGINA
Fluorescencia	Rayos gamma, rayos X, UV, luz azul
Fosforescencia	Similar que la fluorescencia
Fotoluminiscencia	Fotones de baja energía, luz visible o ultravioleta.
Electroluminiscencia	Campo eléctrico
Quimioluminiscencia	Reacción química
Bioluminiscencia	Reacción química producida en un organismo vivo
Sonoluminiscencia.	Ultrasonido
Incandescencia	Excitación térmica
Magnetoluminiscencia	Campos magnéticos
Termoluminiscencia (TL)	Calor
Radioluminiscencia	Reacciones nucleares

Cuadro 1.5: Tipos de luminiscencia

1.4.2 Comparativa OSL vs TL

Los materiales OSL pueden almacenar la energía de la misma manera como materiales termo luminiscentes (TL), pero que emiten luz cuando son estimulados ópticamente en lugar de térmicamente. Esta es una tecnología relativamente nueva y era en su mayoría desconocida antes de 1992. [21]

Tiene muchas ventajas sobretodo con la dosimetría TL, la cual es el tipo de dosimetría que más cerca esta del OSL.

- Procesamiento más rápido. La dosimetría OSL requiere luz para recuperar la información de la dosis. Por lo que este proceso es más rápido y eficiente que el tener que calentar los dosímetros TL.
- Mejor precisión. La luz necesaria para recupera la información de la dosis, se puede controlar de manera mas precisa que el calor.
- Alto rango dinámico. Los dosímetros OSL son más sensibles a dosis muy bajas o altas a comparación de los dosímetros TL.
- Lecturas múltiples. Una vez que se calienta un dosímetro TL, la información de la dosis desaparece, imposibilitando poder volver a leerla. Con los dosímetros OSL solo se libera una pequeña fracción de la energía absorbida por la dosis, por lo cual se puede leer varias veces, lo que reduce la incertidumbre de los resultados.
- Formas. Los cristales OSL pueden ser de muchas formas, por lo que pueden ser producidos en formas de fibras y polvos.
- Estabilidad mecánica. Los materiales OSL son muy estables con respecto a grandes variaciones de temperatura y humedad.

Debido a las características anteriormente presentadas de la técnica dosimétrica OSL sobre la TL, los dosímetros OSL se vuelven cada vez más y más populares.

1.4.3 Curva OSL

Se ha observado que la mayoría de los materiales TL, al menos en cierta medida, poseen características OSL. Esto apunta a la posibilidad de que el mecanismo de almacenamiento de energía es el mismo. Sin embargo debido a algunos experimentos como se ve en la (Figura 1.4) se ha argumentado, que los dos mecanismos de almacenamiento deben ser intrínsecamente diferentes.

Se aprecia que la intensidad de salida de la luz OSL es muy pequeña en comparación con la luminiscencia TL. Sólo es una fracción de la energía almacenada por el material. Por lo tanto, la argumento de que son intrínsecamente diferentes no se sostiene. [11]

Como se aprecia también en la (Figura 1.4), el decaimiento de la curva OSL es mucho más rápido que la curva TL, lo que hace que el proceso de lectura de materiales sea mucho más rápido.

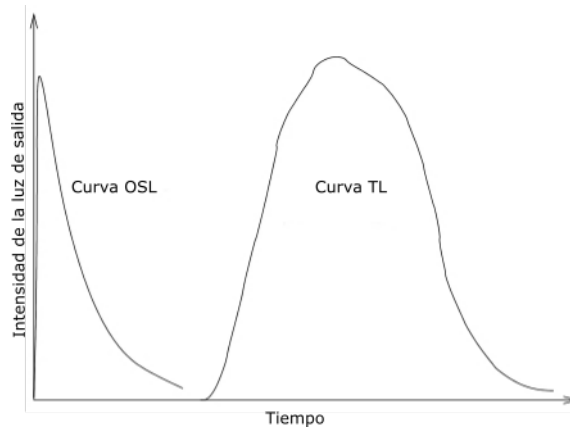


Figura 1.4: Curva OSL/TL

1.4.4 Materiales OSL

Aunque se han identificado muchos materiales con características OSL, el más utilizado sigue siendo el óxido de aluminio dopado con carbono $Al_2O_3 : O$.

Una gran ventaja de los materiales OSL es que no tienen que ser calentados y por lo tanto, no tienen que poseer la propiedad de estabilidad a alta temperatura.

Por otra parte, se pueden utilizar materiales OSL con un alto porcentaje de hidrógeno sin preocuparse por su estabilidad térmica ya que el material no tiene que ser calentado. A diferencia de materiales TL con alto contenido de hidrógeno, y una estabilidad térmica baja, no se pueden usar. Un ejemplo de tal material es $NH_4Br : Tl$.

1.5 TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN OSL

La base para las mediciones OSL es la estimulación de una muestra irradiada con una fuente de luz con una longitud de onda y el monitoreo de emisiones de la muestra usando diferentes longitudes de onda usando un detector sensible, como un tubo fotomultiplicador.

La base para las mediciones de OSL es la estimulación de una muestra irradiada, con una fuente de luz que proporciona una longitud de onda o longitudes de onda específicas y el respectivo monitoreo de la emisión de la muestra a una longitud de onda diferente, utilizando un detector sensible (por ejemplo, tubo fotomultiplicador (PMT) véase la (Figura 1.5) donde se aprecia un sistema OSL, y como el PMT detecta la luminiscencia de la muestra provocada por la fuente de estimulación óptica.

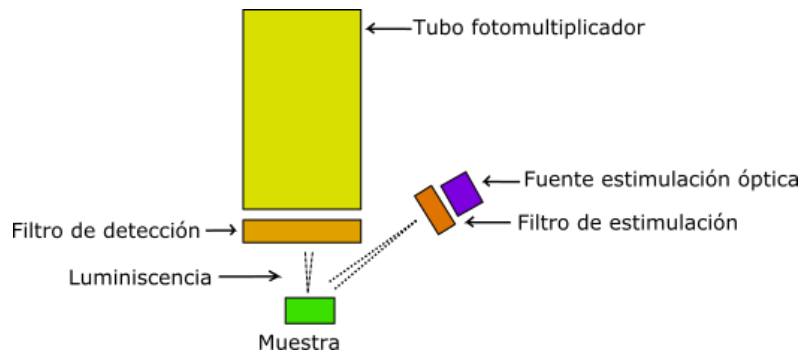


Figura 1.5: Diagrama de un sistema OSL con una fuente de estimulación óptica

1.5.1 Fuentes de estimulación óptica

Estimulación con láser

El desarrollo histórico de fuentes de estimulación óptica comienza en 1985 por Huntley, el cual usó un láser de argón de 514nm para estimular OSL de un cuarzo. [11]

Estimulación led infrarrojo

Posteriormente Hütt en 1988 [11], mostró la primera luminiscencia estimulada de feldespatos con un led infrarrojo (870-880nm).

Estimulación diodo láser infrarrojo

Generalmente la tasa de decaimiento es baja a comparación de los leds infrarrojos, requiere mucha potencia para ser capaz de completar una señal en un tiempo razonable. Las pruebas lo han conseguido con un láser de 1W emitiendo a 830nm.

1.5.2 Modos de estimulación OSL

Los diferentes modos de estimulación se pueden utilizar, CW-OSL (Continuous wave-OSL, onda continua OSL), LM-OSL (Linearly Modulated OSL, linealmente modulado OSL) y POSL (Pulsed OSL, OSL pulsado).[11]

CW-OSL (Onda continua)

Es la forma más común de obtener una curva OSL, se ilumina la muestra con una fuente de luz de intensidad constante y simultáneamente se supervisa la emisión de luminiscencia.

Se utilizan filtros de banda estrecha para diferenciar entre la luz de la estimulación y la de emisión, y para evitar que la luz dispersada de estimulación entre en el detector.

La integral de la curva de emisión se registra y se utiliza para determinar la dosis de radiación absorbida.

LM-OSL (Linealmente modulado)

La modulación lineal se produce, si la intensidad de la luz de estimulación se incrementa linealmente con el tiempo.

POSL (Pulsado)

Sucede cuando la fuente de estimulación es tiene una cierta frecuencia, con un pulso particular, la anchura apropiada para el tiempo de vida de la luminiscencia se observa. En este modo de estimulación solamente la emisión OSL es medido entre los impulsos es medido, en lugar de durante los pulsos.

1.5.3 Sistemas de detección de luz

Tubos fotomultiplicadores

Los tubos fotomultiplicadores (PMT) son los detectores de luz más sensibles y se utilizan en la mayoría de sistemas de medición de luminiscencia ópticamente estimulada. El PMT es un tubo de vacío que incluye un cátodo fotosensible, una serie de dinodos multiplicadores de electrones y un ánodo que normalmente funciona lo 1000 V. Los fotones de luz interactúan con el material de cátodo fotoeléctrico (por ejemplo, potasio cesio) causando la emisión de electrones que luego son atraídos al voltaje positivo de la primera dinodo.

Dependiendo del material del dinodo (por ejemplo, antimonio-cesio), dos o tres electrones son emitidos por cada electrón golpeándolo. Estos electrones son atraídos de nuevo por el siguiente dinodo y así sucesivamente, lo que resulta en varios millones de electrones de alcanzar el ánodo por cada electrón emitido desde el cátodo. Por lo tanto, un fotón que llega al fotocátodo es convertido a un impulso eléctrico en el ánodo.

Sin embargo, el PMT no es igualmente sensible a fotones emitidos en diferentes longitudes de onda, es decir, no todos los fotones se convierten en pulsos. Esta resulta en una eficiencia cuántica variable de hasta 25%, dependiendo de la longitud de onda.

Detectores de imágenes de fotones

Estos detectores utilizan placas de micro-canales sensibles para la captura de imágenes, lo que permite una codificación de tiempo para cada fotón detectado. Se compone de un fotocátodo similar al utilizado en los tubos fotomultiplicadores (PMT), que produce un fotoelectrón cuando es golpeado por un fotón incidente.

Detectores de estado sólido

Se basan en dispositivos de carga acoplada (charge coupled device CCD), ofrece una alternativa a los detectores de imágenes de fotones. El más famoso es el chip Kodak KAF-0400.

1.6 DISPOSITIVOS OSL COMERCIALES

Existen 3 distribuidores principales de equipo TL/OSL Bøtter-Jensen et al. [11], algunos de sus dispositivos principales se muestran a continuación:

- ELSEC - Littlemore Scientific Engineering Company, en Reino Unido.

La compañía Littlemore tiene dos sistemas automáticos de medición de luminiscencia disponibles. Uno es para 24 muestras TL (Sin los accesorios OSL) y el otro es para 64 muestras (Sin los accesorios TL), está disponible para estimulación con un led Infrarrojo o estimulación con luz visible usando un modulo con una lámpara con filtro. Un irradiador de rayos beta es acoplable con el lector automático TL.

- Daybreak Nuclear and Medical Systems, en Estados Unidos

El instrumento de la compañía Daybreak incluye un lector automático TL de 20 muestras (modelo 1100), usando una computadora integrada con conexión serial a una computadora aparte. Las muestras se mueven para ir a calentarlas y regresar a su posición. El modelo 1150TL es para 57 muestras, encimando platos con 20 cada uno.

- Risø National Laboratory, en Dinamarca.

El Laboratorio Nacional Risø tiene un sistema combinado TL/Led infrarrojo azul OSL. Con un plato acoplado con irradiadores alfa y beta, puede acoplar 48 muestras. El mas reciente modelo incorpora un potente diodo infrarrojo láser de $400mW/cm^2$ y un diodo azul de 470nm. Nuevas características como un led verde infrarrojo de 532/830nm con soporte para 48 muestras y un accesorio con un calentador. Recientemente desarrollaron un editor de software que extiende significativamente la flexibilidad y capacidad de medición.

Capítulo 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO OSL

2.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha mencionado en el capítulo uno, la necesidad médica de cuantificar dosis de radiación absorbidas, ha provocado que se investiguen y se descubran diferentes detectores y técnicas para poder lograrlo.

Dentro de las diversas técnicas dosimétricas, la luminiscencia ópticamente estimulada destaca, ya que es de las técnicas más prácticas y exactas para lograr medir y estimar las dosis de radiación debido a que usa luz en vez de calor como la termoluminiscencia estimulada.

Para poder lograr mediciones con luminiscencia ópticamente estimulada, se necesitan realizar ciclos secuenciales de operación a las muestras. Con esto se logra la adecuada irradiación, estimulación y lectura de las dosis de radiación absorbidas por las muestras.

Este capítulo trata del diseño y construcción de un dispositivo mecatrónico OSL que automatiza los ciclos secuenciales OSL, por lo tanto se comienza con la definición de un sistema mecatrónico y su proceso de diseño. Los alcances y limitaciones del proyecto, lo acotan puntualmente.

Después se describen cada uno de los ciclos de operación necesarios OSL, así como los componentes de entrada y salida que lo integran.

En la fase de construcción tenemos:

- Los procesos necesarios para la construcción de las estructuras de soporte.
- Una descripción del hardware, en colocación, funcionamiento y operación.
- Una descripción del software, los componentes principales, protocolos de comunicación necesarios y flujos de información.

Se incluye en los apéndices: el diseño mecánico de las estructuras de soporte, así como el diseño esquemático electrónico y los códigos de programación de los microcontroladores empleados.

2.2 SISTEMAS MECATRÓNICOS

Un sistema se puede ver como una caja negra que tiene una entrada y salida, en la cual no nos interesa que tiene dentro, sino la relación que existe entre su entrada y su salida[9]. Un ejemplo clásico de sistema (Figura 2.1), es un motor cuya entrada es la energía eléctrica y su salida la rotación de su eje.

La ventaja de estudiar a los sistemas de esta manera, es que aunque existan múltiples sistemas posibles, la relación entre las entradas y salidas tiene a ser similar. Por lo tanto es posible determinar la respuesta de sistemas diferentes pero con la misma relación entrada - salida. [10]

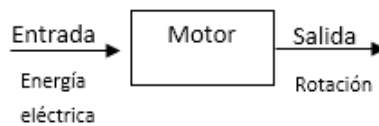


Figura 2.1: Ejemplo de un sistema

Un sistema mecatrónico, es aquel sistema digital, que como entrada tiene diferentes tipos de señales, las cuales las procesa y como salida emite una respuesta por medio de actuadores. Son muchas las aplicaciones actuales de la mecatrónica en productos que se utilizan en el hogar, como lavadoras, hornos de microondas, cámaras, etc.

La ingeniería en Mecatrónica es una disciplina que une la ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, ingeniería de control e ingeniería informática. Sirve para diseñar y desarrollar proyectos que involucren sistemas de control para el diseño de productos o procesos inteligentes. [9]

Un ingeniero en sistemas mecatrónicos “debe de ser capaz de diseñar y seleccionar circuitos analógicos y digitales, componentes basados en microprocesadores, dispositivos mecánicos, sensores, y actuadores, y controles de modo que el producto final logre la meta deseada” [8]. Por lo tanto se requiere un amplio conocimiento en electrónica para poder diseñar y seleccionar los circuitos electrónicos necesarios, los microprocesadores, sensores y actuadores. También se requieren habilidades para la construcción y elección de dispositivos mecánicos y actuadores.

La mecatrónica adopta un enfoque concurrente o participativo entre estas disciplinas en lugar del enfoque secuencial. Se conjuntan áreas tecnológicas relacionadas con sensores y sistemas de medición, sistemas de mando y accionamiento, análisis de medición, sistemas de mando y accionamiento, análisis del comportamiento de los sistemas, sistemas de control y sistemas de microprocesadores. [8]

Sensores

Se podría considerar como una caja negra que se utiliza para medir. Su entrada es la magnitud que se desea medir y su salida es el valor correspondiente a dicha magnitud. En general esta formada por 3 elementos:

1. Un sensor, el cual responde a la cantidad que se mide, dando como salida una señal relacionada con dicha cantidad.
2. Un acondicionador de señal, el cual toma la señal del sensor y la manipula para convertirla a una forma adecuada para su presentación visual o, como en el caso de un sistema de control, para que ejerza una acción de control.
3. Un sistema de presentación visual (pantalla o display), es donde se despliega la salida producida por el acondicionador de señal.

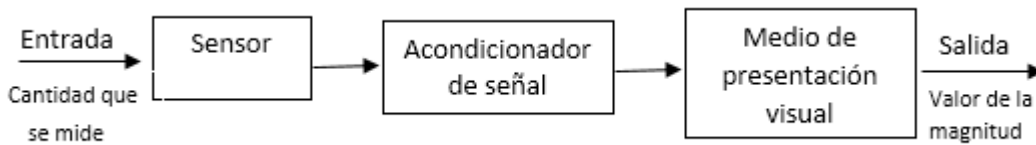


Figura 2.2: Elementos de sistema de medición.

Control

Puede considerarse como una caja negra que se sirve para controlar la salida de un valor o secuencia de valores predeterminados.

El control por lazo abierto (Figura 2.3) son sencillos, de bajo costo, pero son imprecisos ya que no hay corrección de errores, la entrada altera la salida, pero no hay retroalimentación para compensar y tener una mejor exactitud.

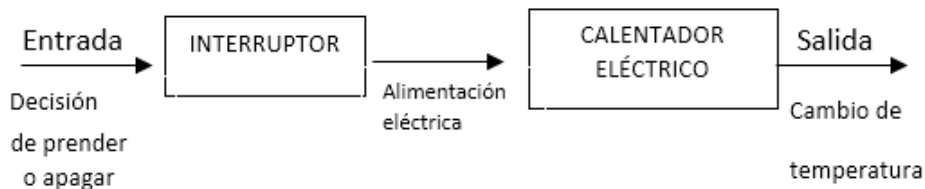


Figura 2.3: Lazo abierto

En el control por retroalimentación o lazo cerrado (Figura 2.4), las señales se retroalimentan desde la salida para modificar la entrada, como por ejemplo un calentador eléctrico, el cual automáticamente se enciende o apaga, según la diferencia entre la temperatura deseada y la temperatura real, para mantener una temperatura constante a su salida.

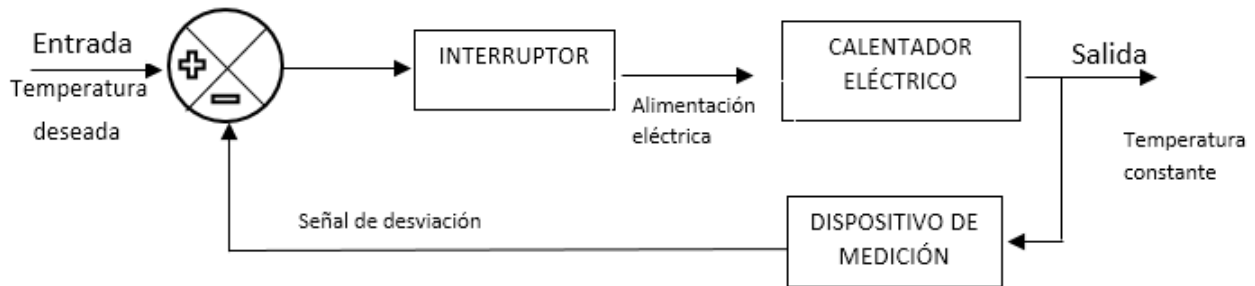


Figura 2.4: Lazo cerrado

Actuadores

La mayoría de los sistemas mecatrónica involucran movimiento o acción de algún tipo. Este movimiento o acción se puede aplicar a cualquier cosa, desde un simple átomo hasta una gran estructura articulada; y se crea mediante una fuerza o momento de torsión que resulta en aceleración y desplazamiento. Los actuadores son los dispositivos que se usan para producir este movimiento o acción. Muchos actuadores se apoyan en fuerzas electromagnéticas para generar su acción.

Existen dos tipos de actuadores, de acuerdo al movimiento que efectúan: Lineales y Rotatorios.

Por funcionamiento se clasifican en tres tipos de actuadores: Hidráulicos, neumáticos y eléctricos.

2.3 DISEÑO DE SISTEMAS MECATRÓNICOS

“Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema particular”. [20]

El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo se evalúan los resultados y luego se regresa a una fase previa del procedimiento. De esta manera es posible sintetizar varios componentes de un sistema, analizarlos y optimizarlos, para poder regresar a la síntesis para ver qué efectos tiene sobre las partes restantes del sistema. También es un proceso de toma de decisiones, y una actividad que requiere una intensa comunicación con gente con formación en muchas disciplinas.

A diferencia del diseño mecánico que es secuencial, el diseño mecatrónico es concurrente [9], es decir paralelamente se van desarrollando todas las áreas involucradas (Figura 2.5) en la creación del prototipo.

- La metodología del diseño mecatrónico es multidisciplinario (Sistema Mecánico + Sistema Eléctrico + Sistema de control).
- Diseño óptimo. Se busca el mejor diseño posible teniendo en cuenta, restricciones de costo.
- Productos inteligentes. Se toma información del medio, se procesa, se elabora una respuesta “inteligente” y se ejecuta.

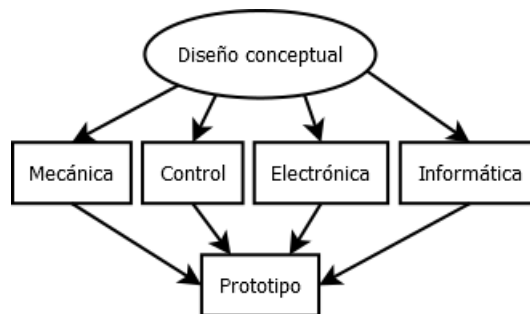


Figura 2.5: Fases del diseño mecatrónico

2.3.1 Fases de diseño mecatrónico

- Definir el problema. El problema se puede dividir en 3 fases: adquisición de datos, clasificación y actuación.
- Dibujar diagrama funcional. Diagrama de bloques, que representa el flujo de la información entre los componentes requeridos del sistema.
- Identificar los requisitos I/O y seleccione modelos adecuados de microcontrolador.
- Identificar los circuitos de interfaz necesarios y protocolos de imaginación.
- Seleccionar el lenguaje de programación.
- Dibujar un diagrama de flujo del programa.
- Escribir el código.
- Construir y probar el sistema.

Como con cualquier sistema, especialmente los más complejos, se tiene que dividir el sistema en sus unidades funcionales más pequeñas y probar las entradas y salidas de dichas unidades para garantizar que funcionan bien..

2.3.2 Diseño mecánico

En el diseño secuencial (Figura 2.6), cada siguiente paso va a continuación del paso actual , tiene seis pasos que se relacionan y en cada uno de ellos se puede retroceder a pasos pasados, a excepción de la presentación que es el paso final.

El diseño mecánico es una tarea compleja que requiere muchas habilidades. Es necesario subdividir relaciones complejas en una serie de tareas simples, como en los requerimientos y materiales, así como técnicas de diseño y utilización de programas de diseño asistido por computadora CAD.

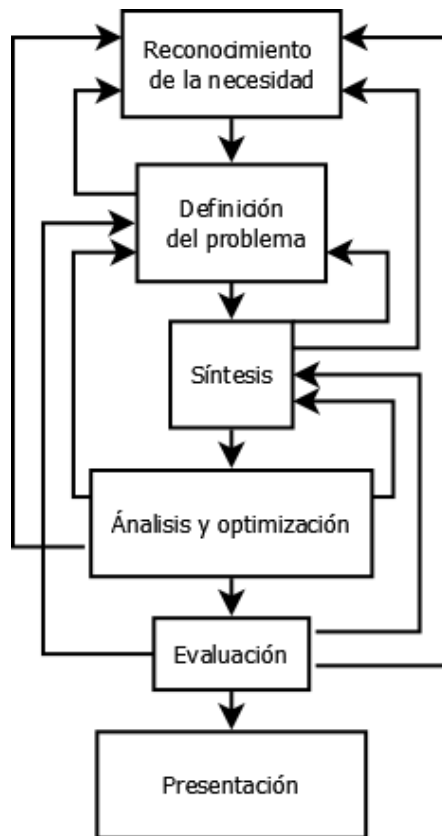


Figura 2.6: Fases del diseño

- Comienza con la identificación de una necesidad. El reconocimiento y la expresión de ésta constituyen un acto que requiere mucha creatividad, porque la necesidad quizá solo sea una vaga inconformidad, un sentimiento de inquietud o la sensación de que algo no está bien.

- La definición del problema debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar, el costo, la cantidad que se va a manufacturar, la vida esperada, el intervalo, la temperatura de operación y confiabilidad.
- Algunas veces a la síntesis de un esquema que conecta a los elementos posibles del sistema se le llama diseño conceptual. Varios esquemas de solución deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas. A medida que el desarrollo del esquema progresa se deben realizar análisis para evaluar si el desempeño del sistema es satisfactorio y que tan buen desempeño tendrá. Los esquemas de solución del sistema que no sobreviven al análisis se revisan se mejoran o desechan.
- Tanto el análisis como optimización requieren que se construyan o desarrollen modelos del sistema que administrará alguna forma de análisis matemático que simule muy bien al sistema real.
- La evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso e implica una prueba de laboratorio y genera respuesta a todas las siguientes preguntas: ¿Satisface las necesidades?, ¿Es confiable?, ¿Es económica su manufactura y uso?, ¿Se mantiene y se calibra con facilidad?, ¿Se puede obtener una ganancia por su venta o su uso?, ¿Qué tan probable es que el producto propicie demandas legales?, etc.
- La presentación y comunicación de los resultados a otros, es el paso final vital del proceso de diseño. La presentación es un trabajo de venta, para probar que la solución es la mejor.

Requerimientos

A menudo se deben considerar muchas características en una situación de diseño dada.

1. Funcionalidad
2. Resistencia/esfuerzo
3. Distorsión/deflexión/rigidez
4. Desgaste
5. Corrosión
6. Seguridad
7. Confiabilidad
8. Facilidad de manufactura

Materiales

Una de las primeras cuestiones que se deben de tomar en cuenta cuando está en proceso de diseño un nuevo producto es que material se debe utilizar. [20] .Debido a que la elección del material correcto puede ser compleja por la gran variedad de productos disponibles, es más práctico incorporar un material mejor y mas económico en un diseño existente. Se deben considerar las posibilidades que se presentan a continuación para obtener los materiales directos o indirectos que se utilizarán en un proceso:

1. Buscar un material ligero y menos costoso.
2. Buscar materiales que sean fáciles de procesar, para diferenciar que material reaccionará más favorablemente a los procesos de transformación de materia prima en productos terminados.
3. Utilizar materiales de manera más económica.
4. Utilizar materiales recuperables.
5. Utilizar herramientas de manera más económica.
6. Estandarizar materiales.
7. Buscar al mejor proveedor desde el punto de vista del precio y de la disponibilidad.

2.3.3 Diseño electrónico

Prácticamente todos los sistemas mecatrónicos y de medición contienen circuitos y componentes eléctricos. Para entender cómo diseñar y analizar estos sistemas es necesaria una comprensión de los fundamentos de los componentes eléctricos básicos y de las técnicas de análisis de circuitos. [8]

Cuando los electrones se mueven, producen una corriente eléctrica, y se pueden hacer cosas útiles con los electrones energizados. La razón por la que se mueven es que se les impone un campo eléctrico que transmite energía al hacer trabajar a los electrones. A la medición del potencial del campo eléctrico se le llama voltaje, el cual es análogo a la energía potencial en un campo gravitacional, a veces se le refiere como fuerza electromotriz o fem. El movimiento resultante de los electrones es la corriente, cuando la corriente se mide a través de un circuito, se coloca un medidor en el circuito y se deja que la corriente fluya a través de él. La corriente se define como las variaciones del flujo de carga con respecto al tiempo.

El diseño electrónico en los sistemas mecatrónicos se concentra en el control basado en microprocesador, por lo que se usa solamente la electrónica analógica como son los transistores y las compuertas lógicas para acondicionar la señal de los sensores o actuadores.

Los microprocesadores reemplazan los controladores analógicos y mecánicos. Muchos sistemas solo cuentan con un microcontrolador integrado, el cual es un microprocesador con memoria y todo integrado en un chip específicamente programado para llevar a cabo la tarea en cuestión. [9]

Por lo tanto el primer paso es encontrar un procesador que satisfaga las necesidades del sistema mecatrónico y una vez hecho esto, proceder a desarrollar el diseño electrónico necesario para los sensores y actuadores, para proceder a integrarlos con el microprocesador y crear un solo sistema.

En la actualidad para desarrollar una PCB (placa de circuito impreso) se utiliza un programa computacional, para generar primero el diagrama eléctrico o esquemático, el cual es una representación de los componentes electrónicos con símbolos y sus conexiones. Después de realizar el diagrama esquemático se pasa a otra representación para colocar físicamente las piezas en una placa de baquelita.

Una vez generado este último diseño, se tiene una imagen y archivos de salida con el ruteo de los componentes. Se puede manufacturar manualmente o con ayuda de máquinas.

2.3.4 Diseño de control

En los casos donde es difícil o imposible modelar analíticamente un sistema, existen técnicas para diseñar empíricamente un controlador mediante la realización de pruebas en un sistema real. [8] La simulación es uno de tal abordajes, donde las ganancias se ajustan de manera iterativa. También existen herramientas de software disponibles que pueden realizar la identificación del sistema automáticamente, donde un modelo se puede aproximar mediante el análisis de respuesta del sistema a varias entradas.

Arquitectura de control

Muchos sistemas mecatrónicos tienen relaciones múltiples entre entradas y salidas a través de relaciones deterministas que resultan en alguna forma de control de las salidas [8]. Un diseñador puede elegir de entre un amplio espectro de arquitecturas de control, que van desde el simple control de lazo abierto hasta el complejo control por retroalimentación.

La implementación del control puede ser tan simple como usar un solo amplificador operacional, o tan complicado como programar microprocesadores paralelos programados masivamente. Aquí se describe una jerarquía de abordajes de control básico que puede considerar en el diseño de un sistema mecatrónico.

- Circuitos analógicos.
- Circuitos digitales
- Controlador lógico programable
- Microcontroladores y DSP
- Computadora en una sola placa
- Computadora personal

Diseño de software

El software domina nuestro mundo, incluso se puede asegurar que el software es la base de nuestra civilización moderna.

En nuestro día a día, ocupamos muchos productos y servicios que damos por sentando su rol en hacernos la vida mas cómoda y sencilla. Sin embargo muy pocas veces nos detenemos a pensar la complejidad de las tareas que se realizan en menos de un segundo. Ejemplos de esto, los sistemas que controlan los semáforos de las ciudades, los sistemas que controlan la energía eléctrica, y sin fin de dispositivos portátiles que usamos.

De hecho el software esta presente en todos los aspectos de nuestras vidas, por lo que la ingeniería de software es más importante que nunca, como rama de la ciencia para comprender y resolver problemas. [15]

Todo proyecto tiene determinados requerimientos específicos, para implementarlos.

Diseñar un sistema debe satisfacer tanto a los clientes, como a desarrolladores, constructores y demás gente involucrada. Es por esto que el diseñar es un proceso que consta de dos partes (Figura 2.7).

El diseño conceptual le dice al cliente, exactamente qué hará dicho sistema. Una vez que se aprueba se elabora un diseño técnico para permitir a los constructores comprender el hardware y el software necesario para resolver el problema.

Muchas veces, el diseño se describe en un único documento, pero otras veces se vuelca en dos.

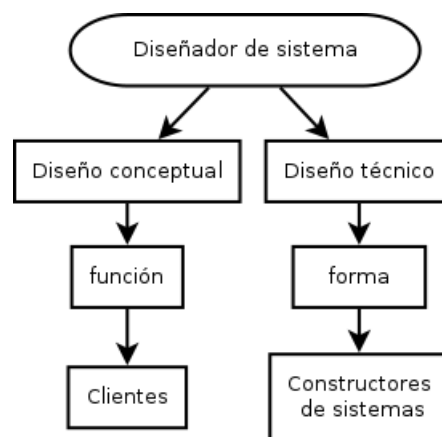


Figura 2.7: Diseños conceptual y técnico

Existen muchas maneras de crear diseños adecuados, sin embargo todos abarcan un tipo de descomposición, es decir partir de lo general a lo particular. De acuerdo a (Lawrence,2002) sugiere que los diseños se crean en base a uno de estos cinco enfoques [15] :

1. Descomposición modular. Se basa en la asignación de funciones a los componentes.
2. Descomposición orientada a datos. La descripción de alto nivel presenta la estructura global de datos y las descripciones de nivel más bajo proporcionan el detalle sobre los elementos de datos y sus relaciones.
3. Descomposición orientada por eventos. Se basa en los eventos que el sistema debe manejar y usa información sobre el modo en que estos eventos cambian el estado del sistema.
4. Diseño “de afuera hacia adentro”. Es un enfoque de caja negra basado en las entradas en el sistema que realiza el usuario.
5. Diseño orientado a objetos. Identifica clases de objetos y sus interrelaciones. A alto nivel se describe cada tipo de objeto. A bajo nivel los atributos y acciones de cada uno.

2.3.5 Herramientas de diseño

Existen muchos recursos para apoyar al diseñador, como son muchas fuentes de información y gran abundancia de herramientas de diseño por computadora. No solo se debe desarrollar competencia en el campo sino también el sentido de responsabilidad y ética de trabajo profesional.

El diseño asistido por computadora de un sistema mecatrónico comprende: construir un modelo, transformarlo en códigos de computadora para obtener una simulación y programarlo y poderlo implementar en el software mecatrónico final [12].

CAD (Diseño Asistido por Computadora)

Las siglas CAD vienen de (Computer Aided Design - Diseño Asistido Por Computadora), es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos, como herramienta principal para todos los procesos involucrados en el diseño y construcción de cualquier tipo de producto.

El diseño asistido por computadora, es el uso de programas 2D como AutoCAD, el cual es un estándar en ingeniería y arquitectura, y de programas de modelado 3D como Catia o Solidworks. Se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos.

En este trabajo de tesis se trabajó con Solidworks, programa es desarrollado por la compañía francesa Dassault Systèmes, S.A. Se eligió este programa porque su paradigma de desarrollo, es volcar directamente de la mente del creador los conceptos mecánicos a la computadora, para posteriormente verificar su construcción y finalmente extraer los planos de construcción, o archivos fuente para mecanizar con ayuda de programas CAM.

CAM (Manufactura Asistida por Computadora)

La manufactura asistida por computadora es el uso de programas que convierten los diseños creados por programas de diseño asistido por computadora como Solidworks, en archivos de texto en un lenguaje llamado código G. Este código resultante es el que interpretan las modernas máquinas herramientas como tornos o fresas de control numérico o CNC (Computer Numeric Control), para poder manufacturar las piezas que se diseñaron con CAD.

EDA (Automatización de Diseño Electrónico)

Se refiere a las herramientas tecnológicas, enfocadas en todo el desarrollo electrónico de un proyecto, desde su concepción, verificación y producción de sistemas electrónicos. Desde circuitos integrados, hasta lo que se hace comúnmente de desarrollar placas de circuito impreso (PCB).

2.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

Limitaciones

El dispositivo de control de este sistema mecatrónico para OSL se basa en una computadora de escritorio con procesador Intel Pentium 4, con sistema operativo Windows XP y el software de instrumentación LabVIEW de la compañía National Instruments.

El tener ya comprado el módulo de adquisición de datos, modelo DAQ USB-6008, fabricado también por National Instruments para funcionar con LabVIEW y a demás de tener la combinación de sistema operativo/software de instrumentación, determinó la elección del demás hardware a implementar. También es un motivo por el cual, el dispositivo no se desarrolló para ser portátil.

Este dispositivo OSL está en operación en el Instituto de Ciencias Nucleares ICN/UNAM, debido a que ellos realizan investigaciones en el área de dosimetría, OSL y TL. Además de contar con los debidos permisos para tener y almacenar materiales radiactivos, por parte de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), que es la autoridad en México que se encarga de certificar y supervisar el uso de equipos y materiales radiactivos.

Alcances

Diseñado para un uso variado en la investigación del estudio de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) principalmente los mencionados en el (Cuadro 1.1).

Al disponer de un sistema de estas características de manera local, en el ICN/UNAM y comunicación línea directa FCMF/BUAP se estrecha la colaboración entre universidades y se tiene herramientas para la investigación propia en el campo del OSL, en lugar de basarse en datos adquiridos por otros centros de estudio. Brinda la posibilidad de hacer todas las repeticiones de mediciones que se necesiten, a deseo de los investigadores del ICN.

Esta técnica tiene muchas aplicaciones prácticas, sobre todo para el análisis de poliminerales de alimentos, por lo cual se abren las puertas a las investigaciones en esta importante área.

2.5 CICLOS DE FUNCIONAMIENTO OSL

Para realizar un ciclo de medición OSL por cada muestra de materiales, se requiere controlar cuatro ciclos o etapas secuenciales: Posicionamiento, irradiación, estimulación y lectura. Cada una requiere procesos y tiempos específicos para funcionar.

El dispositivo mecatrónico construido tiene capacidad para doce muestras. Por lo tanto depende del número de muestras simultáneas con que se cargue el sistema, para conocer cuantas repeticiones del ciclo OSL, véase (Figura 2.8) se tienen que hacer para completar el proceso de medición.

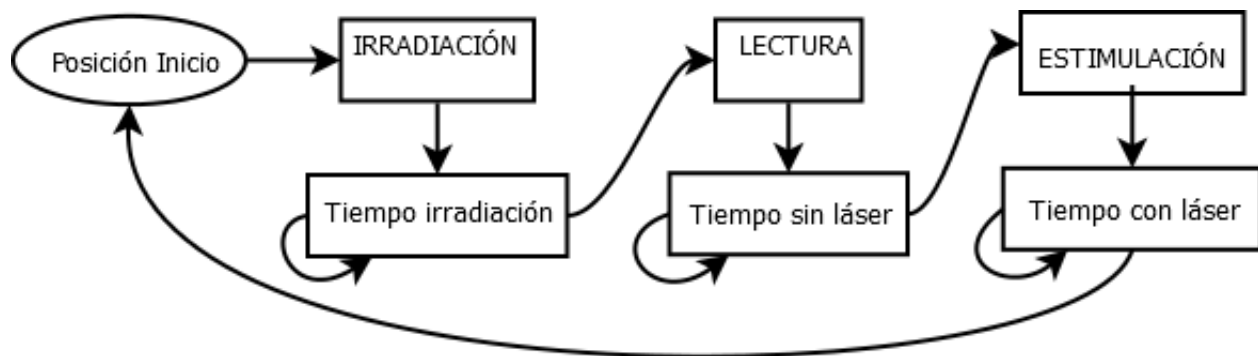


Figura 2.8: Ciclo OSL

2.5.1 Posicionamiento

El ciclo de posicionamiento requiere que la muestra a medir se mueva a tres posiciones: Inicio, Irradiación y Lectura, véase (Figura 2.9).

- Posición de inicio. Se mueve todo el sistema portador de muestras a una posición de comienzo, la cual garantiza comenzar siempre desde el mismo lugar todos los ciclos, para que a partir de este punto de referencia, se puedan calcular las demás posiciones.
- Irradiación. Se mueve la muestra desde la posición de inicio, a la posición donde se encuentra el dispositivo para irradiarla.
- Lectura. Se mueve la muestra desde la posición de irradiar, al lugar donde se realiza la estimulación y lectura.

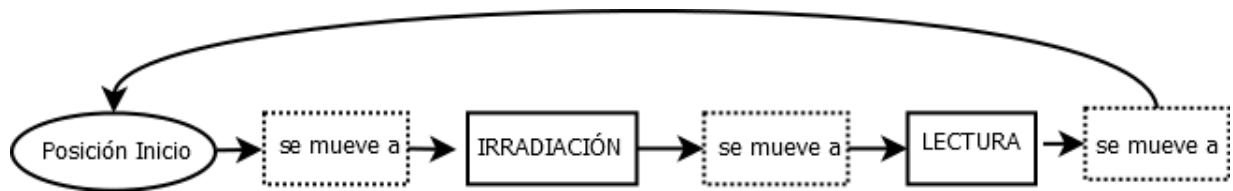


Figura 2.9: Posiciones

2.5.2 Irradiación

Cuando la muestra llega a esta posición, se efectúa su irradiación mediante una fuente radiactiva. Este proceso requiere prender un láser por un tiempo específico (tiempo de irradiación) para cada muestra, y posteriormente apagarlo (Figura 2.10).

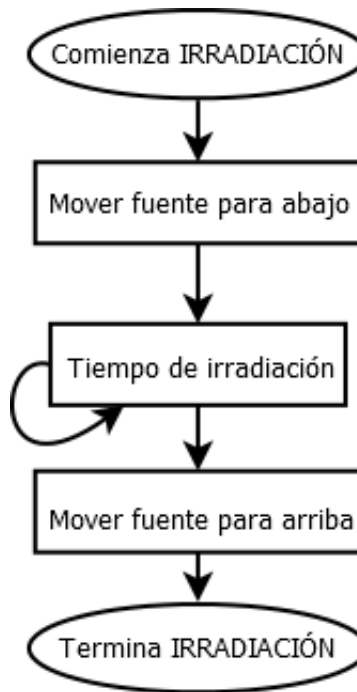


Figura 2.10: Ciclo de irradiación

2.5.3 Lectura y estimulación

Después de irradiar la muestra, se mueve a esta posición. Primero se prende el tubo fotomultiplicador PMT, por lo cual comienza la lectura de luminiscencia, pero sin activar el láser, durante un tiempo específico. Después se prende el láser para hacer la estimulación durante otro tiempo. Al final se apaga el láser y el PMT (Figura 2.11).

La razón por la cual el ciclo de lectura comienza antes que el de estimulación, es para poder tomar datos con el tubo fotomultiplicador cuando el material no está emitiendo luminiscencia durante un (tiempo sin láser), para posteriormente activar el láser un (tiempo con láser) y detectar la luminosidad ópticamente estimulada; y así poder obtener como resultados al final de este ciclo, gráficas donde se vea un pico de luminosidad que emite el material analizado.

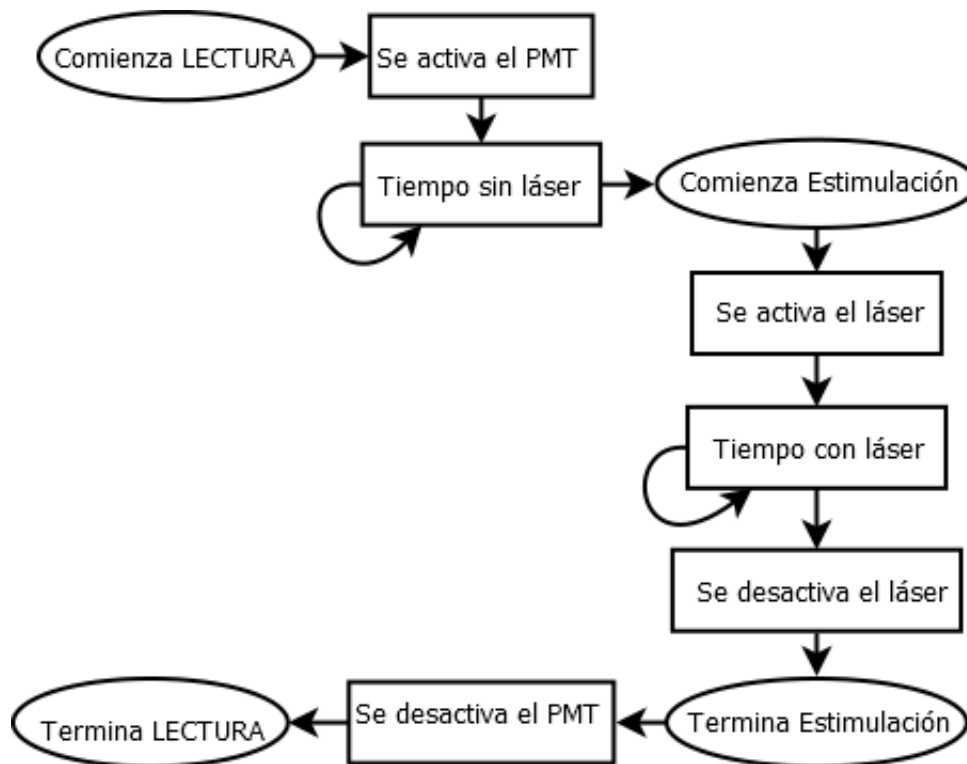


Figura 2.11: Ciclo de lectura y estimulación

2.6 COMPONENTES PRINCIPALES

- Carrusel de muestras: Es un plato giratorio, con 12 orificios para dar soporte a las muestras. Su función es mover las muestras a posiciones específicas: Colocación de muestras, Irradiador, Tubo Fotomultiplicador, en tiempos y secuencias concisas a velocidad constante y controlada.
- Irradiador (Ciclo Irradiación): Contiene una fuente con un radioisótopo de Estroncio, contiene dentro un mecanismo accionado por un servomotor para controlar la irradiación segura y evitar filtraciones de radiactividad.
- Diodos láser (Ciclo Estimulación): Es la fuente de estimulación óptica, se dispara el láser con diferentes filtros y tiempos a las muestras.
- Tubo fotomultiplicador o PMT (Photo Multiplier Tube por sus siglas en inglés). (Ciclo Lectura): Es el dispositivo para leer la luminiscencia que emite las muestras estimuladas con los diodos láser.
- Control: Una PC se encarga de controlar los cuatro componentes anteriores, accionarlos y sincronizarlos para obtener datos concretos de la respuesta OSL de los distintos materiales a estudiar.

En la (Figura2.12) se muestran los componentes elementales para poder efectuar un ciclo de medición OSL que consiste en tres pasos fundamentales: La irradiación, estimulación y lectura.

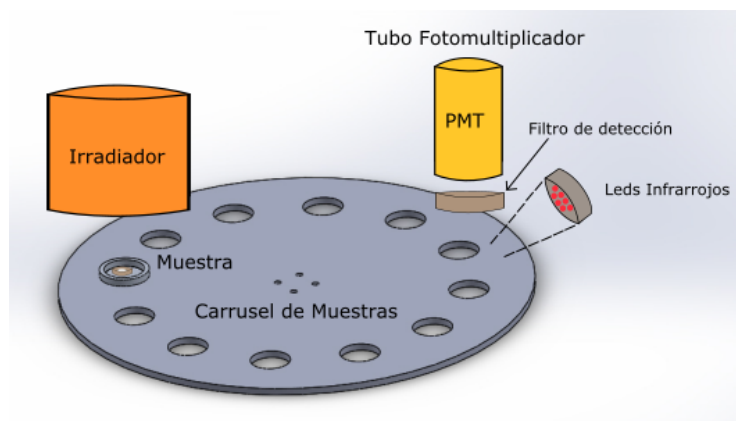


Figura 2.12: Diagrama sistema OSL

En el caso de los grandes y sofisticados sistemas mecatrónicos. Una computadora personal PC de escritorio o laptop puede servir como una plataforma adecuada de control, ya que se puede poner fácilmente en interfaz con sensores y actuadores con el uso de tarjetas módulos de adquisición de datos disponibles en el mercado. Las PC son mas comunes en laboratorios de prueba y desarrollo de productos, donde no se necesita la producción a gran escala y miniaturización y por lo tanto, la opción de control generalmente recae exclusivamente en microcontroladores.

Como se vio en la sección de alcances y limitaciones, al ser un proyecto del Instituto de Ciencias Nucleares, ya se contaba con un dispositivo de adquisición de datos DAQ USB-6008 con su respectiva licencia de LabVIEW y con una PC dedicada para este fin con Windows XP, por lo que se optó por moldear todo el dispositivo entorno a este hardware (figura 2.13).

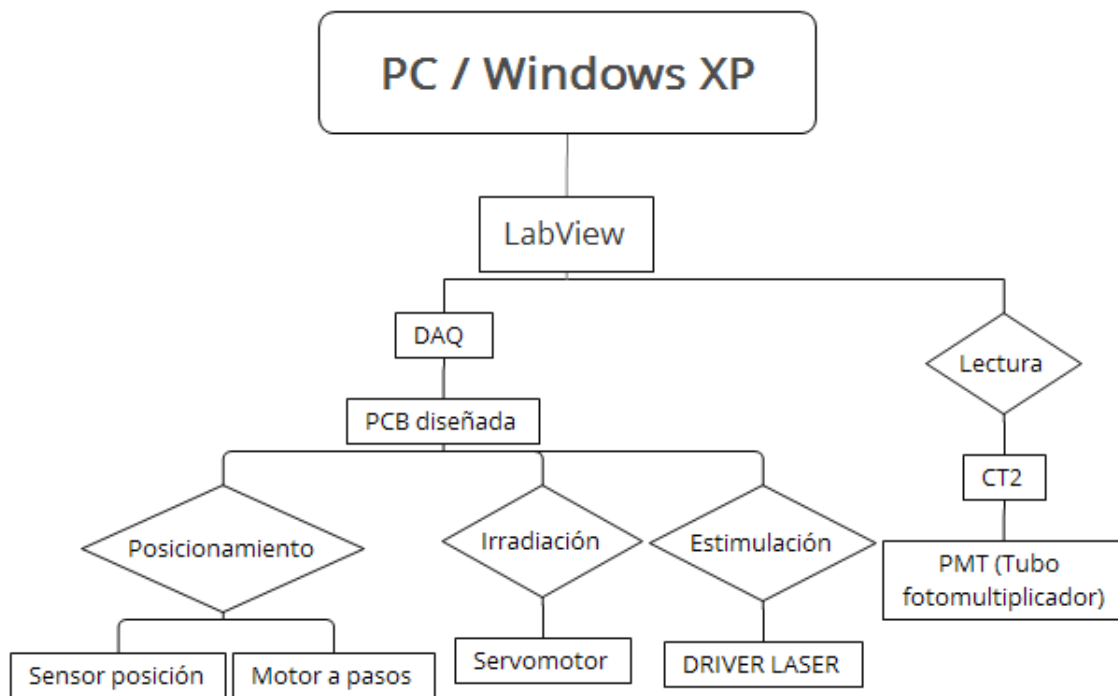


Figura 2.13: Mapa conceptual dispositivo OSL

2.6.1 Dispositivos de entrada

El principal dispositivo de entrada de este sistema mecatrónico es el teclado y mouse de una computadora, además de un sensor para determinar la posición del plato giratorio para irradiar muestras y un controlador para el tubo fotomultiplicador (Figura 2.14).

Se tiene una interfaz gráfica en LabVIEW para ingresar parámetros como número y posición de muestras, tiempos de irradiación y lectura.

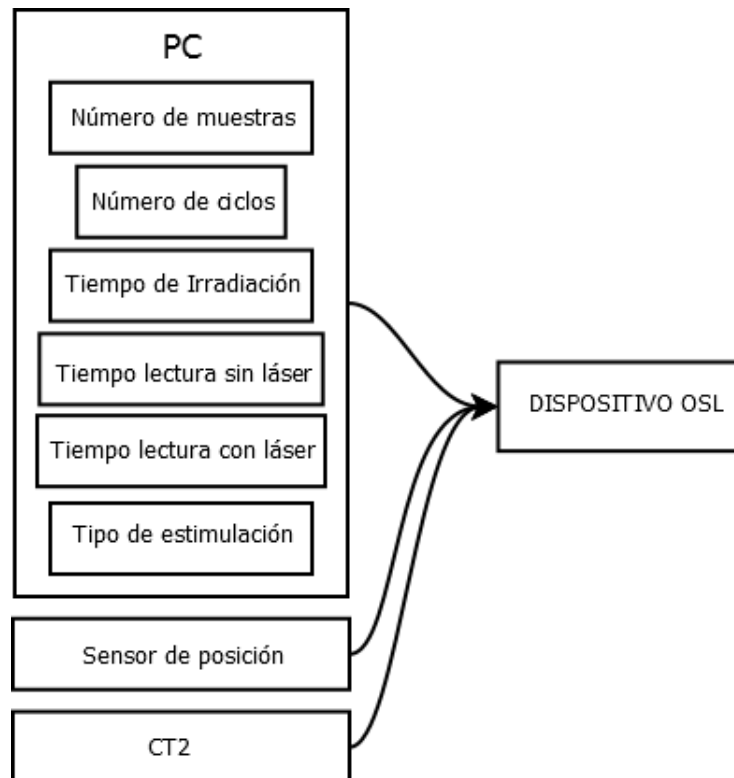


Figura 2.14: Entradas del sistema

- PC. Permite controlar los parámetros de entrada: cantidades y tiempos para la medición OSL.
- Sensor de posición. Permite determinar una posición, en la posición de inicio del dispositivo.
- CT2. Dispositivo que envía los datos sobre la cantidad de fotones detectados.

2.6.2 Dispositivos de salida

Como dispositivos de salida se tienen actuadores como un motor a pasos y un servomotor. También un dispositivo para controlar el tubo fotomultiplicador y al láser (Figura 2.15).

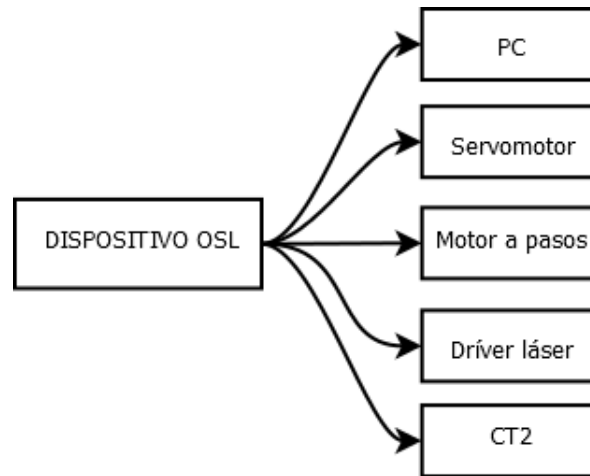


Figura 2.15: Salidas del sistema

- PC. Visualiza a través del monitor el estado actual de los ciclos OSL.
- Servomotor. Motor que se acciona para a mover el dispositivo de irradiación.
- Motor a pasos. Motor que permite un control preciso de posición, para mover el carrusel de muestras.
- Driver del láser. Controla el encendido y potencia del láser para la estimulación.
- CT2. Activa este dispositivo para iniciar la cuenta de fotones por el tubo fotomultiplicador.

2.6.3 Estructuras de soporte

Este prototipo se basa en dos bloques de aluminio maquinados, para tener estabilidad, rigidez y soporte a las diferentes piezas que conforman el sistema. El dispositivo mecatrónico OSL se puede dividir en dos estructuras, cada una de ellas alberga diferentes componentes.

El aluminio 6063 T5 se escogió como material de estructura de soporte por diversas razones:

Factores económicos

- Disponibilidad y coste de los materiales en bruto. Fácil de conseguir y bajo precio.
- Fabricación. Facilidad de maquinado.
- Colocación. La densidad del aluminio hace que sea difícil que se mueva de donde se elija poner.
- Mantenimiento. No se oxida, no requiere mucho mantenimiento.

Propiedades mecánicas

El comportamiento mecánico de un material se define como la respuesta del mismo a las cargas externas. Todos los materiales se deforman como respuesta a las cargas ([16]).

- Un tercio de la densidad del acero.
- Buena conductividad térmica y eléctrica.
- Alta relación resistencia - peso.
- No desarrolla óxido.
- Se puede mecanizar fácilmente.
- No es magnético.

Construcción de las estructuras de soporte

Es el proceso de convertir materias primas en productos. También comprende las actividades en que el propio producto fabricado se utiliza para elaborar otros productos [20].

Es fundamental que las actividades de la manufactura respondan a las diversas demandas y tendencias:

1. Un producto debe satisfacer totalmente los requisitos de diseño, especificaciones y normas.
2. Un producto debe manufacturarse mediante los métodos más económicos y amigables con el medio ambiente.
3. La calidad debe integrarse al producto en cada etapa, desde el diseño hasta el ensamblado, en vez de confiar sólo en las pruebas de calidad después de haberlo manufacturado.
4. Los métodos de producción deben ser lo suficientemente flexibles para responder a las cambiantes demandas del mercado, a los tipos de productos y a las capacidades de producción, a fin de asegurar una entrega oportuna al cliente.
5. Los continuos desarrollos en materiales, métodos de producción e integración a las computadoras, deben de analizarse en su implementación apropiada, oportuna y económica.
6. Las actividades de manufactura deben verse como un gran sistema, cuyas partes se relacionan entre sí.
7. El fabricante debe trabajar con el cliente para obtener una retroalimentación oportuna y conseguir así una mejora continua del producto.

La construcción del dispositivo OSL, como se vio en las secciones anteriores, se dividió en dos estructuras grandes de aluminio.

Se escogió el aluminio, por tener resistencia a fuerzas, ser más fácil de maquinar y ligero que el acero, además de buscar el diseño óptimo ya que su precio es más accesible que otros metales. Además se consigue fácilmente y le da un aspecto más industrial y de calidad al prototipo.

El dispositivo irradiador, tiene otros materiales como plomo y cobre, que sirven como escudo ante la fuente radiactiva de Estroncio 90.

Las actividades de manufactura para las estructuras que se realizaron se describen en la sección siguiente. Se necesitó tener una colaboración y visitas al Instituto de Ciencias Nucleares para tener la retroalimentación oportuna y mejorar el producto de acuerdo a sus requerimientos.

Se anexan diagramas mecánicos con medidas del diseño de las estructuras de soporte inferior y superior en el apéndice C.

Maquinado y máquinas herramientas

El proceso de maquinar, consiste en remover material de forma precisa. El torno y la fresa son las máquinas herramienta mas utilizadas en la industria. Existen varias operaciones comunes de maquinado (Figura 2.16). Para torno: el cilindrado, que consiste en ir desvastando el material en forma longitudinal y el tronzado en forma vertical. Y para fresa: el fresado plano y el frontal, este ultimo es el más usual.

Para la construcción del dispositivo OSL, se utilizó el fresado frontal computarizado CNC y en menor medida el fresado frontal manual (Figura 2.17). Todo esto producto del diseño CAD en Solidworks.

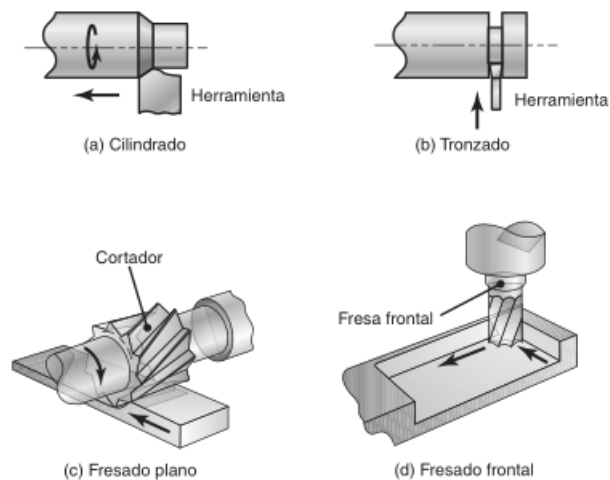


Figura 2.16: Operaciones comunes de maquinado

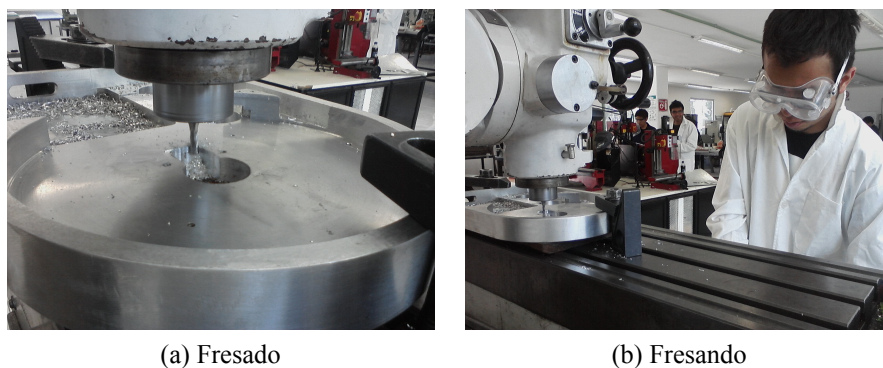


Figura 2.17: Maquinando manualmente

2.6.4 Fuentes de voltaje

- Alimentación de la electrónica:

El DAQ se alimenta con los 5V del puerto USB, por lo tanto no necesita una fuente de alimentación externa.

El DAQ provee una salida de 5V con la cual se alimenta el PCB con los PICS, sensor de posición y driver Pololu.

- Alimentación del CT2:

Se energiza mediante otro puerto USB, que provee los 5V necesarios para el DAQ y para el PMT.

- Alimentación del driver láser:

Tiene por dentro su propia fuente de alimentación, por lo que solo es necesario conectarlo a un enchufe de la pared.

- Alimentación de los motores:

Para alimentar al motor a pasos Nema 17, se requiere un eliminador externo de 12v a 2A, los cuales van directo al driver Pololu que es el que energiza las bobinas del Nema17.

El servomotor funciona con 5V por lo que los 12V del eliminador externo se reducen mediante el integrado LM7805.

2.7 ESTRUCTURA INFERIOR

2.7.1 Control de posición

Se diseñó un dispositivo para medir doce muestras de materiales diferentes, los cuales pueden ser polvo o aluminatos. Se necesita realizar el giro y ubicación de las muestras y controlar las doce posiciones de una manera precisa en posición y con velocidad baja, para evitar vibración y desparrame de materiales.

La estructura inferior se compone de un plato giratorio circular y de hardware de control e interface (Figura 2.18).

Las muestras van colocadas en el plato de muestras giratorio, el cual da soporte mecánico a los contenedores de muestras y proporciona el desplazamiento de 360° en ambas direcciones de giro.. El cual tiene un sensor de posición en su parte inferior y un motor a pasos que logra posicionarlo precisamente en la ubicación elegida.

El hardware se compone de un DAQ el cual es un sistema de adquisición de datos fabricado por National Instruments, el cual es el mismo fabricante del software de instrumentación LabVIEW. Y de una placa de circuito impresa (PCB por sus siglas en ingles Printed Circuit Board), el cual contiene todo lo necesario para comunicar y controlar los motores.

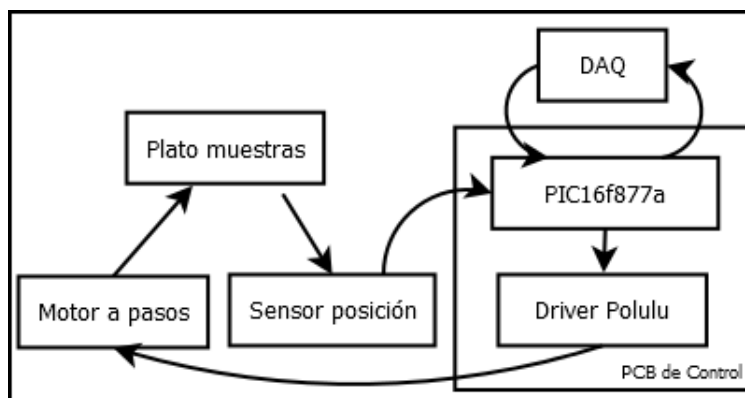
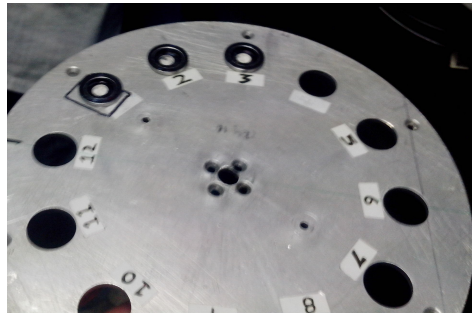


Figura 2.18: Diagrama a bloques de estructura inferior

El plato giratorio (Figura 2.19a) tiene doce perforaciones en las cuales van los portamuestras, y dentro en otro recipiente interior van las muestras, se atornilla con cuatro tornillos en el centro hacia un eje de rotación.

Las muestras van dentro de piezas (figura 2.19b), maquinadas para encajar en el plato giratorio.



(a) Plato giratorio



(b) Porta muestras

Figura 2.19: Plato y porta muestras

La estructura inferior (Figura 2.20) tiene el plato giratorio con su respectivo eje, balero y motor. El sensor de posición y el hardware de interfaz y control con la PC.

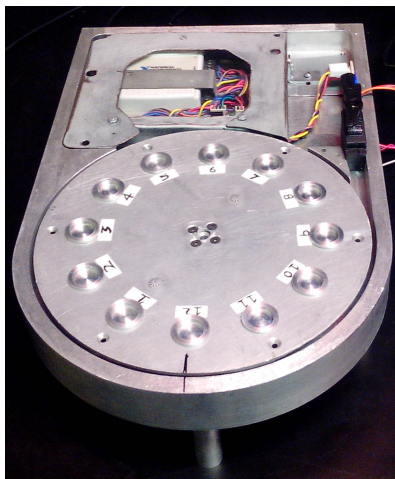


Figura 2.20: Foto estructura inferior

Cuando se selecciona un motor para una aplicación mecatrónica específica, el diseñador debe considerar muchos factores y especificaciones, incluidos rango de velocidad, variaciones torque-velocidad, reversibilidad, ciclo de trabajo operativo, torque de arranque y potencia requerida. Dependiendo del tipo de trabajo a desarrollar.

En el caso del dispositivo mecatrónico OSL se requieren controlar dos mecanismos con distintas necesidades:

- Disco giratorio porta muestras requiere:

1. Control preciso de la velocidad de giro.
2. Control preciso de la posición en la que esté su eje.
3. Aceleración mínima para no provocar que las muestras al ser la mayoría de ellas polvos, salgan despedidas de su recipiente.

- Controlar posición irradiador requiere:

1. Control de la posición en la que esté su eje.
2. Torque suficiente para mover el mecanismo.

Para lograr los movimientos necesarios, se requieren de dos tipos de motores distintos: de un motor a pasos y de un servomotor (Cuadro 2.1).

TIPO	MODELO	DESCRIPCIÓN
A pasos	Nema 17	Realiza el posicionamiento preciso de las muestras.
Servomotor	Futaba S148	Controla la posición de la fuente radiactiva.

Cuadro 2.1: Motores empleados

2.7.1.1 Posiciones

Para poder tener un marco de referencia de giro, se establecieron posiciones fijas con respecto a la estructura de soporte inferior, como si fuera un reloj (Figura 2.21), las horas o posiciones se ven en azul y en amarillo las muestras. Existen tres horas o posiciones clave:

9 (CARGA). Aquí se introducen y retiran las muestras mediante la ventana de carga.

12 (RADIACIÓN). Como su nombre lo indica, aquí se irradian las muestras.

6 (LÁSER). Se estimula con el láser y efectúa la lectura con el PMT.

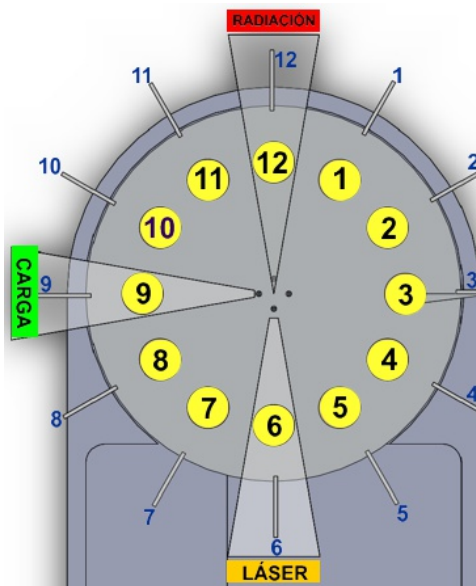


Figura 2.21: Posición inicial

Por ejemplo si quisiéramos cargar el lugar seis con una muestra para realizar un ciclo completo OSL, se tiene que realizar los siguientes giros:

Gira a su posición inicial, (en este caso la muestra 6 coincide con la posición 6).

90° izquierda a la posición de CARGA, (muestra 6 gira a posición 9).

90° derecha, regreso a posición inicial, (muestra 6 coincide nuevamente con posición 6).

180° izquierda a la posición de IRRADIACIÓN, (muestra 6 coincide con posición 12).

180° derecha a la posición de LÁSER, (muestra 6 coincide con posición 6).

90° izquierda a la posición de CARGA, (muestra 6 coincide con posición 9).

2.7.1.2 Sensor de posición

El dispositivo mecatrónico OSL elaborado, requiere que cada que se inicie la carga de muestras, el carrusel giratorio conozca su posición en la circunferencia para poder determinar los pasos necesarios para moverse a la siguiente posición.

Para seleccionar un sensor para una aplicación específica deben de considerarse varios factores [9]:

1. El tipo de medición que se requiere, la variable que se va a medir, su valor nominal, el intervalo de valores, la exactitud, velocidad de medición y confiabilidad requeridas, las condiciones ambientales en las que se realizará la medición.
2. El tipo de salida que se requiere del sensor, lo cual determinará la necesidades de acondicionamiento de la señal a fin de contar con señales de salida idóneas a partir de la medición.
3. Se pueden identificar algunos sensores posibles. Teniendo en cuenta intervalo, exactitud, linealidad, velocidad de respuesta, duración, requerimientos de alimentación eléctrica, solidez, disponibilidad y costo. La elección de un sensor no se puede hacer sin considerar el tipo de salida que le sistema debe producir después de acondicionar la señal, por ello es necesaria la integración adecuada entre el sensor y el acondicionador de señal.

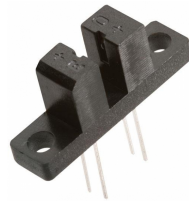


Figura 2.22: Optointerruptor

El tipo de medición que se requiere es una variable de posición, de la manera mas sencilla posible: presencia, es decir se tienen dos estados lógicos. Dentro de las diferentes opciones que se evaluaron para detectar la posición, la más conveniente para este proyecto fue un optointerruptor debido a la facilidad de conseguirlos, nulo mantenimiento, velocidad de medición adecuada y facilidad de integrar su señal al demás hardware.

Un optointerruptor está conformado por un fotodiodo y un fototransistor, que se encuentran encapsulados en un mismo contenedor de plástico y separados uno ligeramente del otro, lo que permite que en medio se coloque alguna barrera física y así poder interrumpir la luz del emisor al receptor, par así detectar la posición. (Figura 2.22).

En la configuración elegida para el dispositivo (Figura 2.23), se tiene conectado el fotodiodo a 5v mediante una resistencia de 10 K Ω por lo que siempre se encuentra activado, es decir emitiendo luz infrarroja cuando se energiza. También se tiene un fototransistor, el cual tiene su colector conectado mediante una resistencia a tierra.

Cuando el dispositivo OSL se energiza, automáticamente lo hace el optointerruptor. Mediante una placa de aluminio delgada pegada al disco giratorio portamuestras se bloquea o libera el paso entre el fotodiodo y el fototransistor.

Este circuito va conectado a un pin digital TTL del PIC16f877a, por lo que se encarga de discernir los estados lógicos y permite detectar digitalmente si hay una lamina entre el fotodiodo y el fototransistor.

Con este sistema se logra una precisión muy buena de menos de un milímetro para posicionar adecuadamente en el lugar de inicio de movimientos al disco giratorio porta muestras.

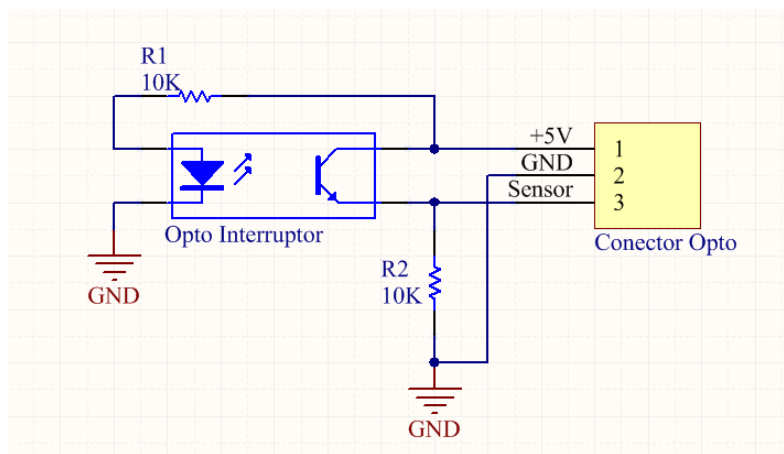


Figura 2.23: Diagrama esquemático del optointerruptor

2.7.1.3 Motor a pasos

El motor paso a paso es un dispositivo que produce una rotación en ángulos iguales, denominados pasos, por cada impulso digital que llega a su entrada [9].

Son útiles en aplicaciones de posición, por ejemplo en una línea de ensamble o fabricación automatizada, en un reproductor de CD o DVD, etc. También son útiles en aplicaciones de control de velocidad precisa (por ejemplo, para controlar la velocidad del eje del disco duro de una computadora) [8].

Los motores de pasos pueden ser bipolares, que requieren de dos fuentes de poder o una fuente de poder de polaridad conmutable, o unipolares, que requieren sólo una fuente de poder. Se impulsan mediante fuentes CD y requieren circuitos digitales para producir secuencias de energización de bobina para rotación del motor.

La retroalimentación o control de lazo cerrado no siempre se requiere para su control, pero el uso de un decodificador u otro sensor de posición puede asegurar la precisión cuando es crucial su control exacto. Como en este caso que se usa un optointerruptor para garantizar su posición de inicio.

Las ventajas más significativas de los motores paso a paso son el bajo costo, su simplicidad de diseño y robustez. Las desventajas son que los motores a pasos tienen resonancia mecánica y problemas de pérdida de pasos, aunque la mayoría de estas desventajas se han eliminado con la tecnología de “accionador de micropasos”.

El motor elegido fue un Nema, 17 (17HS8403N) debido a que es un modelo fácil de conseguir, potente y últimamente se ha popularizado al ser el estándar de facto que usan la mayoría de las impresoras 3D.

Se muestran los principios de operación de un motor a pasos con el código digital (Cuadro 2.2) que necesita, para activar sus bobinas y en la (figura 2.25) se muestra el giro del rotor provocado por dichas señales.

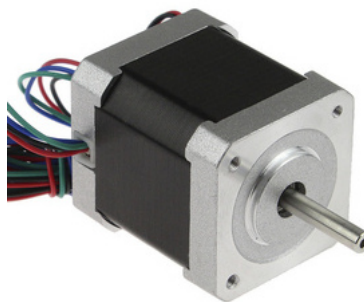


Figura 2.24: Motor Nema 17

CÓDIGO	B1	B2	B3	B4
1	1	0	0	1
2	1	0	1	0
3	0	1	1	0
4	0	1	0	1

Cuadro 2.2: Secuencia para controlar motores a pasos bipolares

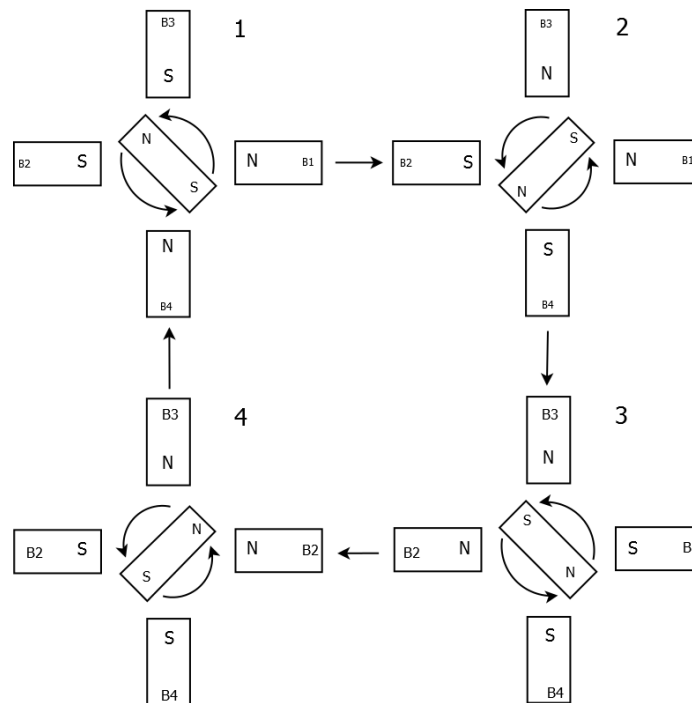


Figura 2.25: Devanados internos y giro del rotor

El número y tasa de los pulsos controla la posición y velocidad del eje del motor. Por lo general, los motores de pasos se fabrican con pasos por revolución de 12, 14, 72, 144, 180 y 200, lo que resulta en incrementos de eje de 30° , 15° , 5° , 2° y 1.8° por paso.

Una técnica para aumentar el número de pasos se llama micro-paso, donde las corrientes de fase se controlan mediante cantidades fraccionarias, en lugar de sólo encendido y apagado, lo que resulta en más posiciones de equilibrio magnético entre los polos. Se aplican a las fases ondas seno discretas en lugar de ondas cuadradas. Los motores de pasos más comunes disponibles en el mercado tienen 200 pasos/rev en modo de paso completo, y en ocasiones se les conoce como graduales 1.8° ($360^\circ/200$). En modo de micro-paso, se pueden lograr 10 000 o más pasos por revolución.

2.7.1.4 Driver Pololu a4988

El controlador A4988 es un controlador de motores completo de micropasos, diseñado para manejar motores paso a paso bipolares, en modo completo, mitad, cuarto, octavo y dieciseisavo de paso, y manejar un voltaje de 35V y 2A. Por si solo al detectar un pulso en su pin llamado STEP, hace un micropaso, no requiere líneas de control de frecuencia, o una interfaz compleja, sino esta diseñado para ser sencillo. Su consumo de corriente estimado en 80mA.

Para tener un control extremadamente preciso en el giro, se implementó este controlador Pololu en modo de operación 1/16 micropaso, es decir se divide un paso normal de 1.8° entre 16 dando como resultado 0.1125° por paso, por lo que para dar una vuelta completa 360°, se requieren 3200 pasos (Cuadro 2.3).

CIRCUNFERENCIA	RESOLUCIÓN	FRACCIÓN	PASOS NECESARIOS
360°	1.8°	1	200 pasos
360°	0.225°	1/8	1600 pasos
360°	0.1125°	1/16	3200 pasos

Cuadro 2.3: Comparativa micropasos

El PIC16f877a controla el driver Pololu A4988 solamente con dos pines: con el pin 7 STEP cada vez que le manda un pulso de 0 a 5 volts indica un paso y con el pin 8 DIR se escoje la dirección de giro del paso. Los pines ENABLE, RESET y SLEEP se encuentran a GND para activar el chip, que no se reinicie y que no se apague. VMOT conecta los 12V que requiere el motor NEMA17 para funcionar plenamente. MS1, MS2, MS3 se conectan los tres a 5V de acuerdo al (Cuadro 2.4).

MS1	MS2	MS3	RESOLUCIÓN MICROPASO
0	0	0	Paso completo
1	0	0	1/2 paso
0	1	0	1/4 paso
1	1	0	1/8 paso
1	1	1	1/16 paso

Cuadro 2.4: Tabla de verdad de resolución de micropasos

Se seleccionó una resolución de 1/8 de paso, como se tiene 1600 micropasos para completar una circunferencia, se calcula en el (Cuadro 2.5), la cantidad de micropasos necesarios para llegar a las posiciones indicadas del plato rotatorio de muestras con respecto a la base.

NUM. POSICIÓN	GRADOS	MICROPASOS
0	0°	0
1	30°	133
2	60°	267
3	90°	400
4	120°	533
5	150°	667
6	180°	800
7	210°	933
8	240°	1067
9	270°	1200
10	300°	1333
11	330°	1467
12	360°	1600

Cuadro 2.5: Cantidad de micropasos

2.7.2 Electrónica

2.7.2.1 Microcontroladores PIC

Un microprocesador es solo un chip de integración a muy grande que contiene muchos circuitos digitales que realizan funciones aritméticas, lógicas, de comunicación y control. Cuando un microprocesador se empaca en una tarjeta de circuito impreso con otros componentes como memoria RAM, memoria ROM, puertos de entrada y salida digitales, interfaz de comunicación serial, temporizadores, convertidores A/D y D/A, al ensamblado resultante se le conoce como microcomputadora o microcontrolador. [9]

Los microcontroladores se usan en un amplio rango de aplicaciones, incluidas aparatos de uso doméstico, equipos de entretenimiento, equipos de telecomunicación, automóviles, camiones, aviones, juguetes y equipos de oficina e industria. Todos estos productos involucran dispositivos que requieren algún tipo de control inteligente con base en varias entradas. Y su programa se almacena en una ROM para controlar todos los componentes del microcontrolador.

Existen diferentes fabricantes de microcontroladores, sin embargo se han popularizado mucho su uso y desarrollo, los producidos por la compañía Microchip, en específico sus modelos PIC (Circuito integrado programable por sus siglas en inglés, Programable Integrated Circuit). Son de bajo costo, fácil de adquirir y programar, cada modelo en específico tiene cierto número de pines y hardware interno que lo hace más propenso a determinado uso.

Para el dispositivo mecatrónico OSL se emplearon dos microcontroladores PIC, cada uno con un propósito en concreto (Cuadro 2.6).

MICROCONTROLADOR	FUNCIÓN
Pic16f628a	Controlar un servomotor
Pic16g877a	Interfaz entre DAQ - sensores y motor a pasos

Cuadro 2.6: Microcontroladores utilizados

Para desarrollar la programación de los PICS, se usó el software MPLAB de Microchip, el cual es un IDE (Entorno de desarrollo integrado - Integrated Development Enviroment por sus siglas en ingles).

En lugar de utilizar su lenguaje nativo (ensamblador) se usó el compilador CCS C, ya permite desarrollar programas en C enfocado a PIC con las ventajas que supone tener un lenguaje desarrollado específicamente para un microcontrolador concreto y su facilidad de uso.

Los microcontroladores PIC de la familia 16F, tienen memoria de tipo flash, es decir se puede programar y borrar eléctricamente hasta cien mil veces, y se pueden programar con ICSP (In-Circuit Serial Programming - Programación serial dentro del circuito, por sus siglas en inglés), lo que permite que se puedan programar los PIC dentro de la tarjeta electrónica en la que se encuentren.

- PIC16F877A

Este PIC de 40 pines (figura 2.26a) tiene cinco puertos que pueden ser configurados como entradas o salidas. Se escogió este modelo por su gran cantidad de puertos y por ser uno de los modelos más populares y robustos de la familia PIC16F.

Es el encargado de gestionar la comunicación con el DAQ, de recibir y enviar datos. Cuando recibe la posición actual un (byte de datos), tiene un algoritmo para que en base a eso, pueda calcular la posición a la que tiene que girar el disco de las muestras. Por lo tanto se conecta con la etapa de potencia de un motor a pasos para controlar su posición correspondiente.

También decodifica la instrucción de prendido y apagado del controlador láser, recibe la señal de activación del sensor de posición, y envía una señal de control al PIC16f628A.

- PIC16F628A

Este microcontrolador su única función es controlar la posición de un servomotor para mover el dispositivo irradiador, para realizar dicho control, como se verá en la siguiente sección se requiere generar una señal de control periódica, por lo tanto se decidió emplear un microcontrolador mas pequeño como este, solo tiene dos puertos A y B, es de 18 pines (Figura 2.26b), para realizar solo esta tarea dedicada. Y liberar de esta tarea al PIC16f877a que esta más ocupado gestionando comandos.

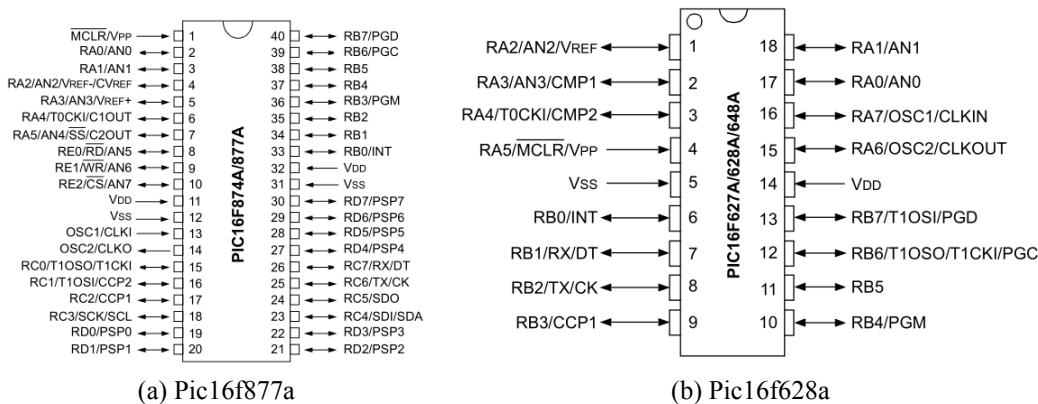


Figura 2.26: Pines de los microcontroladores empleados

2.7.2.2 DAQ

Se empleó un módulo de National Instruments USB-6008 (Figura 2.27) de adquisición de datos (DAQ). Este módulo es compatible con Windows Xp/Windows 2000 y trabaja con LabVIEW.

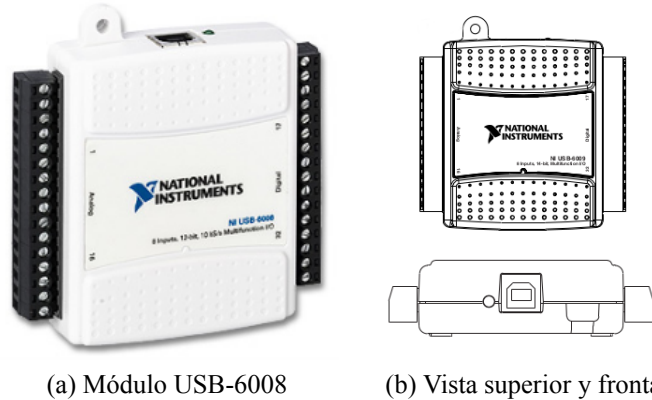


Figura 2.27: Vistas Modulo USB-6008

Las características técnicas del módulo de adquisición de datos (Cuadro 2.7), en este caso se usaron las 12 salidas TTL (Lógica Transistor Transistor), la cual asigna voltajes a valores lógicos, generalmente 0-0.8v para el estado lógico bajo L y de 4.75-5v para estado lógico alto H.

Cantidad	Características	Bits
8	Entradas analógicas AI	12 o 14
2	Salidas analógicas	12
12	Entradas/salidas TTL	
1	Contador a 5Mhz	32

Cuadro 2.7: Características USB-6008

Las 12 entradas/salidas TTL se dividen en dos puertos (Cuadro 2.8)

PUERTO	#BITS	ENTRADA/SALIDA
Puerto 0	8	Salida
Puerto 1	4	Entrada

Cuadro 2.8: Puertos USB-6008

- Comunicación USB:

El puerto USB (Bus Universal Serie por sus siglas en inglés Universal Serial Bus), es un protocolo de comunicación, es decir un sistema de reglas que permite el intercambio de información entre dispositivos electrónicos. En esta caso se implementa entre una PC que funciona como maestro, ya que comienza la transmisión y gestiona la información, el DAQ funciona en modo esclavo recibiendo un byte de información y respondiendo con medio byte de estado.

- Comunicación DAQ-PIC:

Para comunicar el DAQ con la PC se implementó un esquema de protocolos de intercambio de información (Figura 2.28), el puerto cero del DAQ como puerto de salida de datos y el puerto uno como entrada de estado.

El PIC16f877a decodifica un byte de datos recibidos del puerto cero del DAQ, para realizar los cálculos de los movimientos que tiene que hacer el disco giratorio de muestras. Y también manda cuatro bits o medio byte al DAQ de regreso, para notificar el estado de operación actual.

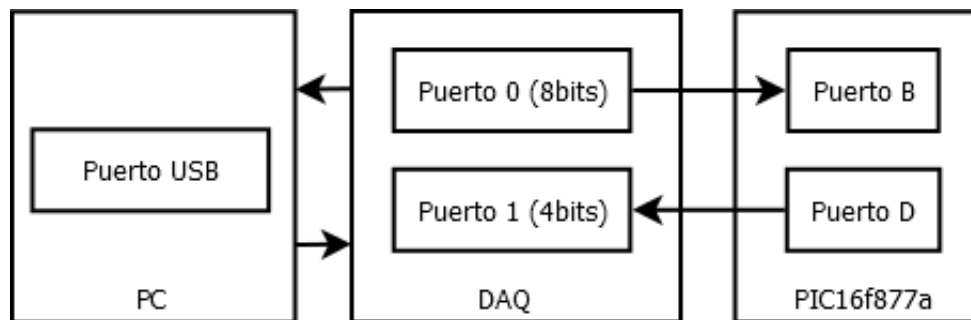


Figura 2.28: Comunicación módulo USB-6008

2.7.2.3 Placa de circuito impreso

Se tuvo que fabricar una placa de circuito impreso (PCB), para integrar la electrónica necesaria de manera más compacta en el dispositivo mecatrónico. Los diagramas esquemático, ruteo y 3D se encuentran anexos en el apéndice B, en la (Figura 2.29) se muestra un diagrama a bloques de interconexión de los componentes dentro de la PCB: los dos PICs, el driver Pololu y el regulador de voltaje. El PCB tiene una forma específica para embonar dentro de la estructura de soporte inferior de aluminio, conectores y cables que permiten desarmar todo para darle mantenimiento (Figura 2.30).

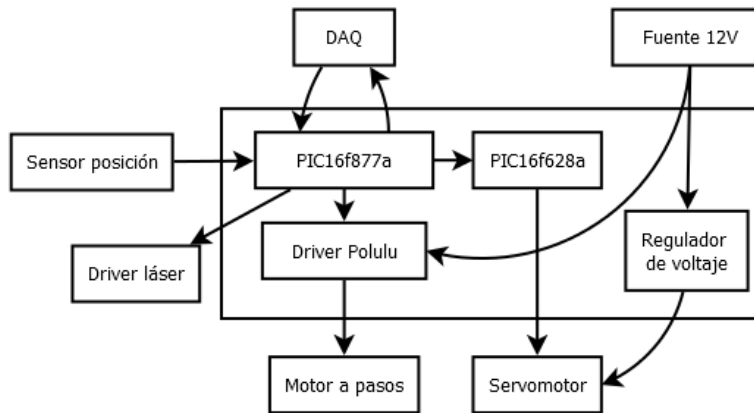


Figura 2.29: Diagrama a bloques del PCB

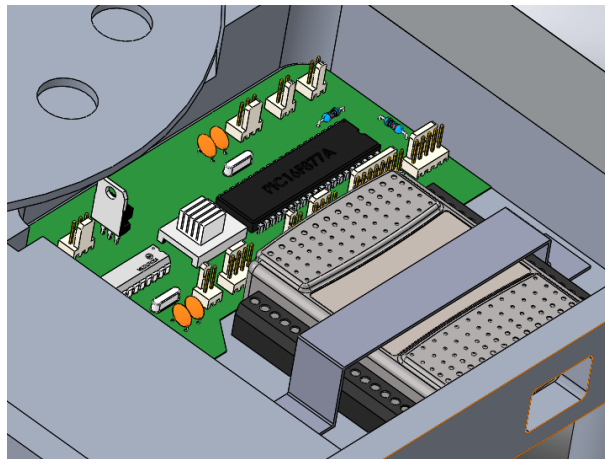


Figura 2.30: Render PCB instalado

Se anexa el diagrama esquemático, el diagrama de ruteo y modelo 3D del PCB construido en el apéndice B.

2.8.1 Ventana de carga

La ventana de carga de muestras (Figura 2.34), tiene como propósito facilitar meter y sacar las muestras a medir.

El dispositivo OSL además de tener los ciclos OSL, tiene una rutina independiente de carga de muestras (figura 2.33), se indica mediante el software de control en la PC, el número de posición de muestra que se requiere cargar, para que el sistema calcule su posición actual y a donde se tiene que mover dependiendo de la posición del número de muestra a cargar, espere la instrucción manual y regrese a la posición de inicio.

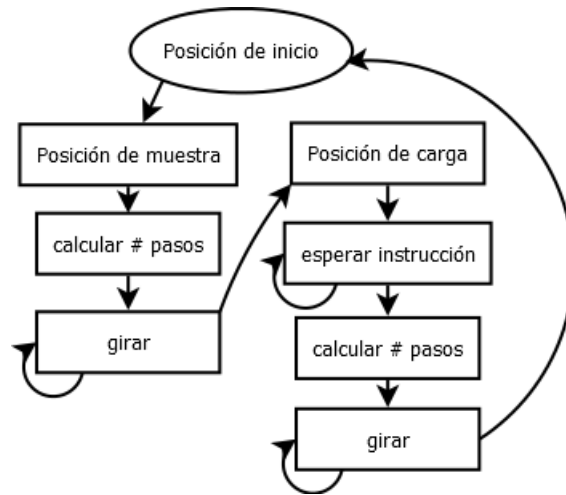


Figura 2.33: Ciclo de carga

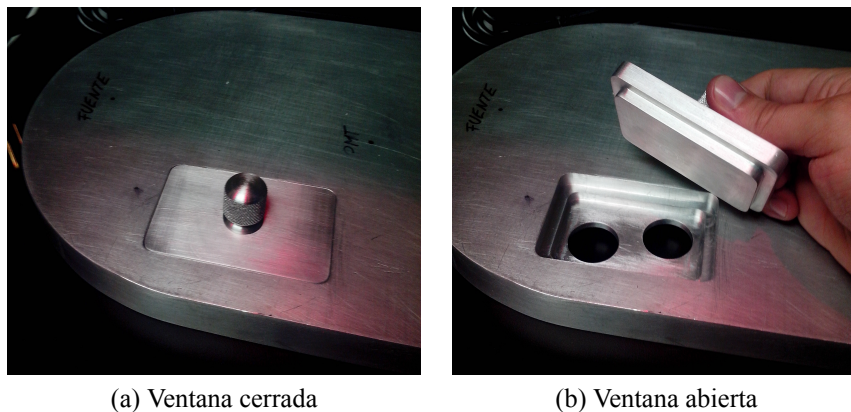


Figura 2.34: Ventana de carga

2.8.2 Dispositivo irradiador

El dispositivo irradiador fue totalmente diseñado por el Dr. Jesús Román López y construido en el centro de maquinado del Instituto de Ciencias Nucleares (ICN).

Tiene dos funciones principales: La primera es actuar soporte y escudo, la segunda es contener a un cilindro interior giratorio, el cual tiene en un extremo una fuente radiactiva de forma similar a una moneda.

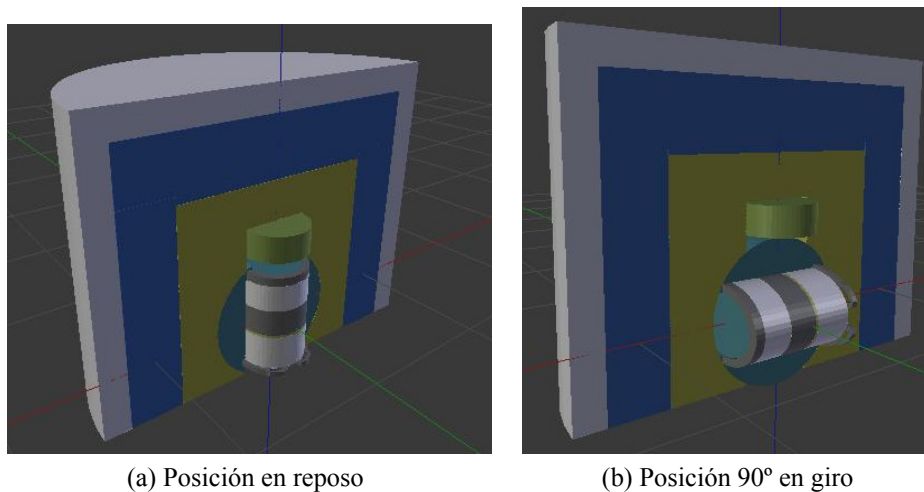


Figura 2.35: Movimientos del irradiador

Para poder irradiar una muestra, el cilindro interior gira desde una posición vertical en reposo (Figura 2.35a), a la posición en 180° para irradiar. En la (Figura 2.35b) se muestra el cilindro que contiene la fuente radiactiva a medio camino en giro hacia la posición para irradiar.

El dispositivo irradiador se compone de múltiples capas de diferentes materiales y grosores (Figura 2.36), que actúan de escudo y soporte (Figura 2.37).

Tenemos tres capas exteriores que son las más gruesas y pesadas. La primera es de aluminio que sirve de para unir todo el dispositivo irradiador con la estructura superior del dispositivo OSL, después hay una capa más gruesa de plomo, actúa como último escudo ante la radiación, posteriormente tenemos otra capa de cobre o latón.

Dentro de la capa de cobre hay un círculo rotatorio que permite el libre giro del cilindro de irradiación.

Finalmente en el cilindro de irradiación tenemos la fuente radiactiva, que tiene un aspecto similar a una moneda, y a demás componentes que actúan como contrapeso para equilibrar el cilindro.

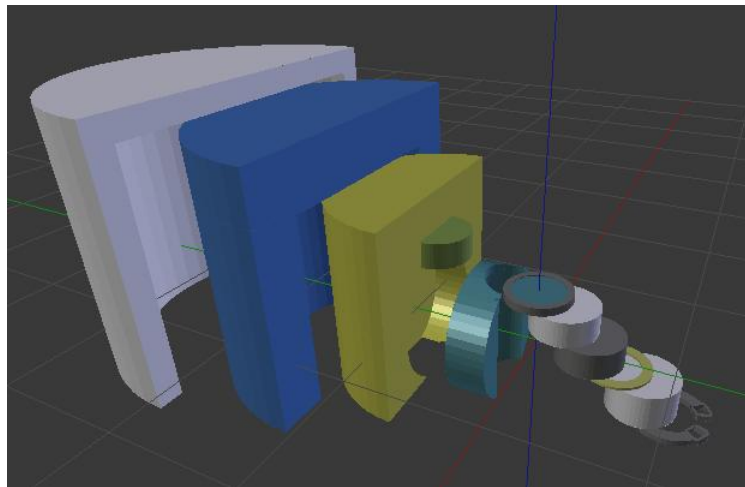


Figura 2.36: Vista de componentes

El círculo rotatorio de acero es la clave para controlar la irradiación, ya que permite controlar la posición del cilindro en su interior, para poder irradiar los tiempos que se necesiten.

En la (Figura 2.37) se aprecian las dimensiones y materiales diferentes que componen al dispositivo irradiador.

Como se puede apreciar el cilindro central se compone por la fuente, una capa de aluminio, una de plomo y por otra de aluminio.

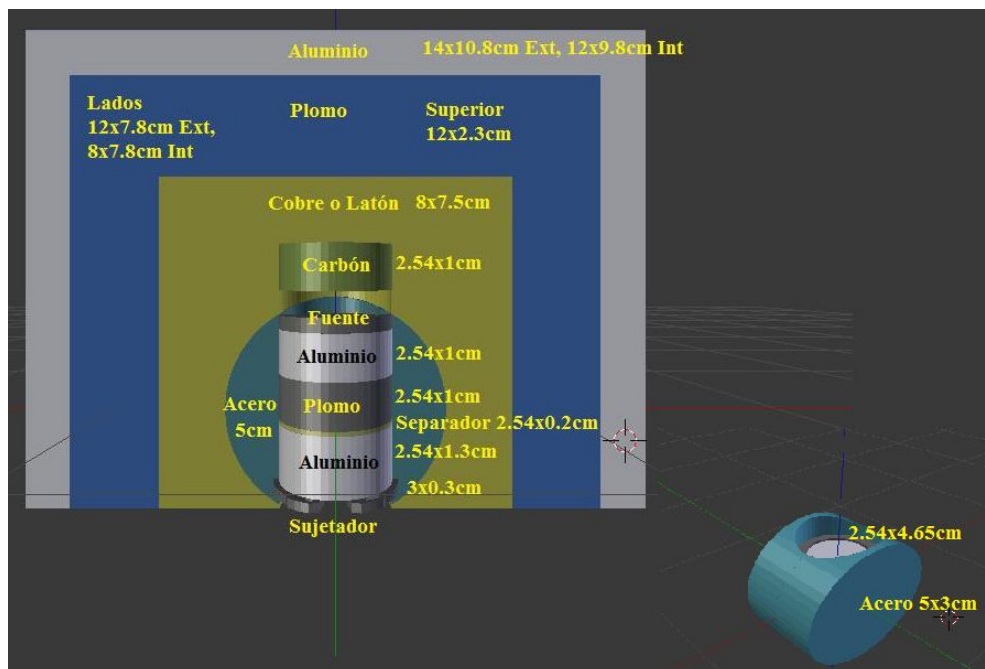


Figura 2.37: Vista interior

La fuente radiactiva (Figura 2.38) es de Estroncio 90 y 5mCi, calibrada el 24 de septiembre del 2015. Su fabricante es Eckert & Ziegler la cual es una empresa alemana muy grande y prestigiosa en el campo de proveedores de isótopos para uso médico, científico e industrial.

En (Figura 2.39) se muestra la parte donde va colocado el servomotor para hacer girar el cilindro de acero que contiene al cilindro interior con la fuente.



Figura 2.38: Especificaciones fuente radiactiva

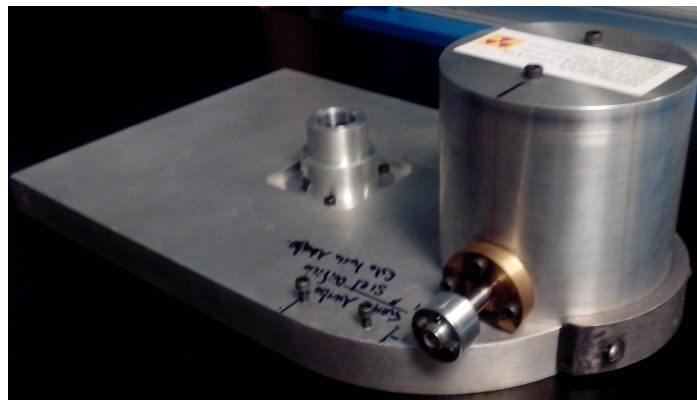


Figura 2.39: Foto dispositivo irradiador

2.8.2.1 Servomotor

Para el dispositivo irradiador como se vio en la (Sección 2.8.2), se implementó el giro de 180° necesario para rotar la columna central con la fuente radiactiva, un servomotor.

Principalmente porque son fáciles de conseguir, de controlar, son baratos y tienen el torque suficiente para realizar dicha tarea, comprobado en pruebas experimentales.

El servomotor elegido fue un Tower Pro MG995 con engranes metálicos y balero en el eje (Figura 2.40).

Un servomotor es un motor de corriente directa DC, que tiene en un mismo empaquetado: electrónica de control, engranes multiplicadores de torque y un potenciómetro acoplado a un eje de rotación, lo que permite conocer en todo momento su posición actual.

Tiene tres terminales, voltaje, gnd y control. Está ultima sirve para controlar el servomotor, ya que hay que introducirle una señal cuadrada de 60hz, al variar el ciclo de trabajo de esta frecuencia, el servomotor gira entre 0 y 180° (figura 2.41).



Figura 2.40: Servomotor

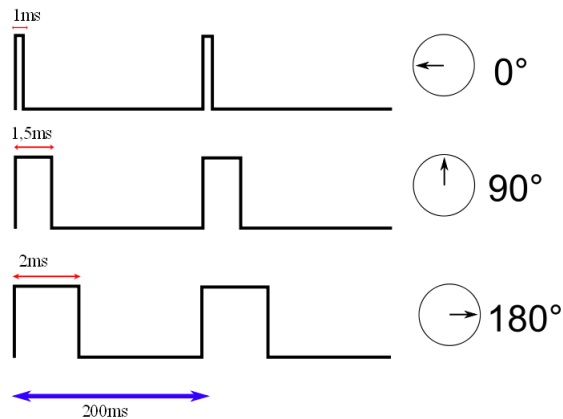


Figura 2.41: Diagrama de tiempos

2.8.3 Soporte PMT y guía

Se diseñó y construyó una pieza especial de soporte al PMT y a la guía del láser.

Para poder realizar la estimulación OSL se pueden ocupar diferentes métodos como se vio en el capítulo uno, en este caso se ocupa la estimulación mediante un láser, el cual tiene una guía líquida flexible que sirve para apuntar el haz de luz.

Para realizar la lectura OSL, se requiere de un fototubo o tubo fotomultiplicador (PMT), se coloca en la parte superior con sus respectivos filtros de longitud de onda, para tener mejor lectura y garantizar leer la luz de ópticamente estimulada y no el láser (Figura 2.42).

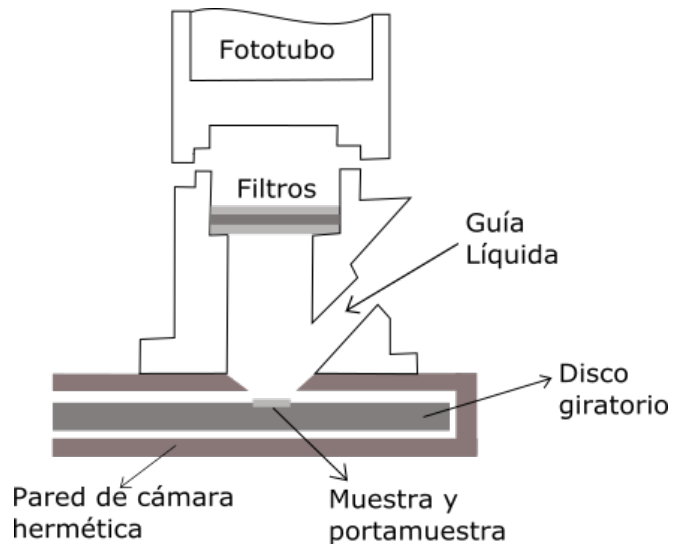


Figura 2.42: Soporte PMT y guía

Vista del diseño de los componentes involucrados, la guía del láser está inclinada 45° respecto a la vertical del PMT (Figura 2.43).

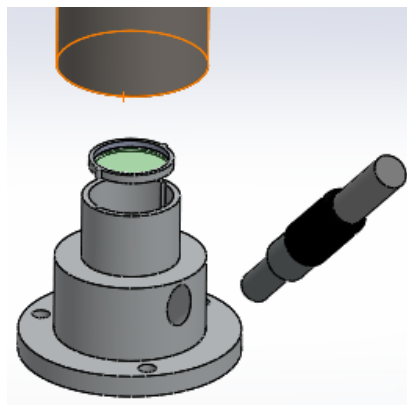


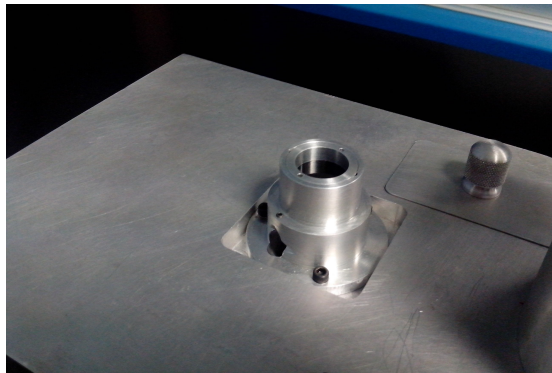
Figura 2.43: Partes de estimulación y lectura

En la (Figura 2.44a), se muestra la pieza construida, la cual va atornillada a la estructura mecánica de soporte superior del dispositivo OSL, también en la imagen la ventana de carga de las muestras.

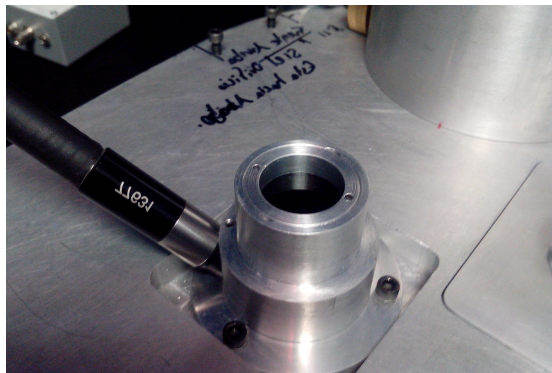
Esta pieza es fundamental para poder estimular y leer correctamente las muestras irradiadas.

Dentro del soporte se colocan los filtros correspondientes a las mediciones adecuadas, se colocan con pinzas de cirujano y embonan perfecto para que no se muevan.

En la (Figura 2.44b) se ve como en el costado y de acuerdo al diseño, embona la guía del láser.



(a) Soporte del PMT



(b) Guía láser colocada

Figura 2.44: Soporte de PMT y guía láser

2.8.4 Estimulación OSL

Como se explico en la (sección 1.5.1 Fuentes de estimulación óptica), para poder estimular los materiales OSL existen tres maneras de poder hacerlo, mediante láser, led infrarrojo y diodo láser infrarrojo.

Controlador láser

Para poder generar la estimulación OSL en su respectivo ciclo, se requiere un dispositivo controlador para el diodo láser de estimulación, de la marca Newport 525B, Modelo 501 (Figura 2.45).

La característica principal de este controlador de láser es que se activa recibiendo simplemente un pulso eléctrico TTL, es decir con el hecho de activar un pin del microcontrolador PIC16f877a con 5v, el controlador activa la ventana que permite dejar pasar la luz del láser para estimular la muestra.

Con todo esto se logra un control y precisión muy bueno para poder estimular las muestras correctamente.



Figura 2.45: Foto del controlador Newport

Para prenderlo se necesita introducir una llave y girarla, para evitar que se llegue a disparar por accidente o que alguien sin la llave la prenda y haga uso no autorizado o accidental de la misma.

Este controlador también tiene una perilla, para el control manual de la corriente eléctrica, que es proporcional a la potencia del láser.

Otra de las características de este sistema de estimulación de luz: Tiene diodos láser intercambiables (Cuadro 2.9) se realiza mediante diodos led centrados en el verde, azul y rojo.

MODELO	DESCRIPCIÓN
LXHL-LH3C	Led Rojo-Naranja
LXDHL-LR5C	Led Azul
LXHL-LM5C	Led Verde

Cuadro 2.9: Leds utilizados

El microcontrolador manda un pulso y activa el controlador láser, que a su vez controla el disparador (shutter en inglés), que manda la luz del láser mediante una guía líquida hasta su extremo, fijada en la pieza de estimulación en la estructura superior del dispositivo OSL. En la (Figura 2.46) podemos apreciar a la derecha al controlador y a la izquierda a el láser, este último tiene un ventilador en su parte superior con un disipador de calor, para enfriar al láser.

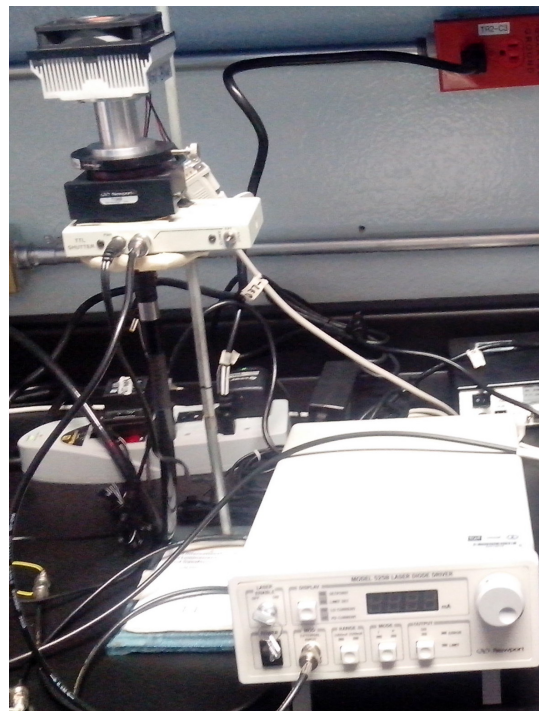


Figura 2.46: Sistema de estimulación OSL

2.8.5 Lectura OSL

2.8.5.1 CT2

El contador/temporizador CT2 es un dispositivo fabricado por la compañía inglesa Electron Tubes, que convierte una PC en un instrumento de alto desempeño de contador de pulsos. Este modulo tiene una resolución de conteo de 32 bits, incluye un microcontrolador y una interfaz serial RS232 para conectarse con la PC (Figura 2.47).

Existe un software que viene con el CT2 para realizar una secuencia de mediciones de conteo según lo programado por el usuario. Sin embargo también viene con un driver para Windows de tipo, control Active X, que permite a los usuarios desarrollar su propio software de control, usando LabView, Visual Basic y C++.

Su finalidad es contar pulsos TTL, específicamente los pulsos TTL de un PMT y enviar esos datos mediante el puerto serie para poder graficarlos.

Se escogió este controlador, ya que viene de la mano con el Fotodetector P25PC y con el driver para LabVIEW, se integra el posicionamiento, estimulación y lectura en el mismo software.

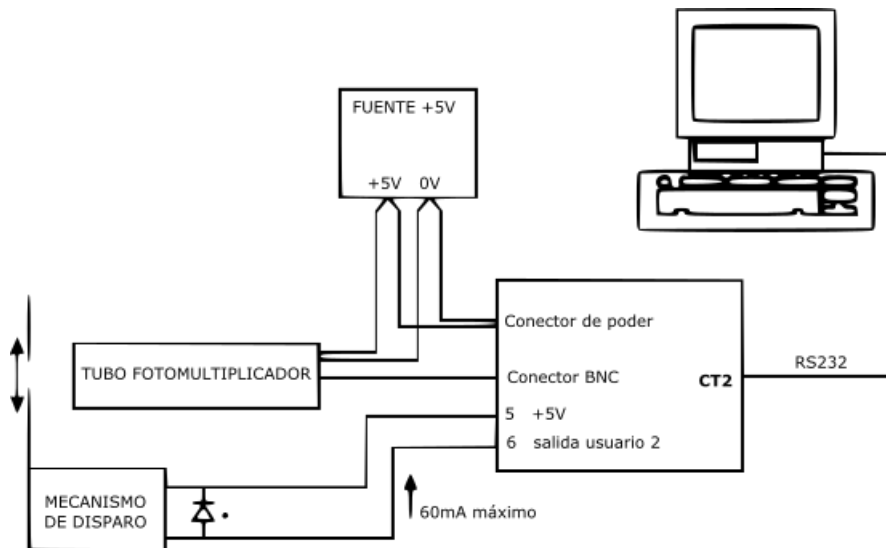


Figura 2.47: Conexión del sistema de lectura

El controlador CT2, como se indicó anteriormente tiene un puerto serial para la comunicación con una PC, por lo que mediante LabVIEW se inicializa con los comandos predefinidos para configurar la transmisión de datos y de encendido, entre la PC y su microcontrolador interno.

Su función principal es adquirir la información vital del conteo de fotones emitidos por muestra estimulada. Gracias a este dispositivo se puede construir un dispositivo mecatrónico OSL mas pequeño y portable, a diferencia de que se usaran detectores de imágenes de fotones o detectores de estado sólido.

Tiene tres conectores en su parte lateral (Figura 2.48), el conector para una fuente externa de 5V, otro conector de tipo BNC para el tubo fotomultiplicador y otro para un shutter o mecanismo de disparo directo de una fuente de estimulación OSL, pero no se implementó con el CT2, sino con el microcontrolador PIC16f877a.

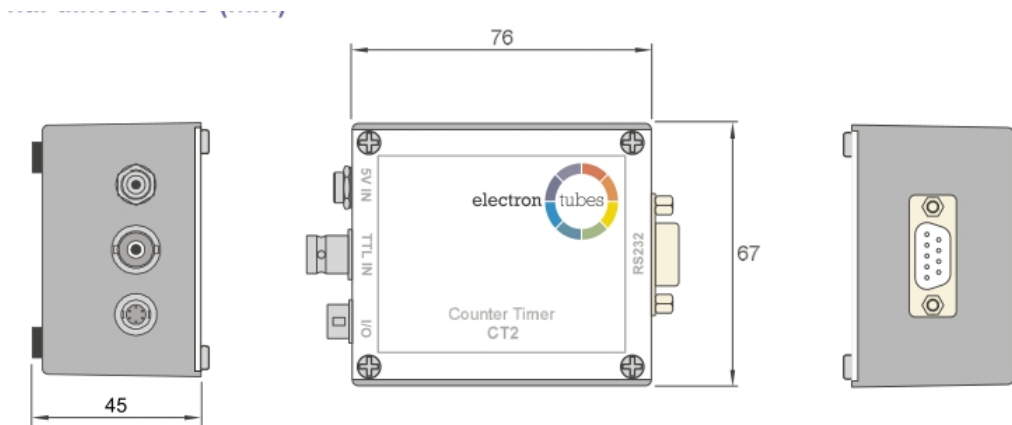


Figura 2.48: Dimensiones del módulo CT2

Si se quisiera desarrollar este controlador desde cero, requeriría mucha investigación y tiempo, ya que tiene algoritmos estadísticos, filtros y algoritmos matemáticos para darle certidumbre al conteo de fotones que solo un verdadero especialista en el campo OSL puede implementar, la compañía Electron Tubes es especialista en esto, por lo que se procedió a comprar su hardware e implementarlo en vez de tratar de desarrollarlo.

2.8.5.2 PMT

Este fotodetector P25C (Figura 2.49) está configurado como contador de fotones. Tiene una ventana de 25mm, y dentro un fotomultiplicador tipo 9111B con un fotocátodo sensitivo bialkali, una fuente de alto voltaje y un amplificador de alta velocidad. Todo encapsulado en una carcasa metálica cilíndrica, lo que permite una alto nivel de inmunidad a los efectos de campos magnéticos externos.

Características:

- Fácil de operar.
- Ensamblaje compacto cilíndrico.
- Protección magnética y electrostática.
- Opción de ventana UV.
- Capacidad de conteo hasta de 100Mhz.
- Funciona con una fuente de bajo voltaje.
- Encapsulación total de los altos voltajes.
- Solo disipa 550mW de poder.
- Preescalador opcional de fábrica para dividir la taza de conteo de dos a dieciséis.



Figura 2.49: Fotodetector P25PC

Es un dispositivo muy compacto y robusto, una de sus principales ventajas es que no requiere una fuente de alimentación de alto voltaje, sino que 5V son necesarios para que funcione. Además se controla transparentemente con el controlador CT2, por lo que no hay que implementar ningún protocolo de comunicación interno, al conectarlo funciona perfectamente.

Filtros

Durante el ciclo de lectura OSL, para poder asegurar que la lectura que tenemos en el PMT de la luminiscencia que emiten los materiales OSL, es la más exacta posible y que no estemos también midiendo la luz de la estimulación, se requieren filtros (Cuadro 2.10), son intercambiables manualmente.

MODELO	DESCRIPCIÓN
HOYA B-390	Filtro centrado en el azul
HOYA U-340	Filtro centrado en el ultravioleta
FOG-53025	Filtro desde 530 en adelante
FOG-42025	Filtro desde 420 en adelante
FOG-57025	Filtro desde 570 en adelante

Cuadro 2.10: Filtros empleados

Es decir, dependiendo del tipo de medición OSL que el investigador en turno quiera realizar con el dispositivo mecatrónico OSL, se requiere un filtro ya sea centrado en azul, ultravioleta o en algún otro de la lista del cuadro anterior.

Para realizar el procedimiento de intercambiar filtros, primero se tiene que retirar el tubo fotomultiplicador de la parte superior del dispositivo mecatrónico OSL, después mediante unas pinzas especiales extraer el filtro y guardarlo, para posteriormente el filtro deseado y finalmente colocar el tubo fotomultiplicador en su posición original.

2.9 SOFTWARE

2.9.1 INTRODUCCIÓN

El sistema completo se basa en una computadora personal con el sistema operativo de Microsoft Windows XP y en el software gráfico de National Instruments LabVIEW 8.5.

La razón para escoger este sistema operativo y software esta dada por el contador de fotones Counter Time CT2 construido por el mismo proveedor del Tubo Fotomultiplicador o PMT el cual es indispensable para la adquisición de datos. Este dispositivo restringe su operación a su propio programa y a un control por software de tipo Windows activeX para usarse con los lenguajes Visual Basic, C++ y LabVIEW.

También se tomó en cuenta que al comenzar este proyecto ya se contaba con otro dispositivo de National Instruments el DAQ USB 2008 el cual fue adquirido previamente con una licencia muy económica de LabVIEW 8.5.

Por los argumentos anteriores se decidió que era más práctico desarrollar el proyecto entero en LabVIEW. Y en Windows XP por el driver del CT2. En (figura 2.11) se detalla una lista de todos los programas involucrados en el diseño y construcción del dispositivo mecatrónico OSL.

Así que en esta combinación se integra una plataforma desde la adquisición de datos, control, interfaz visual, y generación de resultados para el análisis, dada la convergencia del hardware involucrado.

El diagrama de las comunicaciones se ilustra en la (Figura 2.50).

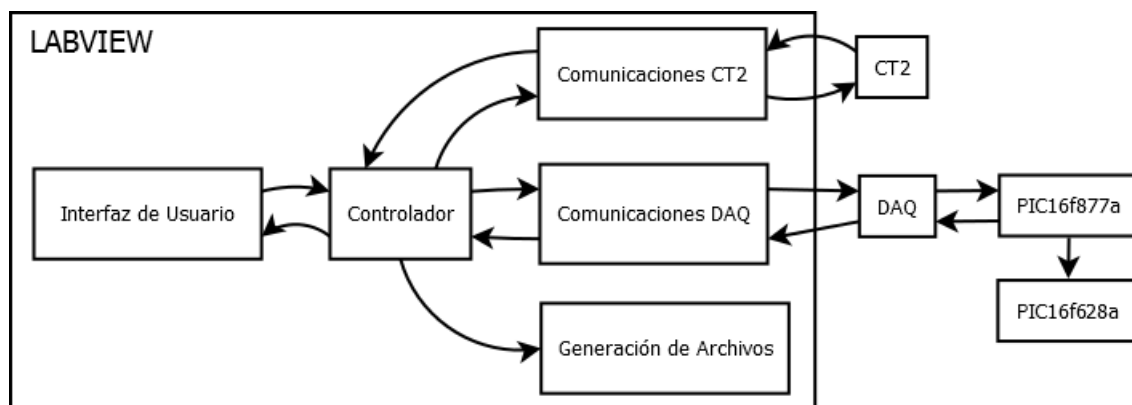


Figura 2.50: Diagrama de comunicaciones

En total el dispositivo mecatrónico OSL, requiere tres programas para funcionar, uno en LabView que por dentro tiene subprogramas y dos en PIC CCS, uno para cada microcontrolador.

El programa en LabVIEW es el más complejo, ya que tiene que gestionar 5 submódulos de software para orquestar todos las variables y señales de comunicación deseadas:

- La interfaz de usuario. Pantalla que ve el usuario que opera el dispositivo mecatrónico OSL, mete toda la información de las muestras a irradiar y se le informa del estado actual de operación.
- Controlador. Gestiona todos los ciclos OSL, tareas y comunicaciones necesarias para unir todo.
- Comunicaciones CT2. Gestiona las comunicaciones para iniciar el conteo, pararlo y adquirir los resultados del número de fotones detectados.
- Comunicaciones DAQ. Gestiona los comandos de envío y recepción de datos hacia el PIC16f877a.
- Generación de Archivos. Crea carpetas y archivos necesarios para guardar toda la información adquirida durante los ciclos OSL para su posterior análisis.

Los programas en PIC CCS:

- PIC16f877a. Interpreta comandos del DAQ, envía estado actual, controla el driver del motor a pasos, activa controlador de láser, detecta sensor de posición.
- PIC16f628a. Mueve el servomotor para irradiar muestras.

Para el desarrollo del sistema OSL, se necesitó de PIC CCS, MPLAB, ALTIUM y SOLIDWORKS, para generar los códigos de microcontroladores, diseño electrónico y diseño mecánico. Para funcionamiento normal del dispositivo y obtener el análisis y resultados de las muestras irradiadas se usa activamente LabVIEW y ORIGIN.

SOFTWARE	VERSIÓN	DESCRIPCIÓN
PIC CCS	4.0	Compilador de C para PICS.
MPLAB	8.5	Entorno de desarrollo de lenguaje para programar PICS.
ALTIUM	14	Diseño esquemáticos y PCB.
SOLIDWORKS	2013	Diseño en 3D de las piezas y ensamble.
LABVIEW	8.5	Control gráfico del funcionamiento del dispositivo OSL.
ORIGIN	8.0	Análisis y graficación de datos.

Cuadro 2.11: Lista de software usado

2.9.2 PIC CCS

Los microcontroladores PIC de la compañía Microchip se programan en lenguaje ensamblador, la familia 16F tiene 35 instrucciones, consisten en manipular bits o bytes entre registros del microcontrolador. Programar en lenguaje ensamblador tiene la ventaja de ser un lenguaje de bajo nivel y por lo que tiene un código más optimizado. Como desventaja tiene que se tiene escribir mucho código para realizar funciones que con CSS se hace en unas cuantas líneas.

Han surgido alternativas a la programación en ensamblador, como la que da la compañía CCS, ha desarrollado un compilador en lenguaje C, que nativamente convierte ese código en el ensamblador para microcontroladores PIC. Dispone de optimización para los mismos, librerías, comandos de preprocesado y ejemplos, además de drivers para diferentes dispositivos como pantallas lcd, memorias EEPROM, etc. Dadas las ventajas que brinda programar en C a los microcontroladores PIC, se optó por desarrollar el software con este lenguaje.

PIC CCS trae su propio IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), sin embargo dado a que se tenía mas experiencia usando el entorno propio de Microchip, el clásico MPLAB para los familiarizados con la programación de PICS, se optó por tener la combinación MPLAB+CCS, con muy buenos resultados. Para programar los PICS, se usó el programador de Microchip Pickit 2 (Figura 2.51), el pin 4 corresponde a una señal de datos y el 5 a una señal de reloj, los cuales se conectan directo a los pines RB7 y RB6 de los PICS, para hacer la carga del programa desarrollado en CCS a la memoria ROM de los microcontroladores.

De los dos PICS seleccionados para el dispositivo mecatrónico OSL, solo al PIC16f877a se le puso en el PCB diseñado una tira de pines para poder reprogramarlo muy rápidamente, el PIC16f628a se programó afuera del PCB ya que este como solo tiene un proceso a ejecutar no requirió muchas reprogramaciones para ponerlo a punto.

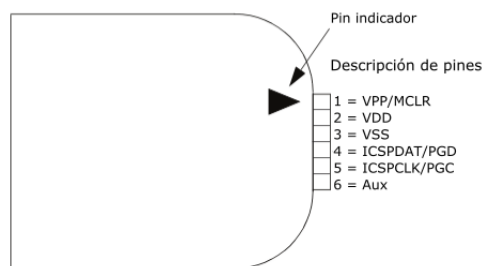


Figura 2.51: Conexiones pickit2

Los microcontroladores utilizados en el dispositivo mecatrónico OSL fueron el PIC16f877a y PIC16f628a (Figura 2.52).

El PIC16f877a recibe y manda datos al DAQ y se conecta con el segundo PIC, el shutter para activar el láser, recibir información del sensor de posición y controlar el driver POLOLU que se encarga del motor a pasos.

El PIC16f628a que se encarga de controlar un servomotor de acuerdo a la información que recibe del PIC16f877a.

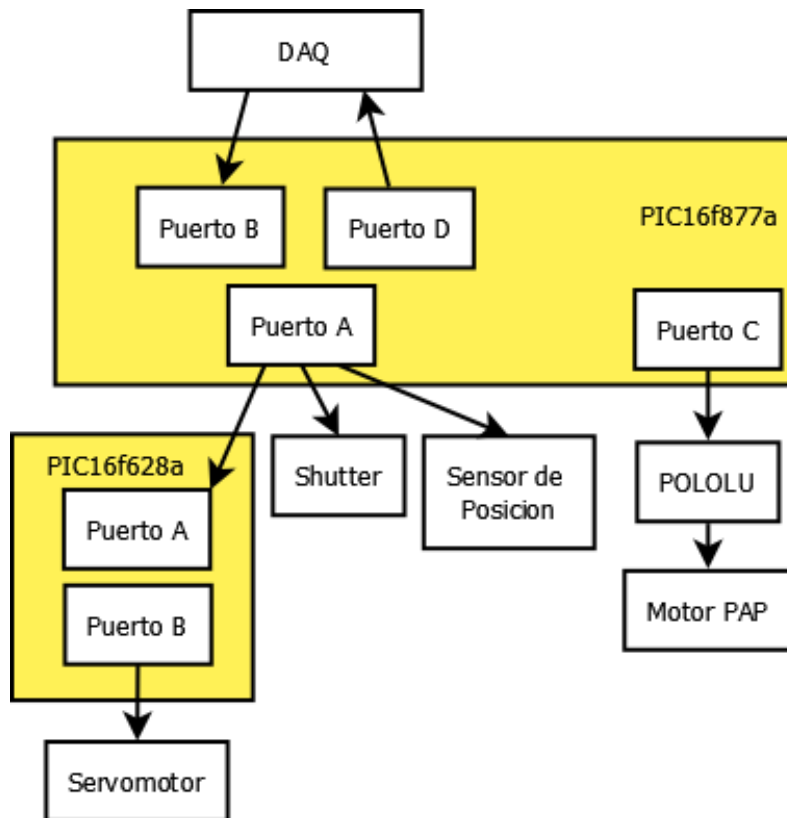


Figura 2.52: Diagrama de comunicaciones de los microcontroladores

2.9.3 LabVIEW

LabVIEW es un lenguaje de programación, también llamado lenguaje G de alto nivel, es de tipo gráfico, es decir no se necesita escribir el código a mano para que funcione y es enfocado a la instrumentación o adquisición de datos. Como todo lenguaje de programación puede ser utilizado para elaborar cualquier tipo de algoritmo, para cualquier aplicación.

Los programas de LabVIEW son usualmente llamados .vi (Instrumentos virtuales - virtual instruments por sus siglas en inglés), ya que estos operan y lucen como una imitación de instrumentos físicos como osciloscopios y multímetros.

Todos los archivos .vi al ejecutarlos nos abren 2 ventanas (Figura 2.53). Tienen panel frontal y diagrama a bloques.

El panel frontal sirve como interfaz para el usuario se ajuste mejor al propósito de la aplicación y a la interacción de los usuarios con ella, contiene todos los controles e indicadores, los cuales son las entradas y salidas. Los indicadores pueden ser perillas, leds, gráficas, etc.

El diagrama a bloques contiene el código fuente gráfico que define la funcionalidad del VI. Contiene las funciones y algoritmos, de una forma gráfica a modo de bloques que se van arrastrando y posicionando con el ratón del ordenador, donde los datos fluyen en líneas y conectan a los indicadores del panel frontal con los algoritmos que se programan.

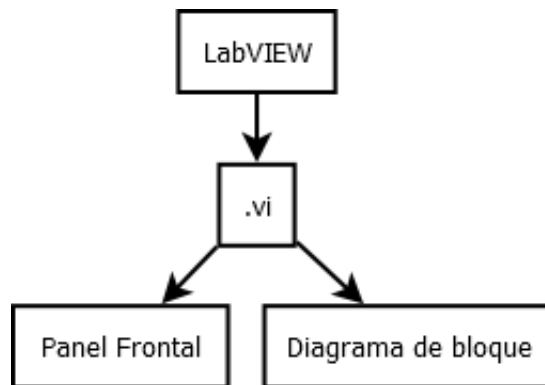


Figura 2.53: Componentes de un .vi

LabVIEW es fácil de usar, diseñado específicamente para crear instrumentos virtuales, ofrece poderosas características que facilitan la conexión a una amplia variedad de hardware y software. Además de sus capacidades de instrumentación virtual y adquisición de datos, LabVIEW proporciona muchas herramientas para el diseño de sistemas de control y de la adquisición de datos, además de ser compatible con mucho hardware de instrumentación, como en el DAQ elegido.

Panel Frontal

La primera versión del panel frontal del .vi generado (Figura 2.54), esta ventana es la que visualiza el operador del dispositivo, en ella se muestran los controles necesarios para realizar ciclos OSL completos. La interfaz tiene un enfoque minimalista y esta separada en dos secciones de acuerdo a funcionalidad.

En la parte de la izquierda se ingresan los datos de las variables de entrada mediante botones y controles de texto.

A la derecha se visualiza el estado de operación actual del dispositivo, mediante imágenes, un indicador tipo osciloscopio y cajas de texto.

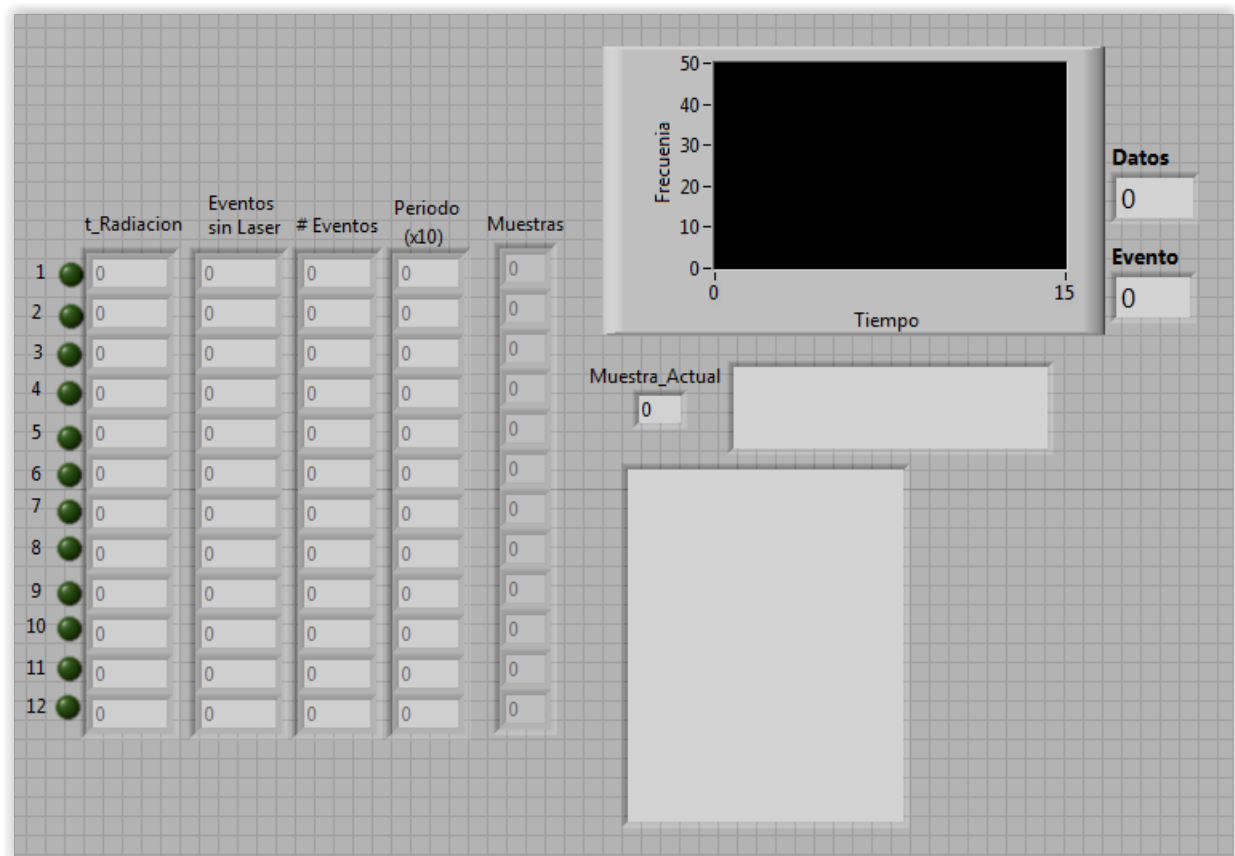


Figura 2.54: Panel frontal de .Vi

En la parte de la izquierda (Figura 2.55) se pueden elegir de uno a doce muestras a realizar un ciclo OSL presionando botones verdes y cada muestra necesita cuatro parámetros: Tiempo de irradiación, eventos sin láser, número total de eventos y período entre eventos.



	t_Radiacion	Eventos sin Laser	# Eventos	Periodo (x10)	Muestras
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0

Figura 2.55: Sección gráfica de estado

En la parte derecha de la interfaz (Figura 2.56), se van visualizando los modos de operación actual de cada muestra, se indica la muestra actual y se visualiza mediante una imagen la vista superior del dispositivo OSL.



Figura 2.56: Sección gráfica de estado

2.9.3.1 Variables de entrada

Los dispositivos de entrada del sistema mecatrónico OSL como se vio en la (Sección 2.6.1) son tres: PC, PMT, sensor de posición.

Dentro de LabView, los dispositivos de entrada corresponden a las variables como son: el número de muestras a examinar, tiempo de irradiación, eventos sin láser, número total de eventos y periodo entre ellos. Para que se puedan generar los archivos de texto resultantes, con toda la información necesaria para realizar los análisis correspondientes.

En la (Figura 2.57) se muestra el proceso en el cual se necesitan generar unas matrices que contengan y ordenen la información de las variables, así como hace el cálculo de las posiciones a las cuales debe girar cada muestra por cada ciclo.

También se adquiere la hora y la fecha del sistema operativo, se filtra de la cadena de datos obtenida y genera una nueva, la cual será necesaria para que así se llamen los archivos generados y llevar un registro del momento preciso de las mediciones.

Posteriormente se comprueba si ya existe una carpeta en el disco duro con la información contenida en la variable de la fecha y hora, de no ser así crea una nueva.

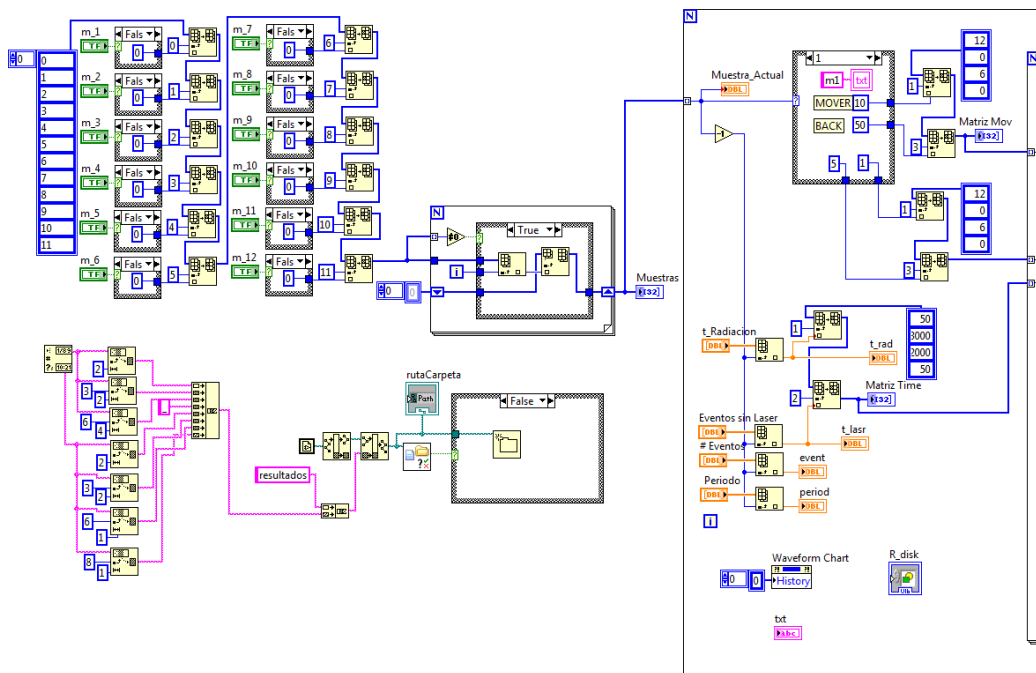


Figura 2.57: Entrada de datos

2.9.3.2 Control del DAQ

Al conectar el DAQ a la PC, Windows lo reconoce e instala su driver, por lo que se puede verificar y hacer pruebas con un software que se incluye en la instalación de LabVIEW llamado Signal Express.

Para usar el DAQ en un programa en específico, LabVIEW incluye en la sección de funciones del diagrama a bloques, en el apartado Input (Figura 2.58), nueve opciones para elegir adquirir datos, la opción que se usa es la de DAQ Assist.

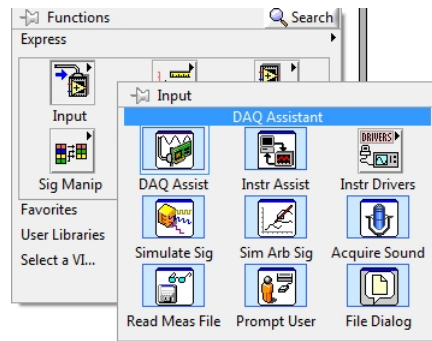


Figura 2.58: VI del DAQ Assist

Al seleccionar el DAQ Assist, aparece una ventana que permite seleccionar los puertos digitales del DAQ (Figura 2.59), primero se puede elegir si se quiere adquirir o generar señales analógicas o digitales y si se quiere ocupar un pin del daq o todo el puerto completo.

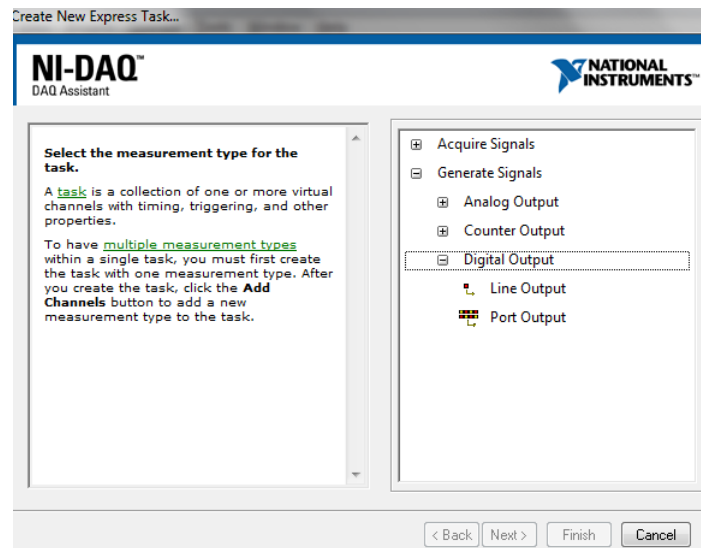


Figura 2.59: DAQ Assist

2.9.3.3 Control del CT2

Esta parte se encarga de la comunicación necesaria con el CT2 que es el controlador del PMT como se explicó en la (Sección 2.8.5).

Electron Tubes, la compañía que desarrolla el módulo CT2, brinda en su software un .vi para desarrolladores, el cual contiene un programa de ejemplo de adquisición de datos. Esta es la única manera que se tiene de usar el PMT con LabView (Figura 2.60).

No existen tutoriales específicos de como realizar el control, lo único que provee esa compañía es ese .vi, por lo tanto un buen reto fue encontrar los bloques que hacen las mediciones, aislarlos e implementarlos en el programa de control del dispositivo OSL de acuerdo a las necesidades específicas que requería el proyecto.

Dentro del control del CT2, primero se inicializa la comunicación de tipo serial con la PC, abre el puerto con la velocidad indicada y activa el PMT para comenzar inmediatamente a contar los fotones.

Después se realiza el ciclo de conteo requerido, hasta que el número de eventos sin láser y con láser se alcanza. Conforme se va realizando la medición se va visualizando en el indicador tipo osciloscopio del panel frontal del programa.

Finalmente se cierra la conexión serial y se genera un archivo de imagen .jpg el cual contiene la gráfica de la muestra analizada.

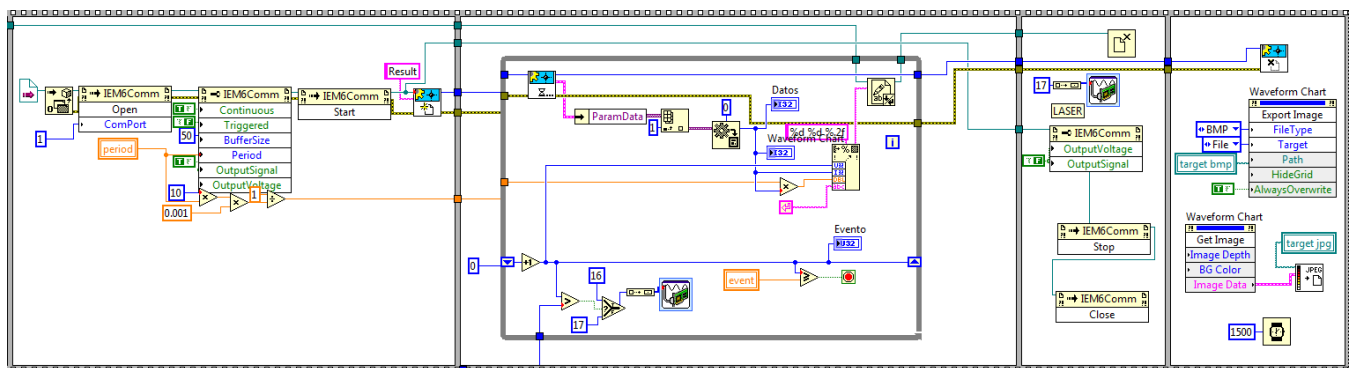


Figura 2.60: Adquisición de datos

2.9.3.4 Salida de datos

El dispositivo OSL puede generar de uno a doce archivos de texto .txt además de sus correspondientes archivos .jpg de gráfica de datos, los cuales contienen la información de los ciclos OSL de cada muestra con el resultado de las variables de entrada.

Para generar los archivos de salida de datos, en la (Figura 2.61) se muestran los bloques que generan dichos archivos.

Primero se obtiene una cadena de texto con la fecha, para que así se generen carpetas con el día y la hora de las mediciones, con el objetivo de llevar un control meticuloso. Se verifica que no haya carpetas con el mismo nombre, si no hay crea una nueva para guardar todos los datos del ciclo OSL de todas las muestras.

Los datos obtenidos se concatenan a texto fijo y a variables con el fin de exportar todos los datos en un archivo por cada muestra.

Los datos de salida incluyen: Número de muestra, tiempo de radiación, número de eventos sin láser, número de eventos con láser, periodo entre eventos y finalmente los datos de la medición.

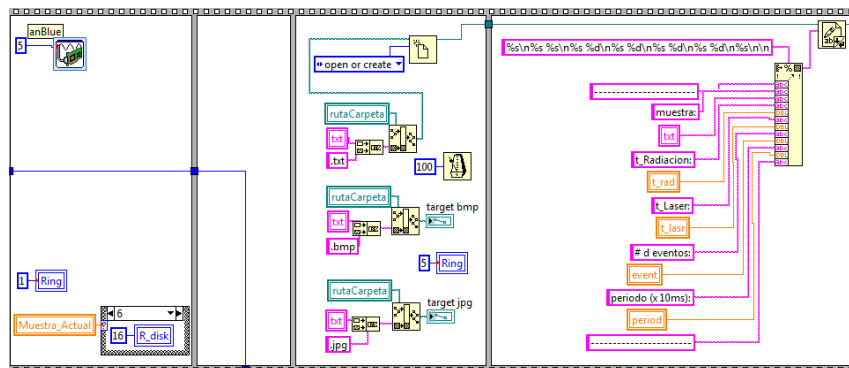


Figura 2.61: Generación de datos

Capítulo 3

RESULTADOS

3.1 INTRODUCCIÓN

La puesta a punto del sistema mecatrónico OSL, requirió muchas pruebas y ajustes. Desarrollar un sistema mecatrónico como este requiere una metodología concurrente, ya que se requieren desarrollar al mismo tiempo, partes mecánicas, electrónicas y de control.

El primer problema que tuvo que resolverse fue el control de posición, se evaluaron diversas configuraciones y motores, la primera propuesta fue una transmisión con engrane, después con una banda y al final se optó por usar una transmisión directa. El resultado fue un control preciso y efectivo de posición del plato giratorio.

El siguiente gran reto fue integrar en LabVIEW la lectura OSL, lograr la adquisición de datos con CT2 provenientes del PMT. Se realizaron diversas pruebas para que se lograra la lectura en el ciclo OSL dentro del programa principal.

El tercer gran reto aconteció al integrar los tres ciclos OSL de funcionamiento del dispositivo en el programa de control en LabVIEW. Comprobar que se realizara cada uno en el momento preciso y diera la respuesta esperada.

En este capítulo se muestran los resultados del funcionamiento del dispositivo mecatrónico OSL, el desarrollo del mismo se dio en varias etapas.

Por lo que se incluyen las primeras pruebas de posicionamiento de muestras y las pruebas de ruido de fondo adquiridas con el tubo fotomultiplicador.

Por último las pruebas finales, las cuales demuestran que el propósito de esta tesis de licenciatura se cumple al exponer las gráficas de diversas muestras de materiales analizadas con la técnica de la luminiscencia ópticamente estimulada. Se ve que la respuesta a la estimulación óptica da un cálculo de las dosis de radiación absorbidas por los diferentes materiales.

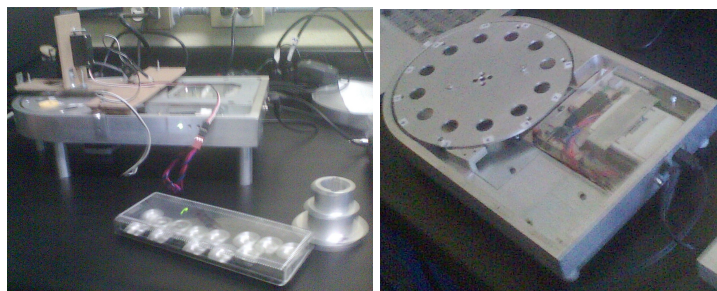
3.2 PRIMERAS PRUEBAS ICN (2013)

Las primeras pruebas en el Instituto de Ciencias Nucleares datan del 2013. En las cuales principalmente se comprobó el control de posición y de estimulación.

Se revisaron las piezas construidas en el laboratorio de maquinados del ICN, como fueron los portamuestras y la base donde va el PMT y la guía del láser (Figura 3.1).

Se verificó que el control de posición del plato giratorio era el correcto y cumplía con la precisión requerida. Se hicieron múltiples pruebas de operación simulando que se realizaban los ciclos OSL y se comprobó que el disco giratorio era muy preciso en llegar a las posiciones requeridas tras mucho tiempo de estar funcionando.

También se procedió a comprobar el funcionamiento del controlador láser Newport 525B (figura 3.2). Se revisó que el controlador funcionara independientemente, y que el microcontrolador PIC16f877a era correctamente capaz de activarlo/desactivarlo durante el ciclo de estimulación OSL.



(a) Porta muestras y porta PMT (b) Pruebas de movimiento

Figura 3.1: Primeras pruebas ICN



Figura 3.2: Prueba de disparo de láser con driver

3.3 PRUEBAS DE RUIDO DE FONDO (2014)

Las pruebas de ruido de fondo, realizadas en el ICN en el año 2014, consistieron en todo lo relacionado con el ciclo de lectura OSL. Las pruebas consistieron en adquirir datos con el tubo fotomultiplicador (PMT) en LabVIEW mediante el controlador CT2. Se conectó el sistema y se comenzó a hacer un conteo de fotones; se capturó el ruido de fondo, es decir a una captura de fotones en el medio ambiente y no a muestras irradiadas. En la (Figura 3.3) se muestran las gráficas de los fotones capturados.

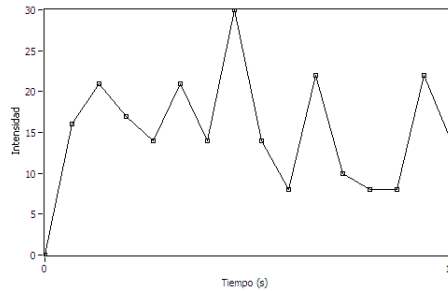


Figura 3.3: Gráficas del ruido de fondo

En la (Figura 3.4) se muestra el archivo generado de texto plano, ya con el sistema adquiriendo ruido de fondo correspondiente a la muestra de detección de 15 eventos. En la cabecera del archivo se muestran las variables de entrada: número de muestra, tiempo de radiación, tiempo de láser, número de eventos y periodo. En la parte inferior muestra el conteo de fotones.

```

m5.txt: Bloc de notas
-----
Archivo  Edición  Formato  Ver
-----
muestra: m5
t_Radiación: 6
t_Láser: 3
# d eventos: 15
periodo (x 10ms): 100
-----

1 16 16.000000
2 21 21.000000
3 17 17.000000
4 14 14.000000
5 21 21.000000
6 14 14.000000
7 30 30.000000
8 14 14.000000
9 8 8.000000
10 22 22.000000
11 10 10.000000
12 8 8.000000
13 8 8.000000
14 22 22.000000
15 14 14.000000
    
```

Figura 3.4: Archivo .txt generado

3.4 PRUEBAS FINALES (2016)

Las pruebas finales corresponden a la puesta a punto de la versión final del programa controlador en LabVIEW del dispositivo mecatrónico OSL, en sus diferentes modos de operación.

El modo de posicionamiento ya estaba plenamente verificado, el modo de irradiación ya se tenía disponible, el modo de estimulación y lectura ya estaba probado con ruido de fondo. Lo único que faltaba era hacer pruebas con materiales para obtener sus curvas de respuesta OSL.

En la (Figura 3.5) se aprecia la versión final del programa, en la parte superior izquierda se ingresan las variables de entrada correspondientes a las 12 muestras posibles de analizar. En la parte superior derecha se visualiza la gráfica correspondiente a la curva de respuesta OSL, el nombre de la carpeta y archivo donde se generan los datos de salida.

En la parte inferior izquierda se muestra una imagen que cambia dependiendo de la muestra que está realizando un ciclo OSL y la fase del ciclo en la cual se encuentra.

En la parte inferior central se pueden elegir dos modos de estimulación OSL, el modo CW-OSL (Continuous wave-OSL, onda continua OSL) y el LM-OSL (Linearly Modulated OSL, linealmente modulado OSL), los cuales como se mencionaron en la (sección 1.5.1).

Por último en la parte inferior derecha se agregaron botones para la carga manual de muestras y para iniciar y detener el funcionamiento del dispositivo.

Se hicieron las pruebas con diferentes materiales, cada uno irradiado con diferentes dosis. Una y otra vez para comprobar que todo el ciclo OSL funcionaba correctamente.

Primero se procede a blanquear una muestra del material deseado, para garantizar que no tiene ninguna dosis de radiación previo a un ciclo OSL. Ya después, la muestra es irradiada por un tiempo específico, posteriormente se estimula y se lee su respuesta.

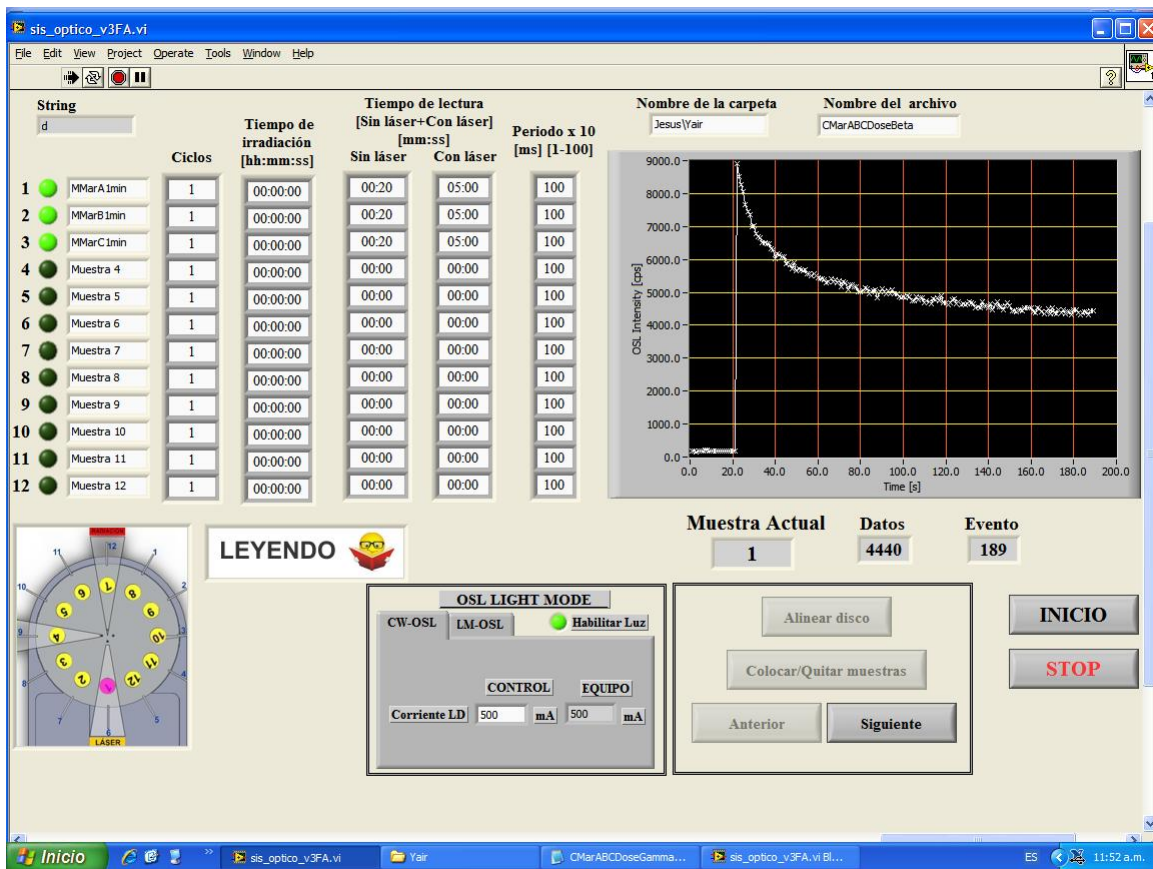


Figura 3.5: Interfaz gráfica final

Para realizar mediciones en materiales reales, se procedió a usar la estimulación CW-OSL, la cual es la forma más común de obtener una curva de respuesta OSL, se ilumina la muestra con una fuente de luz de intensidad constante y simultáneamente se supervisa la emisión de luminiscencia. Se utilizan filtros de banda estrecha para diferenciar entre la luz de la estimulación y la de emisión, y para evitar que la luz dispersada de estimulación entre en el detector.

En el análisis de datos, se obtiene la integral de la curva de respuesta OSL que se utiliza para determinar la dosis de radiación absorbida. En la (sección 3.7) se muestran las gráficas obtenidas de las curvas de respuesta OSL con sus respectivas curvas de dosis de radiación absorbidas.

En el Instituto de Ciencias nucleares también se dispone de una fuente para irradiar y blanquear materiales de Sr-90 de 1 mCi (Figura 3.6).



Figura 3.6: Fuente de prueba

El dispositivo mecatrónico OSL plenamente armado se muestra en la (Figura 3.7). En la parte izquierda de la figura se muestra el sistema ya cerrado con la estructura de soporte superior y el dispositivo irradiador.

En el recuadro A, se visualiza la base donde va la guía de onda del láser y el PMT. En el recuadro B se muestra el láser el cual se refrigera con un disipador y un ventilador y su respectivo controlador en el recuadro C. Se tiene el dispositivo mecatrónico OSL armado, con lo que se generaron los resultados experimentales.

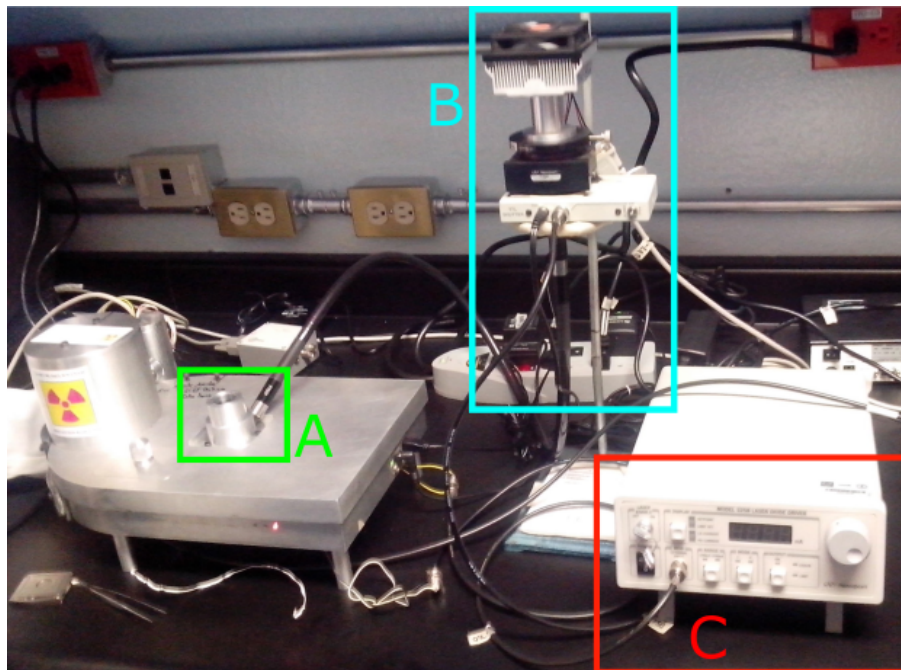


Figura 3.7: Sistema mecatrónico OSL conectado

3.5 CURVAS DE LOS MODOS DE ESTIMULACIÓN OSL

La (Figura 3.8) muestra las curvas obtenidas con los tres modos de estimulación OSL de cuarzo sedimentario provenientes del manual de operación del modelo Risø TL/OSL-DA-20.

Como se puede observar se generan tres muy diferentes tipos de curvas:

En el modo de estimulación continua (CW), se observa un pico inicial y como va decayendo la luminosidad.

En el modo de estimulación lineal (LM), la estimulación es gradual, por lo que la luminosidad va variando con el tiempo generando varios picos en lugar de solo uno.

Finalmente el modo de estimulación pulsado, genera una curva similar a la de estimulación continua solo que más discretizada.

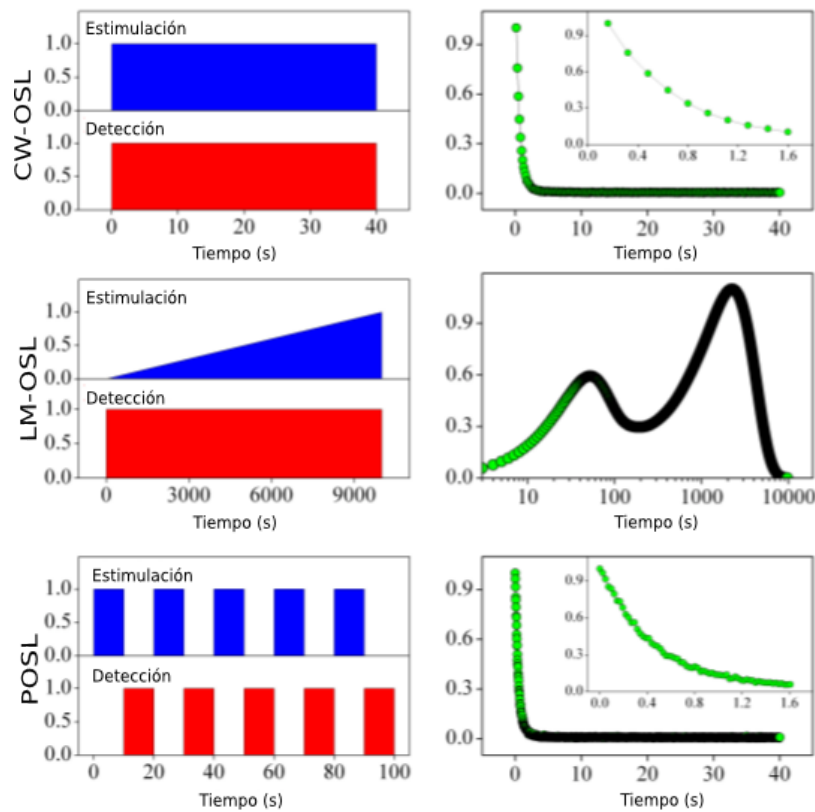
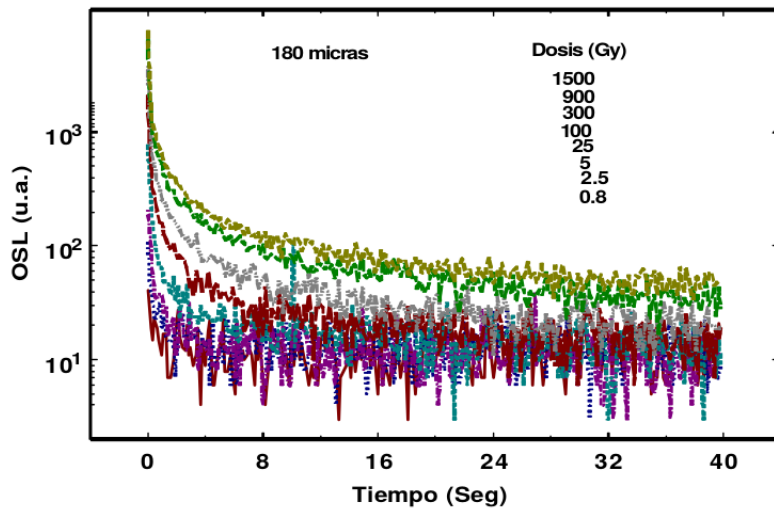


Figura 3.8: Curvas obtenidas con el modelo Risø TL/OSL-DA-20

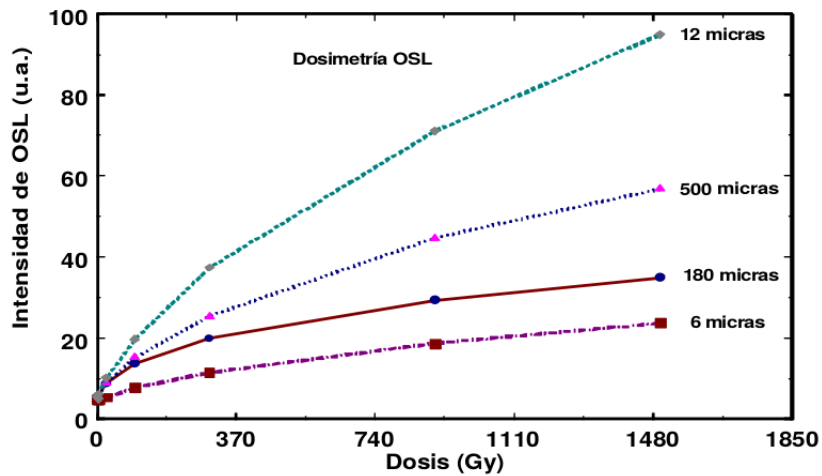
3.6 CURVAS DOSIMÉTRICAS SONORA 2002

En 2002 [7] se efectuó un estudio de las propiedades dosimétricas mediante luminiscencia ópticamente estimulada, en Centro de Investigación en Física, de la Universidad de Sonora con el sistema RISØ TL/OSL-DA-15, en películas de diamante de 180 micras crecidas por la técnica de depósito de vapor químico.

Las figuras siguientes corresponden a la respuesta OSL observada al irradiar la muestra con diferentes betas y foto estimulada con luz azul de 470nm.



(a) Curva respuesta OSL



(b) Curva dosis absorbida

Figura 3.9: Curvas de películas de diamante

3.7 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se experimentó con cuatro materiales distintos: Poliminerales de camarón, minerales naturales de sal traída del mar muerto, $Ca_2P_2O_7 : Ce$ y $KMgF_3 : Tm - 0.5$. Se posicionaron, irradiaron, estimularon y leyeron obteniendo sus curvas de respuesta OSL.

Para el análisis de los datos obtenidos de dicha experimentación procedentes de los archivos de texto plano .txt se utilizó Origin 8, el cual es un software desarrollado por la compañía estadounidense Origin Lab, el cual es un programa de análisis y graficación de datos muy usado en el mundo científico.

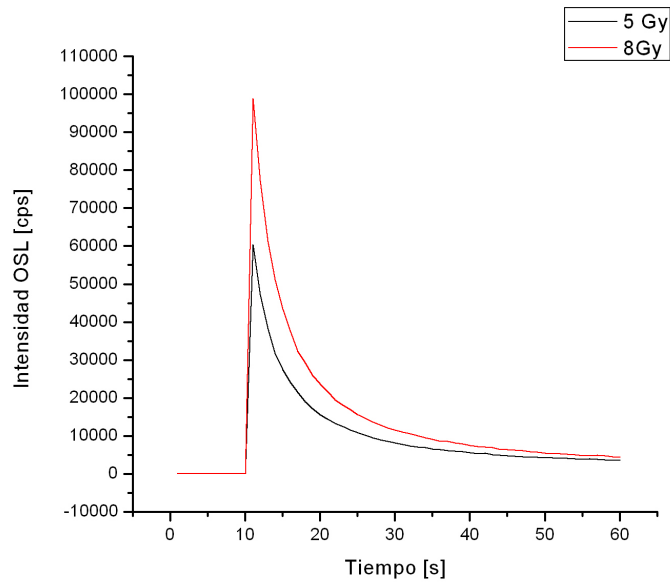
En la (Figura 3.10) se muestra una captura de pantalla de los datos en Origin 8 , de los resultados experimentales de los cuatro materiales expuestos a ciclos OSL, cada material presenta distintas intensidades OSL donde se pueden apreciar los picos de la luminosidad emitida y como está va decayendo conforme va pasando el tiempo.

	A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)
Long Name	Tiempo [s]	Intensidad OSL [Intensidad OSL [Intensidad OSL [Intensidad OSL [
Units					
Comments		5 Gy	10 Gy	15 Gy	20 Gy
1	1	34	30	26	41
2	2	14	10	23	49
3	3	23	32	28	24
4	4	10	48	15	40
5	5	20	23	19	23
6	6	28	36	14	19
7	7	26	17	25	33
8	8	30	55	26	26
9	9	24	27	25	34
10	10	23	27	12	30
11	11	34	25	17	24
12	12	21	15	35	29
13	13	20	21	32	42
14	14	20	23	40	26
15	15	18	31	28	44
16	16	39	16	42	32
17	17	27	13	30	73
18	18	17	27	31	45
19	19	14	27	20	23

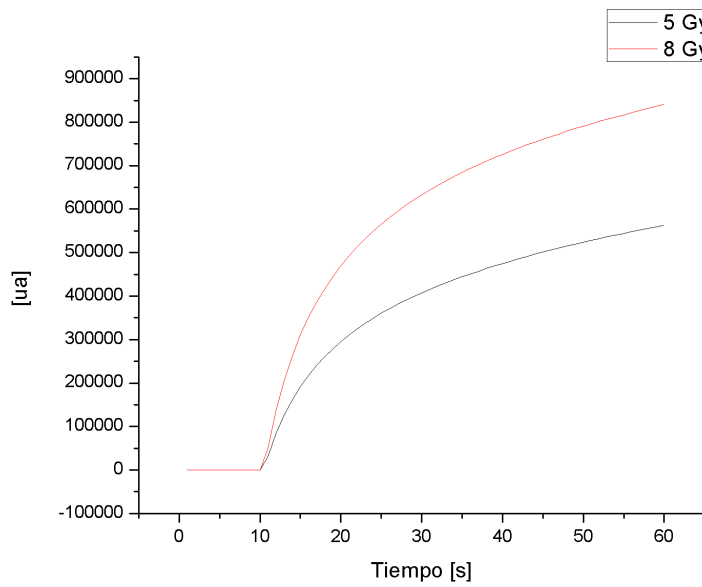
Poliminerales Camaron / Minerales sal mar muerto / Ca2P2O7.Ce / KMgF3:Tm-0.5 /

Figura 3.10: Materiales Analizados

3.7.1 $Ca_2P_2O_7 : Ce$



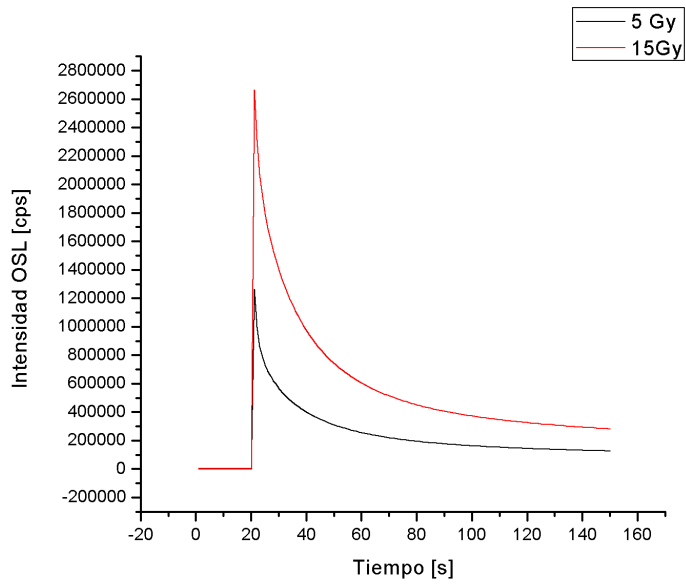
(a) Curva respuesta OSL



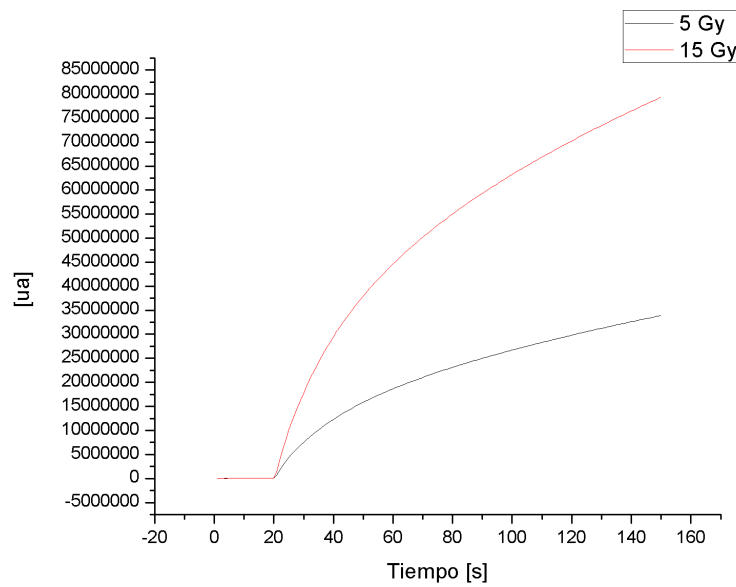
(b) Integración de la curva de respuesta OSL

Figura 3.11: Curvas de $Ca_2P_2O_7 : Ce$

3.7.2 $KMgF_3 : Tm - 0.5$



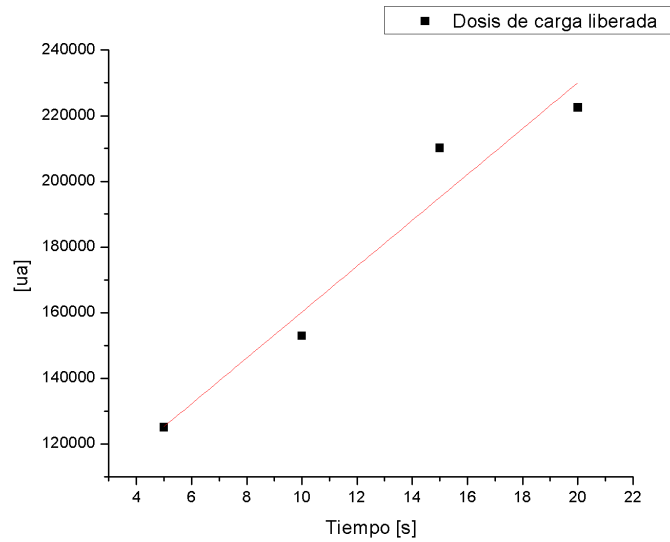
(a) Curva respuesta OSL



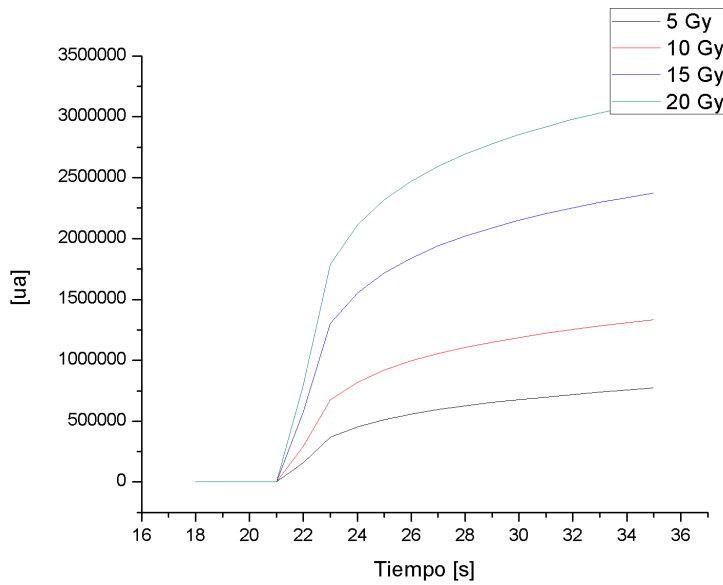
(b) Integración de la curva de respuesta OSL

Figura 3.12: Curvas de $KMgF_3 : Tm - 0.5$

3.7.3 Minerales de sal del mar muerto



(a) Curva respuesta OSL



(b) Integración de la curva de respuesta OSL

Figura 3.13: Curvas de minerales de sal del mar muerto

Linealidad de curvas

Dentro del análisis de resultados, como se ha visto anteriormente, se pueden obtener las respuestas OSL y las curvas de dosis absorbidas, sin embargo también se puede graficar la linealidad o pendiente de la curva de la carga integrada de la señal, obteniendo la carga liberada de señal (Figura 3.14), lo cual da una idea de que tan constante es la absorción de luminosidad por parte de los distintos materiales irradiados.

Se puede observar que para la curva examinada, con el incremento de la dosis, hubo un incremento en la amplitud de la señal y por tanto en tiempo, se puede observar una relación lineal en determinado grado. Los puntos no coinciden perfectamente con la recta pendiente, por lo que existe cierto margen de error, se calcula al sacar la raíz cuadrada del valor (Cuadro 3.1).

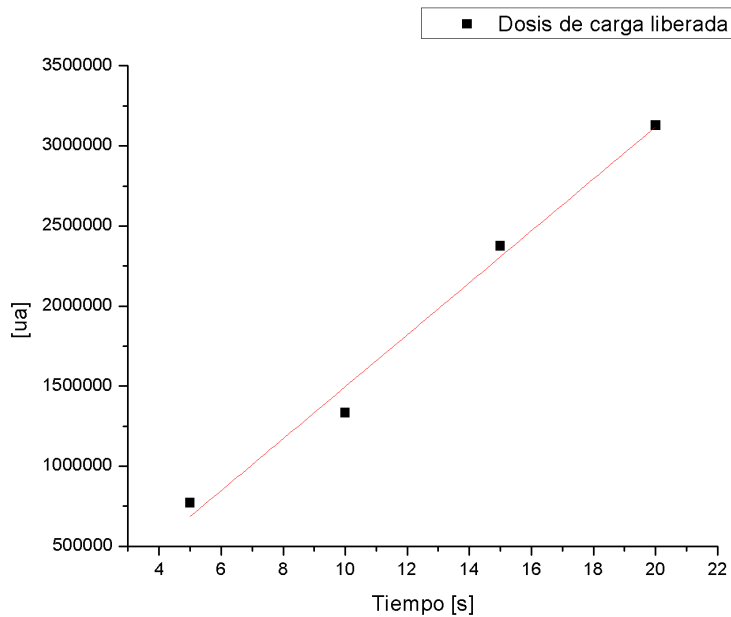
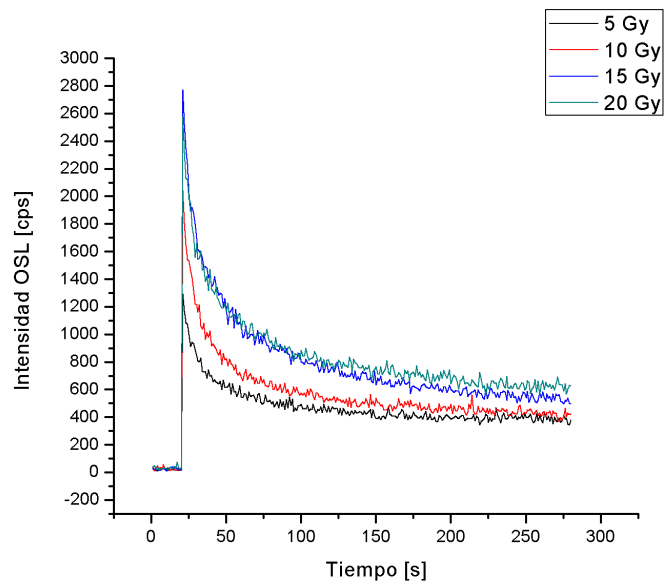


Figura 3.14: Dosis de carga liberada de sal del mar muerto

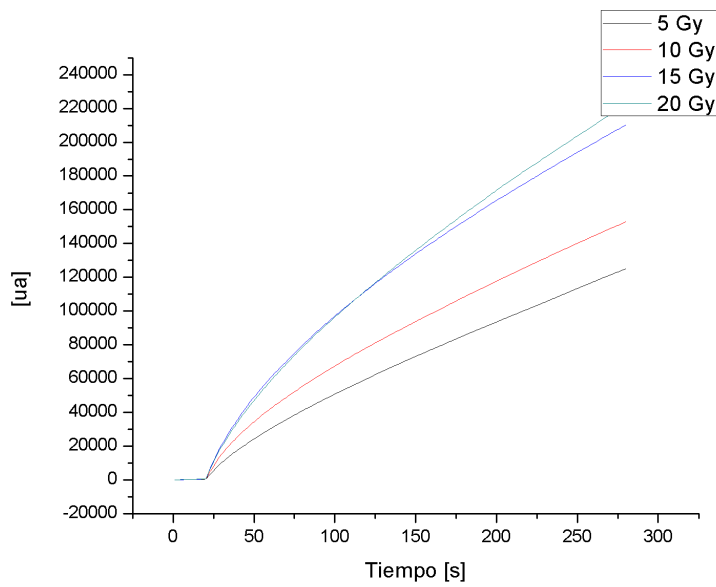
DOSIS (Gy)	UNIDADES ARBITRARIAS	ERROR
5	771462	878.32
10	1333200000	36513.01
15	2374610000	48729.97
20	3129020000	55937.64

Cuadro 3.1: Margen de error de dosis lineal de carga liberada

3.7.4 Poliminerales de camarón



(a) Curva respuesta OSL



(b) Integración de la curva de respuesta OSL

Figura 3.15: Curvas de Poliminerales de camarón

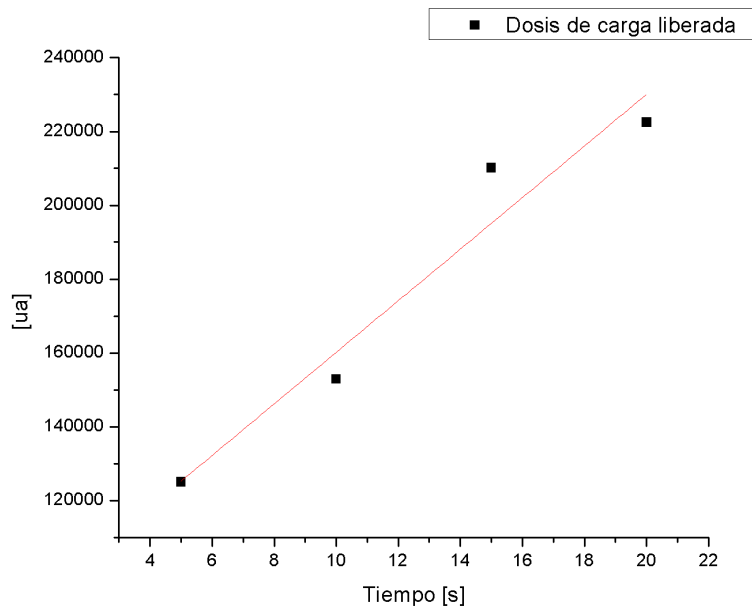


Figura 3.16: Dosis de carga liberada de poliminerales

DOSIS (GY)	UNIDADES ARBITRARIAS	ERROR
5	125053.5	353.62
10	152884	391.00
15	210160.5	458.43
20	222528.5	471.72

Cuadro 3.2: Margen de error de dosis lineal de carga liberada

Capítulo 4

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 DISCUSIÓN

El dispositivo mecatrónico OSL se basó en la metodología para diseñar un sistema mecatrónico, la cual es concurrente y consiste en diseñar al mismo tiempo los sistemas mecánicos, electrónicos y de control, esto permite desarrollar un prototipo integrado.

Se logró automatizar los ciclos OSL, esto permite hacer repetitivas mediciones de materiales a voluntad, irradiarlos, estimularlos y leerlos con precisión.

En el presente capítulo primero se realiza una discusión sobre los hechos realizados para lograr un control de posicionamiento, irradiación, estimulación, lectura y resultados obtenidos.

Después se realiza una comparación del dispositivo mecatrónico OSL contra el Risø TL/OSL modelo DA-20, el costo de desarrollo y el trabajo futuro. Finalmente se exponen las conclusiones del presente trabajo.

POSICIONAMIENTO

Uno de los principales retos fue lograr un preciso control de posición del plato giratorio, lograr que el sistema pudiera calcular dependiendo de la ubicación actual, cual sería la posición futura y los grados de circunferencia que necesitaría desplazarse, teniendo en cuenta que al ser doce posiciones en las que se divide la circunferencia del plato giratorio se tiene una resolución angular de 30 grados.

Otro punto importante fue garantizar que después de girar mucho tiempo y en distintas posiciones, el plato regresa a la misma posición de inicio con un margen de error menor a un milímetro, teniendo una precisión entre cada paso del motor de 0.1125 grados. Para lograr esto se propusieron distintas configuraciones de sensores y motores:

- Un sistema de posicionamiento con un motor a pasos y transmisión de movimiento con engranes.

- Un servomotor sin su electrónica de control con transmisión directa, con un sensor de efecto hall, luego un encoder óptico de cuatro sensores.

Al final se optó por el motor Nema 17, una transmisión directa y un sensor de posición infrarrojo para realizar este trabajo, ya que experimentalmente dieron mejores resultados en el control y precisión, que las dos configuraciones anteriores.

IRRADIACIÓN, ESTIMULACIÓN Y LECTURA

Para realizar la irradiación de los diferentes materiales analizados como los poliminerales de alimentos, se logró con el dispositivo irradiador desarrollado, también se expusieron muestras de prueba con un dispositivo irradiador que se encuentra en el Instituto de Ciencias Nucleares.

La estimulación con el láser se simplificó mucho al tener una entrada compatible TTL el controlador del mismo, ya que esto lo consiguió conectar directamente con la electrónica de control del dispositivo.

La lectura fue un reto importante, la tarea de integrar el controlador del CT2 en el programa principal fue complicada, al final se logró realizar exitosamente, lo que permite obtener gráficas precisas de las mediciones.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las lecturas OSL, se almacenan en archivos de texto plano, estos datos permiten generar las gráficas para tener una idea visual de las mediciones.

Esto demostró que las curvas OSL adquiridas con el dispositivo mecatrónico OSL, son similares a las obtenidas por el sistema Risø TL/OSL modelo DA-20, las curvas están en el rango que nos interesa y muestran un pico inicial de emisión lumínica de emisión OSL, la cual se va decrementando con el paso del tiempo.

Las gráficas obtenidas comprueban que el dispositivo OSL es confiable y preciso, ya que se tienen dosis cuantificables de radiación en diversos materiales analizados.

4.1.1 DISPOSITIVO MECATRÓNICO OSL VS RISØ

El sistema comercial Risø TL/OSL modelo DA-20 es la opción comercial más usada en centros de investigación, para el estudio de la luminiscencia térmicamente estimulada (TL) y luminiscencia ópticamente estimulada (OSL). Este sistema implementa ciertas características que lo hacen ser la opción más completa, profesional y usada en la investigación en el área de la dosimetría. Como se aprecia en la (Figura 4.1) este sistema tiene dos componentes principales, a) el plato giratorio que tiene el PMT, y b) el controlador e interface con la computadora.

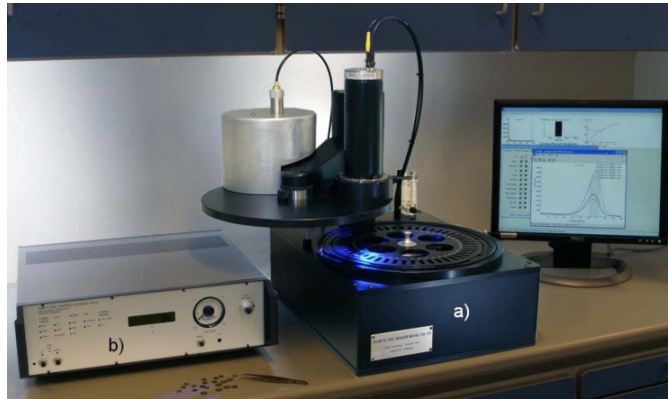


Figura 4.1: Sistema Risø

En el (Cuadro 4.1) se puede apreciar las principales diferencias entre el sistema Risø TL/OSL modelo DA-20 y el dispositivo mecatrónico OSL elaborado en la presente tesis.

CARACTERÍSTICAS	SISTEMA MECATRÓNICO OSL	SISTEMA RISØ
Portátil	No	No
Número de muestras	12	48
TL/OSL	Solo OSL	TL/OSL
Controlador	Desarrollo propio	Basado en una PC 586
Interfaz	RS-232/USB	RS-232/USB
Sistema de Nitrógeno	No	Si
Sistema Vacío	No	Si
Costo aproximado	\$176,000 Mxn	\$2,950,000 Mxn

Cuadro 4.1: Sistema mecatrónico OSL vs sistema Risø

4.1.2 COSTOS DE DESARROLLO

En el (Cuadro 4.2) se aprecia, un resumen aproximado de los costos de desarrollo involucrados en el dispositivo mecatrónico OSL.

El costo de las estructuras de soporte inferior y superior son estimadas de acuerdo al trabajo elaborado de maquinado realizado y costo del aluminio.

La fuente de irradiación es la parte más costosa, el driver se complementa con los filtros y el CT2 con el PMT.

Finalmente los motores y electrónica de control.

COMPONENTES	COSTO (Mxn)
Estructura soporte inferior	\$10,000
Estructura soporte superior	\$10,000
Fuente Irradiación	\$100,000
Driver Láser + Filtros	\$20,000
CT2 + PMT	\$30,000
Motores	\$1,000
Electrónica	\$1,000
DAQ+LabVIEW	\$4,000
Total	\$176,000

Cuadro 4.2: Costos del sistema OSL

4.1.3 TRABAJO FUTURO

Existe demanda inmediata para desarrollar dispositivos mecatrónicos en el campo de la dosimetría, como los dos ejemplos que a continuación se mencionan.

Dentro del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM (ICN), existe la necesidad de hacer un dispositivo irradiador portátil, pequeño y liviano, que pueda ser transportado de una manera muy práctica. Se necesita que tenga un sistema de control digital automático, para controlar el tiempo de irradiación a materiales. Este proyecto podría ser un proyecto que logre financiación, una tesis para algún estudiante de física o de alguna ingeniería afín.

En la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas (FCFM) de la BUAP en el área de física médica se requiere construir un dispositivo muy similar al dispositivo mecatrónico OSL construido. Sin embargo se contemplan distintas características que tendría que llevar, se aprecian en el (Cuadro 4.3).

El principal reto de construir una versión futura de este dispositivo al utilizar otra plataforma, sin usar LabVIEW, radica en que se tendría que hacer ingeniería inversa para lograr comunicación y adquisición de datos con el CT2, ya que solo se dispone de un controlador Windows.

La parte de control de posición y control de irradiación no tiene mayor reto que el presentado en el dispositivo mecatrónico OSL actual.

La principal ventaja, lograr un dispositivo totalmente compacto y muy fácil de transportar.

CARACTERÍSTICAS	DISPOSITIVO ACTUAL	VERSIÓN FUTURA
Portátil	No	Si
Plataforma	Intel x86	ARM
Computadora	PC	Raspberry PI
Sistema Operativo	Windows XP	GNU/Linux
Interfaz	Teclado/Mouse	Smartphone/Tablet
Software Control	LabVIEW	C++/Python

Cuadro 4.3: Comparativa versiones

4.2 CONCLUSIONES

La mecatrónica es un área del conocimiento relativamente nueva (1970) si la comparamos con otras como la ingeniería mecánica. Su importancia y nivel de integración en la vida moderna es crucial, ya que está presente en prácticamente todas las actividades económicas, desde explotación de materias primas, manufactura y servicios.

El diseño de sistemas, permite ver el todo en sus piezas individuales, las entradas y salidas que necesita para funcionar, lo que nos permite evaluar y seleccionar las mejores opciones para resolver el problema dado.

La sensación de crear un dispositivo mecatrónico, al ver que después de todo el diseño y construcción obtiene los resultados esperados y correctos, es muy satisfactoria para alguien a quien le apasiona las máquinas y la programación.

El desarrollo e implementación de este prototipo mecatrónico OSL es la culminación de más de dos años continuos de investigación, esfuerzo y de trabajo, así como de un par de años más en la implementación y pruebas.

En el desarrollo de un dispositivo mecatrónico, la logística juega un papel primordial, en el diseño y sobretodo en la ejecución del proyecto. Ya que permite optimizar los recursos, costos, adquirir materiales. Todo esto implica ahorro de tiempo y dinero.

En definitiva realizar una tesis de licenciatura es una experiencia, que por lo menos se debe hacer una vez en la vida. Cambia la mentalidad de tal manera, que permite estructurar mejor las ideas, conlleva a un pensamiento más analítico, se logra mejorar las habilidades de comunicación escritas, y puede ser la inspiración a seguir realizando trabajos de investigación futuros en algún posgrado en la misma rama del conocimiento.

Se demostró que el dispositivo mecatrónico OSL construido, genera curvas OSL de materiales irradiados que corresponden a el mismo de tipo de curvas adquiridas por dispositivos OSL comerciales como el mencionado Risø TL/OSL modelo DA-20. Por lo tanto se cumplió el objetivo de investigación, al desarrollar un dispositivo capaz de automatizar ciclos de irradiación, estimulación y lectura, para poder efectuar la correcta medición de materiales ópticamente estimulados.

En la sección (4.1.1 DISPOSITIVO MECATRÓNICO OSL VS RISØ) y (4.1.2 COSTOS DE DESARROLLO), se mencionan los costos y comparativas en los sistemas, demostrando que el dispositivo mecatrónico OSL se desarrolló con un costo muy inferior al sistema Risø TL/OSL, demostrando con esto que también se cumplió el objetivo del costo menor económico.

REFERENCIAS

ARTÍCULOS

- [1] Andisco, D., Blanco, S., and Buzzi, A. (2014). Dosimetría en radiología. *RAR Revista Argentina de Radiología*. Vol 78, Núm 2. Páginas 114-117.
- [2] Araujo, M., Magaly, S., Torres, R., and Julio, P. (2002). Radiaciones ionizantes y efectos sobre la materia. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*. Núm 12, Julio. Páginas 31-39.
- [3] Cabriales G., R. C. (2004). Luminiscencia en polímeros semiconductores. *Ingenierías No. 23*. Vol VII. Abril-Junio.
- [4] CNSC, C. N. S. C. (2012). Introduction to dosimetry. *Canada's Nuclear Regulator*. [Introducción a la dosimetría.] Febrero, Páginas 1-38.
- [5] J.L. Genicot, M.Moyaers, W. S. (2011). Description of a portable devices developed at sck.cen for osl and tl dosimetry. *Radiation Measurements*. [Descripción de dispositivos portátiles desarrollados en SCK.CEN para Dosimetría TL y OSL]. Núm 46, Páginas 1578-1581.
- [6] Mercado, U. H. (2007). La física de las radiaciones y la dosimetría. *Revista Cinvestav*. Núm 38. Páginas 38-43.
- [7] R.Meléndrez, Amavizca, and Barboza-Flores, M. (2002). Dosimetría termoluminiscente y de luminiscencia ópticamente estimulada de películas de diamante crecidas por la técnica de dvq expuestas a radiación beta. *Centro de Investigación en Física, Universidad de Sonora, A*. Páginas 5-88.

LIBROS

- [8] Alciatore, D. G., Hestand, M. B., Cedeño, S. C., and Olguín, V. C. (2008). *Introducción a la mecatrónica y los sistemas de medición*. Editorial Mc Graw Hill. Tercera edición.
- [9] Bolton, W. (2001). *Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. Editorial Marcombo. Cuarta edición.
- [10] Bolton, W. (2006). *Ingeniería de control*. Alfaomega. Segunda edición.
- [11] Bøtter-Jensen, L., McKeever, S. W., and Wintle, A. G. (2003). *Optically Stimulated luminescence Dosimetry*. [Dosimetría de luminiscencia ópticamente estimulada]. Editorial Elsevier. Primera edición.
- [12] Cetinkunt, S. (2007). *Mecatrónica*. Grupo Editorial Patria. Primera edición.
- [13] González, G. and Rabin, C. (2011). *Para entender las radiaciones. Energía nuclear, medicina, industria*. DIRAC.
- [14] Kalpakjian, S. and Schmid, S. R. (2008). *Manufactura, Ingeniería y tecnología*. Pearson. Quinta edición.
- [15] Lawrence, P. S. (2002). *Ingeniería de software, teoría y práctica*. Editorial Prentice Hall. Primera edición.
- [16] Mamlouk, M. and Zaniewski, J. (2009). *Materiales para ingeniería civil*. Pearson Educación. Segunda edición.
- [17] Mann, W. B. (1968). *Radiactividad y su medida*. México : Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el desarrollo Internacional. Primera edición.
- [18] Naeem Ahmed, S. (2007). *Physics and Engineering of Radiation Detection*. [Física e ingeniería de detección de la radiación]. Editorial Elsevier. Primera edición.
- [19] Schmelkes, C. and Schmelkes, N. (2010). *Manual para la presentación de anteproyectos e informes de investigación: (Tesis)*. Editorial Oxford University Press. Tercera edición.
- [20] Shigley, J. and Charles, R. M. (2002). *Diseño en ingeniería mecánica*. Editorial Mc Graw Hill. Novena edición.
- [21] Tsoulfanidis, N. and Landsberger, S. (2011). *Measurement and Detection of Radiation*. [Medición y detección de la radiación]. CRC press. Tercera edición.

Ápndice A - Códigos de microcontroladores en lenguaje C

```
#INCLUDE <16f628a.h> // Librerias PIC16f628a
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP // Configura los fuses
#use delay (clock=4000000) // Oscilador a 4Mhz
#use fast_io(a) // Optimizamos E/S del PORTA
#use fast_io(b) // Optimizamos E/S del PORTB
#byte port_a=0x05
#byte port_b=0x06
unsigned long t=10, periodo=20; // Variables
int dato;
void main()
{ set_tris_a(0x0f); // PORTA como entrada
  set_tris_b(0x00); // PORTB como salida
  port_a=0x00;
  port_b=0x00;
  do{ port_b=0x01; delay_ms(500);

      switch(dato=port_a) // Ciclo de lectura de bit
      { case 1: // Derecha
        port_b=0x01;
        break;

        case 2: // Izquierda
        port_b=0x02;
        break;

        case 4: // Derecha Despacio
        port_b=0x01;
        delay_ms(10);
        port_b=0x00;
        delay_ms(10);
        break;

        case 8: // Izquierda Despacio
        port_b=0x02;
        delay_ms(10);
        port_b=0x00;
        delay_ms(10);
        break;

        default: port_b=0x00;
      }

  } while(1);
}
```

Figura 4.2: Código C del Pic16f628a

```

#include <16f877a.h> // Libreria de registros
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP // Configuramos los fuses
#use delay (clock=4000000) // Oscilador a 4Mhz
#use fast_io(a) // Optimizamos E/S del PORTB
#use fast_io(b)
#use fast_io(c)
#use fast_io(d)
#use fast_io(e)
#byte port_a=0x05
#byte port_b=0x06
#byte port_c=0x07
#byte port_d=0x08
#byte port_e=0x09
#BIT led = 0x05.0
#BIT servo = 0x05.1
#BIT shutter = 0x05.2
#BIT sensor = 0x05.3
#BIT motor_micropaso = 0x07.1 // paso_c1
#BIT motor_direccion = 0x07.2 // direccion_c2
#include <nema17.h>
long int TablaPos[13]={0,133,267,400,533,667,800,933,1067,1200,1333,1467,1600};
long int i,j,k,n,time,duty;
void home();
int pos_servo(long int angulo);
int pos_clock(long int pos);
int pos_anticlock(long int pos2);
void main() {
set_tris_a(0x08);
set_tris_c(0x80);
set_tris_b(0xff);
set_tris_d(0x00);
port_a=0x00;
port_b=0x00;
port_c=0x00;
port_d=0x00;
port_e=0xff;
shutter=0;
servo=0;
led=1;
do{
switch(port_b){
case 21: port_d=0<<4; break;
case 1: led=0; pos_clock(TablaPos[1]); delay_ms(90); port_d=1<<4; break;
case 2: led=0; pos_clock(TablaPos[2]); delay_ms(90); port_d=2<<4; break;
case 3: led=0; pos_clock(TablaPos[3]); delay_ms(90); port_d=3<<4; break;
case 4: led=0; pos_clock(TablaPos[4]); delay_ms(90); port_d=4<<4; break;
case 5: led=0; pos_clock(TablaPos[5]); delay_ms(90); port_d=5<<4; break;
case 6: led=0; pos_clock(TablaPos[6]); delay_ms(90); port_d=6<<4; break;
case 7: led=0; pos_clock(TablaPos[7]); delay_ms(90); port_d=7<<4; break;
case 8: led=0; pos_clock(TablaPos[8]); delay_ms(90); port_d=8<<4; break;
case 9: led=0; pos_clock(TablaPos[9]); delay_ms(90); port_d=9<<4; break;
case 100: led=0; pos_clock(TablaPos[10]); delay_ms(90); port_d=10<<4; break;
case 110: led=0; pos_clock(TablaPos[11]); delay_ms(90); port_d=11<<4; break;
case 12: led=0; home(); delay_ms(90); port_d=12<<4; break;
case 10: led=0; pos_anticlock(TablaPos[1]); delay_ms(90); port_d=1<<4; break;
case 20: led=0; pos_anticlock(TablaPos[2]); delay_ms(90); port_d=2<<4; break;
case 30: led=0; pos_anticlock(TablaPos[3]); delay_ms(90); port_d=3<<4; break;
case 40: led=0; pos_anticlock(TablaPos[4]); delay_ms(90); port_d=4<<4; break;
case 50: led=0; pos_anticlock(TablaPos[5]); delay_ms(90); port_d=5<<4; break;
case 60: led=0; pos_anticlock(TablaPos[6]); delay_ms(90); port_d=6<<4; break;
case 70: led=0; pos_anticlock(TablaPos[7]); delay_ms(90); port_d=7<<4; break;
case 80: led=0; pos_anticlock(TablaPos[8]); delay_ms(90); port_d=8<<4; break;
case 90: led=0; pos_anticlock(TablaPos[9]); delay_ms(90); port_d=9<<4; break;
case 101: led=0; pos_anticlock(TablaPos[10]); delay_ms(90); port_d=10<<4; break;
case 111: led=0; pos_anticlock(TablaPos[11]); delay_ms(90); port_d=11<<4; break;
case 13: pos_servo(600); port_d=13<<4; break; // Abrir puerta
case 14: pos_servo(1450); port_d=14<<4; break; // Cerrar puerta
case 15: pos_servo(2200); port_d=15<<4; break; // Servo
case 16: shutter=1; port_d=16<<4; break; // Shutter On
case 17: shutter=0; port_d=17<<4; break; // Shutter Off
default:
motor_micropaso=0;
if(bit_test(port_e,0)==1||bit_test(port_e,1)==1){ led=0;}
else led=1;
}
}while(1);
}

```

Figura 4.3: Código C del Pic16f877a

```

//-----/
void home(){
  led=0;
  while(bit_test(port_a,3)==0){
    motor_direccion=0; //----- Si 0 clockwise , Si 1 anticlockwise ----->
    motor_micropaso=0; delay_ms(19);
    motor_micropaso=1; delay_ms(19);
  }
  if(bit_test(port_a,3)==1){
    led=1;
    motor_micropaso=0;
    delay_ms(1000);
  }
}
//-----/
int pos_clock(long int pos){
  j=pos;
  for(i=1;i<=j;i++){
    motor_direccion=0; //----- Si 0 clockwise , Si 1 anticlockwise ----->
    motor_micropaso=0; delay_ms(19);
    motor_micropaso=1; delay_ms(19);
  }
  motor_micropaso=0;
  delay_ms(1000);
  return 0;
}
//-----/
int pos_anticlock(long int pos2){
  j=pos2;
  for(i=1;i<=j;i++){
    motor_direccion=1; //----- Si 0 clockwise , Si 1 anticlockwise ----->
    motor_micropaso=0; delay_ms(19);
    motor_micropaso=1; delay_ms(19);
  }
  motor_micropaso=0;
  delay_ms(1000);
  return 0;
}
//-----/
int pos_servo(long int angulo){
  duty=20000; // Periodo PWM 60hz
  time=angulo;
  for(n=0;n<45;n++){
    servo=1;
    delay_us(time);
    servo=0;
    delay_us(duty-time);
  }
  return 0;
}
//-----/

```

Figura 4.4: Archivo de cabecera del Pic16f877a

Ápendice B - Diagramas electrónicos

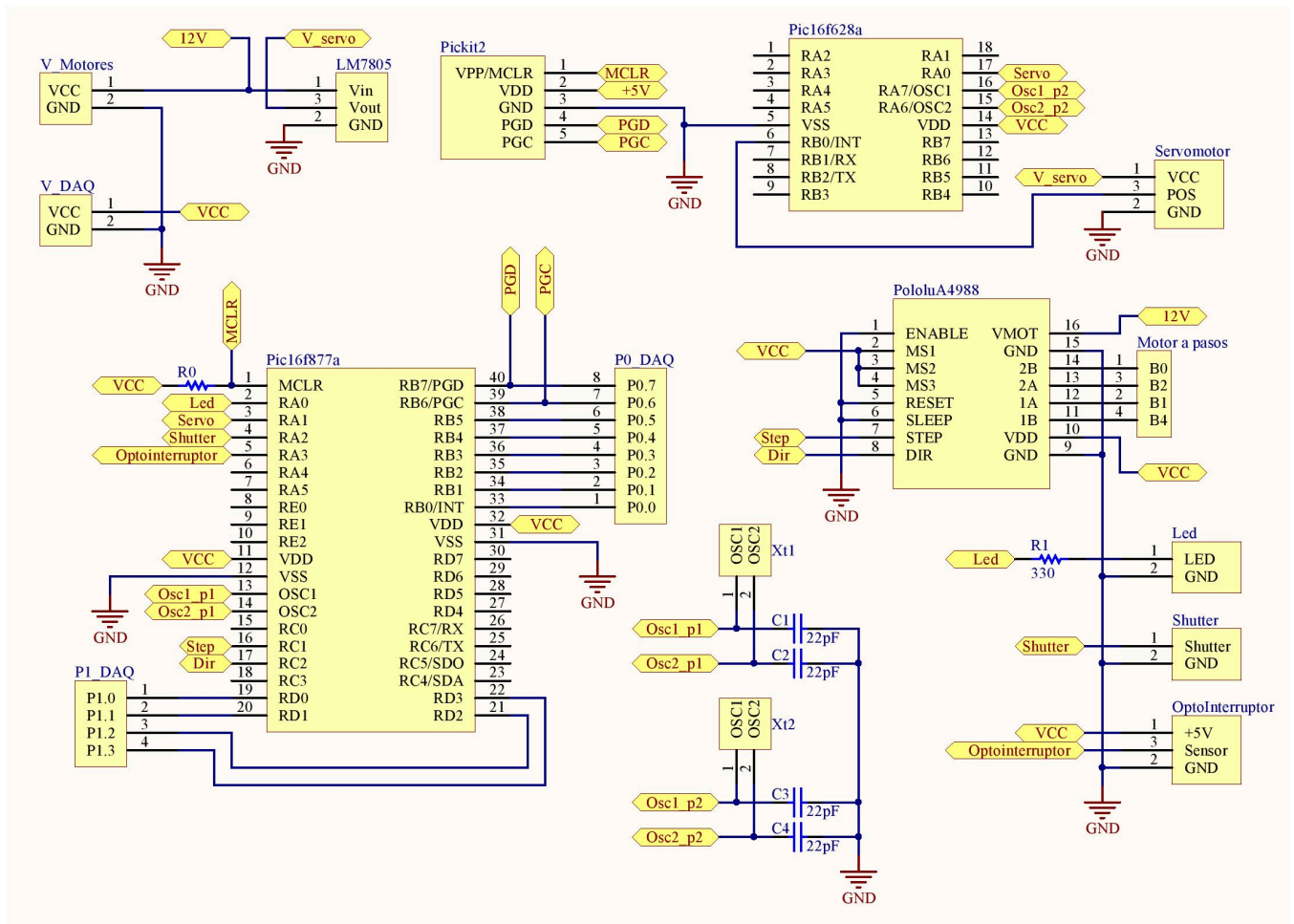


Figura 4.5: Diagrama esquemático

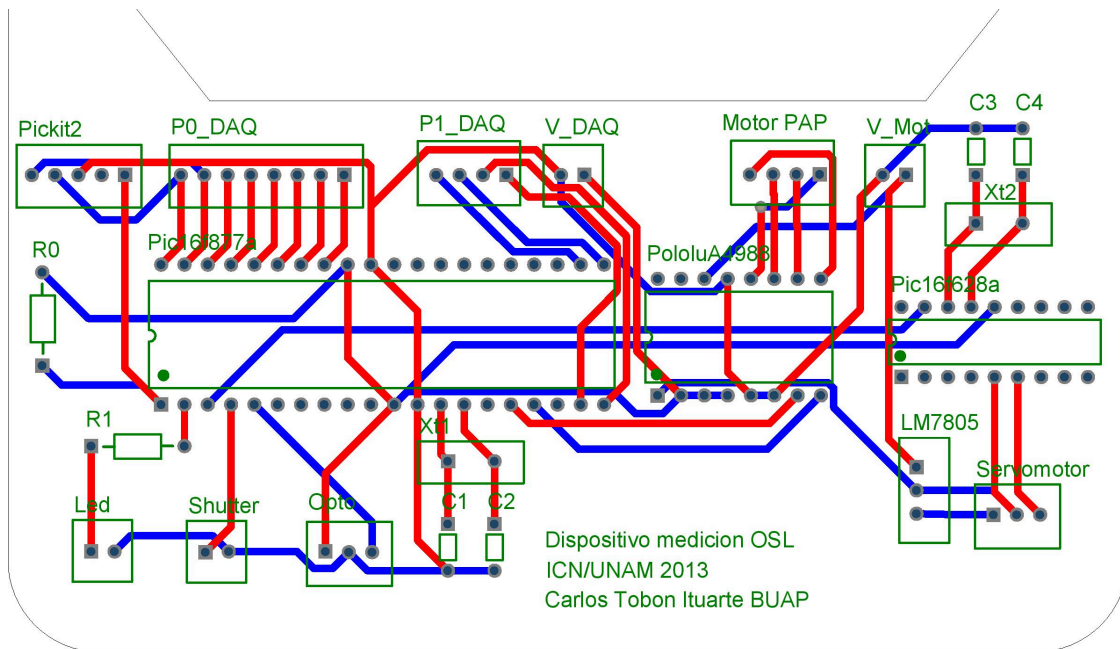


Figura 4.6: Diagrama ruteo

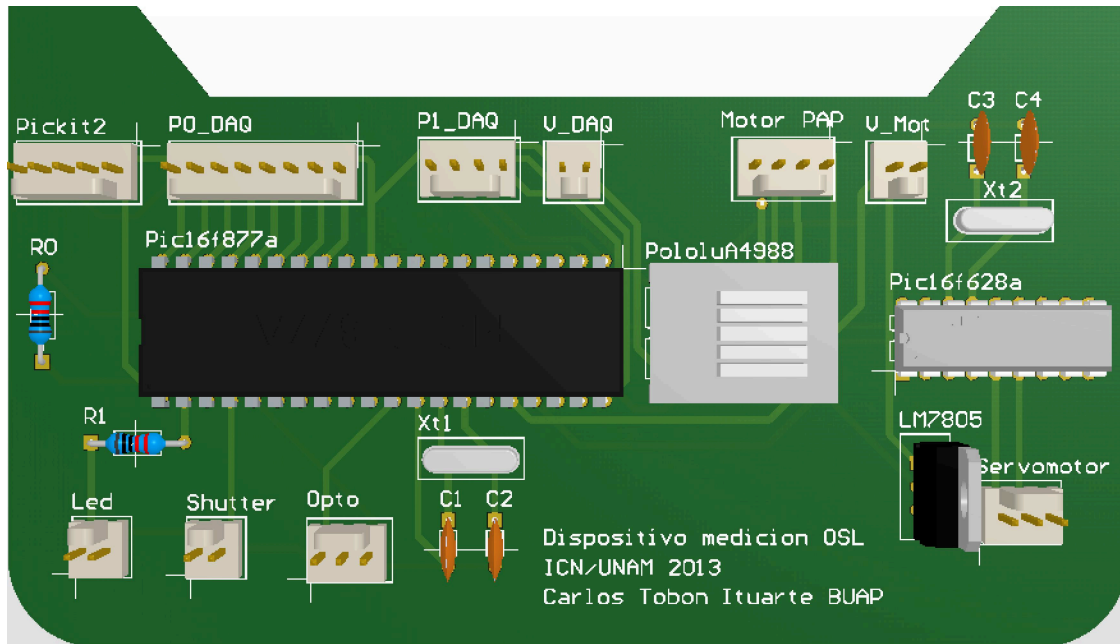


Figura 4.7: Imagen 3D del PCB

Ápndice C - Dibujos CAD

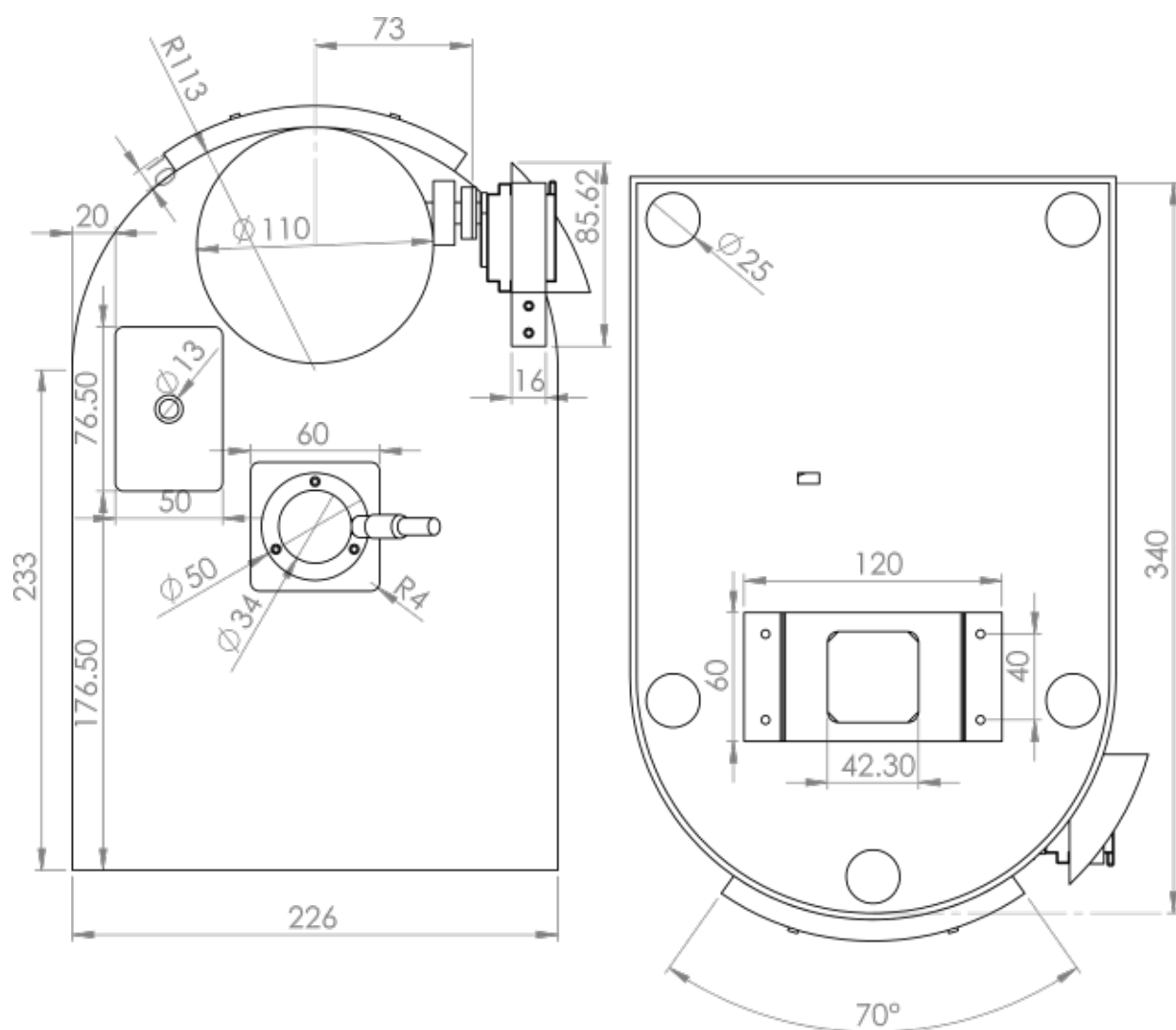
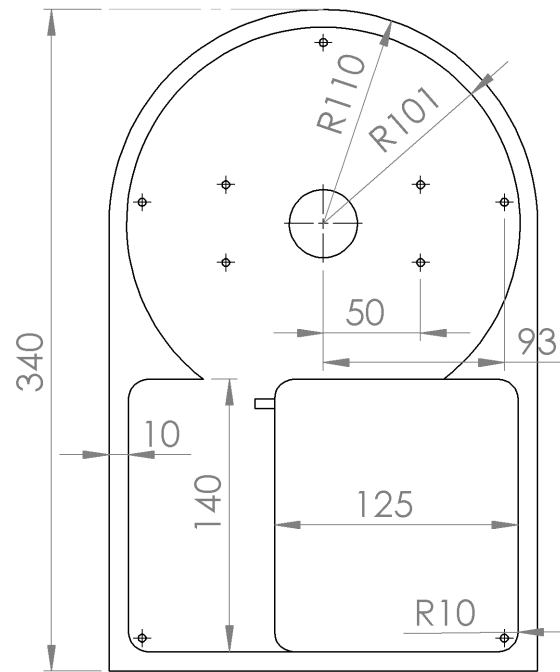
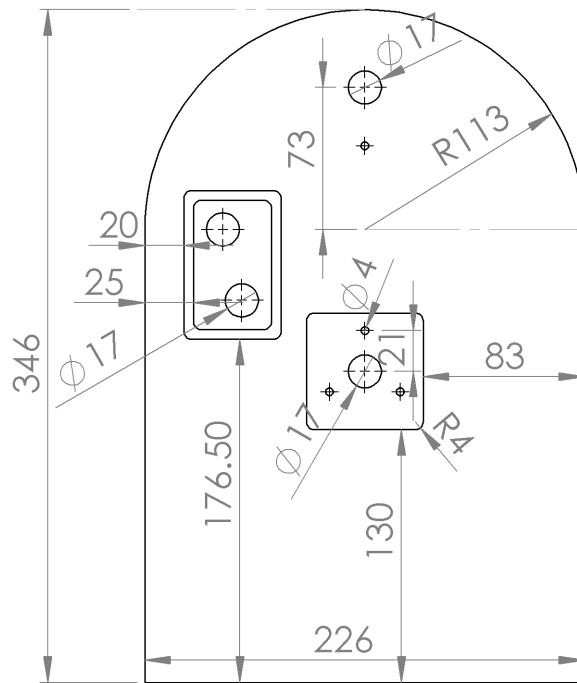


Figura 4.8: Vista superior e inferior de ensamble

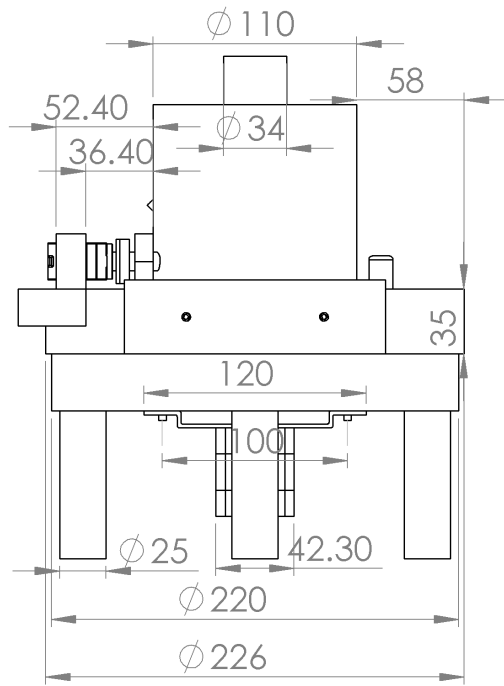


(a) Estructura de soporte inferior

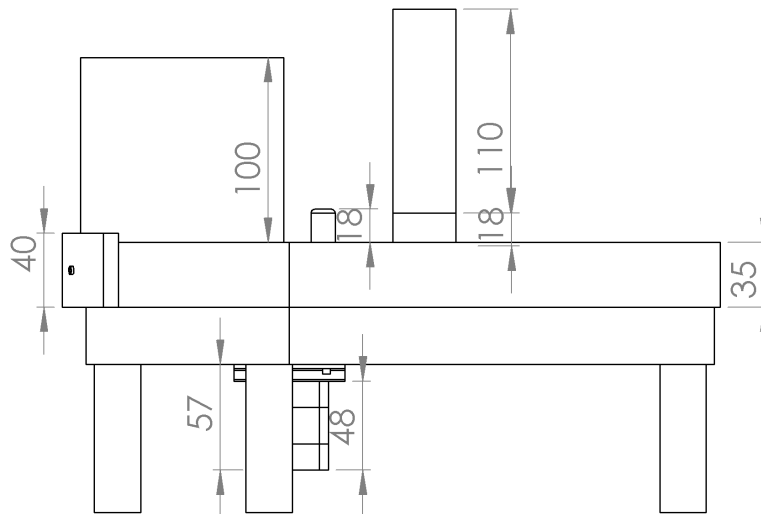


(b) Estructura soporte superior

Figura 4.9: Estructuras de soporte

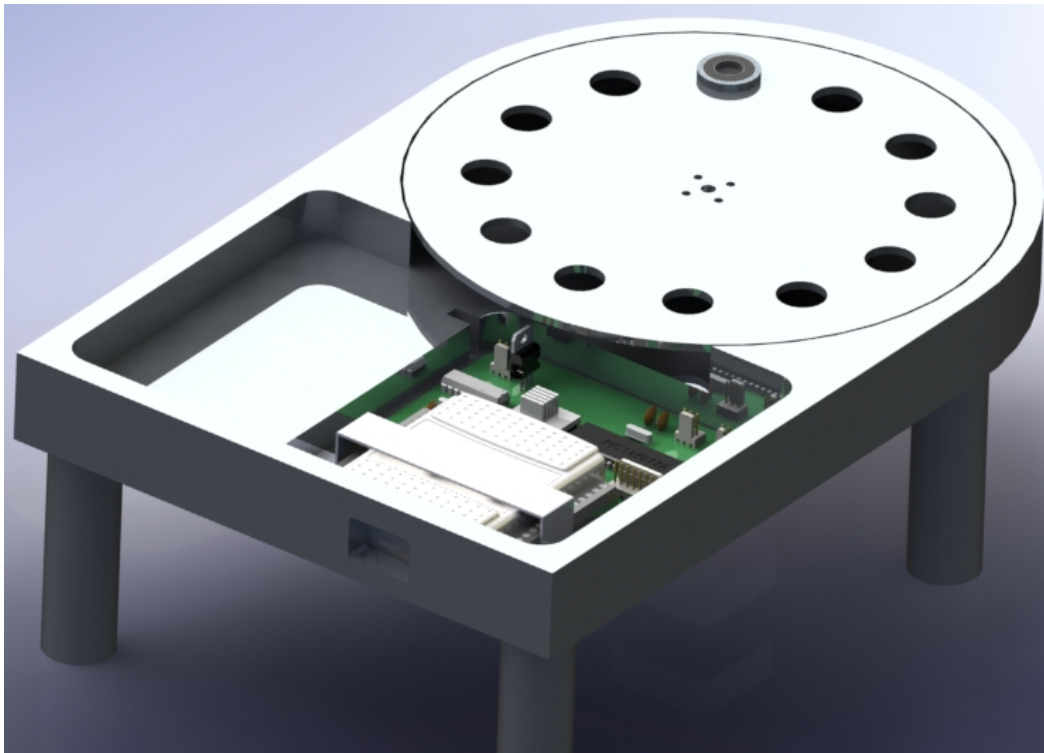


(a) Vista frontal

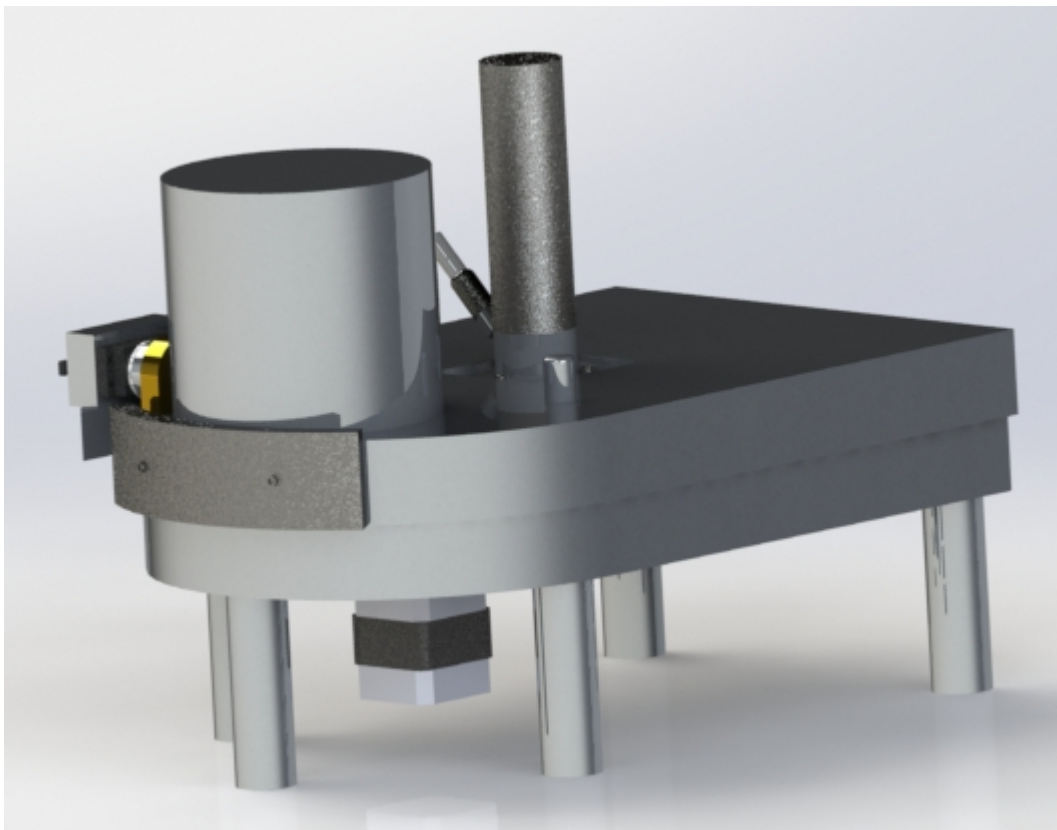


(b) Vista lateral

Figura 4.10: Vista frontal y lateral del ensamble



(a) Estructura de soporte inferior



(b) Ensamble final

Figura 4.11: Imágenes renderizadas del dispositivo mecatrónico OSL