



La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FUENTE LUMINOSA DESTINADA A LA PERTURBACIÓN PARA ANÁLISIS ESPECTRAL DE UN FLUOROSENSOR

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

MARIO SANTIAGO LÓPEZ FLORES

LUIS ANDRÉ MANZANO ORBE

DIRECTOR: DR. FAUSTO EDUARDO ÁVALOS CASCANTE

Quito, Julio 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, Luis André Manzano Orbe, y Mario Santiago López Flores, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Mario Santiago López Flores

Luis André Manzano Orbe

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Mario Santiago López Flores y Luis André Manzano Orbe, bajo mi supervisión.

Dr. Eduardo Ávalos
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A *Dios* por bendecirme con la vida y por siempre rodearme de personas maravillosas; por acompañarme en cada etapa de mi vida y permitirme estar finalizando ésta.

A mis padres *Mario y Elsita*, por su bendición diaria, por su labor abnegada en mi formación, por depositar su confianza incondicional en mí, por levantarme en mis momentos de quebrantamiento, y por ser mi constante motivación.

A mi hermano *Fernando*, que de una u otra manera me ha apoyado y alentado para continuar, por contagiarme de su alegría y mejorar mi estado de ánimo con sus ocurrencias.

A mis tías: *Carmita, Nashi y Nelly*, por su preocupación constante y sus oraciones elevadas por mi vida y mis proyectos.

A *Pame*, por ser tan importante en la obtención de esta meta, por acompañarme en la recta final y mostrarme ese rayo de luz que necesitaba en medio de la adversidad.

A todo el equipo del *Laboratorio de UAVs y Aplicaciones Ópticas*, y directamente a su responsable, el *Dr. Eduardo Ávalos*, por poner a nuestra disposición sus instalaciones y equipos para la realización del proyecto y brindarnos su ayuda y orientación en todo momento.

A *André*, mi compañero de tesis, que con su constancia y empeño hizo posible que alcancemos esta importante meta en nuestras vidas.

A la *Escuela Politécnica Nacional*, por sus profesores y los amigos que me ha dado, quienes han contribuido en mi formación personal y profesional.

Santiago López

AGRADECIMIENTO

A *Dios* por darme las fuerzas y la sabiduría necesaria para culminar con éxito este proyecto,

A *mis padres*, por el apoyo incondicional, por sus sabios consejos que han hecho de mí una mejor persona en todo sentido, por su confianza, amor y sacrificio durante todo el tiempo de estudio, pese a estar físicamente lejos.

A la *Escuela Politécnica Nacional*, la institución de la cual me siento orgulloso, por abrirme sus puertas para formarme como profesional.

A *mis maestros*, por ser mi guía e impartirme sus conocimientos con dedicación y esmero para poder alcanzar esta meta.

Al *Dr. Fausto Ávalos*, por confiarnos este proyecto y ser nuestro mentor en todo el tiempo de desarrollo del mismo.

Al *Ing. Oscar Sotomayor, Sr. Fabián Peñaloza, Sr. Miguel Sarmiento* por la colaboración en el desarrollo de las piezas mecánicas de nuestro proyecto.

A *Alexandra*, quien estuvo junto a mí en los buenos y malos momentos.

A mi compañero de tesis, *Santiago*, por su dedicación y constancia para culminar este proyecto de manera exitosa.

Luis Manzano

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi familia, Mario, Elsita y Fernando, como gratitud a todo su esfuerzo y buscar siempre lo mejor para mí. Los amo mucho.

Santiago López

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres **Luis** y **Sara**, por velar por mi bienestar y educación durante toda mi vida, sin dudar de mi capacidad y depositando en mí su entera confianza.

Luis Manzano

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ANEXOS	XV
RESUMEN	XVI
PRESENTACIÓN	XVII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. Componentes del sistema.....	2
1.2.1. Elementos electrónicos.....	2
1.2.2. Lentes y Óptica.....	7
1.3. Fluorescencia visible inducida con luz ultravioleta	13
1.1.2 Teoría de la absorción molecular.....	13
1.3.1. transiciones moleculares y fluorescencia	13
CAPÍTULO 2	15
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ÓPTICO.....	15
2.1. FUENTES LUMINOSAS EMPLEANDO LED UV	15
2.2. RADIOMETRÍA	17
2.2.1. DEFINICIONES BÁSICAS EN RADIOMETRÍA	18
2.2.2. LONGITUD DE ONDA	20
2.2.3. ÁNGULO DE RADIACIÓN.....	20
2.2.4. CARACTERÍSTICAS ELECTRO-ÓPTICAS DEL LED UVLUX 320-5 21	
2.3. PARÁMETROS ÓPTICOS Y DISEÑO DE LENTE	22
2.3.1. TAMAÑO DE LENTE CENTRAL (APERTURA)	22
2.3.2. IRRADIANCIA DEL SISTEMA	23
2.3.3. DISTANCIA Y PUNTO FOCAL.....	25
2.3.4. POTENCIA DE LENTE	27

2.3.5. RADIOS DE CURVATURA DEL LENTE	27
2.4. SIMULACIÓN.....	28
CAPÍTULO 3.....	31
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	31
3.1. COMPONENTES DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO	31
3.1.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y MECÁNICO.....	31
3.1.2. MICROCONTROLADOR.....	34
3.1.3. FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	43
3.1.4. PROTECCIONES.....	52
3.1.5. LED UV.....	58
3.1.6. DRIVER LED-UV	58
3.1.7. CONMUTACIÓN DEL LED UV.....	60
3.1.8. PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO ALFANUMÉRICO (LCD).....	64
3.1.9. DISEÑO DE LA PLACA SMD (ALTIUM DESIGNER).....	66
CAPÍTULO 4.....	71
4. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL	71
4.1. DESCRIPCIÓN	71
4.2. PROGRAMACIÓN Y FUNCIONAMIENTO	71
4.2.1. ENTRADAS Y SALIDAS AL MICROCONTROLADOR.....	71
4.2.2. PULSADORES	73
4.2.3. DISPLAY LCD	74
4.2.4. POTENCIÓMETRO	78
4.3. APLICACIÓN DE LA FUENTE DE LUZ CON UN ESPECTRÓMETRO... ..	82
4.4. DIAGRAMA DE FLUJO Y SIMULACIÓN	85
CAPÍTULO 5.....	89
5. PRUEBAS Y RESULTADOS	89
5.1. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA.....	89
5.1.1. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL DE FUENTE	89

5.1.2.	DIAGRAMA DEL SISTEMA ÓPTICO	92
5.1.3.	DIAGRAMA DEL SISTEMA COMPLETO.....	93
5.2.	TIEMPO DE AUTONOMÍA DEL SISTEMA	94
5.2.1.	PRUEBA DE DESCARGA DE BATERÍA.....	94
5.2.2.	MEDICIÓN DE NIVEL DE BATERÍA	96
5.3.	PRUEBA DE FUENTE PULSADA CON FRECUENCIA AJUSTABLE	98
5.4.	ESPECTRO DE LA FUENTE LUMINOSA	100
5.4.1.	ESPECTRO ADQUIRIDO DE UN ESPECTRÓMETRO	100
5.4.2.	OTRAS FUENTES DE LUZ UV	102
5.5.	PRUEBAS CON MATERIALES FLUORESCENTES	104
CAPÍTULO 6	110
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
6.1.	CONCLUSIONES.....	110
6.2.	RECOMENDACIONES	112
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. BANDAS DE ENERGÍA EN AISLANTES, CONDUCTORES Y SEMICONDUCTORES [5].	4
FIGURA 1.2. GENERACIÓN DE LUZ EN UN LED [6].	5
FIGURA 1.3. PARTES DE UN DIODO LED NORMAL [6].	6
FIGURA 1.4. PARTES DE UN LED-UV. TOMADO Y EDITADO DE [6].	7
FIGURA 1.5. REFLEXIÓN DE LA LUZ, RAYO DE LUZ QUE INCIDE SOBRE SUPERFICIE REFLECTANTE Y RAYO REFLEJADO [8].	9
FIGURA 1.6. TIPOS DE LENTES ÓPTICOS. TOMADO Y EDITADO DE [9].	10
FIGURA 1.7. A) LENTES DIVERGENTES, B) LENTES CONVERGENTES. TOMADO Y EDITADO DE [9].	11
FIGURA 2.1. IRRADIANCIA DE LED UV EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA.	20
FIGURA 2.2. POTENCIA RADIANTE CON ÁNGULO DE RADIACIÓN DEL LED UVLUX 320-5.	
ANEXO A.	21
FIGURA 2.3. ÁNGULO SÓLIDO SUBTENDIDO POR UNALENTE DESDE SU FOCO. [13].	22
FIGURA 2.4. RAYOS DE LUZ ATRAVESANDO UNLENTE DIVERGENTE (BICONVEXO). [9].	26
FIGURA 2.5. PARÁMETROS PARA CONFIGURACIÓN DELENTE.	29
FIGURA 2.6. CONFIGURACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE LUMINOSA.	30
FIGURA 2.7. RESULTADO DE SIMULACIÓN EN SOFTWARE OPTICAL RAY TRACER.	30
FIGURA 3.1. PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO.	31
FIGURA 3.2. MUESTREO DE UNA SEÑAL ANALÓGICA. [16].	36
FIGURA 3.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN CONVERSION ANÁLOGO DIGITAL.	36
FIGURA 3.4. PROCESO DE CONVERSIÓN. [17].	38
FIGURA 3.5. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL CONVERSION A/D. [17].	39
FIGURA 3.6. ERROR DE DESPLAZAMIENTO (OFFSET). [17].	40
FIGURA 3.7. ARQUITECTURA DEL CONVERSION POR APROXIMACIONES SUCESIVAS. [17].	41
FIGURA 3.8. SALIDA DE UN CONVERSION A/D POR APROXIMACIONES SUCESIVAS. [17].	41
FIGURA 3.9. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONVERSION A/D DEL ATMEGA 8. ANEXO B.	42
FIGURA 3.10. COMPOSICIÓN DE UNA BATERÍA DE ION LITIO EN SU PROCESO DE DESCARGA [19].	44
FIGURA 3.11. DESCARGA DE UNA BATERÍA LI-PO, DATOS EXPERIMENTALES, VALORES DE VOLTAJE TOMADOS DE UNA CELDA.	46
FIGURA 3.12. APROXIMACIÓN A UNA RECTA DE LA CURVA DE DESCARGA DE LA BATERÍA.	47
FIGURA 3.13. RANGOS DE VOLTAJE Y PORCENTAJE DE BATERÍA.	48

FIGURA 3.14. NIVEL DE BATERÍA ACONDICIONADO AL CONVERTOR A/D DEL MICROCONTROLADOR.....	48
FIGURA 3.15. DIVISOR DE VOLTAJE PARA LIMITACIÓN DE VOLTAJE Y CORRIENTE AL PIN DEL CONVERTOR A/D DEL MICROCONTROLADOR.....	49
FIGURA 3.16. CIRCUITO DE AUTO-DESCONEXIÓN DE BATERÍA.	50
FIGURA 3.17. INTEGRADO L7805: ENCAPSULADO TO-220 (IZQUIERDA), ENCAPSULADO SMD (DERECHA). ANEXO C	55
FIGURA 3.18. RESISTENCIA VS TEMPERATURA EN UN PTC [20].	56
FIGURA 3.19. FUSIBLE REAJUSTABLE (CONVENCIONAL IZQUIERDA, SMD DERECHA).....	57
FIGURA 3.20. LM317 COMO FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE. ANEXO D	59
FIGURA 3.21. MODO DE FUNCIONAMIENTO INTERMITENTE DE LOS LEDs.	60
FIGURA 3.22. CIRCUITO PARA VARIAR LA FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS LEDs.	61
FIGURA 3.23. CIRCUITO DE CONMUTACIÓN PARA LED-UV.	62
FIGURA 3.24. VISTA FRONTAL Y POSTERIOR DEL LCD DE 2FILAS Y 16 CARACTERES.....	64
FIGURA 3.25. ESQUEMA DE CONEXIÓN DESDE EL MICROCONTROLADOR A LCD LM016L66	
FIGURA 3.26. INICIAR UN NUEVO PROYECTO EN ALTIUM DESIGNER	67
FIGURA 3.27. CREACIÓN DE LOS ARCHIVOS ESQUEMÁTICO Y PCB	68
FIGURA 3.28. LISTADO DE FABRICANTES DISPONIBLES Y CÓMO INSTALARLOS.....	69
FIGURA 3.29. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL CIRCUITO.....	70
FIGURA 3.30. REPRESENTACIÓN PCB DEL CIRCUITO	70
FIGURA 4.1. DIAGRAMA GENERAL DE COMPONENTES EN EL SISTEMA.....	73
FIGURA 4.2. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE PULSADORES CON ELIMINACIÓN DE REBOTES HACIA UN MICROCONTROLADOR.	74
FIGURA 4.3. CONEXIÓN PARA AJUSTE DE CONTRASTE CON POTENCIÓMETRO Y FUNCIONAMIENTO DE LA RETROILUMINACIÓN DEL LCD.	76
FIGURA 4.4. PANTALLA DE BIENVENIDA 1	76
FIGURA 4.5. PANTALLA DE BIENVENIDA 2.	77
FIGURA 4.6. INDICACIONES DE CÓMO SELECCIONAR EL MODO DE OPERACIÓN DEL DISPOSITIVO.	77
FIGURA 4.7. PANTALLAS EN MODO DE FUNCIONAMIENTO NORMAL.	78
FIGURA 4.8. VALORES NUMÉRICOS NECESARIOS PARA LA VISUALIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARGA DE LA BATERÍA EN LCD.	80

FIGURA 4.9. REQUERIMIENTOS PARA GENERAR LA VARIACIÓN DE FRECUENCIA.....	81
FIGURA 4.10. ETAPAS DEL SISTEMA ESPECTROSCÓPICO.	83
FIGURA 4.11. ESTRUCTURA INTERNA DE UN ESPECTRÓMETRO. [21].....	84
FIGURA 4.12. DETERMINACIÓN DEL MODO DE FUNCIONAMIENTO.	86
FIGURA 4.13. MÍNIMA CONDICIÓN DE FRECUENCIA.	86
FIGURA 4.14. RESPUESTA A MEDIA FRECUENCIA.	87
FIGURA 4.15. FUNCIONAMIENTO CONTINUO.	87
FIGURA 4.16. SIMULACIÓN DEL CIRCUITO DE AUTO-DESCONEXIÓN DE BATERÍA.....	88
FIGURA 4.17. CIRCUITO DE AUTO-DESCONEXIÓN DE BATERÍA EN 100% DE CARGA.	88
FIGURA 4.18. CIRCUITO DE AUTO-DESCONEXIÓN DE BATERÍA EN 0% DE CARGA.	89
FIGURA 5.1. UBICACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS EN PLACA ELECTRÓNICA DE CONTROL.	90
FIGURA 5.2. UBICACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS EN LA PLACA DE AUTO-DESCONEXIÓN DE BATERÍA.....	91
FIGURA 5.3. SISTEMA DE CONTROL Y AUTO-DESCONEXIÓN DE BATERÍA.	91
FIGURA 5.4. SISTEMA ÓPTICO ENSAMBLADO.....	92
FIGURA 5.5. PARTES CONSTITUTIVAS DEL SISTEMA COMPLETO.	93
FIGURA 5.6. CIRCUITO REALIZADO PARA PRUEBA DE DESCARGA DE BATERÍA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.	95
FIGURA 5.7. GRÁFICA DE DESCARGA BATERÍA (VOLTAJE) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (MINUTOS).....	95
FIGURA 5.8. PRUEBA DE CENSADO DE BATERÍA Y VISUALIZACIÓN EN EL LCD DEL PORCENTAJE DE CARGA.....	97
FIGURA 5.9. GRÁFICA DE PORCENTAJE DE CARGA DE BATERÍA EN FUNCIÓN DEL VOLTAJE DEL CONVERTOR A/D.	98
FIGURA 5.10. PRUEBA DE FRECUENCIA DE SWITCHEO CON EL POTENCIÓMETRO EN VALOR MÍNIMO.....	99
FIGURA 5.11. PRUEBA DE FRECUENCIA DE SWITCHEO CON EL POTENCIÓMETRO EN VALOR MÁXIMO.....	100
FIGURA 5.12. PRUEBA DE MEDICIÓN DE INTENSIDAD LUMINOSA EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA.	102
FIGURA 5.13. ESPECTRO DE UNA FUENTE LASER DE 337 NM Y 4 MW.	103

FIGURA 5.14. ESQUEMA DE ADQUISICIÓN DE ESPECTRO DE MUESTRAS LÍQUIDAS POR EL MÉTODO DE TRANSMISIÓN.....	104
FIGURA 5.15. SISTEMA ÓPTICO ENFOCADO A UNA MUESTRA DE GASOLINA SÚPER.	105
FIGURA 5.16. ESPECTRO DE AGUA RESIDUAL (CONCENTRACIÓN ALTA) CON ESPECTRÓMETRO LUEGO DE SER ENFOCADA CON LA FUENTE LUMINOSA UV.	106
FIGURA 5.17. ESPECTRO DE AGUA RESIDUAL (CONCENTRACIÓN BAJA) CON ESPECTRÓMETRO LUEGO DE SER ENFOCADA CON LA FUENTE LUMINOSA UV.	107
FIGURA 5.18. ESPECTRO DE ALCOHOL ANTISÉPTICO CON ESPECTRÓMETRO LUEGO DE SER ENFOCADA CON LA FUENTE LUMINOSA UV.	107
FIGURA 5.19. ESPECTRO DE COMBUSTIBLE DIESEL (CONCENTRACIÓN ALTA) CON ESPECTRÓMETRO LUEGO DE SER ENFOCADA CON LA FUENTE LUMINOSA UV.	107
FIGURA 5.20. ESPECTRO DE DISOLVENTE DE ACRÍLICO CON ESPECTRÓMETRO LUEGO DE SER ENFOCADA CON LA FUENTE LUMINOSA UV.	108
FIGURA 5.21. ESPECTRO DE GASOLINA EXTRA CON ESPECTRÓMETRO LUEGO DE SER ENFOCADA CON LA FUENTE LUMINOSA UV.....	108
FIGURA 5.22. ESPECTRO DE GASOLINA SÚPER CON ESPECTRÓMETRO LUEGO DE SER ENFOCADA CON LA FUENTE LUMINOSA UV.....	108
FIGURA 5.23. ESPECTRO DE THINNER CON ESPECTRÓMETRO LUEGO DE SER ENFOCADA CON LA FUENTE LUMINOSA UV.	109

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. LONGITUDES DE ONDA EMITIDAS EN BASE AL MATERIAL SEMICONDUCTOR EMPLEADO EN LOS DIODOS EMISORES DE LUZ [6].....	5
TABLA 2.1. FRANJAS ESPECTRALES EN EL RANGO ÓPTICO. [13].....	18
TABLA 2.2. VALORES TÍPICOS DE ALGUNAS MAGNITUDES RADIOMÉTRICAS [13].....	19
TABLA 2.3. CARACTERÍSTICAS ELECTRO-ÓPTICAS DEL LED UVLUX 320-5. ANEXO A ..	21
TABLA 2.4. CARACTERÍSTICAS DEL LENTE E IRRADIANCIA DE LA FUENTE LUMINOSA. [13]	28
TABLA 3.1. LISTA DE RECURSOS Y PINES DEL MICROCONTROLADOR NECESARIOS.....	33
TABLA 3.2. DEMANDA DE CORRIENTE DEL MICROCONTROLADOR. ANEXO B.....	53
TABLA 3.3. DEMANDA TOTAL DEL SISTEMA.	57
TABLA 3.4. CARACTERÍSTICAS DEL LED UVULUX320-5 A VALORES DE TEMPERATURA AMBIENTE 25 GRADOS CENTÍGRADOS. ANEXO A.	58
TABLA 3.5. DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL LCD LM016L.ANEXO E.	64
TABLA 4.1. ENTRADAS Y SALIDAS EMPLEADAS DEL MICROCONTROLADOR.	72
TABLA 5.1. MEDICIONES DE VOLTAJE DE BATERÍA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, DESCARGA DE BATERÍA A 0.5 A.....	95
TABLA 5.2. VOLTAJES Y PORCENTAJE DE BATERÍA.	97
TABLA 5.3. ESPECIFICACIONES DE ESPECTRÓMETRO OCEAN OPTICS MODELO USB4000 [21].	101
TABLA 5.4. TABLA COMPARATIVA ENTRE LA FUENTE CONSTRUIDA Y UNA FUENTE LÁSER 334 NM Y 4mW.....	104
TABLA 5.5. MATERIALES FLUORESCENTES Y LONGITUD DE ONDA PICO OBTENIDO.	106

ANEXOS (CD)

- ANEXO A:** Datasheet Roithner LaserTechnik UVLUX320-5
- ANEXO B:** Datasheet Atmel ATmega8 y ATmega8L
- ANEXO C:** Datasheet L7800 Series, Positive Voltage Regulators.
- ANEXO D:** Datasheet LM317, ON Semiconductor.
- ANEXO E:** Datasheet LMO16L, Hitachi.
- ANEXO F:** Diagrama de flujo del programa de control.

RESUMEN

En el presente documento se presenta el diseño, implementación y prueba de un prototipo de fuente luminosa destinada a la perturbación de sustancias líquidas transparentes para su análisis espectral mediante un fluorosensor el cual compone el equipo de medición denominado espectrómetro.

La fuente luminosa está compuesta por dispositivos electrónicos y ópticos que generan y enfocan luz ultravioleta, la misma que producirá fluorescencia en las muestras.

El sistema cuenta con una batería de Polímero de Litio como fuente de alimentación, un circuito de protección para descarga de la batería, un circuito de control para energizar al diodo emisor de luz ultravioleta y para permitir al usuario seleccionar el modo de operación del LED mediante un display LCD que además indicará el nivel de batería. El sistema óptico está conformado por un lente el cual enfoca la luz directamente a la muestra para luego ser analizada con un espectrómetro.

El usuario puede modificar la operación del diodo emisor de luz ultravioleta, de forma que, pueda seleccionar entre un modo continuo de funcionamiento y otro intermitente el cual es regulable en un rango de frecuencia de 2 a 10 Hertzios con el fin de calibrar el instrumento para una correcta medición del espectro.

La construcción de esta fuente forma parte de un sistema completo de medición el mismo que tiene un espectrómetro de marca Ocean Optics USB4000 UV VIS y una tarjeta inalámbrica Wireless para la transmisión de las mediciones hacia un computador con el software adecuado de la marca del espectrómetro.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo la construcción de una fuente luminosa ultravioleta con el fin de producir fluorescencia sobre ciertas sustancias transparentes, este prototipo tendrá la capacidad de tener dos modos de funcionamiento, un modo continuo en donde la luz será constante y otro intermitente, donde el usuario podrá modificar la frecuencia de encendido.

En el Capítulo 1, se exponen conceptos básicos de los elementos electrónicos y ópticos empleados para conocer mejor acerca de su funcionamiento e integrar adecuadamente la teoría con la aplicación en los siguientes capítulos.

En el Capítulo 2, se presenta el diseño fundamental del lente óptico en base a las características ópticas del diodo emisor de luz ultravioleta que compone a la fuente luminosa.

En el Capítulo 3, se diseñan los circuitos electrónicos del sistema, en donde se puntualiza el funcionamiento de cada elemento utilizado.

En el Capítulo 4, se realiza el software o lógica del funcionamiento de los componentes empleados para el control y manejo del sistema.

En el Capítulo 5, se detallan las distintas pruebas realizadas al equipo y se describen los resultados, además se realiza una comparación del equipo con otro equipo comercial de similares características.

En el Capítulo 6, se dan a conocer las conclusiones del proyecto y también las recomendaciones en donde se intentará dar solución a las limitaciones que se han producido en el proyecto, como también indicar como se debería proceder en el mantenimiento del sistema de ser necesario.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

1.1. INTRODUCCIÓN

La aplicación a desarrollar, consiste de un conjunto de elementos eléctricos, electrónicos, mecánicos y lente óptico cuyo objetivo es el de perturbar un material predeterminado con luz enfocada, emitida por diodos emisores de luz ultravioletas.

En la actualidad la luz es muy estudiada en todo el mundo en muchos campos, ya que sus aplicaciones son diversas, se encuentran desde el entretenimiento, hasta la curación de ciertas enfermedades y análisis espectral de materiales. En la aplicación que se diseñará en este proyecto, se pretende crear una fuente luminosa ultravioleta a base de un diodo emisor de luz, capaz de excitar o perturbar un material líquido de ciertas características para generar fluorescencia.

Cuando se habla de perturbación del material, nos referimos a la interacción entre radiación electromagnética y la materia. Para este caso se deberá estudiar la generación de luz mediante diodos emisores de luz y el enfoque de la misma sobre un material. La aplicación podrá complementarse con un sistema de medición espectral, el cual detecta la radiación electromagnética emitida por sustancias u objetos al ser irradiadas por luz ultravioleta.

Para proceder al análisis se recurre a la capacidad de ciertos materiales para generar fluorescencia para este caso; es decir, aquellos materiales que absorben energía electromagnética de onda corta y emiten radiación de onda larga (por ende de menor energía) [1].

Es por ello que se hace uso de los diodos ultravioletas como elemento perturbador, su respuesta espectral se encuentra en torno a los 330 nm, suficientes para lograr los efectos deseados [2].

1.2. COMPONENTES DEL SISTEMA

1.2.1. ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

La electrónica ha avanzado a pasos agigantados en el último siglo, de tal forma que aplicaciones que solo eran parte de pensamientos de ciencia ficción, hoy son una realidad.

En las técnicas de espectroscopia de fluorescencia, se analiza la fluorescencia de una muestra, para ello se debe enfocar cierta cantidad de energía luminosa la cual excita a los electrones en las moléculas de ciertos componentes y causa entonces la emisión de luz, no necesariamente luz visible [2].

Para la emisión de luz ultravioleta se optará por trabajar con diodos emisores de luz ultravioletas debido a su eficiencia energética en comparación con láseres de nitrógeno [3], los cuales se utilizan comúnmente y que además tienen un tiempo de vida útil reducido.

A continuación se estudiara al diodo emisor de luz y cómo este puede emitir luz.

1.1.1.1 Generación de Luz en diodos LED

Para entender cabalmente al término Diodo Emisor de Luz, primero se debe estudiar a los diodos semiconductores, los cuales son componentes electrónicos que poseen dos terminales los cuales permiten circulación de corriente eléctrica en un solo sentido. En la actualidad el diodo semiconductor consta de un cristal semiconductor con impurezas para crear dos regiones, una región denominada región n la cual contiene portadores de carga negativa (electrones) y la otra denominada región p la cual contiene portadores de carga positiva (huecos).

Una unión P-N es el límite entre dos tipos de material semiconductor. Un material debe ser de tipo P y el otro de tipo N. Un material de tipo N es aquel que tiene una concentración mayor de electrones libres que huecos. Los electrones son los portadores mayoritarios y los huecos son los portadores minoritarios. La letra o sigla N se debe a que el material tiene carga negativa.

Los materiales de tipo P son lo opuesto a los materiales tipo N ya que estos tienen más huecos y menos electrones libres, la letra P se debe a que se tiene carga positiva.

La unión P-N presenta propiedades muy interesantes que han sido útiles en la electrónica moderna, mediante la manipulación de la juntura se utilizan generalmente como diodos los cuales permiten un flujo de corriente eléctrica en una sola dirección [4].

1.2.1.1.1. Teoría de Bandas en Sólidos

Hablar de corriente eléctrica, es hablar de electrones que pasan de un átomo a otro cuando se aplica una diferencia de potencial entre los extremos de un conductor.

Un material conductor es aquel que tiene gran cantidad de electrones libres los cuales pueden moverse a través del material, esto sucede debido a que la cantidad de energía que se necesita para que exista este flujo es relativamente baja.

En ciertos materiales es más difícil lograr que los electrones pasen de un átomo a otro, esto es debido a que la fuerza que ejerce el núcleo sobre los electrones es muy fuerte y por ende se necesita de mayor energía para poder desprender los electrones del átomo para que sean parte de otros.

La teoría de bandas señala que en una molécula los orbitales de un átomo se solapan produciendo un número discreto de orbitales moleculares.

Se pueden mencionar dos tipos de bandas de energía, una banda de valencia la cual tiene a los electrones que se encuentran en la última capa o nivel energético de los átomos y la banda de conducción, que está ocupada por electrones libres, aquellos que se han separado de sus átomos y se mueven fácilmente, estos electrones son aquellos que actúan en la conducción de corriente eléctrica.

Una banda prohibida se denomina a la brecha de energía entre la banda de valencia y la banda de conducción.

En la figura 1.1 se puede diferenciar las bandas de valencia en los materiales conductores, semiconductores y aislantes.

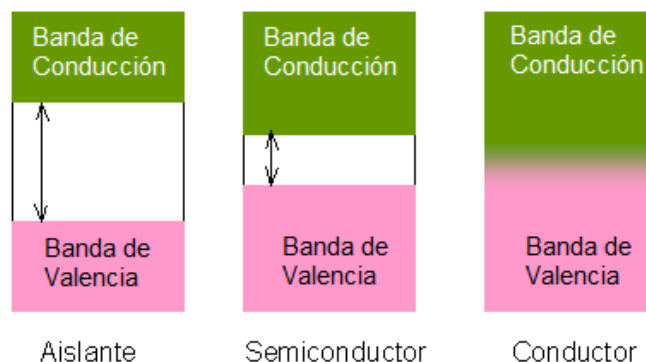


Figura 0.1. Bandas de energía en aislantes, conductores y semiconductores [5].

1.1.1.2 Diodo Emisor de Luz

Un Diodo Emisor de Luz, es un dispositivo capaz de emitir luz incoherente de espectro reducido cuando es polarizado directamente en la unión P-N; el término polarizado directamente se refiere a la aplicación de un voltaje o potencial positivo entre ánodo y cátodo, en esta unión circula una corriente eléctrica el cual hace que se libere energía en forma de luz, el color de la luz emitida dependerá del material semiconductor utilizado y también del tipo de impurezas (dopante) que tenga. Con el fin de enfocar la luz, el semiconductor se encuentra alojado en una capsula de resina epoxi luminiscente [4].

En el momento en que la corriente eléctrica circula en la juntura, los electrones de la parte negativa ocupan los huecos de la parte positiva. En el momento en que los electrones rellenan los huecos que están en un nivel energético inferior, los electrones pierden energía en forma de fotones lo cual significa generación de luz.

En la figura 1.2 se observa como los electrones de la zona n llenan los huecos de la zona p, pasando de una banda de energía o nivel energético mayor a uno menor, liberando energía en forma de luz.

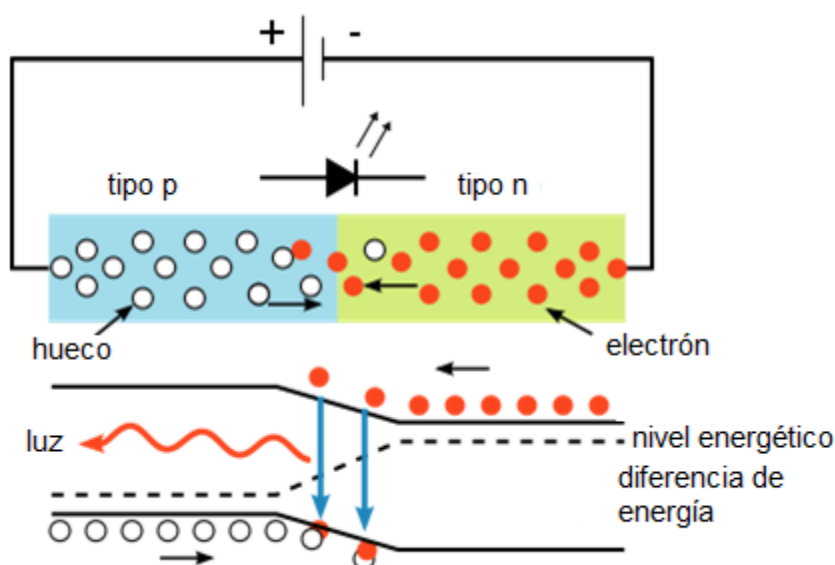


Figura 0.2. Generación de luz en un LED [6].

En conclusión para la generación de luz, es necesario polarizar directamente al diodo emisor de luz, es decir su ánodo deberá tener un potencial mayor que al del cátodo. Al tener una polarización directa los electrones de la zona n pasan a llenar los huecos de la zona p. Cuando los electrones llenan los huecos, ellos pasan de la zona de conducción a la zona de valencia provocando la emisión de un fotón [4].

1.1.1.3 LED Ultravioleta

Según el medio semiconductor que compone al LED se puede obtener distintas longitudes de onda en la luz generada, en la Tabla 1.1 se detalla los distintos materiales empleados para obtener sus respectivas longitudes de onda.

Tabla 0.1. Longitudes de onda emitidas en base al material semiconductor empleado en los Diodos Emisores de Luz [6].

Color	Longitud de Onda (nm)	Material Semiconductor
Infrarrojo	>760	GaAs, AlGaAs
Rojo	610 – 760	AlGaAs, AlGaInP
Naranja	590 – 610	GaAsP, GaP
Amarillo	570 – 590	GaAsN, GaN

Verde	500 – 570	InGaN, GaN
Azul	450 – 500	ZnSe, InGaN
Ultravioleta	< 400	AlN, AlGaIn, AlGaN

No todos los LEDs están ensamblados de la misma manera. La longitud de onda emitida por un LED es controlada usando diferentes cantidades de dopantes como el Aluminio, Galio o el Indio en el proceso de fabricación.

Un diodo normal mostrado en la figura 1.3 (poner fuente) está conformado por un encapsulado de resina epoxi, un chip LED, una copa reflectora, un cable de unión, ánodo y cátodo.

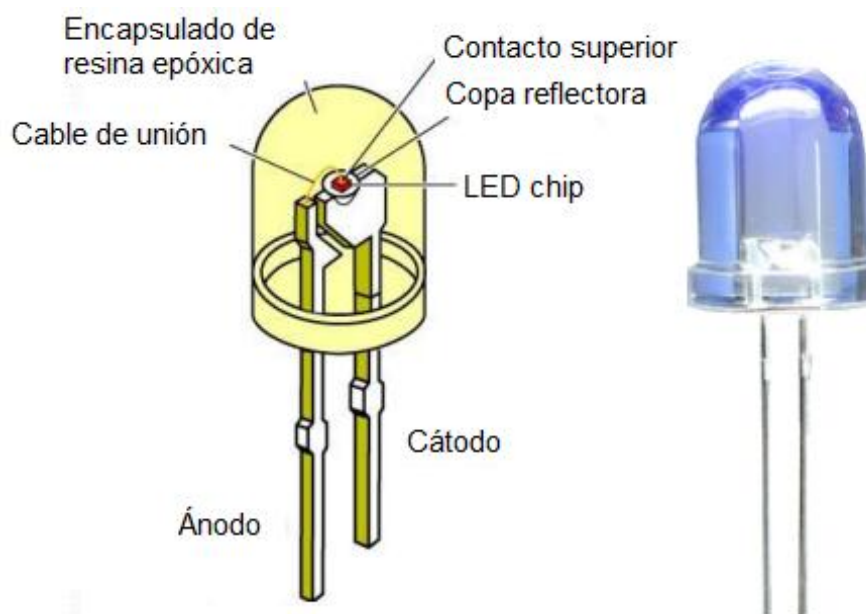


Figura 0.3. Partes de un diodo LED normal [6].

Un diodo LED-UV no es muy distinto al diodo LED normal, pero la diferencia está en sus materiales, en su interior se ubica el chip LED del compuesto químico Nitruro de Galio- Indio InGaN u otro dependiendo de la longitud de onda exacta, el mismo está soldado sobre una montura protegida de descargas electroestáticas, se tiene un disipador de calor de Aluminio o Cobre, el cable de unión es generalmente de oro, en su parte exterior se tiene el encapsulado de silicona y además de esto un lente de plástico o de zafiro. En la figura 1.4 se denotan sus partes.

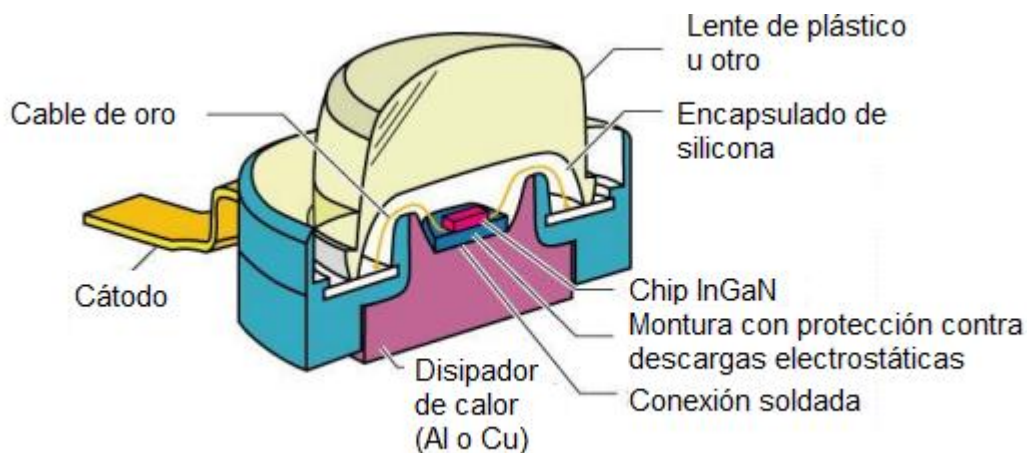


Figura 0.4. Partes de un LED-UV. Tomado y editado de [6]

La salida de un solo LED-UV está medida en miliwatios dependiendo del voltaje de entrada y corriente nominal. La principal ventaja de los diodos emisores de luz es que son eficientes, consumen menor potencia e iluminan mejor que otras fuentes de luz como las luces incandescentes o fluorescentes.

1.1.1.4 Microcontrolador

El presente proyecto al ser un dispositivo portátil debe cumplir con requerimientos de portabilidad como el de ser pequeño, liviano y fácil de transportar. Para ello es necesario utilizar componentes que cumplan con estas características.

Con el fin de controlar a los diodos LED-UV se ha optado por utilizar un microcontrolador el cual nos servirá para otras funciones como detectar el nivel de batería, variar la frecuencia de disparo de encendido de los LED. Más adelante se explicará a detalle el funcionamiento del mismo.

1.2.2. LENTES Y ÓPTICA

Para muchas aplicaciones, la distancia de trabajo desde la fuente de luz hasta el área iluminada es una consideración importante. Para la aplicación a diseñar se debe tomar en cuenta que la cantidad de luz que desprende el diodo LED es muy limitada y por ello se debe enfocar por completo esta luz a la muestra a analizar, con el objetivo de que la misma pueda absorber esta radiación y generar fluorescencia. Para ello se debe emplear un sistema óptico compuesto por un

lente, capaz de dirigir por completo la luz emitida por el diodo LED hacia la sustancia fluorescente.

A continuación se realiza un breve compendio de óptica y elementos propios de esta ciencia, con el fin de realizar el diseño adecuado de lentes para enfocar la luz del diodo LED a la muestra que se va a analizar.

1.2.2.1. Óptica Geométrica

“La Óptica Geométrica es un modelo matemático que estudia la luz desde el punto de vista de su propagación como energía radiante”. No considera el efecto ondulatorio de la luz ni corpuscular y supone que la luz o energía radiante, se propaga a lo largo de líneas llamadas rayos. Desde este punto de vista, las leyes de la óptica se pueden enunciar en el lenguaje de la geometría, “en este caso sería posible construir un rayo de luz con un diafragma (no habría difracción) interpuesto a un haz extenso de luz. Esta es justamente la gran aproximación de este modelo; es decir, esta es la parte de la Óptica que desprecia la finitud de la longitud de las ondas de luz, por eso se le llama Óptica Geométrica u óptica de los rayos luminosos” [7].

Las leyes de la Óptica Geométrica estipulan que la propagación de la luz es en línea recta en un medio homogéneo, y que los rayos, al intersecarse no se perturban unos con otros (solo en caso de pequeñas intensidades de la luz).

Además existen 2 leyes adicionales que nos explican acerca de la refracción y reflexión de la luz las cuales se citarán a continuación.

1.2.2.2. Reflexión y Refracción

Tomando en cuenta que la luz se comporta como un conjunto de rayos; si los rayos luminosos chocaran mecánicamente contra una superficie reflectante, la proporción de los rayos de entrada con los que salen están regulados por los ángulos de entrada con respecto a la superficie reflectante, es decir si el rayo P mostrado en la figura 1.5 ingresa con un ángulo θ_i sobre una superficie reflectante perfectamente lisa, el rayo de salida tendrá un ángulo exactamente

igual θ_r al de entrada con la perpendicular en la superficie reflectante. Otra ley que cumple la reflexión indica que el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal con respecto a la superficie están en el mismo plano [8].

La refracción luminosa consiste en el cambio que experimenta la dirección y rapidez de propagación de la luz cuando esta atraviesa oblicuamente la superficie de separación de dos medios de distintas propiedades. Generalmente cuando existe refracción también existe reflexión dependiendo de las propiedades de los medios por la cual pasa la luz, esto significa que el rayo incidente tendrá mayor intensidad luminosa que el rayo reflejado y el rayo refractado.

El reparto de intensidad luminosa dependerá de las características de los medios en contacto y del ángulo de incidencia respecto a la superficie límite.

La velocidad de la luz también cambia dependiendo del medio por el cual viaje. Cuando el material por la cual la luz se transmite es más denso, la velocidad es menor con respecto a la velocidad de la luz en el vacío.

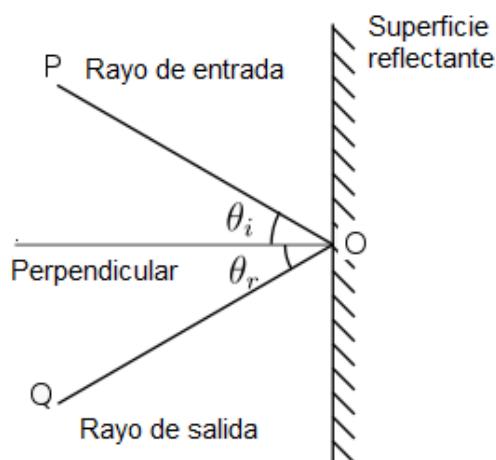


Figura 0.5. Reflexión de la luz, rayo de luz que incide sobre superficie reflectante y rayo reflejado [8].

A continuación se explicará de manera general a los elementos más utilizados dentro de la Óptica Geométrica. En el capítulo 2 se estudiarán de manera más específica estos elementos.

1.2.2.3.Lentes

Los lentes ópticos son objetos capaces de desviar los rayos de luz, son transparentes, cristales puros como el zafiro u otros como el vidrio. Los lentes están limitados por dos superficies en donde se pueden tener distintos radios de curvatura en cada una de ellas, en la figura 1.6 se pueden apreciar las variedades de lentes que se pueden encontrar comúnmente en el mercado.

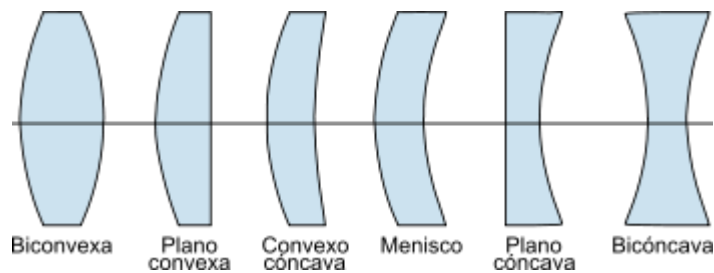


Figura 0.6. Tipos de lentes ópticos. Tomado y editado de [9].

Los rayos al pasar por el lente se refractan de acuerdo a la ley de la refracción. Dependiendo del tipo de lente, los distintos rayos se refractarán de acuerdo al ángulo de incidencia del rayo de luz y de la curvatura tanto de entrada y salida del lente.

La cantidad de luz que admite un lente depende del diámetro, a mayor diámetro mayor cantidad de luz y viceversa. A los lentes se los clasifica en dos grandes grupos que son: divergentes y convergentes.

Los lentes divergentes también denominados lentes negativos son gruesos en los bordes y estrechos en el centro. La divergencia implica que los rayos se refracten en dirección del primer foco, tal como se indica en la figura 1.7 literal a).

Los lentes convergentes, denominados positivos, son gruesos en la parte central y estrechos en los bordes. Estos lentes tienen la propiedad de refractar los rayos paralelos hacia un punto llamado foco, es decir los rayos convergen hacia un foco, como se muestra en la figura 1.7 literal b).

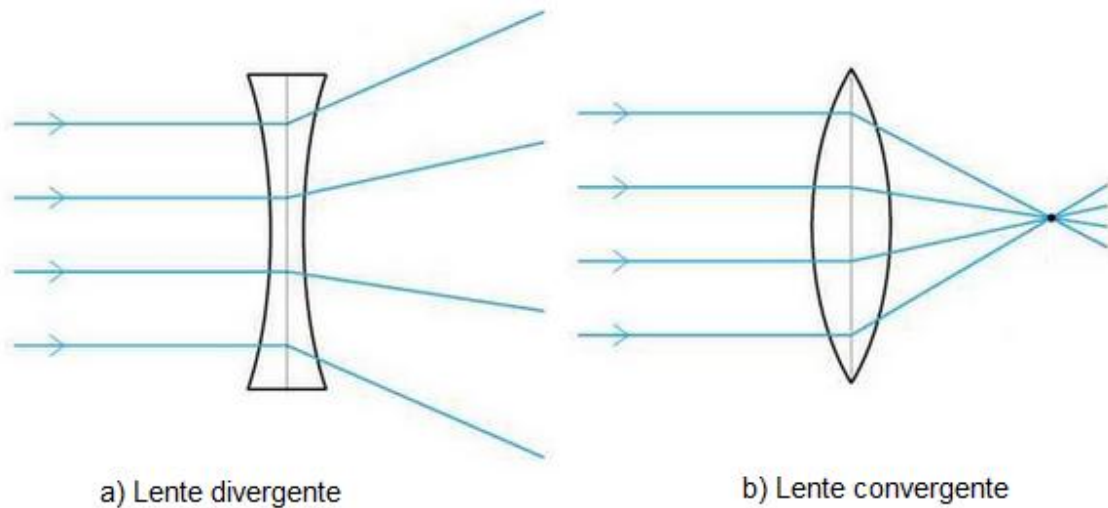


Figura 0.7. a) Lentes divergentes, b) Lentes convergentes. Tomado y editado de [9].

Los lentes tienen múltiples aplicaciones en el campo de la física, oftalmología, astronomía, arte, etc.

1.2.2.4. Prismas Ópticos

Un prisma óptico es un medio transparente limitado por dos superficies planas que forman un ángulo diedro A (llamado ángulo de refringencia). Después de las lentes, los prismas son las piezas más útiles de los aparatos ópticos.

Los prismas juegan muchos papeles diferentes en la óptica. Hay combinaciones de prismas que sirven como divisores de haz, polarizadores o interferómetros.

La gran mayoría de las aplicaciones se basan en una de las dos funciones principales de los prismas: dispersión de haces de luz y cambio en la orientación de una imagen o de la dirección de propagación de un haz.

En el prisma óptico se presenta un grado de refringencia o índice de refracción distinto para cada componente de la luz blanca, por lo que cada color viaja dentro del prisma a diferente velocidad. Ello da lugar, según la ley de Snell, a desviaciones de diferente magnitud de cada uno de los componentes que inciden en el prisma en forma de luz blanca y emergen de él ya descompuestos formando los llamados colores del arco iris. Estas diferentes clases de luz definen la gama conocida como espectro visible. La descomposición es realizada debido a que cada uno de los colores en los que se descompone la luz blanca tiene una

frecuencia distinta, por lo que, cada color se desviara un ángulo distinto. El resultado de la desviación produce dicha descomposición cuando sale del prisma.

Las características de un prisma son:

Ángulo refringente: ángulo del diedro formado por las dos superficies diáfanos.

Vértice o arista: la intersección de las dos superficies.

Base: la cara opuesta al vértice.

Sección principal: la producida por un plano perpendicular a la arista. Los prismas que se usan suelen ser prismas triangulares rectos, de cristal, y su sección principal es un triángulo.

Los fenómenos que pueden observarse en el prisma son: La desviación del rayo hacia la base, acercándose al normal si el medio es más denso y la dispersión de la luz si esta es compuesta.

Los prismas se clasifican en:

- Prismas reflectivos: reflejan la luz, son más fáciles de elaborar que los espejos, se utilizan en instrumentos ópticos como los prismáticos, los monoculares y otros.
- Prismas dispersivos: descomponen la luz en el espectro del arcoíris, ya que el índice de refracción depende de la frecuencia; la luz blanca entrando al prisma es una mezcla de diferentes frecuencias y cada una se desvía de manera diferente.

1.2.2.5. Espejos

Los espejos son superficies reflectantes, pueden ser planos o curvos, los curvos pueden ser casquetes de esfera, paraboloides u otros sólidos de revolución, los más utilizados son los casquetes de esfera. Los espejos se rigen a las leyes de la reflexión de la luz.

Existen tres tipos de espejos:

- Planos: si el espejo no presenta curvatura se dice que es un espejo plano.

- Cóncavos o divergentes: si la curvatura de un espejo es "hacia adentro" desde el punto de vista observado se dirá que es un espejo cóncavo.
- Convexos o convergentes: si la curvatura de un espejo esta "hacia afuera" desde el punto de vista observado se asevera que es un espejo convexo.

1.3. FLUORESCENCIA VISIBLE INDUCIDA CON LUZ ULTRAVIOLETA

Debido a que la fuente luminosa contará con diodos led de luz ultravioleta, se explicará el efecto que provocará a los materiales los cuales estarán expuestos ante esta luz.

1.1.2 TEORÍA DE LA ABSORCIÓN MOLECULAR

Primero se debe tomar en cuenta que los átomos y moléculas de los distintos materiales o sustancias poseen un número discreto de niveles de energía. A temperatura ambiente la mayoría de materiales se encuentran en un nivel energético bajo, el mismo que se denomina estado fundamental. Cuando ondas electromagnéticas interaccionan con un átomo o molécula, la energía de la onda puede ser absorbida si coincide con la energía exacta que necesita el material para excitarse, es decir la onda se transfiere a la molécula promoviéndola a un estado de energía más elevado o estado excitado. Después de tiempos muy cortos, generalmente nanosegundos, el material o sustancia vuelve a su estado original, devolviendo la energía absorbida al medio que le rodea.

1.3.1. TRANSICIONES MOLECULARES Y FLUORESCENCIA

Al excitar las moléculas de una sustancia con radiaciones ultravioletas o visibles, se promueve la absorción de la energía y se da la transferencia de electrones que se encuentran en niveles bajos de energía a orbitales de energía superior, al existir la transición de un electrón entre diferentes niveles de energía se denomina transición electrónica, la partícula en estado excitado tiende a regresar

instantáneamente a su estado fundamental desprendiendo la energía absorbida en forma de calor o de energía radiante.

Cada sustancia o material absorbente tiene un espectro de absorción característico, este espectro representa la relación entre la longitud de onda incidente y la absorbancia que representa la sustancia.

En términos generales la fluorescencia es todo proceso de emisión de luz que caracteriza a las sustancias con capacidad de absorber radiación electromagnética y emitirla en parte en otra longitud de onda distinta.

Cabe recalcar que la energía absorbida será mayor a la energía emitida por la sustancia fluorescente, la energía restante es disipada en forma de calor. Generalmente la longitud de onda de la energía absorbida es menor a la energía emitida.

Las sustancias fluorescentes absorben radiación electromagnética de longitud de onda corta como luz UV, rayos X, radiación Gamma, etc. Y emiten una radiación con longitud de onda más larga, que puede estar dentro del espectro de luz visible por el ser humano.

Cuando se habla de ondas electromagnéticas, se refiere a la luz visible, ondas de radio, microondas, luz ultravioleta, rayos X, rayos Gamma, etc. Todas estas formas de radiación, transfieren energía desde una región del espacio a otra. Cada tipo de radiación electromagnética tiene como propiedad la longitud de onda y es así como se logra diferenciar entre un tipo y otro.

La porción visible del espectro irradia entre los 400 y 700 nanómetros, al decir visible nos referimos a que entre estas longitudes de onda pueden ser vistas por el ojo humano. La radiación UV va desde los 10 hasta los 400 nanómetros.

Algunos materiales son capaces de modificar la longitud de onda de la radiación UV a una radiación visible. Dependiendo de la sustancia excitada, la fluorescencia tendrá distintos colores, estas diferencias de color e intensidad son utilizadas en el análisis no destructivo de minerales y pigmentos [10].

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ÓPTICO

Para el diseño de la presente aplicación se parte del estudio de conceptos básicos en óptica aplicada a fuentes luminosas. En este capítulo se enfoca en el diseño del sistema óptico necesario para que la luz emitida por diodos LED UV pueda ser correctamente enfocada y que la energía que incida sobre los elementos irradiados pueda ser absorbida. Cabe recalcar que para el desarrollo de este proyecto se contó con diodos emisores de luz UV previamente seleccionados por el Laboratorio de Fotónica y Sistemas Inteligentes de la Escuela Politécnica Nacional, con el fin de ser empleados para la construcción de fuentes luminosas útiles en la aplicación de espectroscopía.

Los diodos LED UV a utilizar son de marca Roithner LaserTechnik GmbH modelo UVLUX320-5, posteriormente se explicarán sus especificaciones ópticas y en el siguiente capítulo se detallarán sus características eléctricas.

2.1. FUENTES LUMINOSAS EMPLEANDO LED UV

La tecnología LED dentro de aplicaciones en espectroscopia es relativamente nueva y presenta ventajas ante tecnologías pasadas, pero también existen nuevos desafíos técnicos que se deben tener en cuenta para lograr la elaboración de una aplicación útil.

Existen muchos factores que han influido actualmente para la aplicación de los diodos LED en el diseño de fuentes UV, en comparación con artefactos realizados en base de vapor de mercurio, xenón o haluro de metal. Los diodos LED UV son mucho más seguros que las fuentes mencionadas, y menos nocivas para el ser humano, consumen menos energía y son eficientes, además pueden ser switcheados sin disminuir significativamente su vida útil como sucede en las demás fuentes que tienen un número limitado y reducido de encendido y apagado de las mismas.

Las fuentes con tecnología LED son flexibles para su diseño en términos de tamaño, intensidad y requerimientos energéticos o eléctricos.

Las principales ventajas de trabajar con diodos LED UV de última generación son las siguientes [11]:

- Alta calidad, robustos y fuentes livianas y portables para un uso en la industria.
- Larga vida útil.
- Luz UV de gran intensidad y de gran estabilidad.
- Buena homogenización de la radiación.
- Las interferencias y efectos de reflexión son prácticamente nulas.
- Sólidos y confiables para uso en la industria.

Al utilizar fuentes convencionales de luz UV, como láseres, se encuentran las siguientes desventajas:

- Alto riesgo de incendio y alto riesgo de quemaduras.
- Alta sensibilidad con respecto a campos magnéticos y estrés mecánico.
- Riesgo de muerte (debido al alto riesgo eléctrico en áreas húmedas o mojadas).
- Malas condiciones de pruebas, en particular, cuando se realiza pruebas de penetración (limitantes como el calor, la temperatura del viento y la radiación infrarroja existente).
- Malas condiciones de trabajo (debido a carcasas calientes, fuentes pesadas).
- Perjudiciales para el medio ambiente (alto contenido de mercurio y plomo, baja eficiencia).
- Radiación no uniforme.
- Bajo tiempo de vida útil.
- Tiempo de encendido no es instantáneo.

Los parámetros a tomar en cuenta para el diseño de una fuente UV LED son los siguientes:

- Intensidad de luz UV manejable.
- Estabilidad en el control de intensidad.

- Seguro, simple, rápido y confiable.
- Irradiación perfecta para todas las aplicaciones conforme al tamaño, distribución e intensidad en el área de inspección.
- Confiabilidad y calidad en los procesos de prueba.
- Debe ser ergonómico.
- Amigable al medioambiente (libre de Mercurio y Plomo).

Solamente ciertos materiales son capaces de absorber energía en forma de radiaciones electromagnéticas; parte de esa energía es emitida por estos materiales en una longitud de onda distinta dependiendo de la intensidad de la radiación de excitación.

Para que exista fluorescencia, es necesario excitar mediante la fuente luminosa al material fluorescente con ciertas características que se explicarán más adelante. Otro factor a considerar es que el tiempo de vida de la fluorescencia dependerá exclusivamente del tiempo promedio que permanece la molécula irradiada en su estado de excitación antes de emitir un fotón.

En algunas moléculas y átomos, los fotones de luz UV y luz visible tienen suficiente energía para causar transiciones entre los diferentes niveles energéticos de una molécula. La longitud de onda de la luz absorbida por la muestra a analizar es aquella que tiene la energía requerida para mover un electrón de un nivel de energía inferior a uno superior [12].

2.2. RADIOMETRÍA

Para centrarse en el diseño de la fuente luminosa de este proyecto, es necesario conocer acerca de las técnicas de medición de la luz, “la radiometría describe la transferencia de energía (o energía por unidad de tiempo, potencia) desde una fuente a un detector, admitiendo la validez del modelo geométrico de trayectorias y la conservación de la energía a lo largo de un tubo de rayos. En consecuencia, los posibles efectos de interferencia y/o difracción no se consideran significativos. Cuando esta transferencia de energía del emisor al detector se normaliza a la respuesta espectral del ojo de un observador humano, se denomina fotometría. Las magnitudes radiométricas y fotométricas suelen diferenciarse utilizando los

subíndices e (energía) para las primeras y v (visual) para las segundas. Las magnitudes relacionadas con los fotones se caracterizan por el subíndices q.” [13]

En la tabla 2.1 se definen las franjas espectrales en el rango óptico de acuerdo a la Comisión Internacional de Iluminación.

Tabla 0.1. Franjas espectrales en el rango óptico. [13]

Nombre	Rango de Longitudes de Onda
UV-C	100 nm- 280 nm
UV-B	280 nm - 315 nm
UV-A	315 nm - 400 nm
VIS (visible)	(360-400) nm hasta (760-800) nm
IR-A (infrarrojo cercano, near IR)	780 nm - 1400 nm
IR-B	1.4 μ m - 3.0 μ m
IR-C (infrarrojo lejano, far IR)	3.0 μ m - 1.0 mm

La intensidad de la radiación UV-A es usada para estimulación de fluorescencia en la prueba de materiales.

2.2.1. DEFINICIONES BÁSICAS EN RADIOMETRÍA

2.2.1.1. Energía Radiante, Q

Es la cantidad de energía incidente o emitida desde una superficie de área dada en un período de tiempo específico. Se incluyen todas las longitudes de onda contenidas en la radiación, usualmente se debe indicar explícitamente el rango de longitudes de onda considerado. La energía radiante se mide en Julios (J).

Cuando se tienen pulsos de energía electromagnética, como sucede en fuentes de luz pulsadas, hay que tomar en cuenta la cantidad total de energía aportada en un pulso de duración temporal especificado [13].

2.2.1.2. Flujo (potencia) radiante, Φ

Es el flujo de energía radiante por unidad de tiempo, se mide en vatios (W, 1W=1 J/s) [13].

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (2.1)$$

2.2.1.3.Irradiancia, E

Es la densidad de flujo radiante por unidad de superficie que emerge de un punto en la superficie especificada. Se mide en vatios (W) sobre metros cuadrados (m²) [13].

$$E = \frac{d\Phi}{ds_0} \quad (2.2)$$

2.2.1.4.Intensidad radiante, I

Densidad de flujo radiante por unidad de ángulo sólido incidente en un punto en el espacio propagándose en una dirección específica. El ángulo sólido es el ángulo espacial que abarca un objeto visto desde un punto dado, se corresponde con la zona de espacio limitado por una superficie cónica, su función es la de medir el tamaño aparente del objeto [13].

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (2.3)$$

En la tabla 2.2 se pueden verificar algunos valores típicos de magnitudes radiométricas:

Tabla 0.2. Valores típicos de algunas magnitudes radiométricas [13].

Magnitud	Valor
Flujo radiante total de una bombilla incandescente de tungsteno de 100 W	82 W
Flujo radiante de salida de un láser de He-Ne de media potencia	5 mW
Flujo radiante de una lámpara fluorescente de 40 W	23,2 W
Irradiancia solar fuera de la atmósfera, en posición media de la órbita terrestre	1367 W/m ²

Irradiancia solar directa en la superficie de la tierra, a mediodía, en el sudeste de USA, en invierno, cielo claro	852 W/m ²
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

2.2.2. LONGITUD DE ONDA

El espectro electromagnético que corresponde a la radiación UV como se observó en la tabla 2.1 está en el rango de 100 a 400 nanómetros. La longitud de onda es la distancia que recorre una onda en un determinado intervalo de tiempo, dependiendo de este parámetro de la luz, ciertas sustancias son más o menos sensibles y por ende pueden o no tener un efecto fluorescente.

Para la aplicación es importante conocer la Irradiancia en función de la longitud de onda, para intuir que sustancias podrían excitar.

Teniendo en cuenta las especificaciones del LED UV en la tabla 2.3, se realiza la gráfica de Irradiancia en función de la longitud de onda del sistema, figura 2.1.

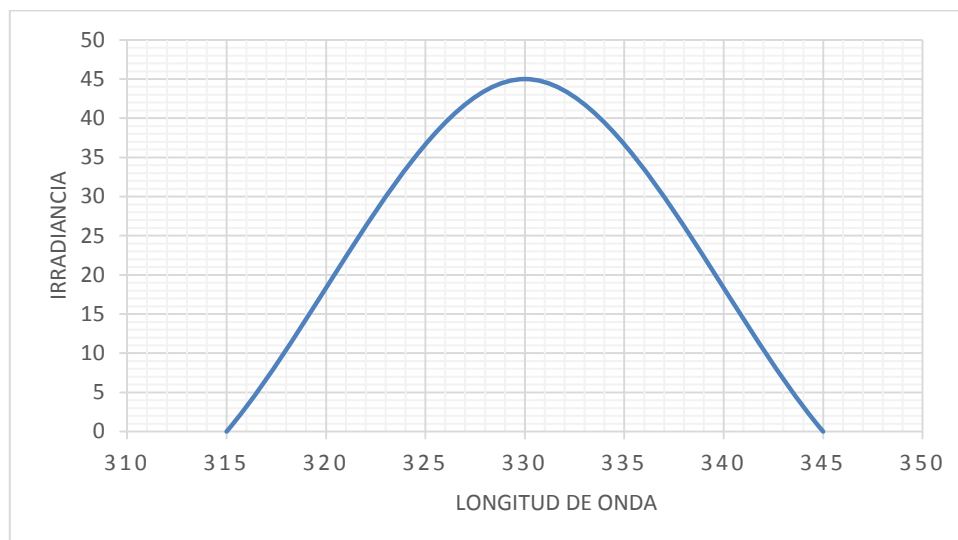


Figura 0.1. Irradiancia de LED UV en función de la longitud de onda.

2.2.3. ÁNGULO DE RADIACIÓN

Al utilizar diodos emisores de luz UV que cuentan con lente hemisférica para emitir la luz con ángulo de radiación específico o en inglés “beam angle” se debe considerar para el diseño del lente adecuado que enfoca la luz en un solo punto.

En la figura 2.2 se indica la potencia radiante del LED UVLUX 320-5 con lente hemisférico, el cual será el empleado en el proyecto.

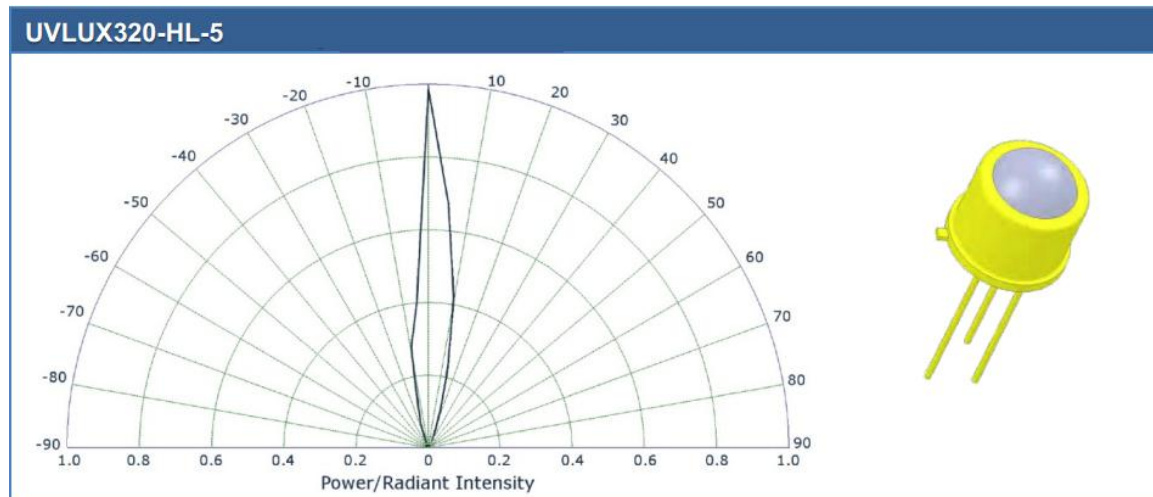


Figura 0.2. Potencia radiante con ángulo de radiación del LED UVLUX 320-5. Anexo A

El ángulo de radiación (beam angle) de una fuente luminosa es la dimensión del ángulo del haz de la luz, medido desde el punto más brillante del haz, hasta el punto donde la intensidad disminuye hasta en un 50% del máximo. El ángulo de radiación también constituye la parte más uniforme brillante del haz de la fuente, en donde el ojo humano no puede notar la diferencia de intensidad luminosa.

2.2.4. CARACTERÍSTICAS ELECTRO-ÓPTICAS DEL LED UVLUX 320-5

Las características ópticas del LED UVLUX 320-5 (Anexo A) de la marca ROHITNER se detallan en la tabla 2.3:

Tabla 0.3. Características electro-ópticas del LED UVLUX 320-5. Anexo A

Parámetro	Símbolo	Min.	Medio	Máx.	Unidad
Longitud de onda pico	λ_p	320	330	340	nm
Ancho de banda	$\Delta\lambda$		15		nm
Potencia radiante	$P_o (\Phi)$	3		5	mW
Voltaje forward	U_f	3		6,2	V
Ángulo de radiación (lente hemisférico)	$2\theta_{1/2}$		20		grados

2.3. PARÁMETROS ÓPTICOS Y DISEÑO DE LENTE

2.3.1. TAMAÑO DE LENTE CENTRAL (APERTURA)

Una vez que se conocen todas las especificaciones del LED-UV, se realiza el cálculo del tamaño del lente que va a servir para enfocar la luz emitida por el LED, para ello se debe buscar una “relación entre el ángulo sólido (Ω) subtendido por un círculo C de radio (r) situado a una distancia (f) de un punto (P) (en un plano perpendicular a la dirección que une el punto con el centro del círculo) y el semiángulo (α) del cono definido por P y C”, que se muestra en la figura 2.3.

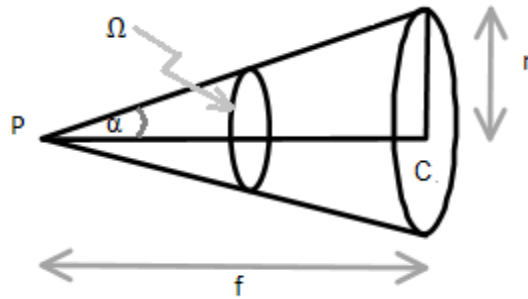


Figura 0.3. Ángulo sólido subtendido por una lente desde su foco. [13]

Para realizar el cálculo del diámetro mínimo del lente, se asume la distancia f la cual es la longitud desde el LED hasta el lente, se tomará una distancia variable en el rango de dos a tres centímetros para que el operario pueda ajustar el enfoque de acuerdo a sus necesidades. A continuación se calculará la distancia r con el triángulo rectángulo formado por P, r y C (ecuación 4). De acuerdo al ángulo de radiación dado por el lente hemisférico propio del LED, cuyo valor es de 20 grados. El ángulo alfa (α) tendrá un valor de 10 grados por ser su mitad.

$$\tan \alpha = \frac{r}{f} \quad (2.4)$$

Para una distancia de dos centímetros:

$$\tan(10^\circ) = \frac{r_1}{2 \text{ cm}}$$

$$r_1 = 3,5265 * 10^{-3} m$$

Para una distancia de tres centímetros:

$$\tan(10^\circ) = \frac{r_2}{3 \text{ cm}}$$

$$r_2 = 5,289 * 10^{-3} m$$

Debido a que la distancia r_2 es mayor que la distancia r_1 , se considera la mayor para el cálculo de los demás parámetros, esto implica que si existe más distancia entre el LED y el lente, se requerirá un lente de mayor radio para cubrir con el área proyectada por el LED.

La apertura del lente deberá medir como mínimo dos veces la longitud de r_2 lo cual da un diámetro de 1,0578 centímetros.

$$\text{apertura} = 2 * r_2$$

$$\text{apertura} = 2 * 5,289 * 10^{-3} m$$

$$\text{apertura} = 0,010578 m$$

2.3.2. IRRADIANCIA DEL SISTEMA

A continuación se calcula el ángulo sólido (ecuación 5) para determinar los parámetros ópticos energéticos de la fuente luminosa y que serán necesarios para realizar las pruebas de excitación a materiales fluorescentes cuando el lente se encuentra en el punto más lejano (3 centímetros).

$$\Omega = \frac{S}{f^2} \quad (2.5)$$

Donde S es la superficie del lente (área circular) y f es la distancia de separación del LED al lente [13].

$$\Omega = \frac{\pi * r_2^2}{f^2}$$

$$\Omega = \frac{\pi * (5,289 * 10^{-3} \text{ m})^2}{(0,03 \text{ m})^2}$$

$$\Omega = \frac{\pi * (5,289 * 10^{-3} \text{ m})^2}{(0,03 \text{ m})^2}$$

$$\Omega = 0,09765 \text{ sr (estereorradianes)}$$

De la ecuación (2.3) se calcula la intensidad radiante en el lente.

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

Donde Φ es el flujo (potencia) radiante del LED y ω es el ángulo sólido del cono de proyección entre el LED y el lente.

Para este caso puntual se tiene que la potencia radiante del LED es de mínimo 3 miliwatios (mw) y máximo de 5 miliwatios (mw), para los cálculos se tomará un valor de 4 miliwatios con el fin de que los LEDs no estén operando al 100% de su capacidad y garantizar una mayor vida útil del elemento.

$$I = \frac{4 \text{ mW}}{0,09765 \text{ sr}}$$

$$I = 0,0409 \frac{\text{W}}{\text{sr}}$$

De la ecuación del ángulo sólido (2.5) se tiene que:

$$\Omega = \frac{S}{f^2}$$

Si se reemplaza la ecuación (2.5) en la ecuación (2.3), se tiene que:

$$\Phi = I * \Omega = I * \frac{S}{f^2} \quad (2.6)$$

Reemplazando la ecuación (2.6) en (2.2), se tiene:

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{I * \mathcal{S}}{f^2 * \mathcal{S}}$$

$$E = \frac{I}{f^2} \quad (2.7)$$

La ecuación (2.7) solamente se cumple si el LED está perpendicular al centro de la lente.

$$E = \frac{I}{f^2} = \frac{0,0409 \text{ W/sr}}{(0,03 \text{ m})^2}$$

$$E = 45,44 \text{ W/m}^2$$

2.3.3. DISTANCIA Y PUNTO FOCAL

Para lograr excitar a una sustancia fluorescente es necesario concentrar toda la energía de la luz del LED en una superficie muy pequeña, es por ello que se necesita calcular un lente capaz de realizar el enfoque adecuado.

Los lentes convexos, divergentes son capaces de cambiar la dirección de los rayos de luz de una fuente debido a su geometría y al principio de refracción, estos lentes son tienen la características de no refractar a todo rayo de luz que pase por su centro y de refractar a todo rayo que no pase por el centro del lente, mientras más lejos pase del centro mayor será su cambio de dirección al pasar por el lente.

De este fenómeno se produce un efecto deseado en esta aplicación el cual se denomina punto focal, el punto focal es un punto donde se concentran todos los rayos luminosos refractados, después de atravesar un lente convexo o divergente.

En la figura 2.4 (tomada de A1) se puede observar como los rayos luminosos convergen sobre el punto focal F' y como llegan a formar la misma imagen inicial del punto A en el punto B'. La distancia desde O hasta B' se denomina distancia focal (distancia entre el foco y el centro óptico de la lente) [9].

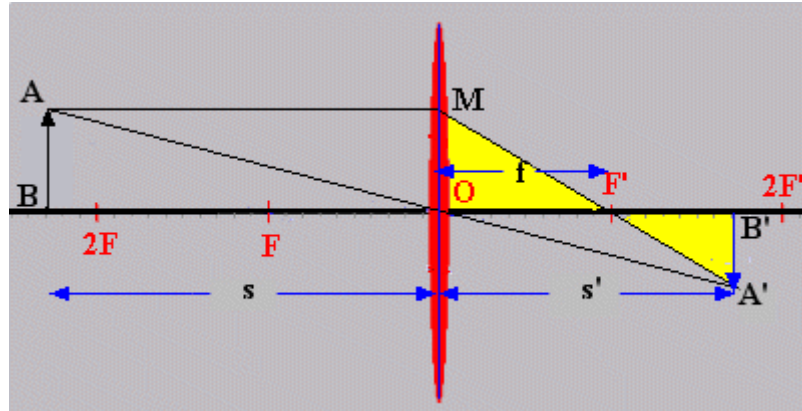


Figura 0.4. Rayos de luz atravesando un lente divergente (biconvexo). [9]

La distancia focal, f , y las distancias entre el objeto y el lente, s , o su imagen, s' , están relacionadas por la Ley de Descartes o también denominada ecuación de las lentes delgadas, ecuación (2.8).

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{-s} + \frac{1}{s'} \quad (2.8)$$

A partir de la ecuación (2.8) se realiza el cálculo de la distancia focal en esta aplicación. Teniendo en cuenta que la distancia s es variable y está en el rango de dos a tres centímetros, se calcula para los dos valores. La distancia s tendrá un valor de un centímetro con el fin de que el sistema no ocupe mucho espacio.

Para una distancia s de dos centímetros:

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{-0,02m} + \frac{1}{0,01m}$$

$$f_1 = 0,02 m$$

Para una distancia s de tres centímetros:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{-0,03m} + \frac{1}{0,01m}$$

$$f_2 = 0.015 m$$

El signo positivo de las distancias f_1 y f_2 representa un lente convergente de acuerdo al criterio de signos DIN [9].

2.3.4. POTENCIA DE LENTE

La potencia de un lente es el inverso de la distancia focal, representada en la ecuación (2.9) y su unidad es la dioptría siempre y cuando se trabaje con las distancias en metros.

$$P = \frac{1}{f} \quad (2.9)$$

Para el presente caso se deberá tomar la distancia focal más pequeña con el fin de que el lente cumpla con el grado de enfoque deseado.

$$P = \frac{1}{0,015m}$$

$$P = 66,67 \text{ dioptrías}$$

2.3.5. RADIOS DE CURVATURA DEL LENTE

Para calcular los radios de curvatura del lente se emplea la siguiente ecuación (2.10) [9]:

$$\frac{1}{-s} + \frac{1}{s'} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.10)$$

De igual manera se calcula para la distancia de imagen de 3 centímetros.

Donde, r_1 y r_2 son los radios de curvatura de un lente convergente biconvexo y n es el índice de refracción del material del lente. El índice de refracción es un coeficiente que especifica la reducción de la velocidad de la luz al pasar por un medio. Los lentes a emplearse serán de vidrio Flint pesado cuyo índice de refracción es de 1,89 [14], estos lentes se caracterizan por dejar pasar radiación de tipo UV.

$$\frac{1}{0,015} = (1,89 - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Se supondrá que r_1 es igual a $-r_2$ por facilidad de construcción del lente.

$$\frac{1}{0,015} = (1,89 - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_1} \right)$$

$$r_1 = r_2 = 0,0267 \text{ m}$$

Del resultado obtenido se puede concluir que el lente será de tipo convergente y tendrá dos radios de curvatura, uno a cada lado. Con este lente será posible enfocar el arreglo de LEDs en un solo punto de alrededor de un milímetro de diámetro.

En la tabla 2.4 se recopilan las características del lente y de la Irradiancia que será capaz de transmitir hacia la sustancia a analizar.

Tabla 0.4. Características del lente e Irradiancia de la fuente luminosa. [13]

Especificaciones ópticas de la fuente luminosa		
Parámetro	Unidad	Valor
Irradiancia	W/m ²	45,44
Distancia focal	Cm	1,5 a 2
Apertura	Cm	1,0578
Potencia	Dioptrías	66,67
Curvatura 1	Cm	2,67
Curvatura 2	Cm	2,67
Índice de refracción	Ninguna	1,89

El motivo por el cual es necesario un lente, se debe a que el LED tiene una potencia radiante muy pequeña, lo cual implica en que si no se concentra la luz, el efecto de atenuación de la misma debido a la difuminación por su ángulo de radiación ocasionaría que no se genere la suficiente energía en las sustancias y no se produzca radiación.

2.4. SIMULACIÓN

Con el fin de comprobar los resultados obtenidos, se realiza una simulación en el software “Optical Ray Tracer”, el cual es una aplicación gratuita multiplataforma que analiza los sistemas de lentes y espejos.

El programa computacional tiene un banco óptico virtual y utiliza los principios ópticos para predecir el comportamiento de lentes ordinarios y exóticos, analiza totalmente las propiedades ópticas, incluyendo refracción, dispersión a través de una fuente luminosa divergente o de rayos paralelos.

Como primer paso se debe agregar el lente al área de trabajo del programa diseñado anteriormente y se cambian sus parámetros ópticos, tal como se muestra en la figura 2.8. Los factores ingresados están enumerados y marcados en color rojo. El numeral 1 de la figura 2.5 corresponde al radio del lente. El numeral 2 permite modificar el índice de refracción. El numeral 3 permite configurar al lente como simétrico, para esta aplicación debe estar activada esta opción. El numeral 4 corresponde al radio de curvatura del lente. La opción del numeral 5 permite escoger el tipo de comportamiento ante la luz del lente, en nuestro caso es refractante (por ser un medio que deja pasar la luz).

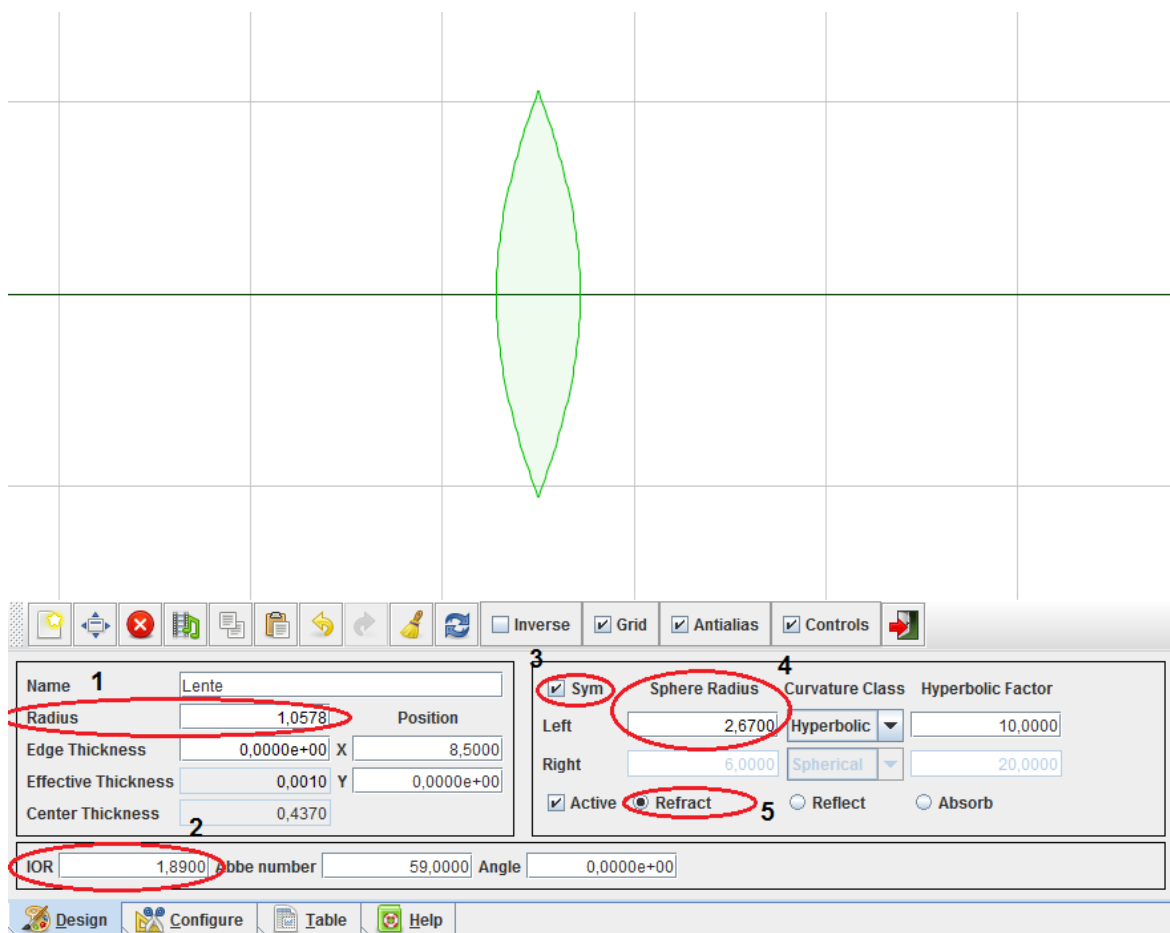


Figura 0.5. Parámetros para configuración de lente.

Una vez agregado el lente, se configuran las características de la fuente luminosa, en la figura 2.6 se indican los parámetros que se deben configurar.

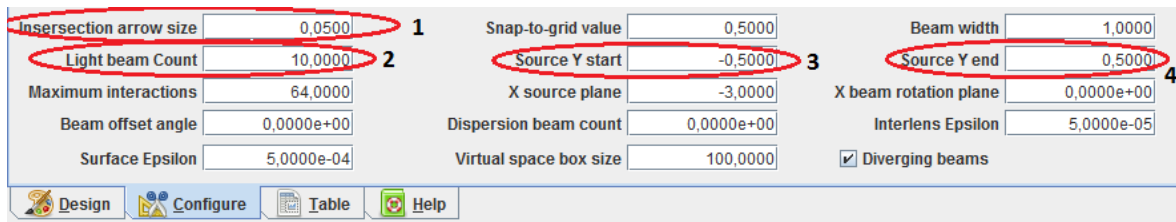


Figura 0.6. Configuración de características de la fuente luminosa.

El numeral 1 de la figura 2.6 pertenece al tamaño de las flechas que indican la dirección de los rayos de luz, el numeral 2 corresponde al número de rayos de luz, cabe recalcar que esto no interfiere sobre el resultado de la simulación y únicamente sirve para visualizar en mayor o menor cantidad los rayos. Los numerales 3 y 4 hacen referencia a la distancia a la cual los rayos divergen, cual determina el ángulo de radiación, para este caso como el ángulo de radiación del LED es de 20 grados, la distancia de divergencia será de -0,528 en 3 y 0,528.

Una vez configurada la fuente de luz y el lente, se comprueba el enfoque de los rayos de luz en un solo punto. Los resultados de esta simulación se observan gráficamente en la figura 2.7. En la izquierda de la figura se simula el LED con su ángulo de radiación de 20 grados, en el centro está ubicado el lente diseñado y a la derecha el plano que simula la muestra a analizar, efectivamente se tienen los rayos de luz del LED concentrados en un solo punto.

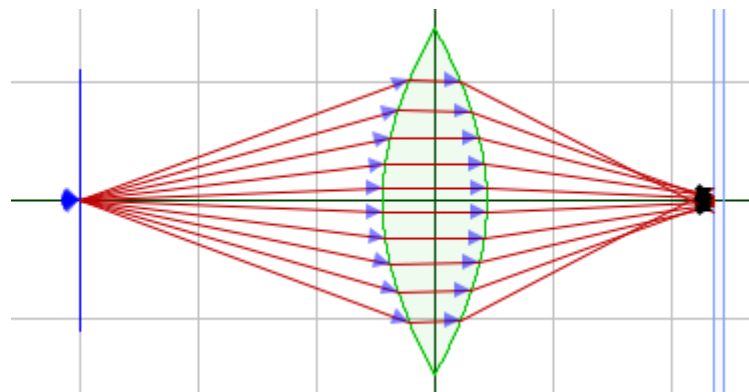


Figura 0.7. Resultado de simulación en software Optical Ray Tracer.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

3.1. COMPONENTES DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO

3.1.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y MECÁNICO

En el capítulo 2 se diseñó el sistema óptico para lograr el efecto deseado sobre los materiales enfocados. Ahora se procederá a explicar el funcionamiento de los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos del sistema, que se emplearán para complementar el sistema diseñado en el anterior capítulo.

El proceso del funcionamiento eléctrico/electrónico del sistema se detalla en la figura 3.1.

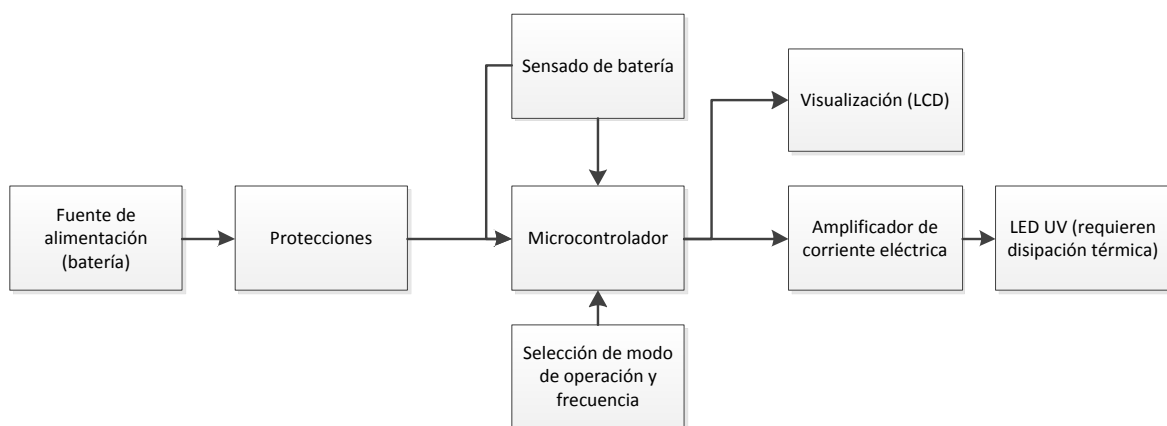


Figura 0.1. Proceso de funcionamiento del sistema eléctrico/electrónico.

Todo sistema electrónico o eléctrico, necesita de una fuente de alimentación. La aplicación a desarrollar abarca únicamente a dispositivos que funcionan con corriente continua, de bajo voltaje y corrientes pequeñas. Para ello se empleará una batería la cual será especificada más adelante. El sistema deberá contar con protecciones contra sobrecorriente y sobrevoltaje de todo el circuito.

Para controlar el modo de funcionamiento y disparo de los diodos emisores de luz se sugiere emplear un microcontrolador el cual mediante una señal cuadrada de voltaje pueda limitar la corriente que circula por ellos. Además esta señal puede ser modificada en frecuencia mediante un dispositivo adecuado para la calibración correcta y precisa que necesite la aplicación. Es importante controlar la corriente que llega a los LEDs-UV ya que estos son muy sensibles, pudiendo ser vulnerados fácilmente. Para esto se deberá utilizar dispositivos de protección que cumplan con la función de abrir el circuito cuando exista un exceso de corriente o temperaturas fuera del rango de funcionamiento permitido por el fabricante, los cuales serán detallados más adelante.

Finalmente se visualizarán algunos parámetros en una pantalla de cristal líquido (LCD).

3.1.1.1.Descripción del Funcionamiento del sistema eléctrico/electrónico

Al momento de la energización del sistema en general, un display de cristal líquido (LCD) de 16 caracteres por 2 filas (16x2) presenta un breve manual para el usuario. En este básicamente se detallan las opciones que se tienen en el funcionamiento del equipo que son dos: funcionamiento continuo y funcionamiento intermitente.

El sistema de control genera dos tareas: el funcionamiento de la fuente luminosa y el monitoreo de la batería para analizar su nivel de almacenamiento de energía.

Mediante dos pulsadores existentes en el panel de control el usuario puede establecer el modo de funcionamiento, sea este continuo o intermitente. Estos pulsadores generan interrupciones en el micro procesador mediante los cuales ejecuta las correspondientes acciones.

Al presionar el pulsador de funcionamiento continuo, se le ordena al elemento activo generar en un pin de salida un 0 lógico, que se emplea para el control de un mosfet que actúa como switch en la referencia de los UV leds. De esta manera el LED se iluminará de manera continua cuidando de que su corriente que circula por el mismo sea constante y libre de ruido o interferencias.

Cuando la elección del funcionamiento es intermitente, la señal que se genera en el mismo pin es una señal cuadrada periódica cuyo voltaje varía entre 0 y 5 Voltios, además esta señal se puede ajustar en frecuencia mediante la manipulación de un potenciómetro ubicado también en el panel de control.

El potenciómetro se encuentra conectado a un voltaje acondicionado de 5 V entre sus extremos fijos. Cambiando la posición del potenciómetro se modifica el voltaje entre su parte variable y la referencia. Este voltaje ingresa a uno de los pines destinados a la conversión analógica digital del micro controlador.

La información obtenida luego de la conversión se procesa de manera tal que este dato sea el tiempo de espera entre pulso generado en el pin para controlar al mosfet. El pulso dura 50 ms y su frecuencia puede variar entre 2 y 10 Hz aproximadamente.

La pulsación del LED permitirá al usuario calibrar la medición que realice con los instrumentos específicos. El tiempo de pulsación es el suficiente para que se genere fluorescencia en las muestras y exista la detección adecuada por los receptores de los instrumentos de medida.

En la Tabla 3.1 se detalla el número de puertos de entrada y salida (periféricos) que se necesitan del microcontrolador.

Tabla 0.1. Lista de recursos y pines del microcontrolador necesarios.

Recursos necesarios		
Periférico	Entrada	Salida
LCD 2x16		6 bits
Pulsador	2 bits	
Potenciómetro A/D	1 bit A/D	
Nivel de batería A/D	1 bit A/D	
Señal de disparo LEDs		1 bit
Avcc A/D	1 pin	
Aref A/D	1 pin	
Alimentación Vcc y GND	2 pin	
TOTAL	4 bits + 4 pines	7 bits

A continuación se revisarán los elementos que se van a utilizar en el proyecto.

3.1.2. MICROCONTROLADOR

En la actualidad los microcontroladores son parte de una gran cantidad de productos de cotidianos, como pueden ser juguetes, electrodomésticos, computadores, máquinas industriales, etc. Los microcontroladores se utilizan con el fin de aumentar prestaciones, reducir el tamaño y coste de los productos, además incrementan la fiabilidad y disminuyen el consumo energético.

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, es capaz de ejecutar instrucciones previamente grabadas en su memoria, este conjunto de instrucciones se denominan programa, el programa es capaz de controlar el funcionamiento de una tarea determinada. El microcontrolador contiene todos los componentes fundamentales de un ordenador.

Un microcontrolador incluye tres partes principales unidades de una computadora, las cuales son: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida.

3.1.2.1. Partes del Microcontrolador

Un microcontrolador abarca las siguientes partes [15]:

- **Procesador o Unidad Central del Proceso:** Haciendo analogía con el cuerpo humano, la Unidad Central del Proceso es el cerebro del sistema. Su función es la de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de operación de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como de la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.
- **Memoria:** La memoria se encuentra en el mismo encapsulado del microcontrolador, no es abundante y una parte debe ser no volátil o tipo ROM en donde se contiene el programa de instrucciones que gobierna la aplicación y otra volátil o tipo RAM en la cual se destina a guardar los datos.
- **Periféricos de Entrada y Salida:** Un periférico es un dispositivo auxiliar que se encarga de acondicionar entre las señales digitales del

microcontrolador y el mundo exterior o viceversa. Como ejemplo se tienen a los displays, sensores, bocinas, etc.

- **Reloj principal:** Todo microcontrolador posee un circuito oscilador genera una onda cuadrada de alta frecuencia, esta onda cuadrada se encarga de configurar los impulsos necesarios para la sincronización de todas las operaciones del sistema. Cuando se requiere trabajar a otras frecuencias se incrementan componentes exteriores como un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos. Aumentar la frecuencia de reloj implica que aumente el consumo de energía.
- **Otros recursos:** Cada fabricante oferta numerosos recursos básicos en cada modelo de microcontrolador, como por ejemplo, temporizadores o timers, conversores análogo/digital o viceversa, comparadores analógicos, puertos de comunicación, modulador de ancho de pulsos, estado de reposo o de bajo consumo, etc.

3.1.2.2. Criterio de Selección de ATMEGA 8

Para escoger el microcontrolador a emplear, se deben tomar en cuenta muchos factores, como la documentación, herramientas de desarrollo disponibles, el precio, cantidad de fabricantes que lo producen y por supuesto las características del microcontrolador (tipo de memoria de programa, número de temporizadores, interrupciones, etc.).

Para la aplicación se han tomado los siguientes requerimientos:

- **Convertor Análogo/Digital:** Es un dispositivo electrónico que convierte una señal analógica de voltaje en una señal digital o viceversa. Toda magnitud física es una variable analógica. El dispositivo es capaz de establecer una relación entre una señal de entrada y la señal de salida. Para convertir una señal analógica en digital, se debe realizar un muestreo o sampling de la señal analógica, esto significa a que se toman varias muestras de voltajes en rangos de tiempos iguales. Cuando se toman más muestras en un mismo tiempo implica a que se tenga una mayor frecuencia de muestreo,

en donde la señal digital tendrá mayor similitud a la señal analógica. En la Figura 3.2 se señala una señal continua con su respectivo muestreo.

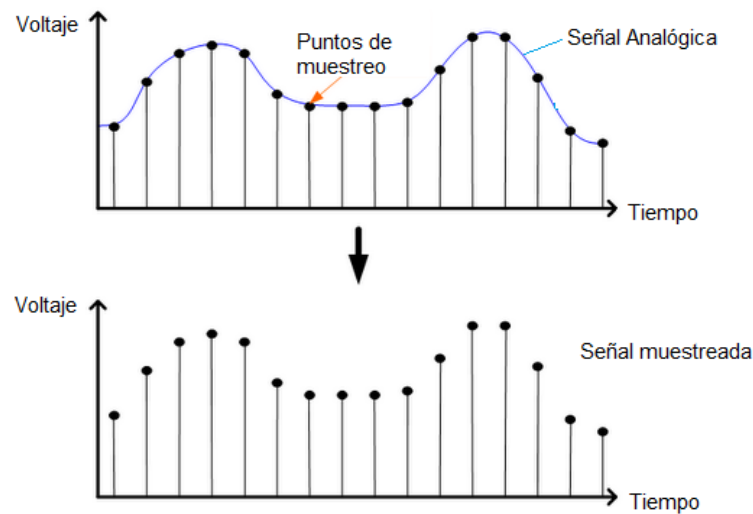


Figura 0.2. Muestreo de una señal analógica. [16]

Una vez muestreada la señal se debe cuantizarla. Los valores continuos de la señal analógica, toman valores numéricos decimales discretos correspondientes a los distintos niveles o variaciones de voltajes que contiene la señal analógica original.

Como último paso se tiene la codificación de los valores tomados en las muestras a valores binarios o digitales.

La figura 3.3 indica el diagrama de bloques de un conversor A/D común.

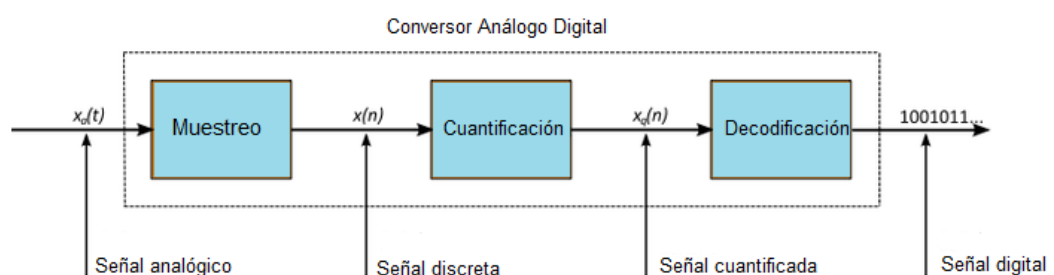


Figura 0.3. Diagrama de bloques de un conversor análogo digital

- Número mínimo de entradas y salidas: El número de pines de un microcontrolador representa al número de canales de entrada o salida, es decir entre mayor sea el número de pines, mayor será la cantidad de

periféricos que se puedan conectar, sin necesidad de hacer trabajar al microcontrolador en modo extendido.

- Precio cómodo: Algo que es muy importante es el precio y la disponibilidad del microcontrolador. Se ha optado por trabajar con el microcontrolador ATMEGA 8 el cual al tratarse de un microcontrolador básico, fiable y de gran disponibilidad en el mercado, satisface todas las necesidades que se requieren para la aplicación. El microprocesador ATMEGA 8 es un procesador de 8 bits y sus principales características son:

130 Instrucciones de programa

8 Kilobytes de memoria flash programable para programa

512 Bytes de memoria EEPROM

1 Kbyte de memoria SRAM

2 temporizadores con prescalador separado y un modo de comparación

6 canales análogo/digitales de 10 bits de precisión

23 líneas de entrada/salida programables

0 a 8 MHz frecuencia de reloj

Estas características son tomadas del Anexo B.

3.1.2.3. Entradas A/D (ATMEGA 8)

Un conversor o convertidor análogo digital es un sistema que permite obtener información binaria (digital), a partir de una entrada análoga.

El proceso, inevitablemente, conlleva una pérdida de información. Para que esta pérdida sea minimizada los pasos intermedios entre la entrada de la señal análoga y la salida digitalizada sean óptimos.

Existen varios métodos para la conversión, y del tipo de arquitectura que emplea el sistema depende también la calidad del resultado final.

Distintos parámetros caracterizan a la conversión entre los que se pueden citar a la resolución, el rango de entrada análoga, la velocidad de conversión, entre otras. Incrementando un solo bit en la respuesta se aumenta enormemente su

resolución, pero a su vez su complejidad asciende y la velocidad de respuesta empobrece.

El objetivo principal de un conversor análogo digital es adaptar las señales presentes en el mundo (sean estas fuerza, masa, flujo, temperatura, etc.), que se pueden interpretar eléctricamente mediante transductores, a un código que pueda ser entendido por sistemas computarizados para actuar sobre estas variables con acciones de control. El código que todo sistema procesado entiende es el lenguaje binario. En la figura 3.4 se detallan las etapas de la conversión.

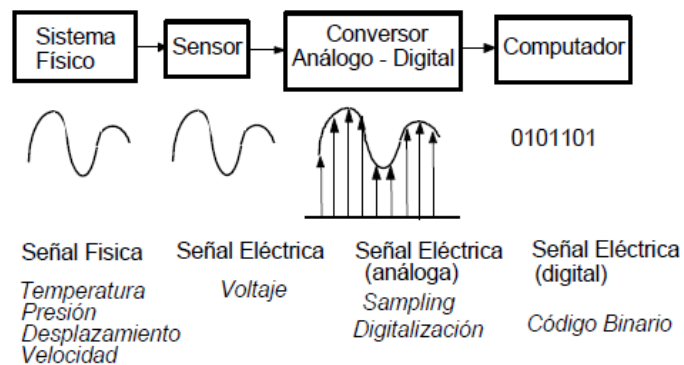


Figura 0.4. Proceso de conversión. [17]

El teorema de Nyquist, establece que la frecuencia de muestreo debe ser de por lo menos dos veces la frecuencia de la señal que se quiere digitalizar para evitar la pérdida de información, que se conoce como el fenómeno de Aliasing.

Los conversores análogo-digital se fundamentan en una función de transferencia idealizada en donde sus entradas y salidas son relacionadas. (Como se muestra en la figura 3.5).

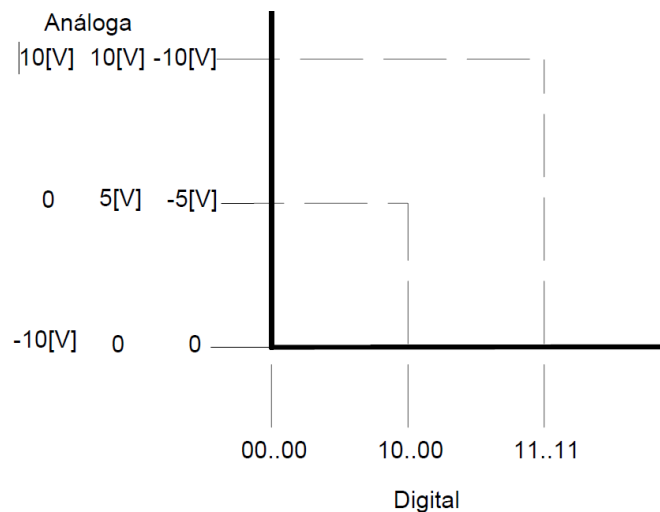


Figura 0.5. Función de transferencia del convertor A/D. [17]

Las características de un convertor de este tipo son: la resolución, la linealidad integral y diferencial, la monotonicidad, el error de ganancia, desplazamiento y cuantificación y la velocidad.

La resolución se entiende a los niveles de voltaje que la respuesta presenta. Así, si la salida digital posee n bits, los niveles de voltaje que manejará serían de 2^n .

La linealidad integral corresponde a la desviación máxima existente en el comportamiento ideal y el real. A su vez, la monotonicidad demanda que para cada modificación (incremento o decremento) en el voltaje de entrada le corresponda un equivalente a la salida, buscando optimizar toda la información posible.

Los errores de ganancia determinan la precisión del convertor A/D. El error de desplazamiento consiste en el traslado de todos los niveles de voltaje (sea incremento o decremento) en todo el rango de conversiones. Se lo analiza cuando la entrada es de cero [17]. En la figura 3.6 se describe este error.

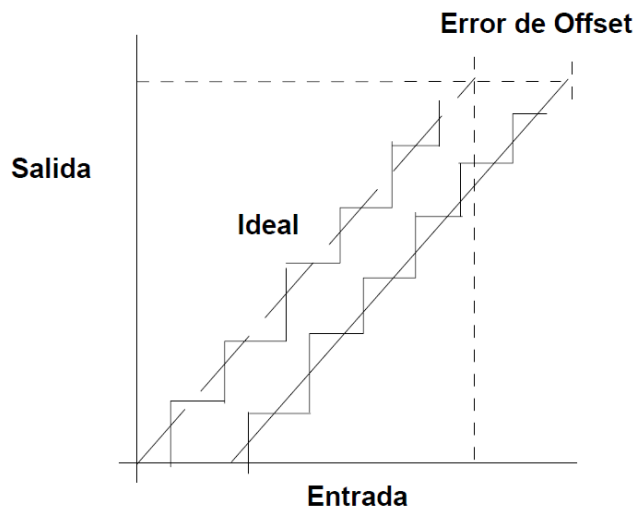


Figura 0.6. Error de desplazamiento (offset). [17]

La velocidad de conversión dependerá de la cantidad de bits que presente la salida y es donde se debe preponderar entre la calidad de información deseada y la velocidad que satisfaga los requerimientos de la aplicación (cabe recalcar la necesidad de cumplir con el teorema de Nyquist).

Existen varias técnicas para realizar la conversión, entre ellas están: rampa de escalera, por aproximaciones sucesivas, paralela, de doble rampa, convertidor voltaje frecuencia y el convertidor serie.

La empleada por la generalidad de los micro procesadores Atmel, y en específico por el Atmega8 es la de aproximaciones sucesivas.

Es ideal para la mayoría de las aplicaciones posible con este microprocesador porque presenta un equilibrio entre velocidad de conversión y la resolución de la respuesta.

A diferencia de la arquitectura del conversor de rampa de escalera, que realiza la comparación continua entre la información entrante análoga y una rampa generada por el sistema necesitando para ello de un contador secuencial de uno a uno, consta de un contador programable. Esto permite dinamizar su respuesta respecto a su homólogo pues debe realizar solo n comparaciones y no las 2^n necesarias para el otro conversor [17]. En la figura 3.7 se presenta su arquitectura.

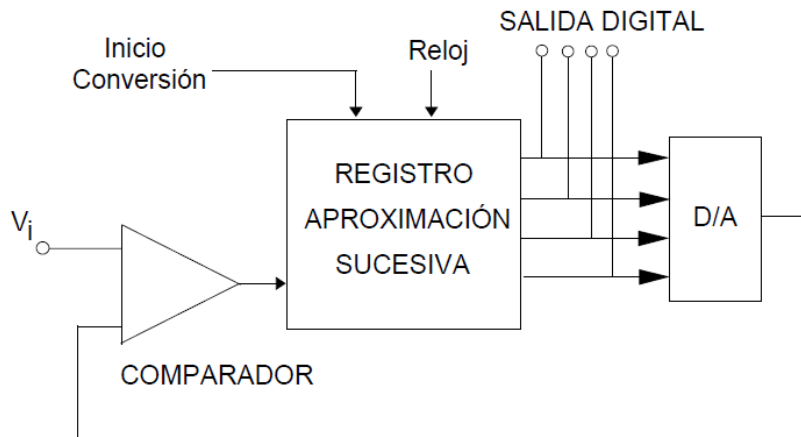


Figura 0.7. Arquitectura del convertor por aproximaciones sucesivas. [17]

El tiempo de conversión depende del tamaño en bits de la salida y no de la entrada analógica. Cuando recibe la señal de inicio, el registro de aproximaciones sucesivas otorga un “1” al bit más significativo (MSB), dejando al resto en “0”. Si a la salida del convertor D/A se tiene un valor mayor que el voltaje de entrada (V_i), el registro asigna un valor de “0” al bit con más peso y a su inmediato inferior el “1” anterior. Si por el contrario el voltaje V_i es mayor que el dato saliente del convertor D/A interno, el MSB tendrá un valor de “1” y el bit inmediato inferior recibirá el “1” con el que el proceso empezó.

El proceso continua hasta que el bit menos significativo reciba modificación (luego de n repeticiones). La figura 3.8 ejemplifica una salida de este tipo de convertor.

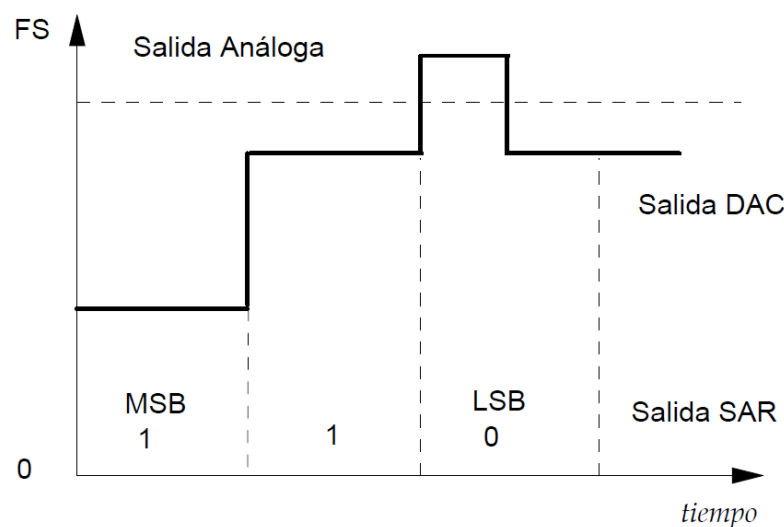


Figura 0.8. Salida de un convertor A/D por aproximaciones sucesivas. [17]

El controlador que se emplea, el Atmega8L, presenta 8 entradas para la conversión A/D con 10 bits de resolución. Su tiempo de conversión es entre 13us y 260us, el rango de entrada está entre 0V y el voltaje de Vcc. Su energización es independiente del sistema de energizado del micro procesador en general y su variación no debe ser mayor 0.3V. Para otorgarle inmunidad al ruido, se conecta el pin de AREF a tierra mediante un capacitor. Para efectuar tareas de control, presenta una interrupción al finalizar la conversion (Anexo B). El diagrama interno del conversor en el micro controlador se muestra en la figura 3.9.

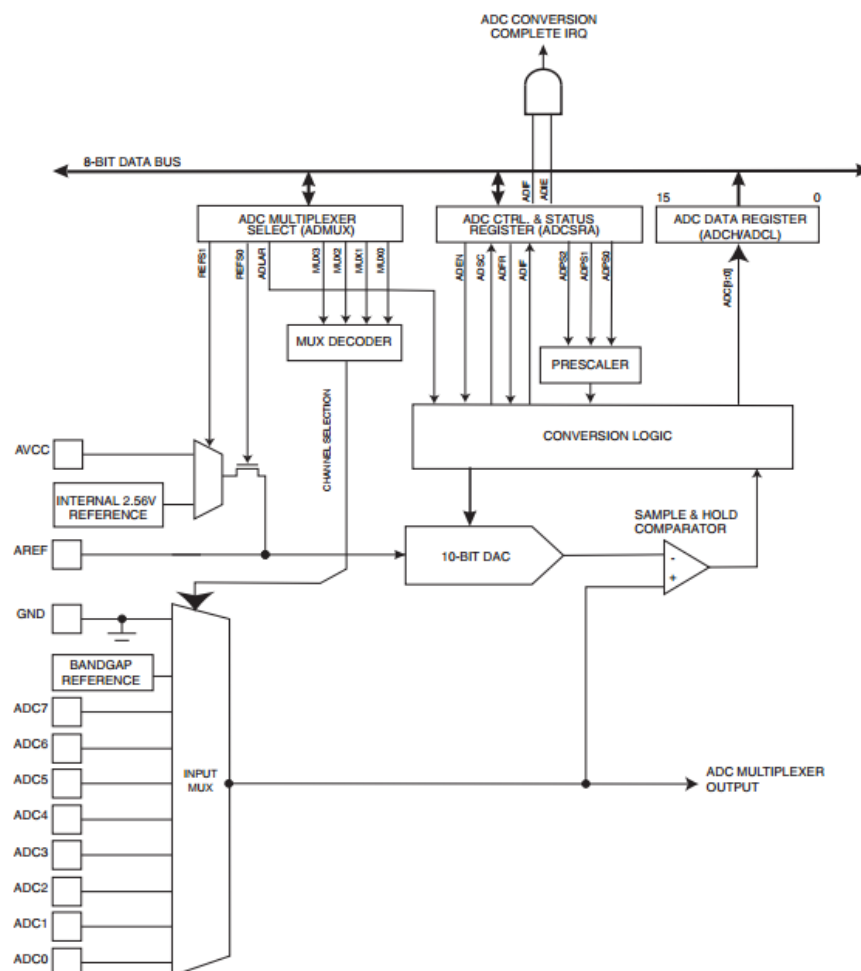


Figura 0.9. Diagrama de bloques del conversor A/D del ATmega 8. Anexo B.

3.1.2.4. Interrupciones del Microcontrolador ATmega 8

El micro controlador ATmega 8 presenta dos interrupciones externas que al momento de ser activadas, detiene la secuencia de las instrucciones que se le

han programado previamente dentro del lazo principal, para ejecutar las instrucciones que obedecen al llamado de la interrupción. Cuando cada instrucción que conforma la interrupción, el sistema continúa con la ejecución desde donde que encontraba al momento activarse cualquiera de las interrupciones.

Las interrupciones deben ser habilitadas y configuradas para que respondan con las condiciones presentes en el hardware y satisfagan las necesidades del operador. Puede reconocerse una interrupción cuando en el pin se reconoce un cambio de estado bajo a alto, de estado bajo a alto, o al percibir cualquier tipo de cambio.

En este caso, se configuró con un cambio de estado alto a bajo por simplicidad en el hardware: el estado habitual del pin se configura como entradas pull up y mediante un pulsador conectado a tierra se logra cambiar al estado bajo.

3.1.3. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Debido a que la aplicación es portátil, deberá contar con una fuente de energía móvil. Se hará uso de baterías eléctricas, las cuales hoy en día no son tan costosas, son versátiles y además son requeridas en todo dispositivo portable que requiera de energía eléctrica para su funcionamiento.

En la actualidad las más utilizadas para robots o sistemas electrónicos son las baterías de níquel, níquel cadmio, iones de litio y de su variante más actual de polímero de litio.

3.1.3.1. Batería de ion de Litio (Li-ion)

Estas baterías emplean como electrolito una sal de litio que entregan los iones necesarios para generar una reacción electroquímica reversible que se da lugar entre el cátodo y el ánodo. En la Figura 3.10 se muestra la composición de una batería de ion de litio normal.

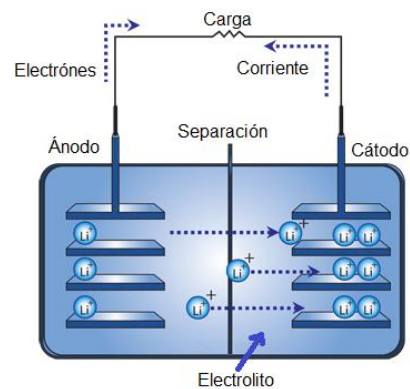


Figura 0.10. Composición de una batería de ion litio en su proceso de descarga [19].

Utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina u óxido de manganeso. Su desarrollo es reciente y permite llegar a altas densidades de capacidad. No admiten descargas tan grandes y sufren cuando estas suceden. Suelen llevar circuitería adicional para conocer el estado de la batería y evitar la carga excesiva y la descarga completa.

Ventajas:

- Acumulan una mayor carga por unidad de peso y volumen.
- No son muy pesadas.
- Facilidad para saber la carga que almacenan, basta con medir el voltaje de la batería.
- Baja tasa de autodescarga, cuando no se almacena la batería esta se descarga progresivamente aunque no se la utilice, y lo realiza en un 20% mensual siendo una de las menores del mercado.

Desventajas:

- Tienen una vida útil aproximadamente de 3 años.
- Soportan un número limitado de cargas que van entre 300 y 1000.
- Pueden sobrecalentarse hasta el punto de explotar.
- Voltaje de salida variable, es necesaria la utilización de un regulador de voltaje [18].

3.1.3.2. Batería de Polímero de Litio (LiPo)

Son una variación de las baterías de iones de Litio (Li-ion). Las características son muy similares, pero permiten mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior. Tienen un tamaño más reducido respecto a otras de la misma capacidad pero de distinto tipo.

Cada celda tiene un voltaje nominal de 3,7 Voltios (V). Voltaje máximo de 4,2 Voltios (V) y mínimo de 3,0 Voltios (V). Si el voltaje es menor al mínimo establecido la batería sufre daños irreparables, pudiendo quedar totalmente inutilizada.

Las ventajas de utilizar baterías de Polímero de Litio son:

- Mayor densidad de carga.
- Tamaño reducido.
- Buena tasa de descarga.

Las desventajas de utilizar baterías de Polímero de Litio son:

- Pueden dañarse si se descargan más del límite establecido.

Su peso y tamaño reducido las hace muy útiles para equipos pequeños que requieren de una potencia moderada y duración [19].

El sistema funcionará con una batería de Polímero de Litio (Li-Po) de 3 celdas lo que equivale a 11.1 Voltios (V) nominal, un máximo de 12,6 Voltios (V) y mínimo de 9 Voltios (V).

3.1.3.3.Censado y monitoreo de batería

Para poder monitorear el nivel de voltaje de la batería también se emplea uno de los conversores análogo digital del microprocesador. La integridad de la batería se conserva si su voltaje no desciende más que un límite establecido por el fabricante.

El sistema de censado del nivel de la batería se lo realizará a través de uno de los pines del convertidor análogo/digital del microcontrolador ATMEGA 8. Para ello se deberá realizar el diseño del divisor de voltaje necesario para que no se

sobrepase los 5 Voltios (V) que necesita el microcontrolador como máximo por cada pin.

El valor máximo de voltaje en la carga será de 12,5 Voltios (V) que es el Voltaje al 100%, como se ve en (3.1), después de una carga completa. El voltaje límite de descarga se considera de 10 Voltios (V) (detallado en (3.2)) con el fin de salvaguardar la vida útil de la batería, evitando llegar a los 9 Voltios (V) que es donde la batería podría quedar dañada.

$$V_{max} = 12.5 V \rightarrow 100 \% \text{ Batería} \quad (3.1)$$

$$V_{min} = 10 V \rightarrow \text{Necesita recargar} \quad (3.2)$$

Experimentalmente ha sido descargada una batería Li-Po de capacidad 1000 mAh a 5 A constantemente, como resultado, tomando valores de voltaje de una celda cada cierto tiempo, obtuvimos la siguiente gráfica, Figura 3.11.

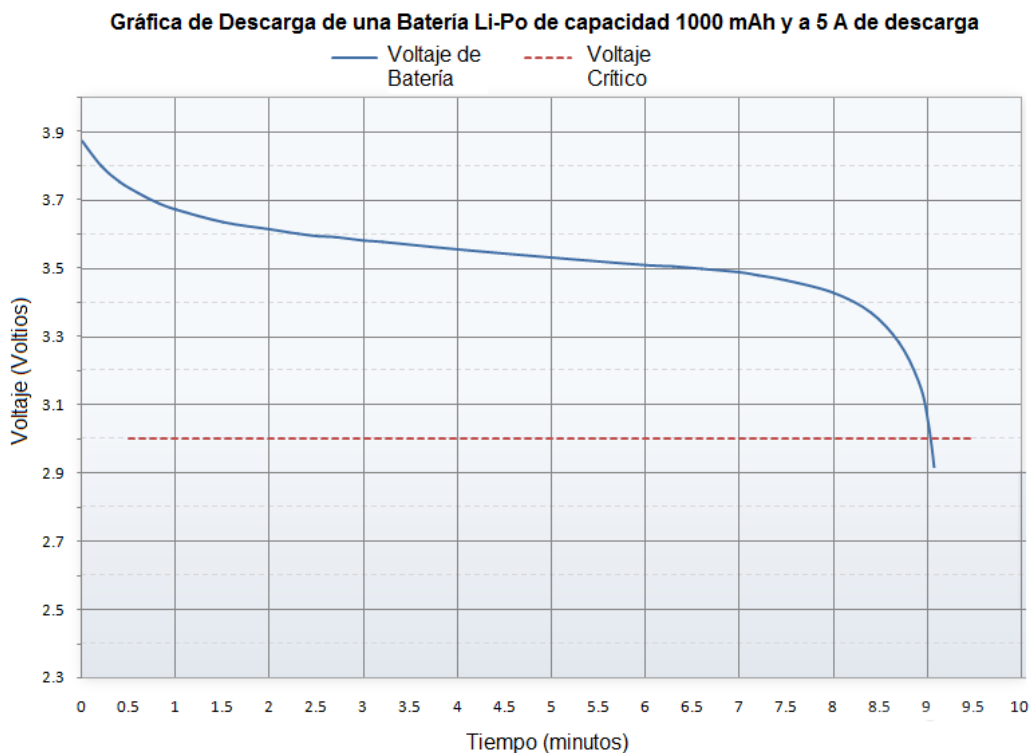


Figura 0.11. Descarga de una batería Li-Po, datos experimentales, valores de voltaje tomados de una celda.

Como se puede observar, presenta dos rangos no lineales al inicio y al final de la descarga y un rango donde tiende a ser lineal en el medio de la descarga,

Con el fin de que el usuario del sistema conozca el nivel en el que se encuentre la batería, se ha procedido a suponer que la descarga es lineal, específicamente una recta, Figura 3.12, lo cual si bien no es cierto, nos ayuda a tener una idea del estado de energía de la batería y poder recargarla a tiempo antes de llegar al límite de descarga de la batería.

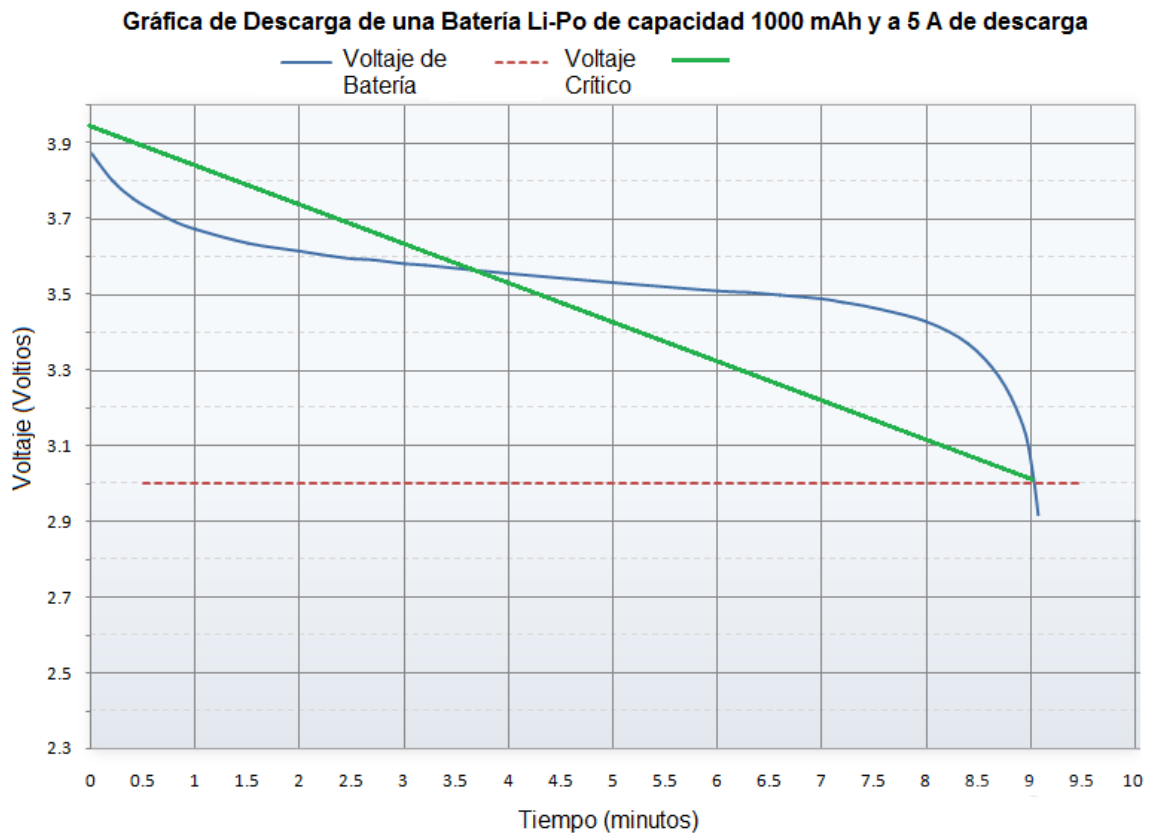


Figura 0.12. Aproximación a una recta de la curva de descarga de la batería.

En la Figura 3.13, se muestra los rangos de voltaje para saber el porcentaje de carga de la batería. Cuando el voltaje de la batería sea de 12,5 Voltios (V), en el LCD se mostrará la carga de la batería al 100%, a medida que el voltaje vaya decreciendo, el porcentaje de la batería también decrecerá hasta el límite de 10 Voltios en donde se mostrará un mensaje al usuario de que se debe recargar la batería.

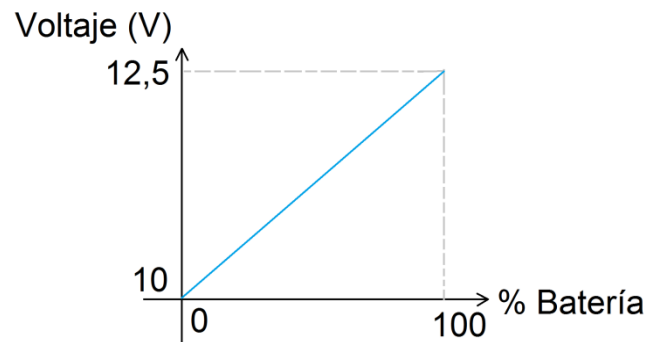


Figura 0.13. Rangos de voltaje y porcentaje de batería.

El microcontrolador necesita de un voltaje no mayor a 5 Voltios (V) en la entrada del pin convertidor análogo/digital, para lo cual se debe realizar un divisor de voltaje que limite el mismo a máximo 5 Voltios (V). La Figura 3.14 muestra la gráfica que nos servirá para realizar el cálculo del convertidor análogo/digital y visualizarlo en el LCD, en la Figura 3.15 se observa el circuito del divisor de voltaje y la gráfica de voltajes correspondientes a los porcentajes de batería.

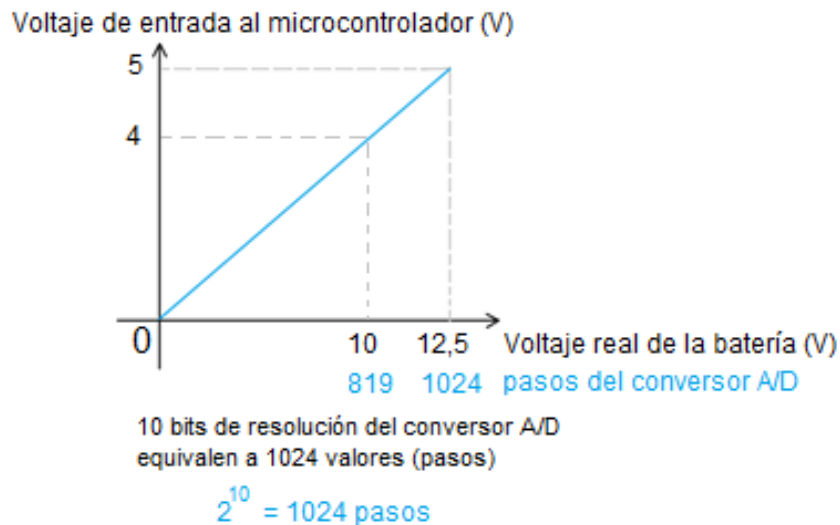


Figura 0.14. Nivel de batería acondicionado al convertidor A/D del microcontrolador.

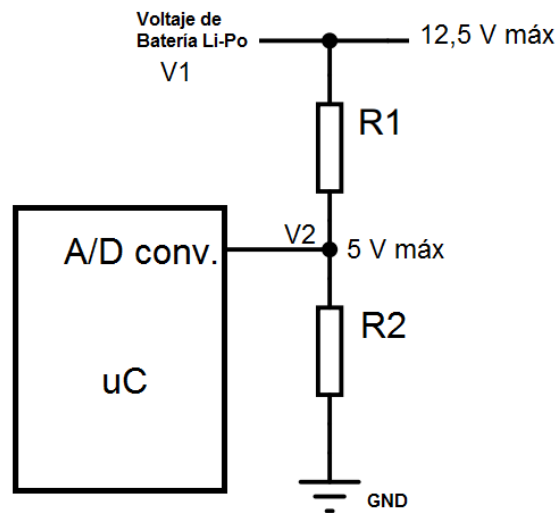


Figura 0.15. Divisor de voltaje para limitación de voltaje y corriente al pin del conversor A/D del microcontrolador.

$$V2 = \frac{R2}{R1+R2} * V1 \quad (3.3)$$

Para 12,5 Voltios en la carga máxima de la batería Li-Po, el voltaje máximo que debe entrar al microcontrolador será de 5 Voltios, de la ecuación (3.3), se calcula las resistencias eléctricas:

$$5 V = \frac{R2}{R1 + R2} * 12,5 V$$

Asumimos $R2 = 10 \text{ k}\Omega$ con el fin de que la corriente esté dada en miliamperios (mA).

$$5 V = \frac{10 \text{ k}\Omega}{R1 + 10 \text{ k}\Omega} * 12,5 V$$

$$R1 = \frac{10 \text{ k}\Omega}{5 V} * 12,5 V - 10 \text{ k}\Omega$$

$$R1 = 15 \text{ k}\Omega$$

$$R2 = 10 \text{ k}\Omega$$

Cuando el nivel de la batería es 0%, se comprueba de la ecuación (3.3) que el voltaje que llegará al microcontrolador es de 4 Voltios (V).

Para el nivel de batería 0%, el voltaje de la batería es de 10 V y el voltaje en el conversor A/D será de:

$$V2 = \frac{10 \text{ k}\Omega}{15 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} * 10 \text{ V}$$

$$V2 = 4 \text{ V}$$

3.1.3.4. Auto-desconexión de batería en valores críticos

Como se dijo anteriormente, la batería tipo Li-Po que se empleará puede dañarse si se descarga bajo los 9 Voltios, para lo cual es necesario realizar un sistema de auto-desconexión de la misma cuando el voltaje se aproxime al mencionado.

Considerando que para mantener la vida útil de la batería, esta debe permanecer con un voltaje remanente mayor a 9 Voltios; a continuación se realiza el diseño del circuito que desconectará la batería de manera automática al tener un nivel de carga menor a 10 Voltios.

Para la desconexión de la batería del sistema de control y potencia, se empleará un relé de 12 Voltios. El relé está conformado por una bobina, la cual al excitarse con valores predeterminados de corriente, conmuta un contacto mecánico, el cual podrá realizar la conexión y desconexión de la batería. El relé deberá estar accionado cuando el voltaje de la batería es mayor a 10 Voltios y deberá desconectarse al tener la batería un voltaje menor o igual a 10 Voltios.

Para la excitación de la bobina del relé se empleará un transistor bipolar de juntura. En la figura 3.16 se muestra el circuito de auto-desconexión de la batería.

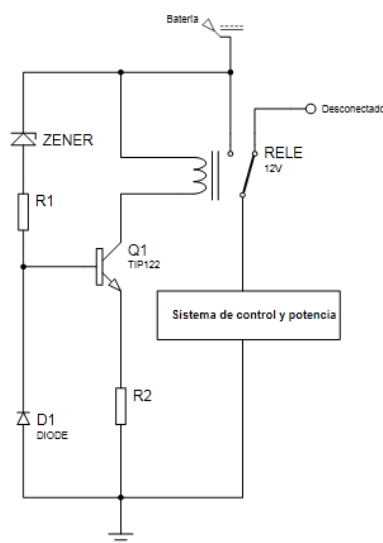


Figura 0.16. Circuito de auto-desconexión de batería.

3.1.3.4.1. Funcionamiento y diseño del circuito de auto-desconexión

Al tener un voltaje mayor a 10 Voltios, el voltaje base-emisor debe ser el necesario para que el transistor conduzca (exista corriente de colector a emisor) dando como consecuencia a la energización de la bobina del relé, para que esta conmute y conecte el circuito, en los 10 voltios o menos, el voltaje base-emisor deberá ser menor al requerido para que el transistor entre en la región de corte (no exista corriente de colector a emisor) y des energice la bobina del relé, como efecto se tiene la desconexión de la batería al sistema de control y de potencia.

A continuación se detalla el diseño del circuito de auto-desconexión de la batería.

Primeramente se analiza la rama de la carga (relé) cuando la batería actúa a 10 Voltios, mediante la ecuación (3.4).

$$V_{CC} = V_{RL} + V_{CE} + V_{R2} \quad (3.4)$$

El voltaje V_{CE} de saturación del BJT para 10 Voltios es de aproximadamente 1 Voltio según el fabricante del BJT TIP 122 el cual es un transistor NPN Darlington y puede manejar corrientes en el colector de hasta 5 Amperios.

Tomando en cuenta que la corriente de colector (I_1) será aproximadamente la corriente de emisor se calcula la resistencia R_2 ya que la resistencia R_L será de 400 ohmios según el fabricante.

De la ecuación (3.4) se obtiene R_2 :

$$10 V = I_1 R_L + 1 V + I_1 R_2 \quad (3.5)$$

La bobina del relé a utilizar se excita con al menos 20 miliamperios, por lo tanto es importante garantizar que I_1 cumpla con esta condición. De (3.5) se obtiene:

$$R_L + R_2 = 9V/20mA$$

$$R_2 = 450 - 400$$

$$R_2 = 50 \Omega$$

Los valores estándares de resistencias eléctricas más próximas son de 47 y 56 ohmios. Con 47 ohmios se garantiza que la corriente sea mayor a 20 miliamperios en el ramal, por lo tanto se escoge este valor.

Para el ramal que va conectado a la base del transistor escogimos un zener de 8.2 Voltios el cual nos garantiza que exista una diferencia de potencial entre base y emisor cuando la batería se encuentra al 100 % de carga y en 10 Voltios, es este elemento el que nos ayudará a limitar la conmutación del BJT para la conexión y desconexión de la batería mediante el relé.

La función del diodo D_1 es la de polarizarse inversamente para mantener un voltaje entre base y emisor, si este es menor a 1,4 Voltios, el voltaje entre base y emisor también lo será, esto ocurre cuando la batería se descarga bajo los 10 Voltios.

Para el cálculo de R_1 se considera que el voltaje del capacitor será de 1 Voltio y que la corriente que pasa por el ramal del zener y R_1 es menor a 0,2 miliamperios que es la corriente que necesita el BJT para polarizarse.

Realizando la suma de voltajes en el límite de conducción del BJT se tiene la ecuación (3.6):

$$V_{CC} = V_Z + V_{R_1} + V_C \quad (3.6)$$

Donde,

$$10 \text{ V} = 8,2 \text{ V} + I_Z R_1 + 1 \text{ V}$$

$$I_Z R_1 = 0,8 \text{ V}$$

$$R_1 = 4000 \Omega$$

Los valores estándares de resistencias son de 3,9 kilo-ohm y 4,7 kilo-ohm, se debe seleccionar el valor de 4,7 K Ω para garantizar que la corriente sea menor y el BJT no conduzca para 10 Voltios de carga de la batería.

3.1.4. PROTECCIONES

Las protecciones se emplean para garantizar que el comportamiento dinámico de la energía, como picos de corriente, de voltaje o sobre corriente, no afecte en el comportamiento del sistema.

Las protecciones empleadas en el proyecto son los reguladores de voltaje y fusibles reutilizables (PTC).

Mediante un regulador de voltaje se asegura que la alimentación del micro controlador sea de 5 voltios constantes, y por ende, se garantiza su correcto funcionamiento. El regulador de voltaje impide también la aparición de picos de voltaje que atentan contra la integridad del dispositivo encargado del control.

Adicionalmente, para poder escoger el elemento adecuado, se debe analizar la demanda de corriente que presenta el elemento al cual se pretende energizar, el micro controlador.

3.1.4.1. Demanda de energía

Cada pin del micro controlador puede entregar un máximo de 25 mA y este es el punto de partida para el diseño.

En la tabla 3.2 se detallan los pines empleados del micro controlador detallando su utilidad.

Tabla 0.2. Demanda de corriente del microcontrolador. Anexo B.

Detalle de la utilización de los pines del Atmega 8L			
Pin	Utilidad	Consumo por pin	Consumo total
Pb 0-Pb 5	Datos y control de LCD	25 mA	150 mA
PC 0	Entrada ADC: disparo	25 mA	25 mA
PC 1	Entrada ADC: sensado batería	25 mA	25 mA
PD 2	Interrupción externa (modo intermitente)	25 mA	25 mA
PD 3	Interrupción externa (modo continuo)	25 mA	25 mA
PD 6	Señal de disparo	25 mA	25 mA

Consumo total	275 mA
----------------------	---------------

Adicionalmente, el sistema micro procesado necesita de 3,6 mA en su alimentación para funcionar.

Por su parte, el LCD es otro componente que demanda energía desde la alimentación de señal. El led de iluminación se energiza mediante una resistencia de 330Ω al voltaje de polarización. Por tanto, se emplea la ecuación (3.7) que representa la Ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \quad (3.7)$$

$$I_{iluminación} = \frac{V_{cc}}{R_{LED}}$$

$$I_{iluminación} = \frac{5V}{330\Omega}$$

$$I_{iluminación} = 15.15mA$$

El contraste del LDC se controla al variar el voltaje en el pin destinado a este propósito mediante un potenciómetro de $1k\Omega$ entre V_{cc} y tierra; la corriente de este componente se encuentra con la ecuación (3.7) nuevamente:

$$I_{contraste} = \frac{V_{cc}}{R_{pot}}$$

$$I_{contraste} = \frac{5V}{1k\Omega}$$

$$I_{contraste} = 5mA$$

La corriente que necesita el display para analizar la información y graficarla es de 1.5 mA típicamente.

Con estos datos se tiene una demanda total de corriente en la parte de control de 300.25 mA. El regulador de voltaje 7805 puede proporcionar una corriente de hasta 1.5 amperios, satisfaciendo las necesidades presentadas.

3.1.4.2. Reguladores de voltaje

En la figura 3.17 se muestra el integrado L7805 en dos de sus encapsulados

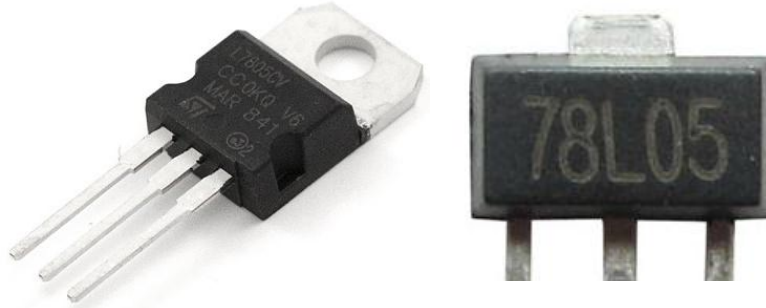


Figura 0.17. Integrado L7805: encapsulado TO-220 (izquierda), encapsulado smd (derecha). Anexo C

Utilizando otro componente regulador de voltaje se energiza a los componentes activos, a los LED UV. Estos requieren un voltaje de 5 V entre su ánodo y cátodo para operar. Sin embargo, se deben compensar las caídas de tensión en los componentes que intervienen en la regulación de energizado para los UV leds; es decir, los LM 317 configurados especialmente para que actúen como una fuente de corriente constante, y los elementos semiconductores que intervienen en el switcheo a la referencia de los LED UV. Por este motivo, el sistema cuenta con los reguladores L7809 para la energización de estos sistemas, cuyas presentaciones son idénticas a las de su homólogo anterior.

Con los reguladores van a alimentar a los UV led, cuya demanda máxima de corriente es de 180 mA. Se cuenta con cuatro diodos por lo que la corriente que debe proveer, en un punto crítico es de 720mA. Esta demanda es satisfecha fácilmente por el 7809. Cabe recalcar que la capacidad total del circuito es para 4 LED UV, pero en la presente aplicación solamente se necesitará un diodo, quedando 3 restantes para futuras aplicaciones.

3.1.4.3. Termistor PTC

En la electrónica smd es complicado el remplazo de fusibles cuando estos han actuado para otorgar su protección. Para ello, se han adaptado las propiedades del sensor de temperatura PTC para los requerimientos de protección ante sobre corrientes.

Cuando circula una corriente por el PTC a niveles superiores a los establecidos por el fabricante, el elemento incrementa su temperatura. Este comportamiento térmico hace que su resistencia se incremente significativamente y la corriente que circula por él disminuye en similar proporción pero no se extingue. En ese momento, la protección se aplica al circuito. En la figura 3.18 se grafica la relación entre la temperatura del elemento y su resistencia. El trip point es el punto a partir del cual la resistencia incrementa abruptamente.

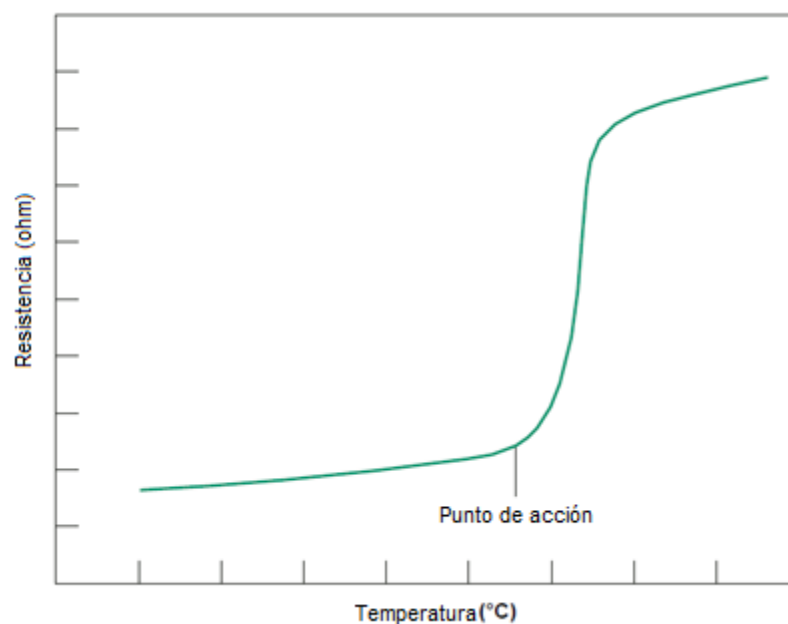


Figura 0.18. Resistencia VS temperatura en un PTC [20].

Sin embargo, la temperatura y su resistencia permanecen en un nivel alto debido a que la corriente de mantenimiento del PTC continua circulando por este. Para retomar las condiciones de operación, se debe eliminar su alimentación; ante la ausencia de la corriente de mantenimiento el dispositivo retoma sus condiciones térmicas y resistivas iniciales [20]. En las figura 3.19 se muestra un fusible reajutable en dos de sus presentaciones.

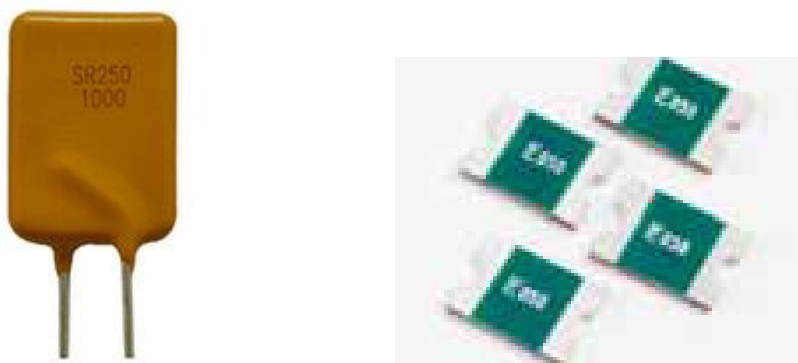


Figura 0.19. Fusible reajutable (convencional izquierda, smd derecha).

En la tabla 3.3, se detalla la demanda de corriente total del sistema, para establecer en base a esta, la protección:

Tabla 0.3. Demanda total del sistema.

	Componente	Demanda de un solo LED	Demanda total (4 LEDs)
Sistema de control	Microcontrolador	275 mA	275 mA
	LCD LM016L	21.15 mA	21.15 mA
Sistema de potencia	LM 317 + LED	180 mA	720 mA
	IRF 530 / 2n3904	7.5 mA	7.5 mA
Total		483,65 mA	1.02 A

La corriente crítica para los UV leds 180 mA. Como el arreglo es de cuatro componentes, la corriente a la que se debe proteger es de 720 mA, y junto con la demanda del medio de control se tiene una corriente total de 1.02 A. La protección se aplica a esta corriente puesto que son consideradas las condiciones críticas para calcularlas.

Se escoge el fusible reajutable PTC de 1 amperio con una capacidad de voltaje máxima de 10 voltios. Con estas consideraciones, se garantiza la protección del circuito ante posibles fallas en el sistema de energía.

En vista de que para la aplicación se va a trabajar únicamente con un diodo LED, la corriente total que demanda el sistema será de 483,65 mA tal como se indica en la tabla 3.3.

3.1.5. LED UV

En el proyecto se utilizará el diodo LED-UV de marca Roithner LaserTechnik GmbH, el modelo UVLUX320-5 (Anexo A), este dispositivo nos da luz en una longitud de onda de 330 nanómetros, el cual está dentro del rango de la luz ultravioleta A (onda larga) o también conocida como UVA. La composición de este LED es de Nitruro de Aluminio o Galio, en inglés la fórmula AlGaIn, este LED viene en un encapsulado de tipo TO-39 con un lente de tipo hemisférico.

Las características eléctricas de este LED están dadas en la Tabla 3.4:

Tabla 0.4. Características del LED UVLUX320-5 a valores de temperatura ambiente 25 grados centígrados. Anexo A.

Parámetro	Símbolo	Valores		Unidad
		Min.	Máx.	
Potencia de disipación	Pd		1500	mW
Corriente Forward	If		180	mA
Temperatura de operación	Topr	-30	+55	°C
Temperatura de almacenamiento	Tstg	-30	+100	°C
Temperatura a la que debe soldarse	Tsol		+190	°C
Potencia de Salida	Po	3	5	mW
Voltaje Forward	Uf	5	6,2	V
Longitud de onda pico	λ_p	320	340	nm

Para el funcionamiento de estos LEDs se debe hacer a una corriente constante que no supere los 180 mA. Esto no es posible haciendo con fuentes de voltaje, y para ello se debe diseñar una fuente de corriente la cual sea constante.

A continuación se indican varios controladores, los cuales a su salida dan una corriente constante.

3.1.6. DRIVER LED-UV

Los requerimientos de alimentación que presentan los UV leds empleados demandan que se lo haga mediante una fuente de corriente constante, puesto que las fuentes de voltaje facultan la aparición de picos de corriente.

Por ello se emplean los reguladores de voltaje LM317 en una configuración especial con la que se logra obtener una fuente de corriente constante. En la figura 3.20 se presenta la configuración.

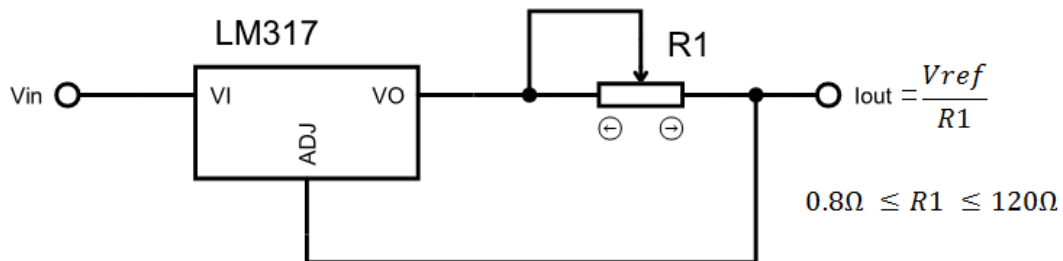


Figura 0.20. LM317 como fuente de corriente constante. Anexo D

De acuerdo con la hoja de especificaciones técnicas del LED UV entregado por el proveedor, la corriente de operación máxima es de 180 mA. Para mantener un margen de protección se establece en torno a los 150 mA.

Entre el pin de salida y el de ajuste, una vez alimentado el dispositivo, se mantiene un voltaje de referencia de 1.25 voltios. En base a esta información es posible encontrar la resistencia para obtener la corriente deseada mediante la ecuación (3.7).

$$I_{out} = \frac{V_{ref}}{R1}$$

De donde,

$$R1 = \frac{V_{ref}}{I_{out}}$$

$$R1 = \frac{1.25V}{0.15A}$$

$$R1 = 8.33 \Omega$$

De acuerdo con los valores de resistencias estándares del mercado,

$$R1 = 8.2 \Omega$$

Con este valor, finalmente se tiene esta corriente.

$$I_{out} = \frac{1.25 V}{8.2 \Omega}$$

$$I_{out} = 152,4 mA$$

Que continua siendo menor que la máxima permitida.

3.1.7. CONMUTACIÓN DEL LED UV

3.1.7.1. Circuito de disparo

Como se ha explicado anteriormente, los LEDs podrán funcionar de modo continuo e intermitente. Para el modo intermitente exclusivamente, se deberá realizar el acondicionamiento adecuado para poder seleccionar la frecuencia de operación la cual va desde 2 hasta 10 Hercios teniendo en cuenta que el tiempo en el que los LEDs están encendidos es de 50 milisegundos, este tiempo no se podrá variar. El modo de funcionamiento intermitente se muestra en la Figura 3.21.

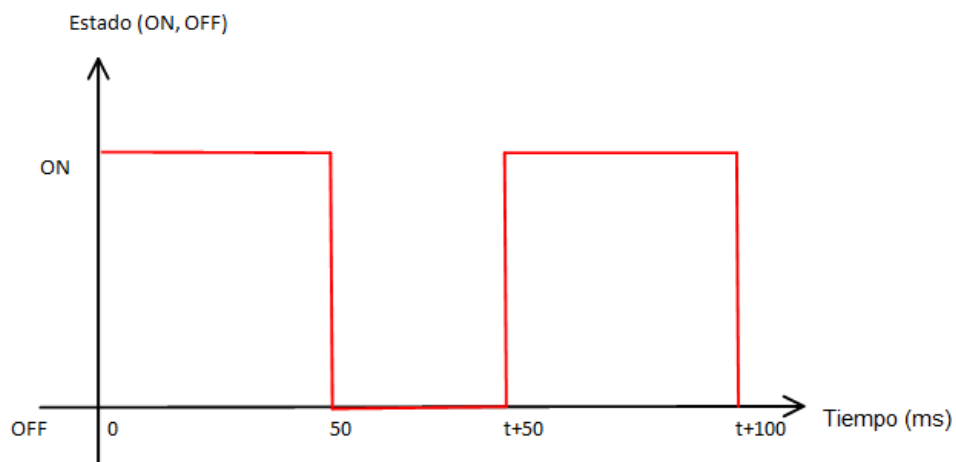


Figura 0.21. Modo de funcionamiento intermitente de los LEDs.

Para ello se utiliza el conversor analógico/digital para poder seleccionar mediante un potenciómetro cualquier frecuencia que esté dentro del rango mencionado.

Un potenciómetro es un resistor cuyo valor de resistencia es variable. Aprovechando de esta característica, se varía el voltaje a la entrada del pin del conversor A/D, ya que la caída de voltaje depende de la resistencia eléctrica. A mayores valores de resistencia, la caída de voltaje en el elemento será mayor y a

valores menores se tendrá una caída de voltaje menor. Así mismo las lecturas del convertidor A/D variarán al cambiar la resistencia en el potenciómetro.

A continuación, en la Figura 3.22 se detalla el circuito empleado para poder seleccionar la frecuencia que desee el usuario dentro del rango establecido.

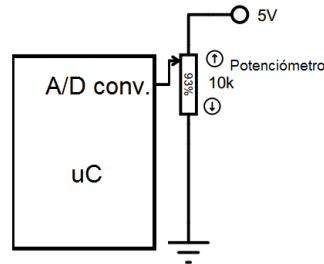


Figura 0.22. Circuito para variar la frecuencia de funcionamiento de los LEDs.

Con el potenciómetro es factible variar de 0 a 5 Voltios a la entrada del conversor A/D. Dentro de la programación del microcontrolador se puede adaptar esta medida a una variable numérica para la selección digital de la frecuencia deseada.

Una vez obtenida la señal de disparo se procede al diseño de la conmutación de los elementos, para lo cual se hace uso de las características de dos elementos semiconductores: un transistor bipolar y un transistor de efecto de campo. En la figura 3.9 se muestra la configuración empleada.

La razón por la que se recurre a esta circuitería recae en la necesidad de garantizar las condiciones de voltaje en la compuerta del Mosfet para conseguir su saturación.

El funcionamiento es simple. Cuando se encuentra saturado el transistor NPN, su colector, que se encuentra conectado a la compuerta del mosfet y a la alimentación de potencia mediante una resistencia, es conmutado hacia la referencia. En esta condición, el voltaje entre la compuerta y la fuente del transistor de efecto de campo es cero (o muy próximo a cero) y no logra saturarse. El mosfet no permite la circulación de corriente por los UV Leds por lo que les es imposible encenderse.

Por el contrario, cuando el Tbj se encuentra en su condición de corte, entre su colector y la referencia existe una diferencia de potencial igual a la fuente de

alimentación de potencia. Este voltaje ahora es el mismo que recae entre la compuerta y la fuente del mosfet y por ende este entra en saturación, permitiendo la circulación de corriente por los UV leds. A continuación se detallan los criterios de diseño para los componentes del circuito.

Primero, un transistor bjt es activado mediante una corriente aplicada en su base. El transistor empleado es el 2N3904 y para su saturación, una corriente de alrededor de 1mA debe ingresar en este pin, mientras que la corriente en su colector sea de 10mA, de acuerdo con los datos del fabricante.

En la figura 3.23 se muestra el circuito de conmutación y a partir de este se calculan los siguientes elementos:

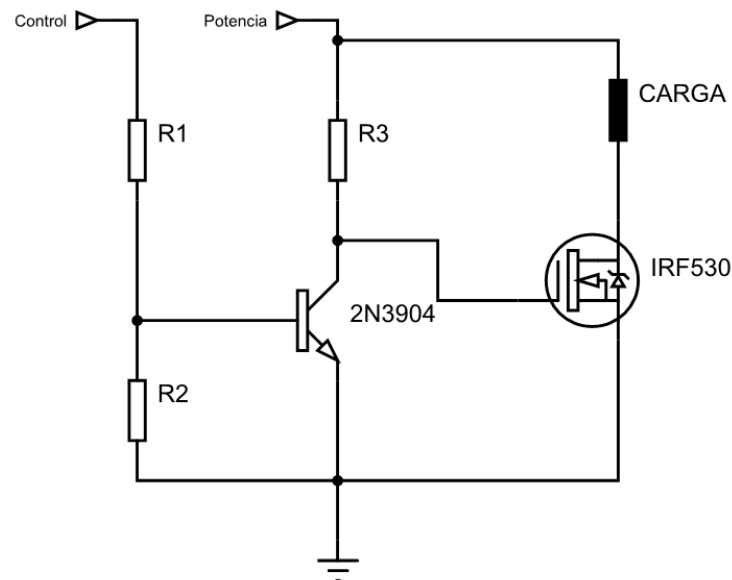


Figura 0.23. Circuito de conmutación para LED-UV.

Desde el micro controlador se tiene un voltaje a la salida de 5V idealmente respecto a tierra; entonces para el cálculo de la resistencia R1 se procede nuevamente a emplear la ecuación (3.7):

$$I_{base} = \frac{V_{control}}{R_1}$$

De donde,

$$R_1 = \frac{V_{control}}{I_{base}}$$

$$R_1 = \frac{5V}{1mA}$$

$$R_1 = 5k\Omega$$

Comercialmente, el valor más cercano disponible es:

$$R_1 = 5.1k\Omega$$

Recalculando,

$$I_{base} = \frac{5V}{5.1k\Omega}$$

$$I_{base} = 0.98mA$$

Para R2 se establece un valor elevado respecto a la resistencia de entrada del Tbj para obligar a la corriente a que circule por este último y no por el elemento resistivo

$$R_2 \gg R_{inTBJ}$$

$$R_2 = 100k\Omega$$

Respecto a los requerimientos de la corriente de colector:

$$I_{colector} = \frac{V_c}{R_3}$$

$$R_3 = \frac{9V}{10mA}$$

$$R_3 = 900\Omega$$

Considerando que esta resistencia también influirá en la respuesta de conmutación del mosfet, puesto que la corriente que permita circular cargará al capacitor interno del semiconductor, se elige un valor para R3 de:

$$R_3 = 1.2 k\Omega$$

Respecto al mosfet, lo que se debe considerar es su voltaje de mantenimiento entre la compuerta y la fuente. Se emplea un IRF 530 que por datos del fabricante se conoce que este voltaje debe superar un máximo de 4V para que se produzca

su conmutación. En este caso, con los 9V de la energización de potencia se garantiza la activación del mosfet.

3.1.8. PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO ALFANUMÉRICO (LCD)

La pantalla de cristal líquido alfanumérico es un dispositivo electrónico que permite visualizar caracteres alfanuméricos. Estos dispositivos son utilizados para mostrar mensajes o estados del funcionamiento de una aplicación determinada, el dispositivo puede mostrar cualquier carácter ASCII y consume mucho menos que un display de 7 segmentos.

La aplicación de estos dispositivos es muy amplia, puesto que se utilizan en la industria, telefonía, robótica, automóviles, informática, domótica, etc.

La pantalla a utilizar en este proyecto tendrá 2 líneas y 16 caracteres mostrados en la Figura 3.24.

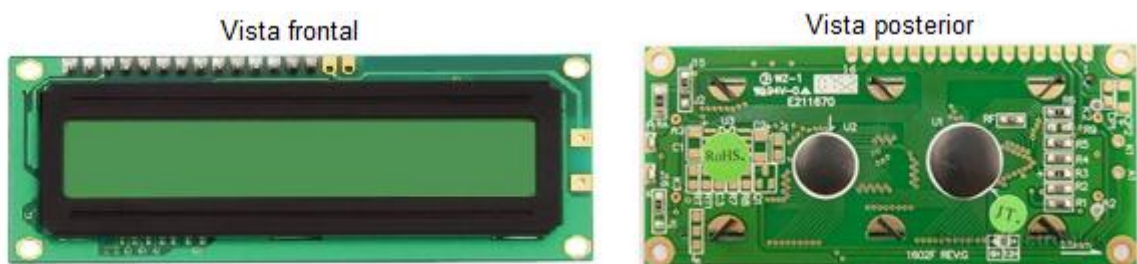


Figura 0.24. Vista frontal y posterior del LCD de 2filas y 16 caracteres.

El LCD ya tiene integrado todos los acondicionamientos para su funcionamiento y solamente es necesario conectar los pines correspondientes a datos al microcontrolador, la fuente de alimentación y un potenciómetro para modificar el contraste de su pantalla.

La distribución de pines del LCD de 2 filas y 16 caracteres está dada en la tabla 3.5:

Tabla 0.5. Distribución de pines del LCD LM016L. Anexo E.

Pin No.	Símbolo	Descripción
---------	---------	-------------

1	Vss	Fuente de Alimentación (GND)
2	Vdd	Fuente de Alimentación (+5 V)
3	Vo	Ajuste de contraste
4	RS	0 - Entrada de instrucciones 1 - Entrada de datos
5	R/W	0 - Escribir al módulo LCD 1- Leer del módulo LCD
6	E	Señal de habilitación (Enable)
7	DB0	Línea de bus de datos 0
8	DB1	Línea de bus de datos 1
9	DB2	Línea de bus de datos 2
10	DB3	Línea de bus de datos 3
11	DB4	Línea de bus de datos 4
12	DB5	Línea de bus de datos 5
13	DB6	Línea de bus de datos 6
14	DB7	Línea de bus de datos 7

A continuación se presenta el esquema de la conexión que se utilizará para controlar el LCD desde el microcontrolador ATMEGA 8. Figura 3.25.

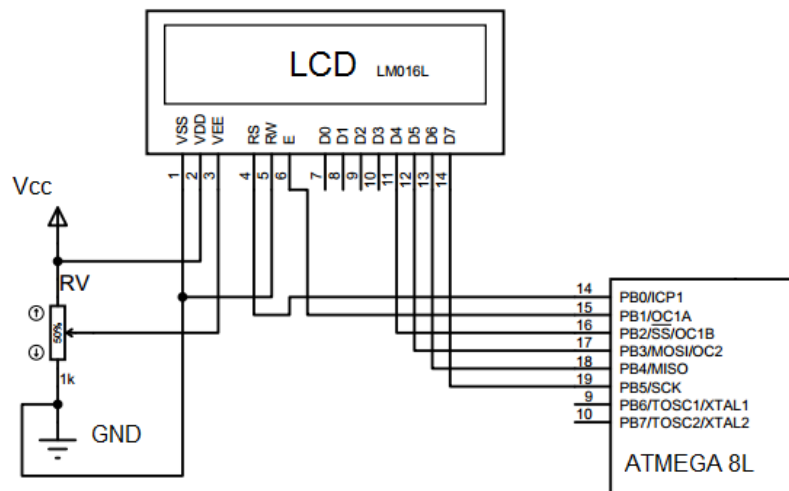


Figura 0.25. Esquema de conexión desde el microcontrolador a LCD LM016L

Como se observa se utilizan únicamente 4 de los 8 pines de transmisión de datos (D4 a D7). En este LCD los datos pueden ser enviados en una operación de 8 bits o en 2 operaciones de 4 bits. En la operación de 8 bits se utilizan los 8 pines de datos (D0 a D7) y en las operaciones de 4 bits se utilizan únicamente 4 líneas de datos (D4 a D7).

3.1.9. DISEÑO DE LA PLACA SMD (ALTIUM DESIGNER)

Para el desarrollo de la placa SMD del sistema, se emplea el software Altium Designer que proporciona las facilidades necesarias para toda clase de diseño electrónico.

Al momento de abrir el programa, se presentan los proyectos que últimamente han sido modificados. Para empezar uno diferente, en la barra de tareas escoger File, seguido de New y Project, como se muestra en la figura 3.26

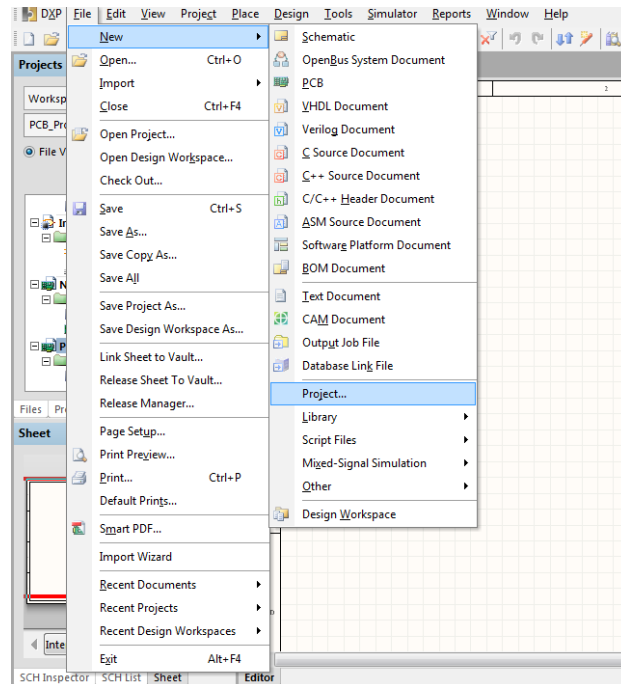


Figura 0.26. Iniciar un nuevo proyecto en Altium Designer

Ahora, en el administrador de proyectos se muestra el recientemente agregado, con el nombre PCB_Project.PrjPcb*. Se puede cambiar su nombre dando un clic derecho sobre el proyecto y escoger Save Project as.

Para poder realizar finalmente el diseño, al proyecto se debe añadir su documento esquemático (donde se ubican los componentes necesarios) y su documento PCB (en el que se generará su representación respectiva). Para ello, con clic derecho sobre el proyecto, escoger Add New to Project seguidamente de Schematic y PCB, como en la figura 3.27 se muestra.

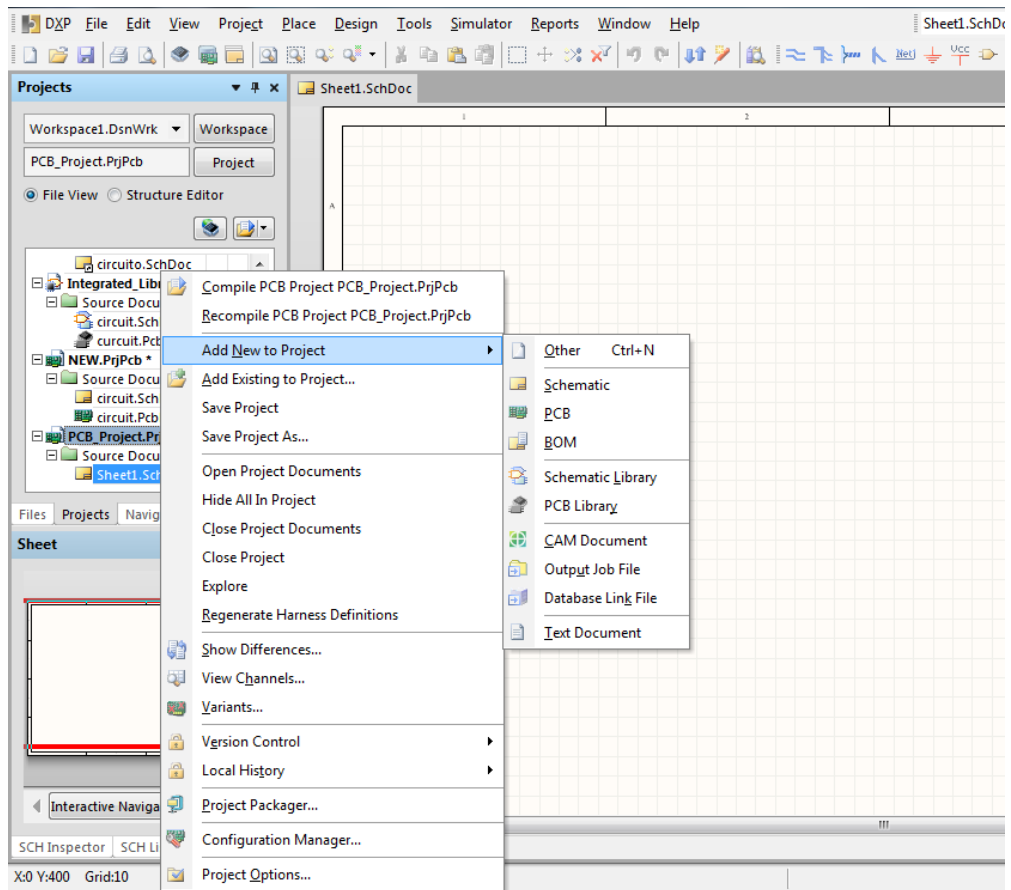


Figura 0.27. Creación de los archivos esquemático y PCB

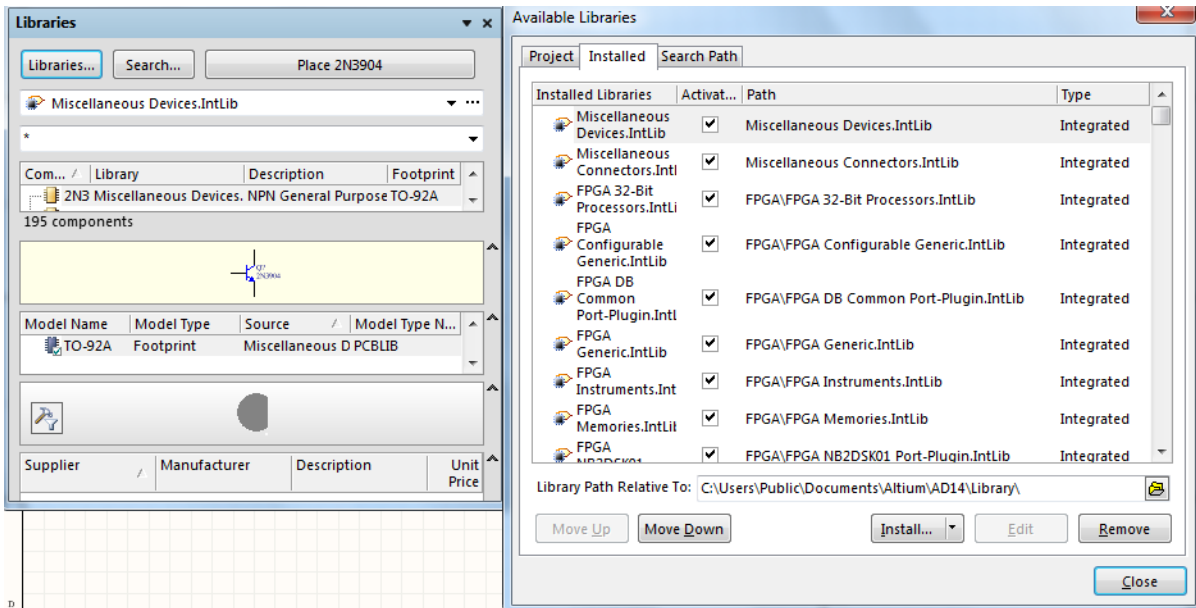


Figura 0.28. Listado de fabricantes disponibles y cómo instalarlos

A partir de este momento se puede realizar el diseño de la placa. En la barra de tareas inferior se encuentra, entre otras, la opción System, y dentro de ella, Libraries. Aquí se encuentran una lista conformada por los fabricantes que en el sistema se tengan instalados con los componentes que se requieran para la elaboración del circuito. Por defecto, la plataforma no dispone de todos los fabricantes, pero es posible instalarlos a necesidad del usuario. En la figura 3.28 se resalta la opción para este efecto.

De acuerdo con los componentes que conforman el circuito se los elige, se los desplaza hacia el área de trabajo de esquemático para proceder a completar las conexiones. Así por ejemplo, el micro controlador Atmega 8L se encuentra en la fuente “Atmel Microcontroller 8-Bit AVR”. En la figura 3.18 se aprecia la representación esquemática del circuito.

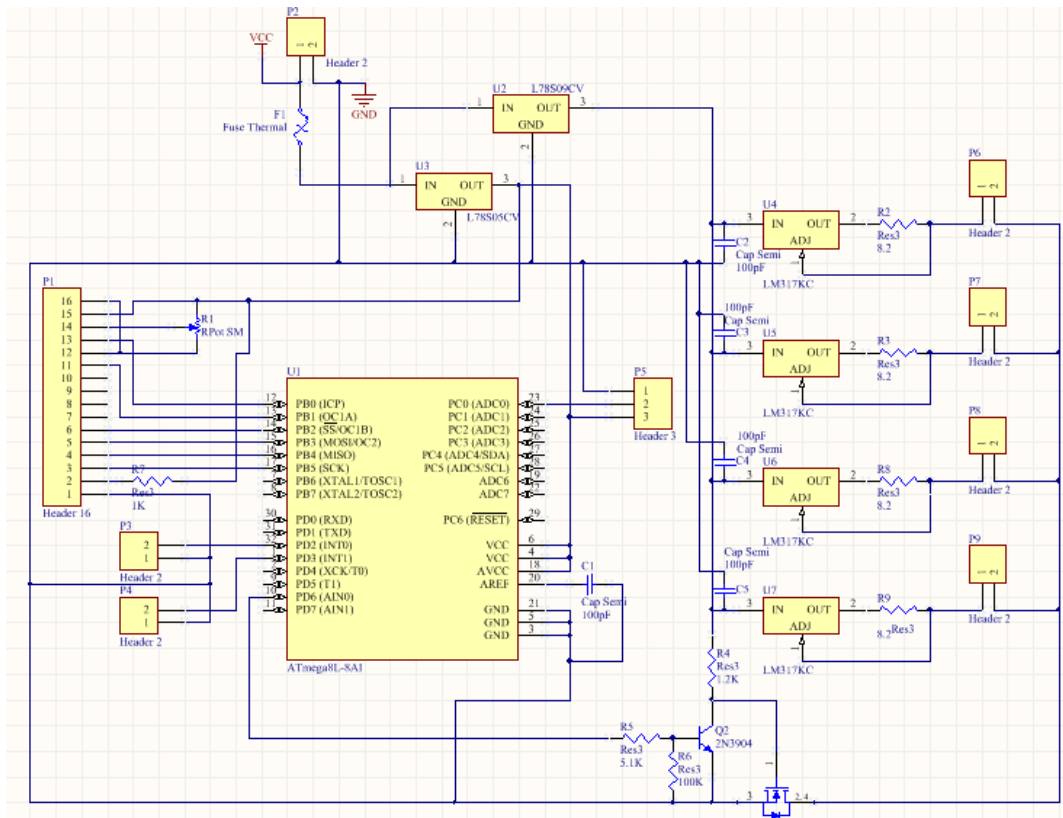


Figura 0.29. Representación esquemática del circuito

Para producir el documento del PCB (Printed Circuit Board), dentro del menú Design elegir Update PCB Document. Como consecuencia se genera el archivo PCB que se imprime y sobre la que se montan los elementos integrantes. En la figura 3.19 se aprecia esta presentación.

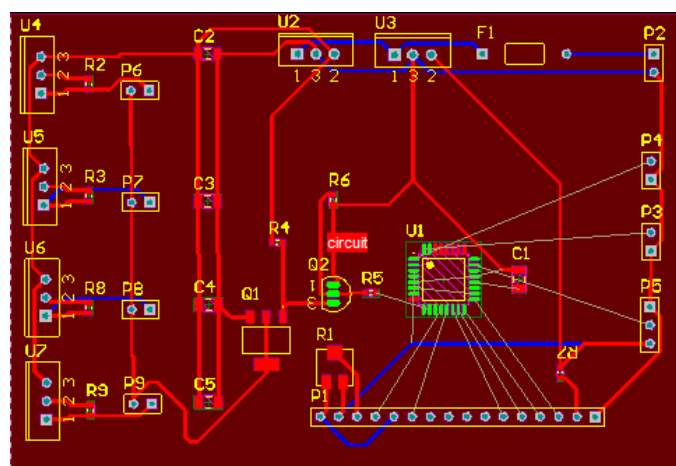


Figura 0.30. Representación PCB del circuito

En caso de inconformidad con el resultado que el software realiza, se puede variar la ubicación de los elementos.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

4.1. DESCRIPCIÓN

El código de programación está realizado en el paquete computacional Bascom AVR. Esta plataforma permite editar códigos en lenguaje Basic particularmente para micro controladores Atmel AVR.

Entre las ventajas ofrecidas por el programa está la versatilidad que presenta para la configuración de los diversos recursos que tienen los micro controladores AVR, tales como el conversor A/D, las interrupciones externas, salida de datos a mostradores como LCD, etc. El principal inconveniente que presenta este compilador es que demanda mucha memoria del micro controlador respecto a otros lenguajes de bajo nivel, como el ensamblador. Sin embargo para la aplicación no se requiere del manejo de grandes cantidades de datos para su procesamiento y por ello se empleará este lenguaje debido a su alta eficacia y facilidad de programación.

Para el proyecto, se utiliza la configuración del LCD, la activación y configuración del conversor análogo digital para el control en la frecuencia de disparo y para la medición de la batería, la habilitación de las interrupciones externas para poder realizar el cambio de modo de operación

4.2. PROGRAMACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

4.2.1. ENTRADAS Y SALIDAS AL MICROCONTROLADOR

Para conocer el procedimiento que realizará el software primero se deberá conocer los elementos que actuarán como entradas y salidas dentro de la aplicación. A continuación en la tabla 4.1 se detallan las salidas y entradas directas que irán conectadas a los pines del microcontrolador.

Tabla 0.1. Entradas y salidas empleadas del microcontrolador.

Entradas y salidas al microcontrolador			
Puerto/pin	Detalle	Entrada	Salida
PB0	Display LCD		X
PB1	Display LCD		X
PB2	Display LCD	X	X
PB3	Display LCD	X	X
PB4	Display LCD	X	X
PB5	Display LCD	X	X
PC0	Potenciómetro	X	
PC1	Nivel de Batería	X	
PD2	Pulsador	X	
PD3	Pulsador	X	
PD6	Señal disparo LED		X
AREF	Voltaje de referencia del convertor A/D	X	
AVCC	Voltaje de referencia del convertor A/D	X	
VCC	Alimentación +5V	X	
GND	Tierra	X	

Los pines desde PB0 a PB5 son utilizados por el display LCD para mostrar la información necesaria al usuario y que será explicada más adelante.

En el pin PC0 se conectará un potenciómetro el cual nos servirá para regular la frecuencia de la señal de disparo que encenderá y apagará los LED.

El pin PC1 será la entrada del voltaje acondicionado de la batería para realizar el monitoreo de la misma, como se mencionó anteriormente, los pines de entrada del convertor A/D solamente necesitan de 0 a 5 Voltios máximo para funcionar y por ello no se puede ingresar los 12 V que la batería entrega originalmente.

A PD2 y PD3 se conectarán 2 pulsadores los cuales nos permitirán seleccionar los modos de disparo de los LEDs.

PD6 será el pin de salida el cual enviará la señal de disparo al controlador (driver) de corriente para encender y apagar los LEDs.

AVCC y AREF son entradas de señales de voltaje de referencia para el funcionamiento adecuado del convertor A/D.

VCC y GND son pines existentes en cualquier microcontrolador y se conectan a la fuente de alimentación, VCC requiere de un voltaje continuo (DC) positivo dado por el fabricante, para el microcontrolador ATmega 8 se requiere de un voltaje mínimo de 2,7 V hasta un máximo de 5,5 V y para el ATmega 8L un mínimo de 2,7 V y hasta un máximo de 5,5 V. GND es la referencia de tierra de la fuente de alimentación.

Como se puede observar en la figura 4.1 se muestra un esquema general del sistema para comprender mejor su funcionamiento. Este diagrama pretende únicamente ubicar los elementos que se utilizan, el conexionado no es el real.

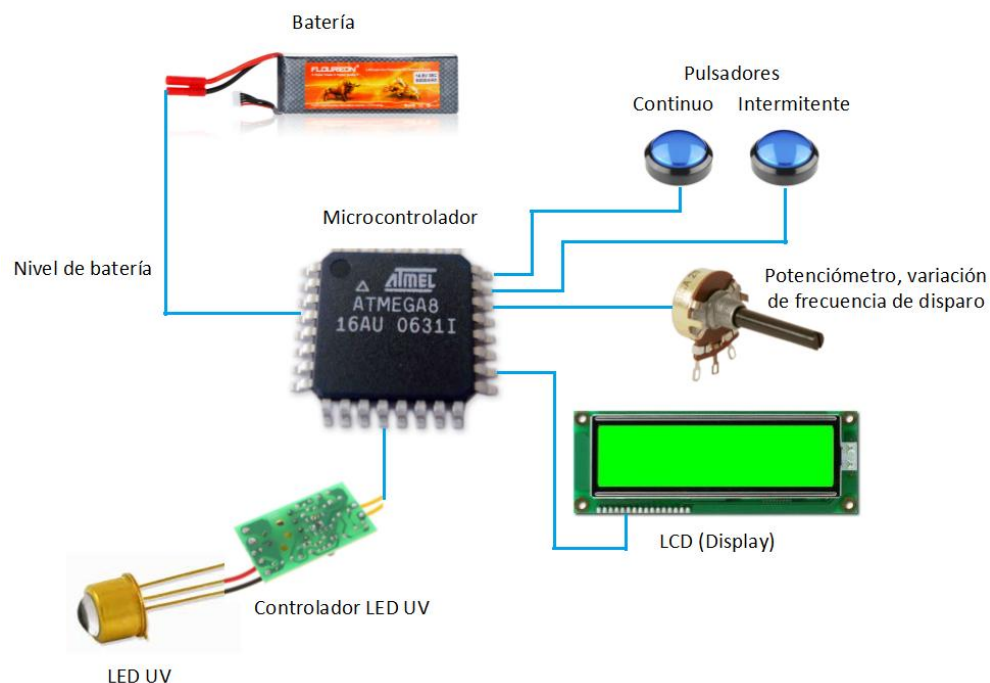


Figura 0.1. Diagrama general de componentes en el sistema.

A continuación se detallará el funcionamiento de cada componente y su papel en el sistema.

4.2.2. PULSADORES

Los pulsadores o botones son dispositivos utilizados para realizar determinadas funciones, suelen ser de diversas formas, tamaños y se encuentran en la mayoría de dispositivos eléctricos o electrónicos. Son por lo general activados cuando son aplastados por el dedo y su función es la de permitir el flujo de corriente mientras son accionados.

En el sistema se utilizarán dos botones que permitirán la selección del modo de funcionamiento de los leds, entre un modo continuo e intermitente. Para ello los pulsadores necesitan ser conectados a dos pines distintos del microcontrolador, posteriormente en la programación se acoplarán las funciones correspondientes cuando uno de los dos es activado. Más adelante se explicará más a detalle la programación de cada uno de los componentes.

En la figura 4.2 se muestra el esquema general de conexión de los pulsadores al microcontrolador.

Se coloca una resistencia de 10 kilo-ohmios para proteger al microcontrolador de corrientes altas y un capacitor de 100 nano-faradios para evitar que existan rebotes.

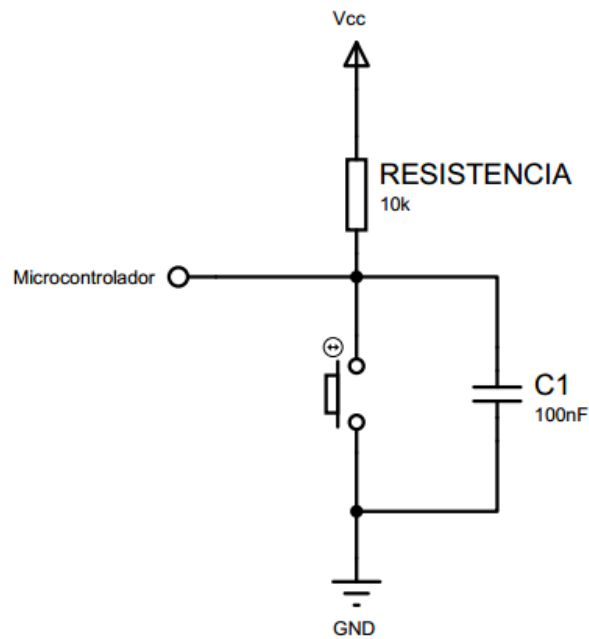


Figura 0.2. Esquema de conexión de pulsadores con eliminación de rebotes hacia un microcontrolador.

En el diseño del sistema se ha optado por habilitar las resistencias de pull-up para evitar la circuitería adicional resaltada en la figura 4.2, obteniendo los mismos resultados optimizando la arquitectura física del circuito.

4.2.3. DISPLAY LCD

La pantalla LCD de 2 filas por 16 caracteres (2x16) se conecta directamente al microcontrolador. Comúnmente el display tiene un bus de datos de 8 bits, y puede operar en configuración de 8 bits o como bus multiplexado de 4 bits. Al utilizar en configuración de bus de datos de 8 bits la programación es sencilla pero requiere de 8 pines del sistema de control. Al utilizar el bus de datos multiplexado, la programación es un poco más compleja pero nos permite ahorrar bits en el sistema de control para disponer a otras entradas o salidas que se necesiten.

Además del bus de datos el display contiene un bus de control, el cual está formado por 3 señales RS, R/W y E. La señal E es una señal de validación de los datos, esto quiere decir que cuando no se utilice el LCD esta señal debe permanecer en 0 lógico y cuando se realice escritura o lectura de datos la señal debe permanecer en 1, esto da la posibilidad de poder de escribir o leer la información solamente cuando se desee.

La señal R/W permite seleccionar la operación de lectura y escritura del LCD. Si se envía un 1 lógico a R/W, la operación que toma el LCD es de lectura y en 0 lógico de escritura. Lo normal es solamente escribir, pero el LCD nos permite leer los contenidos de la memoria CG RAM y DDRAM como también el estado interno del display (ocupado o disponible) y el contador de direcciones, cuando se lo requiera.

La señal RS (Register Select) sirve para seleccionar el registro interno del display sobre el cual se va a escribir o leer, el LCD tiene dos registros internos: Registro de datos y de control, ambos son de lectura y escritura, cuando se configure RS en 0 lógico selecciona el registro de control y en 1 lógico el registro de datos.

La configuración que se utilizará es la del bus de datos multiplexado o 4 bits, para este caso se enviarán los 4 bits más significativos y después los 4 bits menos significativos. En total se utilizarán 7 bits, ya que, 4 bits de lectura/escritura y 3 bits que ocupan las señales R/W, E y RS (Anexo E).

Además de los pines mencionados, el LCD tiene 3 pines más para el ajuste de contraste y 2 adicionales para encender la retroiluminación del mismo (dependiendo del fabricante), cabe recalcar que los pines de ajuste de contraste

se conectan con un potenciómetro. En la figura 4.3 se indica su forma de conexión.

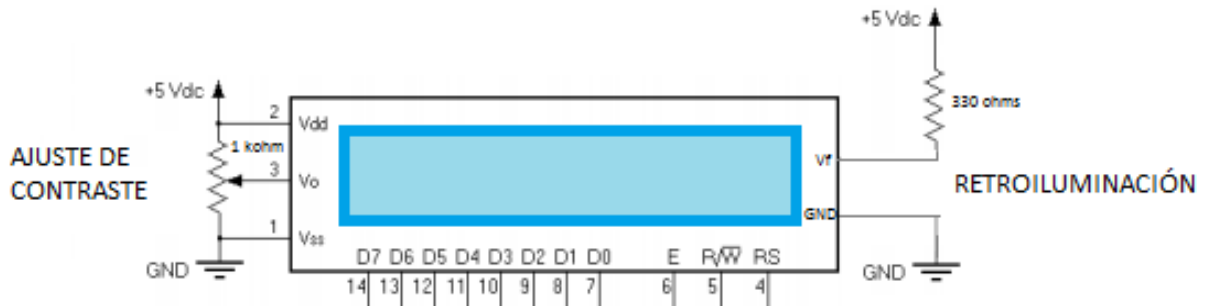


Figura 0.3. Conexión para ajuste de contraste con potenciómetro y funcionamiento de la retroiluminación del LCD.

Como ya se ha dicho anteriormente, el display servirá para mostrar al usuario los modos de operación y el nivel de la batería. Es importante que el usuario conozca de esta información para determinar el tiempo de funcionamiento aproximado del dispositivo, como también del modo de operación de los diodos emisores de luz para la aplicación específica.

A continuación se detallan las pantallas de bienvenida y posteriormente la pantalla que se mostrará en funcionamiento normal del LCD.

4.2.3.1. Pantalla de bienvenida e indicaciones de uso

En la primera pantalla se mostrará una carátula con el título "PROYECTO DE TITULACIÓN" Figura 4.4.

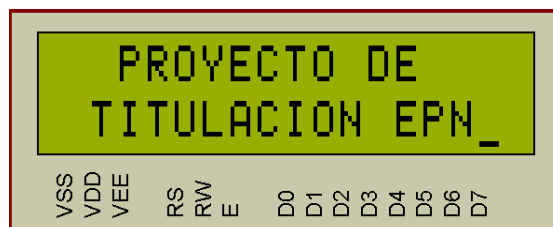


Figura 0.4. Pantalla de bienvenida 1

En la segunda pantalla se muestran los nombres de los autores de este proyecto, Figura 4.5.



Figura 0.5. Pantalla de bienvenida 2.

En las próximas tres pantallas se mostrará un breve manual en el cual se indican las dos opciones de funcionamiento para que el usuario seleccione en base a pulsadores el modo de operación adecuado a sus necesidades, Figura 4.6.

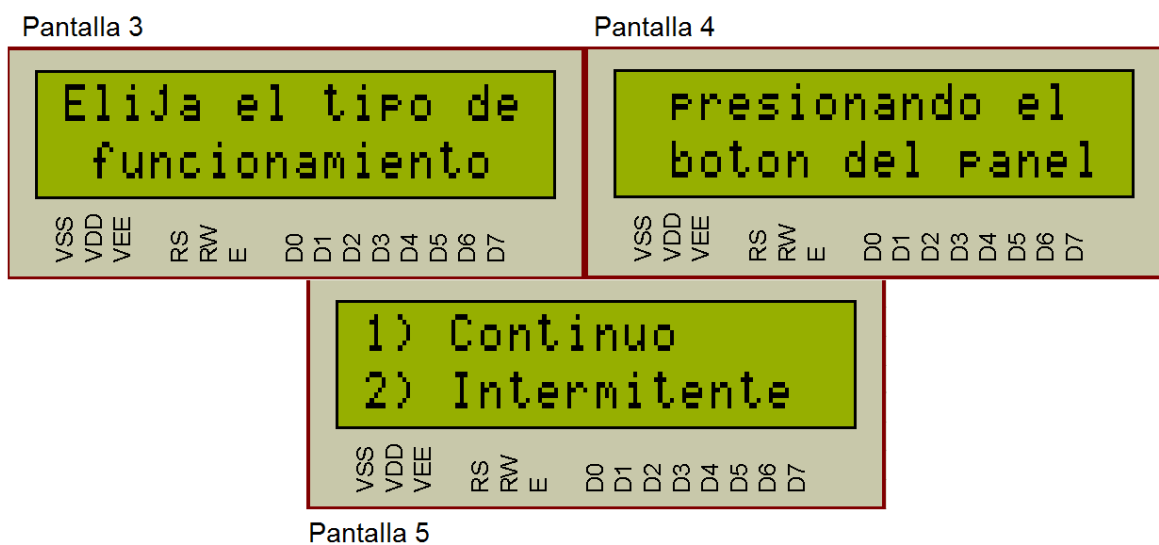


Figura 0.6. Indicaciones de cómo seleccionar el modo de operación del dispositivo.

Cada una de las pantallas tardan 2 segundos en mostrarse, las pantallas de bienvenida solamente se reproducirán al energizar el sistema. Mientras no se seleccione un modo de funcionamiento, las pantallas 3, 4 y 5 indicadas en la figura 4.6 se repetirán hasta aplastar uno de los dos pulsadores de selección del modo requerido.

4.2.3.2. Pantalla de funcionamiento normal

Una vez seleccionado el modo de funcionamiento de la fuente luminosa, la pantalla o display indicará el nivel de carga de batería que alimenta al sistema y el modo de funcionamiento continuo o intermitente que ha sido seleccionado con los pulsadores. En la Figura 4.7 se muestran las pantallas en modo de funcionamiento normal.

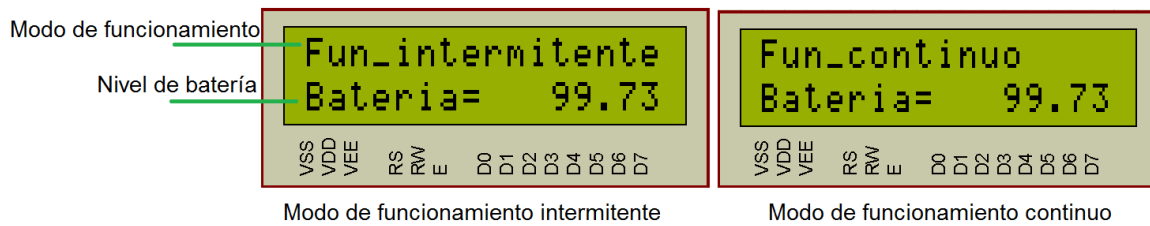


Figura 0.7. Pantallas en modo de funcionamiento normal.

El modo de funcionamiento podrá ser interrumpido por el otro modo con solo pulsar el pulsador correspondiente. Por ejemplo si se opera en modo intermitente y se pulsa el botón de modo continuo, de manera inmediata el sistema pasará al modo de funcionamiento continuo.

4.2.4. POTENCIÓMETRO

Un potenciómetro es una resistencia eléctrica variable. Su principal aplicación se encuentra en los circuitos electrónicos que no demanden de mucha corriente y se los emplea para ajustar cierto parámetro que se requiera, como por ejemplo, la intensidad de corriente de un circuito o la caída de voltaje. Al variar el voltaje el microcontrolador en su pin de conversión A/D transforma el valor analógico a un valor digital que puede ser utilizado para cualquier operación que se necesite.

Para esta aplicación se utiliza un potenciómetro para controlar la señal de disparo que encenderán o apagarán los diodos LED-UV, dentro de un rango de frecuencias establecidas en el programa.

En la figura 3.21 del capítulo anterior se indica el esquema de conexión del potenciómetro al microcontrolador.

4.2.4.1. Variación de frecuencia de diodos LED UV

En el código se deberá programar los tiempos para variar en el rango deseado de frecuencia, para ello el potenciómetro permite variar entre un voltaje de 0 a 5 Voltios que dará lugar a tener en el convertidor análogo/digital valores numéricos de 0 a 1023 o de manera digital (binario) desde 0000000000 a 1111111111, estos valores pueden ser almacenados en registros temporales que permitirán hacer

operaciones matemáticas para tener el valor deseado de frecuencia. En el diagrama de flujo se indicará de mejor manera el funcionamiento del ajuste de frecuencia por medio del potenciómetro.

4.2.4.2. Nivel de Batería

De la misma manera, para la parte de monitoreo de la batería, se utiliza el convertidor A/D pero sin potenciómetro, ya que la variable digital será directamente el voltaje que suministra la batería, acondicionado de 0 a 5 Voltios.

Como en el caso anterior, se tiene en el microcontrolador valores de 0 a 1024, pero como la batería nunca llega a descargarse a valores menores de 9 Voltios, se limitará por software el rango de carga y descarga de la batería.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se condicionará el voltaje máximo de descarga de la batería a 10 Voltios y el voltaje máximo de carga a 12,5 Voltios. Esto significa que al puerto A/D del microcontrolador se introducirá un voltaje máximo de 5 Voltios para un 100% de carga de la batería y 4 Voltios para un 0% de carga de la batería, estos valores se determinaron y se calcularon en el anterior capítulo.

En la figura 4.8 se observa claramente cómo se limita el rango en el que la batería se descarga y el valor que se deberá visualizar en el LCD.

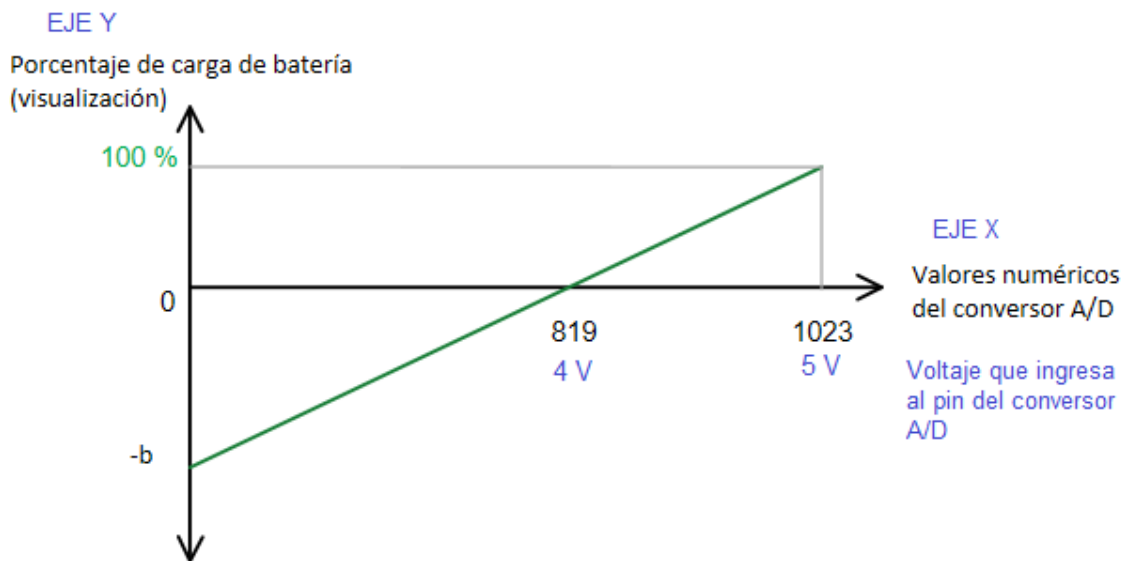


Figura 0.8. Valores numéricos necesarios para la visualización del porcentaje de carga de la batería en LCD.

Para lograr la visualización se deben crear variables en el programa, que permitan realizar cálculos para obtener un valor real del porcentaje de carga de la batería. Primero se debe calcular la ecuación de la recta de la figura 4.8.

La ecuación (4.1) corresponde a la ecuación de la recta:

$$y = mx + b \quad (4.1)$$

Donde m es la pendiente de la recta y b es el punto de intersección de la recta con el eje y .

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (4.2)$$

Para la gráfica se tiene que:

$$m = \frac{100 - 0}{1023 - 819}$$

$$m = 0,49$$

Cuando $y=0$

$$0 = 0,49 * 819 + b$$

$$b = -401,31$$

Entonces la ecuación necesaria para calcular el valor de carga de la batería que se mostrará en el LCD será:

$$y = 0,49 * x - 401,31 \quad (4.3)$$

Si la batería empieza a descargarse por debajo del 10% se mostrará una pantalla de aviso al operador "BATERÍA BAJA" "RECARGAR BAT!" para que se realice la recarga de la misma.

Para determinar el 10% de carga se aplica la ecuación (4.3) con el siguiente criterio: Si la batería cargada al 100% proyecta un valor en el registro A/D de 1023 y al 0% proyecta un valor de 819, entonces para un 10%, ¿qué valor proyectaría en el registro A/D? El valor aproximado que se tendría en estas circunstancias es de 839, si se tiene un valor inferior a este se debe mostrar el mensaje de batería baja.

4.2.4.3. Cálculo de conversor A/D para variación de la frecuencia de disparo

Para proceder a la variación de frecuencia es menester analizar el comportamiento de la conversión A/D respecto a la variación del voltaje aplicado en la entrada del micro controlador destinado para este propósito. En la gráfica 4.9 se muestra la curva deseada.

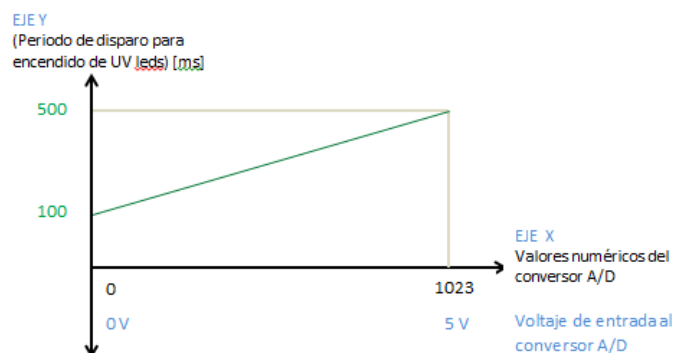


Figura 0.9. Requerimientos para generar la variación de frecuencia.

Para poder ingresar esta información al micro controlador, como en el caso del monitoreo de batería, se procede a obtener la ecuación que rige su comportamiento; la ecuación de una recta, denotada por la ecuación (4.1):

Para encontrar el valor numérico se emplea la ecuación (4.2).

$$m = \frac{500 - 100}{1023 - 0}$$

$$m = 0,391$$

Para este caso puntual, el valor de b es de 100, correspondiente al valor en donde la recta interseca al eje Y.

Con esta información, se puede establecer la ecuación de la recta:

$$y = 0.391x + 100 \quad (4.3)$$

En base a la ecuación (4.3) se otorga el algoritmo necesario para que el sistema opere dentro de las condiciones deseadas: que la frecuencia de disparo varíe entre 2 y 10 Hz.

4.3. APLICACIÓN DE LA FUENTE DE LUZ CON UN ESPECTRÓMETRO

La fuente de luz que pretende este proyecto, se diseñó con el fin de alimentar a un sistema más grande y complejo, a continuación se dará una breve explicación del funcionamiento de todo el sistema, para conocer la aplicación y alcance que puede llegar a tener el sistema.

El proceso consta de cinco etapas: la primera es la perturbación de la muestra, seguido por el ingreso de la información desde la muestra al espectrómetro a consecuencia de la perturbación. En la etapa tercera se realiza el procesamiento de la información en el interior del espectrómetro. La cuarta etapa establece el enlace de comunicación y finalmente, se interpreta la señal proveniente del espectrómetro mediante el software para que sea susceptible de análisis para el operador. En la figura 4.10 se detallan las etapas que sistema cumple para realizar el análisis espectral.





Figura 0.10. Etapas del sistema espectroscópico.

Para la perturbación se emplea la fuente luminosa creada en base a los UV leds. El haz de luz ultravioleta obtenido incide sobre la muestra. El medio que se usa para transportar la luz desde la fuente a la muestra es el medio circundante ya que la toma de información se la hace por transmisión. En este punto, considerando que la entrada del espectrómetro disponible es un terminal con conector SMA, el tubo de ensayo que contendrá las muestras para analizar deberá estar lo más próximo al mismo para permitir que la mayor cantidad de información posible sea interpretada por el espectrómetro.

Cuando la luz incide sobre la muestra, en esta se genera fluorescencia. La radiación causada por la fluorescencia es captada por el espectrómetro ubicado diametralmente opuesto a la fuente luminosa.

Una vez ingresada al espectrómetro, la radiación es sometida al proceso mediante el cual se traduce como una señal eléctrica. En la figura 4.11 se observa detalladamente la estructura interna de un espectrómetro y el comportamiento de la luz desde que entra hasta que se transforma en una señal digital.

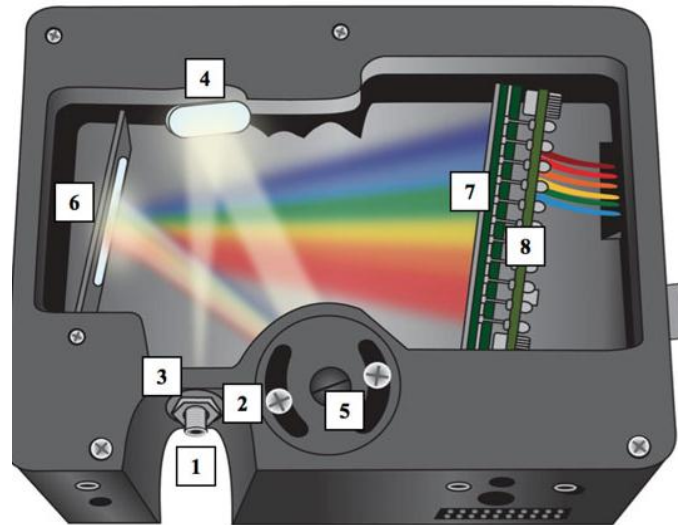


Figura 0.11. Estructura interna de un espectrómetro. [21]

La entrada del espectrómetro es un conector SMA (1) en donde la fibra debe ser conectada. Se puede limitar la cantidad de luz que ingresa al espectrómetro ajustando la hendidura (2) y el filtro (3). Ya en el interior la luz es dirigida hacia el espejo colimador (4) que se encarga de direccionarla hacia la rejilla de difracción (5). La función de este es descomponer la luz en sus componentes primarios, como lo haría un prisma óptico. La descomposición resultante se hace incidir sobre un espejo de enfoque (6) que finalmente lleva la información sobre la lente colectora. En este punto, el detector se encarga de la transformación de la información inicialmente óptica a digital.

A continuación de la lente colectora se encuentra una matriz de fotodiodos que responde cada uno a una fracción específica del rango espectral. Los fotodiodos se conectan a un dispositivo de carga acoplada para poder generar un voltaje. Así, por cada fotodiodo se tiene una respuesta digital que el software puede interpretar para graficar los resultados para que el operador pueda analizar [21].

Para evitar que cierta información se filtre y genere información errónea se incurre en los pulsos de frecuencia variable. Cada fotodiodo responde a una determinada longitud de onda, generando un voltaje. En caso de presentarse una incidencia luminosa no procedente de la fluorescencia de la muestra, uno o varios fotodiodos reaccionarán produciendo una respuesta errónea.

Cuando se perturba a la muestra intermitentemente los resultados erróneos se pueden eliminar, ya que la fluorescencia generada se termina por estabilizar y al espectrómetro ingresa únicamente esta información.

La variación de frecuencia no sería demandante si toda la materia se comportara de la misma manera, pero la complejidad de los enlaces moleculares conlleva mayores demandas energéticas para alcanzar fluorescencia. Por este motivo los disparos pueden aumentar su frecuencia para aumentar la potencia de perturbación; y si no es posible con esto la producción de fluorescencia todavía, el modo de operación continua es el último recurso, a riesgo de conseguir distorsión en la información final.

Toda información generada en el espectrómetro es enviada a un dispositivo wireless que la empaqueta y permite el envío de la información inalámbricamente. Cuando se establece la conexión con dispositivo operado con Windows, como una tablet o una laptop, interviene el software para procesar la información.

4.4. DIAGRAMA DE FLUJO Y SIMULACIÓN

En el Anexo F se muestra el proceso de funcionamiento del software del sistema mediante un diagrama de flujo.

Una vez realizados los diseños de los circuitos y el detalle de su funcionamiento, se realiza la simulación mediante el software ISIS de Proteus, en donde se explicará los dos modos de encendido y apagado de LEDs.

Modo intermitente:

De acuerdo a lo explicado previamente en este capítulo, se escoge el modo de funcionamiento con el pulsador respectivo, como en la figura 4.12 se presenta.

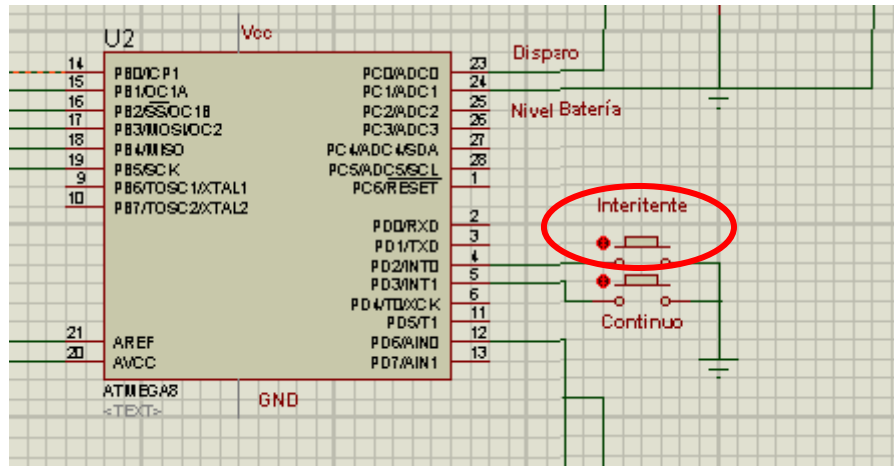


Figura 0.12. Determinación del modo de funcionamiento.

Establecido el modo de funcionamiento del sistema, la frecuencia con la que se producen los disparos de encendido se controla con el potenciómetro, también explicado previamente. En la figura 4.13 se visualiza la respuesta del sistema a la frecuencia mínima de operación (en las gráficas próximas, en las respuestas del osciloscopio, las representaciones púrpuras corresponden a la señales de control, mientras que las azules son las excitaciones para los UV leds).

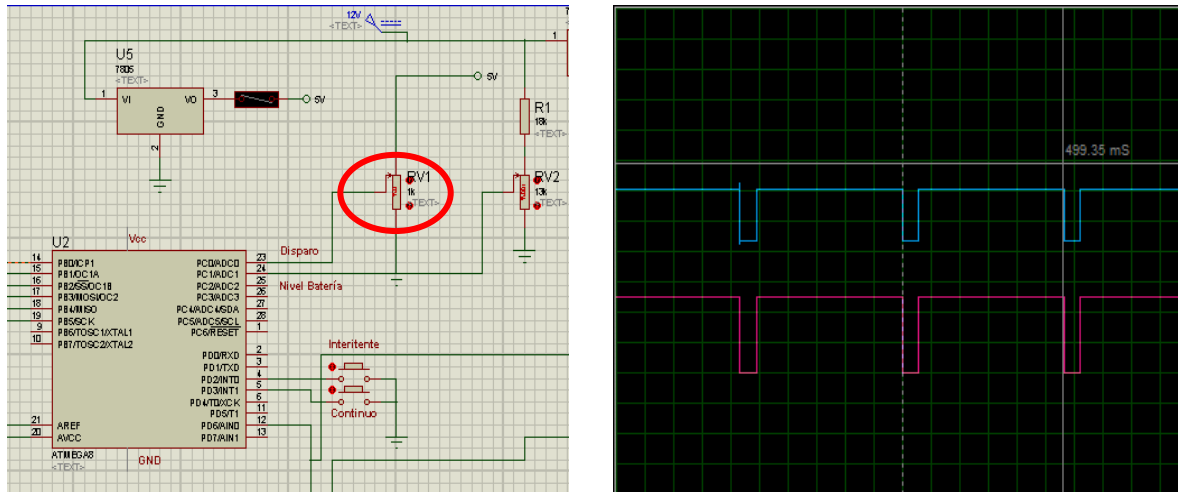


Figura 0.13. Mínima condición de frecuencia.

En las figuras 4.14 están representadas las condiciones y respuesta del sistema para que la frecuencia sea la mitad.

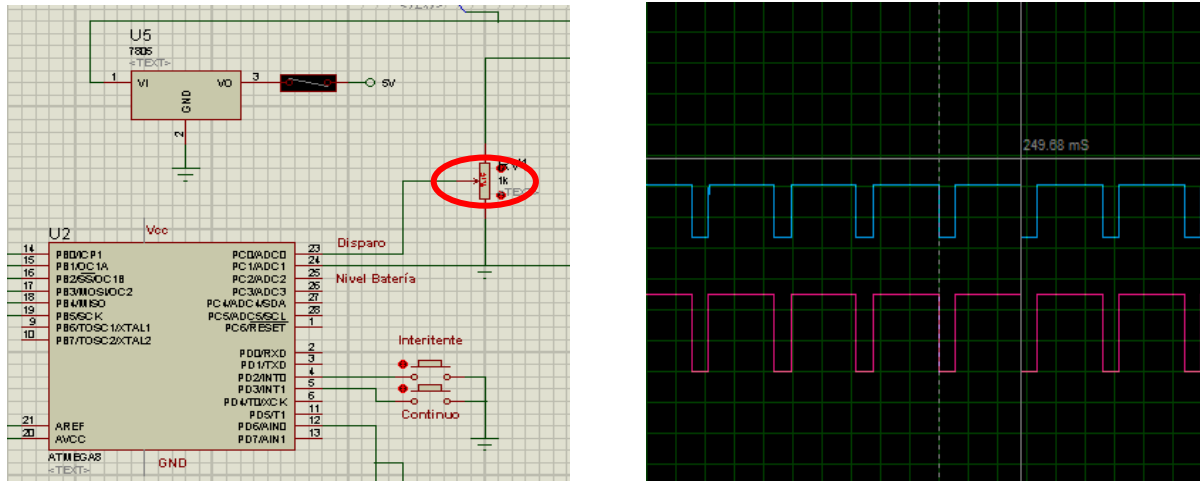


Figura 0.14. Respuesta a media frecuencia.

Por su parte, cuando la elección es de funcionamiento continuo, el sistema responde de la manera que en las figuras 4.14a y 4.14b lo muestran.

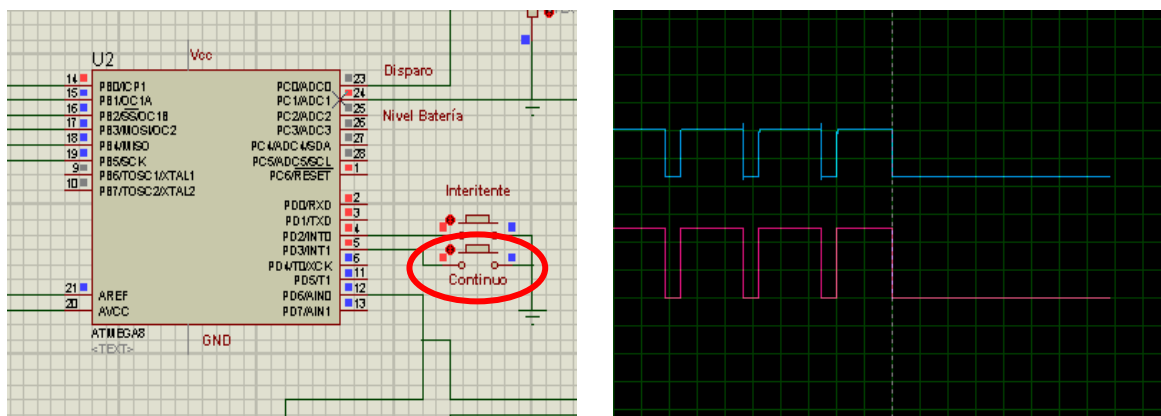


Figura 0.15. Funcionamiento continuo.

Otra característica que cabe resaltar del sistema, es su comportamiento ante batería baja. Para ello se simula con un potenciómetro la variación de voltaje a la entrada del convertidor análogo-digital de micro controlador. Cuando el voltaje desciende por debajo del valor crítico establecido, tanto en el funcionamiento continuo e intermitente, el comportamiento será homólogo al presentado en la figura 4.16.

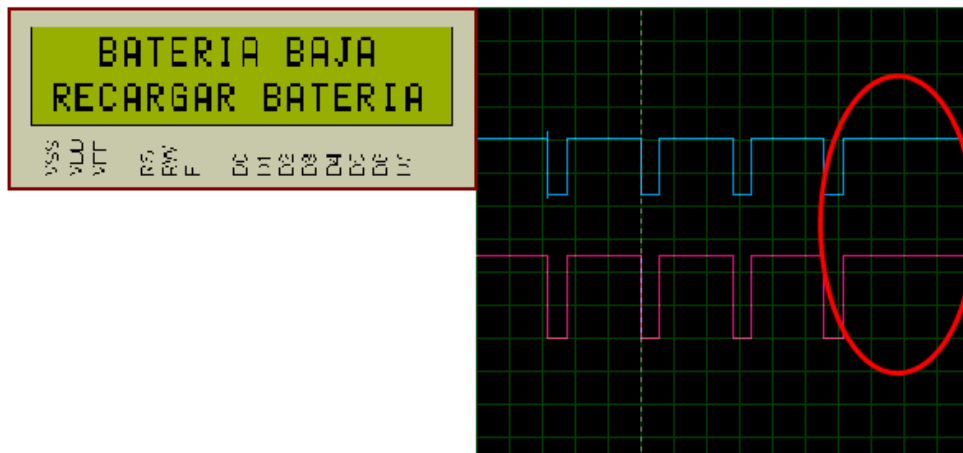


Figura 0.16. Simulación del circuito de auto-desconexión de batería

Una vez que la batería alcanza el valor máximo de descarga determinado (10 Voltios), actúa el circuito de auto-desconexión de batería el mismo que vuelve a conectar el sistema una vez recargada la batería. A continuación en la figura 4.17 se muestra la simulación del circuito cuando la batería se encuentra al 100% de carga.

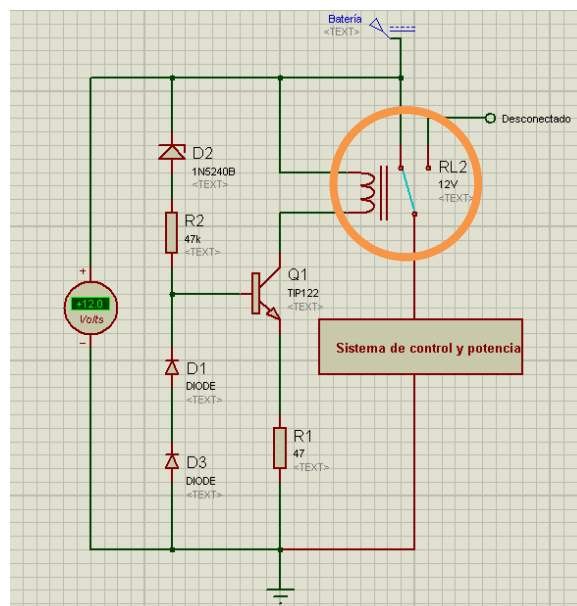


Figura 0.17. Circuito de auto-desconexión de batería en 100% de carga.

Se puede observar que el relé conecta directamente el sistema de control y potencia con la batería. Cuando la batería tiene un porcentaje de carga insuficiente (menor o igual a 10 Voltios), con el fin de salvaguardar su voltaje mínimo para evitar daños en la estructura interna de la misma, conmuta el relé a la posición de desconexión de voltaje.

En la figura 4.18 se observa el circuito a 10 Voltios el cual es el voltaje mínimo establecido en donde se desconectará automáticamente.

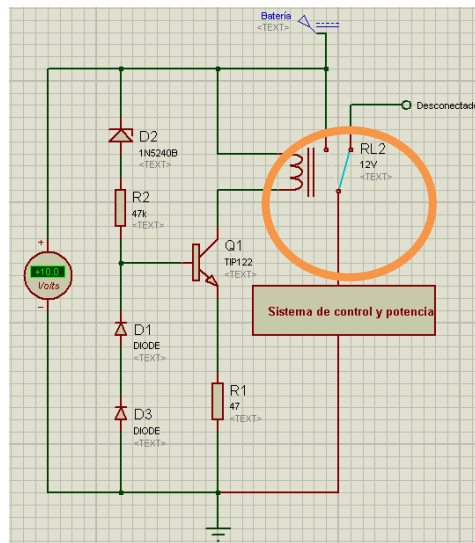


Figura 0.18. Circuito de auto-desconexión de batería en 0% de carga.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo se limita a la realización de distintas pruebas para medición de variables importantes en este campo de estudio, también se describen las partes del sistema construido y del sistema que complementa al proyecto el cual se indicará más adelante.

5.1. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA

Una vez diseñado el sistema se procede al ensamble, para ello se deberá indicar el resultado final del sistema electrónico de control, los controles para el ajuste de la fuente luminosa y el sistema óptico. Además se indicará de manera general como se complementa la fuente con el equipo de espectrometría.

5.1.1. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL DE FUENTE

Existen dos placas electrónicas resultantes, una para el sistema de control y otra para el circuito de auto-desconexión de la fuente de alimentación (batería). La primera placa contiene al microprocesador, sistema de potencia para el funcionamiento de los LED UV, conexasión al display LCD y conexasión a los periféricos de entrada (pulsadores y potenciómetro). En la siguiente gráfica, figura 5.1, se muestra la ubicación de los componentes en la placa electrónica de control. La placa está conformada por reguladores de voltaje de 9 y 5 V, microcontrolador, circuito electrónico de potencia para encender LEDs UV, conectores para LCD de 2x16 y borneras para conexasión de elementos de entrada como pulsadores, potenciómetro y batería.

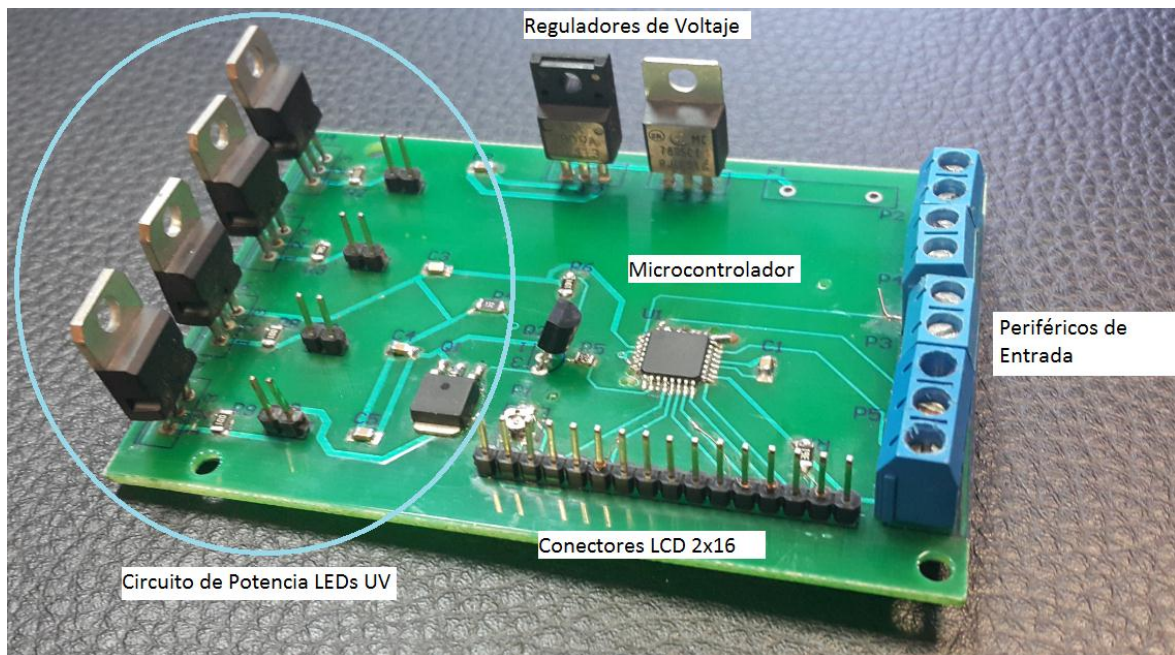


Figura 0.1. Ubicación de elementos electrónicos en placa electrónica de control.

La figura 5.2 corresponde a la placa de auto-desconexión de batería.

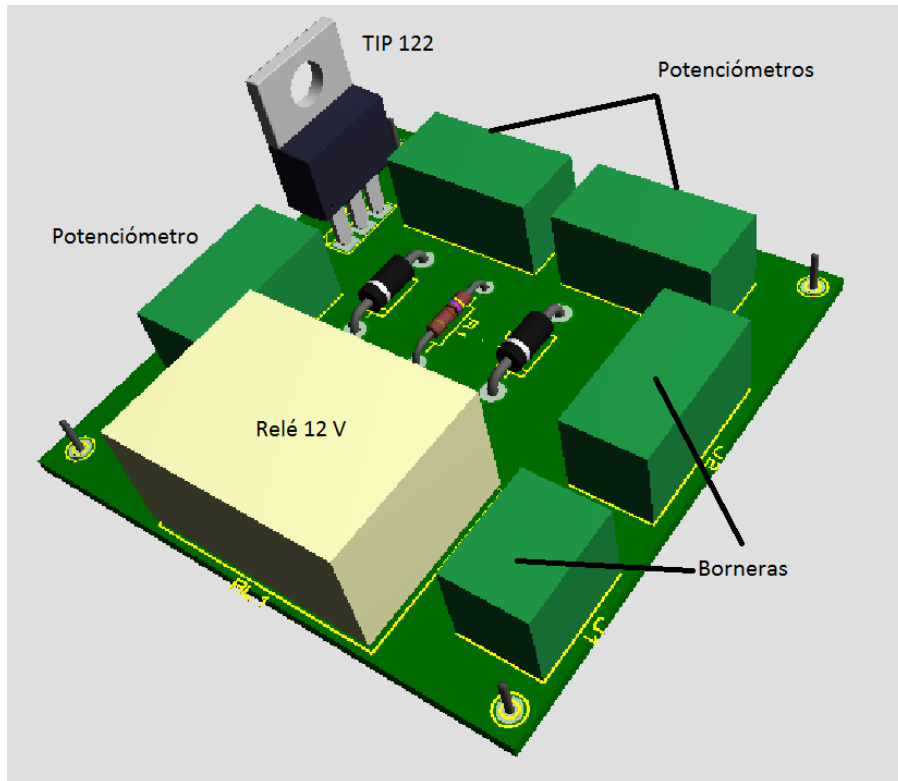


Figura 0.2. Ubicación de elementos electrónicos en la placa de auto-desconexión de batería.

Se realizaron dos placas independientes de control y auto-desconexión de batería, debido a que la placa de auto-desconexión alimentará a otros componentes adicionales como espectrómetro, tarjeta de comunicación, etc., que se requieren según sea la aplicación.

En la figura 5.3 se denotan las placas reales conexas.

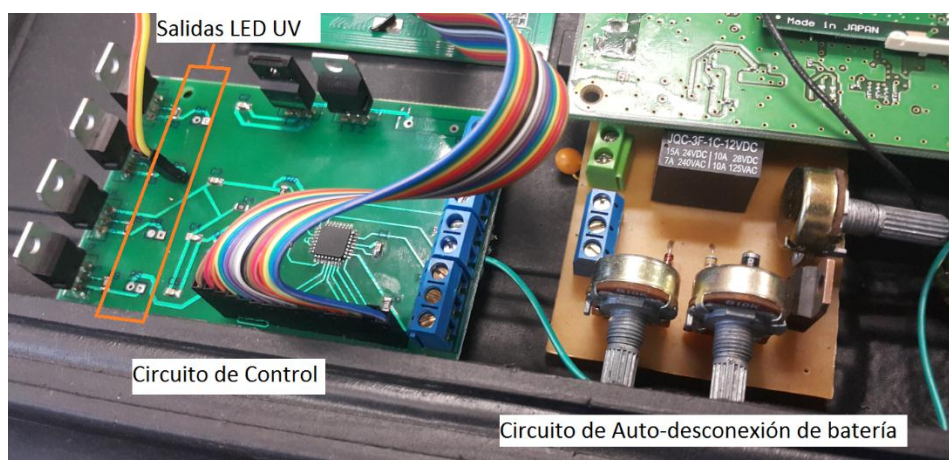


Figura 0.3. Sistema de control y auto-desconexión de batería.

Como aditamento, la placa de control tiene 3 salidas adicionales para colocar 3 LED de similares características pero de diferentes longitudes de onda, de tal forma que la fuente tenga mayor aplicabilidad en el análisis espectral.

5.1.2. DIAGRAMA DEL SISTEMA ÓPTICO

Los dispositivos que conforman el sistema óptico son los más importantes de todo el proyecto, ya que de su ajuste y precisión depende la efectividad de las pruebas. A continuación, en la figura 5.4 se indica el sistema óptico final, el cual debe estar perfectamente nivelado y ubicado con las medidas calculadas en el Capítulo 2. Es muy importante que los lentes tanto del LED y lente de enfoque estén completamente limpios para no tener errores en la medida con el espectrómetro.



Figura 0.4. Sistema óptico ensamblado.

El número 1 corresponde al espectrómetro, 2 al tubo de ensayo donde se debe depositar la muestra líquida a analizar, 3 corresponde al lente y al soporte el cual se mueve en el rango de 2 a 3 centímetros con respecto al LED UV, 4 es el diodo LED UV.

5.1.3. DIAGRAMA DEL SISTEMA COMPLETO

Si bien las fuentes UV pueden tener múltiples aplicaciones que van desde la curación de enfermedades subcutáneas, hasta el análisis de materiales, este proyecto está diseñado para realizar análisis espectral de sustancias líquidas transparentes, por tal motivo se requiere trabajar con un espectrómetro.

La siguiente fotografía, figura 5.5, indica el sistema final construido con todos los componentes complementarios para realizar pruebas de espectrometría mediante luz ultravioleta.



Figura 0.5. Partes constitutivas del sistema completo.

Como se puede observar en la figura 5.5, la carcasa es plástica lo cual lo hace un equipo resistente y liviano, el número 1 corresponde a la placa de control previamente diseñada. 2 es el LCD el cual está ubicado hacia el exterior de la carcasa. 3 es la tarjeta de comunicación inalámbrica, la cual se conectará directamente con el espectrómetro para la transmisión de datos mediante Wireless hacia un computador con el software del fabricante del espectrómetro. 4 es el circuito de auto-desconexión de batería, el mismo que se conectará directamente a la batería tipo Li-Po para posteriormente alimentar a todos los circuitos electrónicos. 5 es el sistema óptico conformado por el diodo LED-UV, el lente diseñado en el capítulo 2 y el espectrómetro. Además de esto el equipo cuenta con una ranura para la inserción directa de tubos de ensayo de cristal y de 2 cm de diámetro para el análisis de sustancias líquidas.

5.2. TIEMPO DE AUTONOMÍA DEL SISTEMA

Se desea conocer el tiempo de autonomía aproximado del sistema con la batería tipo Li-Po a utilizar. Como se indicó en el capítulo 3, la batería es de 3 celdas, obteniendo un voltaje máximo de 12,5 Voltios aproximadamente, a este voltaje se considera como 100 % de carga de batería. Ahora para conocer el tiempo de autonomía del sistema, se deberá descargar la batería desde su voltaje máximo (100% de carga) hasta un voltaje de 10 Voltios, que es el voltaje que estimado cuando la batería tiene un 0% de carga.

5.2.1. PRUEBA DE DESCARGA DE BATERÍA

Para la realización de la prueba, se emplea un cargador de baterías marca HITEC Multi charger X4 80 y la batería especificada en el capítulo 2 (batería tipo Li-Po de 3 celdas, 5000 mAh). El sistema realizado para esta prueba es el que se muestra en la figura 5.6.

Ahora, como primer paso, se debe cargar la batería al máximo, en donde se obtendrá un voltaje de 12,529 Voltios. Una vez cargada completamente la batería, se configura el cargador en modo descarga a 0,5 Amperios, esto emula a un circuito que necesita de 0,5 Amperios constantemente para su funcionamiento,

que es lo que demanda aproximadamente la aplicación. Simultáneamente se conecta el multímetro y se toman medidas de voltaje cada cierto tiempo. Con estas medidas realiza la gráfica denotada en la figura 5.7.

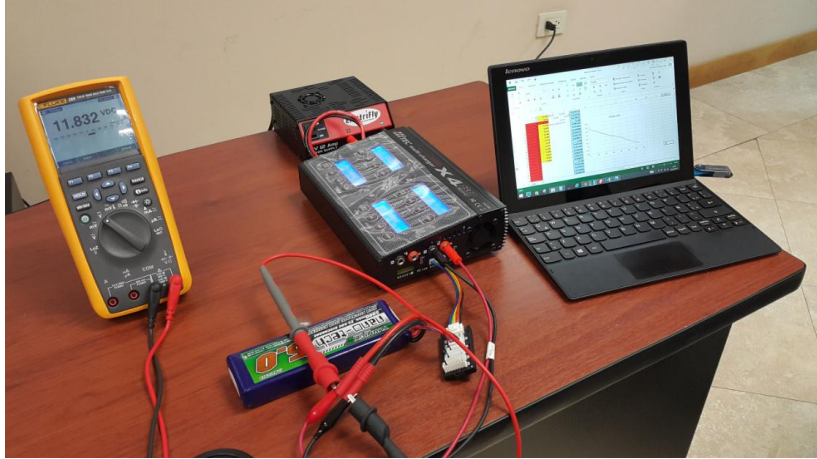


Figura 0.6. Circuito realizado para prueba de descarga de batería en función del tiempo.

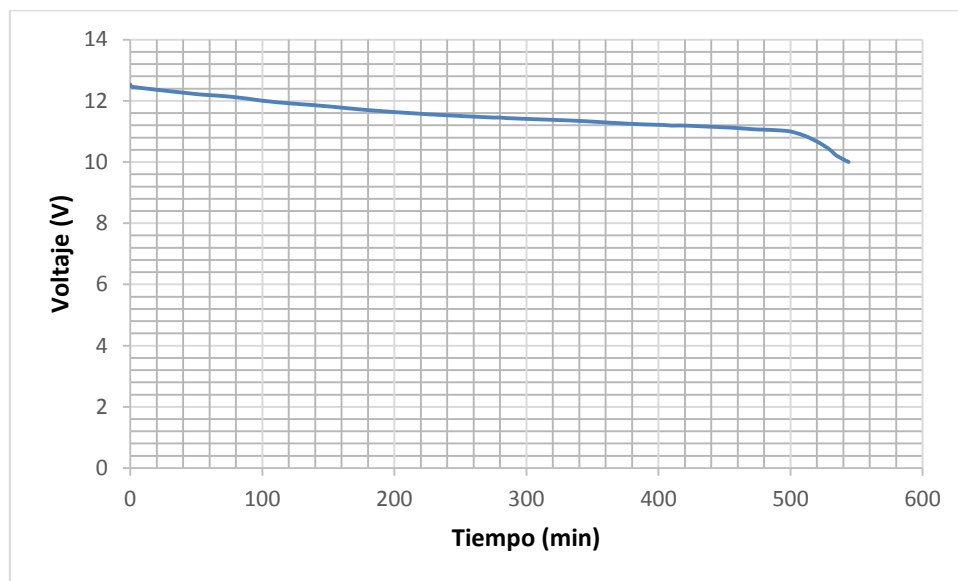


Figura 0.7. Gráfica de descarga batería (voltaje) en función del tiempo (minutos).

En la tabla 5.1 se pueden observar los valores tomados de voltaje en función del tiempo para una descarga constante de la batería de 0,5 Amperios.

Tabla 0.1. Mediciones de voltaje de batería en función del tiempo, descarga de batería a 0.5 A.

Tiempo (min)	Voltaje (on)
-----------------	-----------------

0	12,529
20	12,362
75	12,139
130	11,888
180	11,698
230	11,551
280	11,454
330	11,363
380	11,247
430	11,173
480	11,058
490	11,039
500	10,998
510	10,87
515	10,777
520	10,671
525	10,543
530	10,397
535	10,206
544	10

Como se puede verificar en la gráfica, la batería empleada ofrece un tiempo de autonomía mayor a 9 horas para una corriente aproximada de 0.5A.

5.2.2. MEDICIÓN DE NIVEL DE BATERÍA

En el capítulo 3 y 4 se explicó cómo se debe medir el nivel de la batería.

Para verificar que el porcentaje de carga que tiene la batería es el indicado en el LCD, se deberá realizar una prueba, en donde se varía el voltaje de una fuente DC para que el microcontrolador calcule el porcentaje de carga real de la batería.

En la figura 5.8 se observa la pantalla del LCD la cual está conectada al microcontrolador, la pantalla de la fuente DC donde se simula la batería (pantalla del multímetro), este voltaje es acondicionado para que pueda ser conectado al conversor A/D del microcontrolador para censar la batería.



Figura 0.8. Prueba de censado de batería y visualización en el LCD del porcentaje de carga.

En la tabla 5.2 se presentan los valores obtenidos en esta prueba.

Tabla 5.2

Tabla 0.2. Voltajes y porcentaje de batería.

Número de medición	Voltaje (V)		LCD (%)
	Fuente DC (batería)	Divisor de tensión	
1	12,5	5,04	100
2	12,24	4,94	90
3	11,99	4,84	80
4	11,74	4,74	70
5	11,49	4,64	60
6	11,24	4,54	50
7	10,97	4,43	40
8	10,74	4,34	30
9	10,48	4,24	20
10	10,24	4,14	10
11	10	4,04	0

Como se puede observar, los datos obtenidos coinciden con lo deseado, la recta calculada de voltaje en función al porcentaje de batería (capítulo 4) es idéntica a la obtenida en la prueba.

En la figura 5.9 se realiza la gráfica de porcentaje de carga de batería en función del voltaje que llega al conversor A/D con los resultados obtenidos en la prueba.

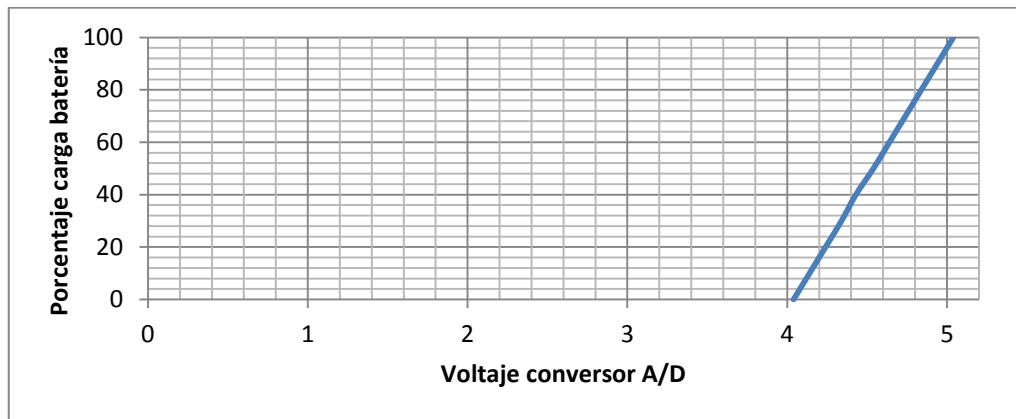


Figura 0.9. Gráfica de porcentaje de carga de batería en función del voltaje del conversor A/D.

5.3. PRUEBA DE FUENTE PULSADA CON FRECUENCIA AJUSTABLE

Para el funcionamiento del modo intermitente se requiere que el LED se encienda y se apague periódicamente, de tal manera que el usuario pueda modificar este parámetro como se lo calculó en el capítulo 4. En esta prueba se verificará con un osciloscopio la frecuencia de switcheo del microcontrolador y del LED.

Para la realización de esta prueba hace falta colocar una punta de prueba en el pin del microcontrolador correspondiente a la señal de disparo y otra en la salida de alimentación del LED. La figura 5.10 muestra el resultado de la prueba cuando el potenciómetro de ajuste de frecuencia se encuentra en su valor mínimo.

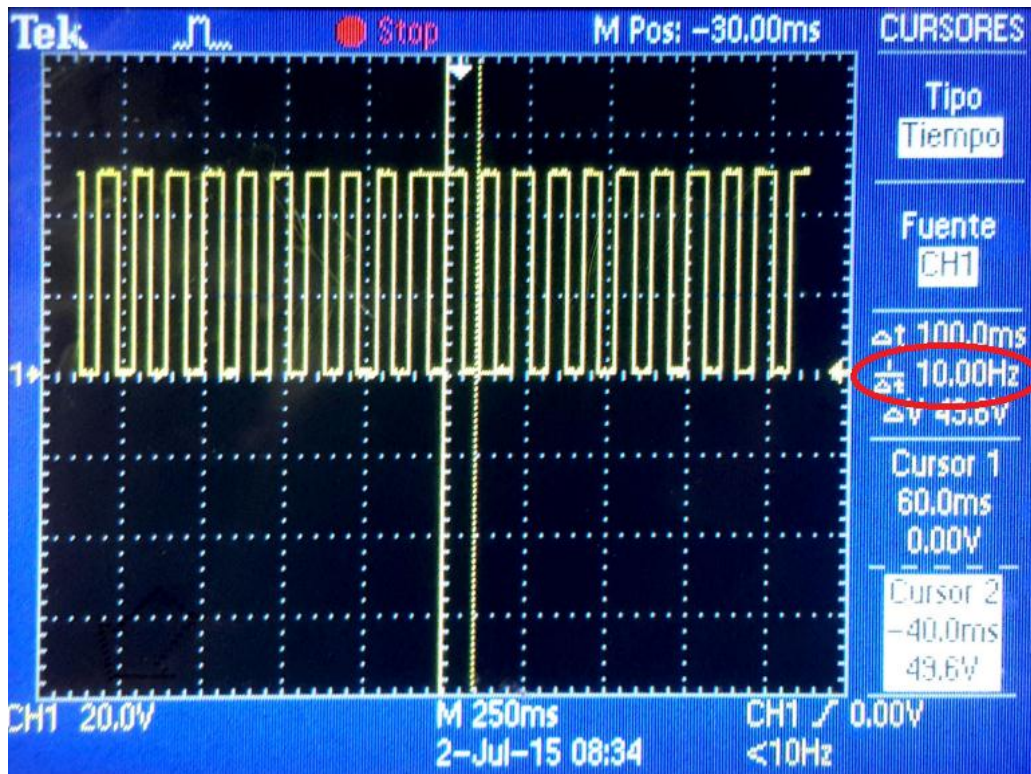


Figura 0.10. Prueba de frecuencia de switcheo con el potenciómetro en valor mínimo.

La figura 5.11 indica el resultado de la prueba cuando el potenciómetro de ajuste alcanza su valor máximo.

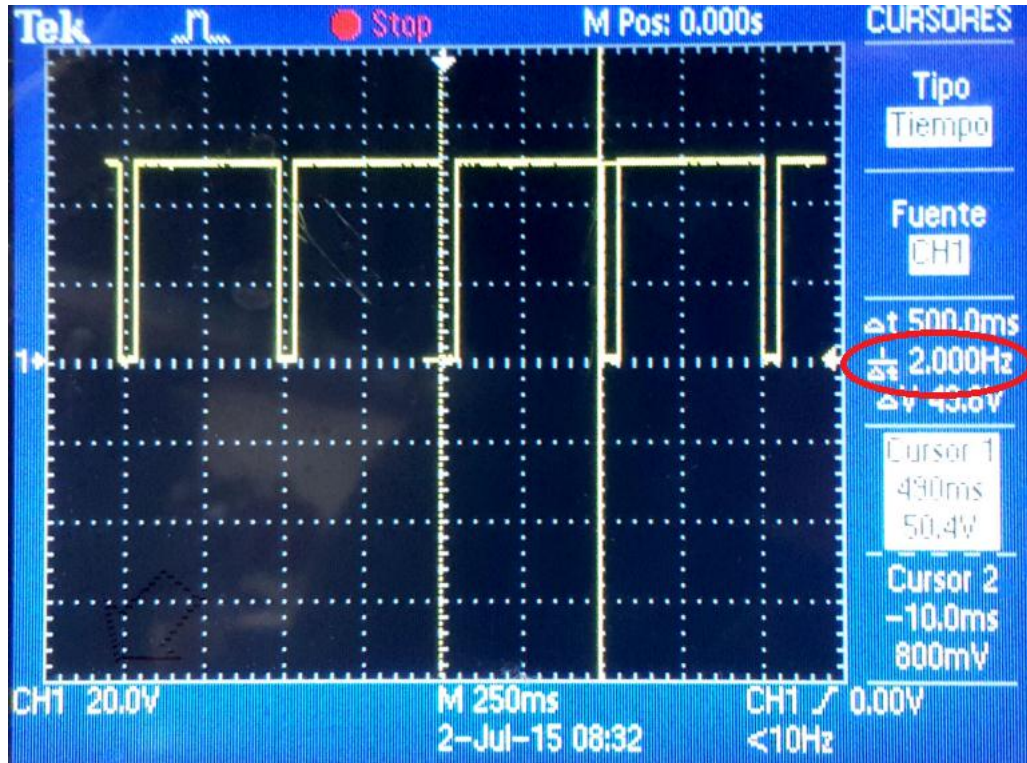


Figura 0.11. Prueba de frecuencia de switcheo con el potenciómetro en valor máximo.

Como se pudo notar, las frecuencias coinciden con las calculadas en el capítulo 4.

5.4. ESPECTRO DE LA FUENTE LUMINOSA

Para conocer el espectro con la que la fuente luminosa perturbará o excitará a los materiales fluorescentes es necesario contar con un instrumento de medida óptico que registre la Irradiancia emitida por la salida del colimador en función de la longitud de onda. Este instrumento se denomina espectrómetro óptico, y mide generalmente la intensidad luminosa en función de la longitud de onda.

5.4.1. ESPECTRO ADQUIRIDO DE UN ESPECTRÓMETRO

Para conocer el espectro a la salida de todo el sistema óptico acoplado se colocará un espectrómetro de marca Ocean Optics modelo USB4000 cuyas especificaciones se detallan en la tabla 5.3, el mismo que estará ubicado junto a

la fuente luminosa, de manera que la luz de la fuente se enfoque sobre el lente del espectrómetro.

Tabla 0.3. Especificaciones de espectrómetro Ocean Optics modelo USB4000 [21].

Parámetro	Cantidad	Unidad
Rango de detección	200 a 1100	Nanómetro (nm)
Resolución Óptica	0,1 a 10	Nanómetros (nm)
Distancia focal entrada	42	Milímetros (mm)
Distancia focal salida	68	Milímetros (mm)
Conversor A/D	16	Bits

Para realizar esta prueba se debe hacerlo en un cuarto oscuro, para que no existan otras longitudes de onda no deseadas en la medición. Se toman las curvas de intensidad luminosa en función de la longitud de onda. El espectrómetro se conecta a través de un cable USB a un computador por lo cual es necesario el uso de software propio del fabricante denominado Overture. Una vez configurado el espectrómetro, se toman mediciones.

La figura 5.12 muestra el espectro luminoso de la fuente obtenida, el eje vertical es la intensidad luminosa que emite la fuente y el eje horizontal es la longitud de onda de la luz analizada.

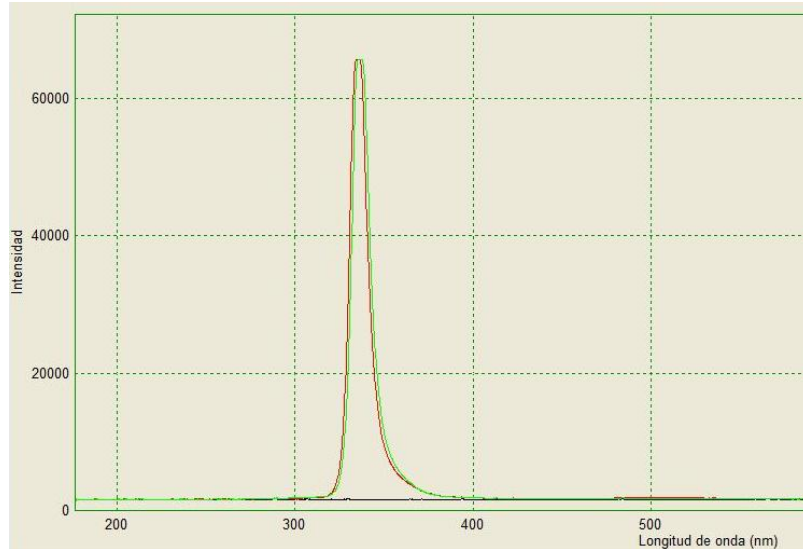


Figura 0.12. Prueba de medición de intensidad luminosa en función de la longitud de onda.

Como se puede observar, el rango de longitudes de onda se encuentra entre aproximadamente 320 y 350 nanómetros, dándonos el pico más alto en 335 nanómetros. La intensidad de luz reflejada en el programa se mide en cuentas y no tiene relación con la unidad de intensidad luminosa calculada en el capítulo 2, si se quisiera calcular mediante el software la intensidad, se debe comprar archivos adicionales para calibrar el software con la gráfica espectral de la fuente en base a una fuente patrón.

El espectrómetro Ocean Optics modelo USB4000 también nos servirá para efectuar las mediciones de los espectros de materiales fluorescentes perturbados por la fuente.

5.4.2. OTRAS FUENTES DE LUZ UV

Para generar luz UV, anteriormente se utilizaban otro tipo de materiales como el vapor de Mercurio y Xenón, en lámparas UV o láseres. Estas fuentes, si bien generaban la luz en el rango deseado, debían tener filtros y monocromadores en su diseño para afinar el rango de longitudes de onda, lo cual los hacía ineficientes energéticamente, como también, altamente sensibles a campos magnéticos, sensibles al estrés mecánico, alto costo, irradiación no uniforme, riesgo de muerte

debido al alto voltaje que se genera y que es necesario para el funcionamiento de las fuentes, entre otros [11].

Uno de los puntos más importantes en este punto del proyecto, es comparar el diseño con una fuente comercial de similar potencia y longitud de onda. En la figura 5.13 se observa el espectro de una fuente laser a base de gas de Nitrógeno, la cual tiene a su salida un espectro de alrededor de 334 a 337 nanómetros de longitud de onda y 4 miliwatios de potencia.

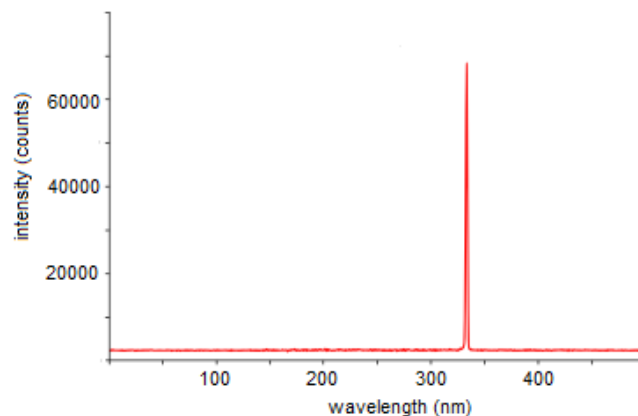


Figura 0.13. Espectro de una fuente laser de 337 nm y 4 mW.

La particularidad del láser es su coherencia espacial y temporal, es decir, tiene la capacidad de que los haces de luz permanezcan en un pequeño espacio al transmitirse por el vacío en largas distancias y concentra la emisión en un rango espectral muy estrecho.

Al comparar la fuente desarrollada, con el láser se puede observar claramente la diferencia del rango de longitudes de onda que ocupan los espectros. La intensidad lumínica también es mayor en el láser por su coherencia temporal. Pero ya en la práctica ambos se comportan de manera muy parecida en el análisis espectral de materiales, es por ello que en la actualidad se emplean LED UV para generar luz en este rango del espectro electromagnético, ya que tienen mayores ventajas que otras fuentes tradicionales.

En la tabla 5.4 se pueden observar las diferencias y similitudes entre el espectro de un láser de 334 nm y 4mW de potencia, con el de la fuente construida.

Tabla 0.4. Tabla comparativa entre la fuente construida y una fuente láser 334 nm y 4mW.

Parámetro	Fuente LED	Fuente Láser
Potencia óptica	3 - 5 mW	4 mW
Irradiancia	Alta	Muy Alta
Atenuación	Alta	Baja
Longitud de Onda pico	335 nm	334 nm
Rango longitudes de onda	320 a 350 nm	332 a 336 nm

Ambas fuentes tienen sus pros y sus ventajas, pero la importancia de ambas radica en la aplicación en la cual se las vaya a emplear.

La atenuación es la pérdida de la intensidad luminosa debido a la resistencia u oposición del material a la transmisión de la luz, debido a fenómenos de absorción y dispersión, la alta atenuación implica en que las pruebas con un espectrómetro deben realizarse en distancias cortas [22].

5.5. PRUEBAS CON MATERIALES FLUORESCENTES

Una vez obtenido el espectro de la fuente luminosa, se puede empezar a realizar pruebas para determinar el espectro fluorescente de otras sustancias ante la luz UV.

Para realizar las mediciones se lo hará con la ayuda de tubos de ensayo cilíndricos, en donde se depositará la sustancia líquida y se procederá a tomar la medición como se muestra en la figura 5.14.

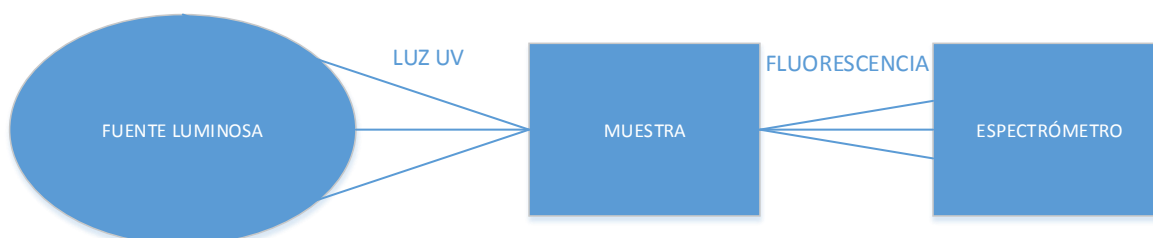


Figura 0.14. Esquema de adquisición de espectro de muestras líquidas por el método de transmisión.

El método de transmisión consiste en tomar espectros de luz de tal manera que la fuente de luz esté alineada al espectrómetro y en medio se encuentre la muestra (sustancia líquida). Las cubetas utilizadas para contener a la sustancia a analizar son generalmente rectangulares o cilíndricas, deben ser transparentes de tal manera que no afecte o altere los rayos de luz de la fuente UV, para ello primero se deberá realizar una medición sin sustancia para verificar que se cumpla lo mencionado.

Cabe recalcar que la interpretación de los espectros de las sustancias a analizar no es parte del campo de estudio de este proyecto y lo único que se quiere comprobar es que la fuente logre la fluorescencia respectiva y para ello basta con que la longitud de onda del espectro de la sustancia sea mayor que la longitud de onda de la fuente luminosa. Para ello se prueba con varias sustancias líquidas como por ejemplo, gasolinas, agua, alcohol, acetona.

En la figura 5.15 se puede observar la fuente luminosa (derecha) enfocada a la muestra fluorescente (centro) y el micro espectrómetro para la medición correspondiente (izquierda).



Figura 0.15. Sistema óptico enfocado a una muestra de gasolina Súper.

En la tabla 5.5 se muestran las sustancias analizadas y la longitud de onda pico obtenida en el espectrómetro al realizar las pruebas.

Tabla 0.5. Materiales fluorescentes y longitud de onda pico obtenido.

Medición	Material Fluorescente	Longitud de onda pico
1	Agua residual concentración alta	530 nm
2	Agua residual concentración baja	520 nm
3	Alcohol antiséptico	340 nm
4	Diesel	500 nm
5	Disolvente de acrílico	337 nm
6	Gasolina Extra	360 nm
7	Gasolina Súper	600 nm
8	Thinner	336 nm

Como se puede observar la emisión de todas las sustancias tienen una longitud de onda pico mayor al pico de excitación, esto significa que existe absorción por parte de las sustancias y como resultado en la emisión se obtiene la alteración de la longitud de onda de la fuente.

En las figuras 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23 se observan los espectros obtenidos en las pruebas con las sustancias mencionadas en la tabla 5.5. La línea roja es el espectro de la fuente luminosa y la línea verde el espectro de la sustancia analizada.

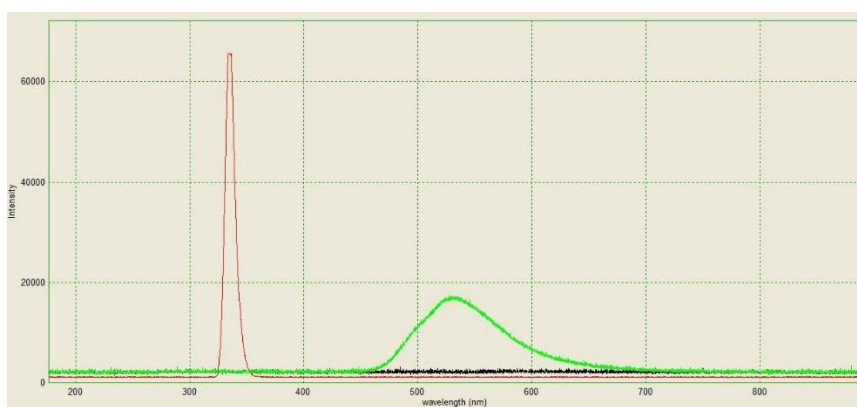
**Figura 0.16.** Espectro de agua residual (concentración alta) con espectrómetro luego de ser enfocada con la fuente luminosa UV.



Figura 0.17. Espectro de agua residual (concentración baja) con espectrómetro luego de ser enfocada con la fuente luminosa UV.

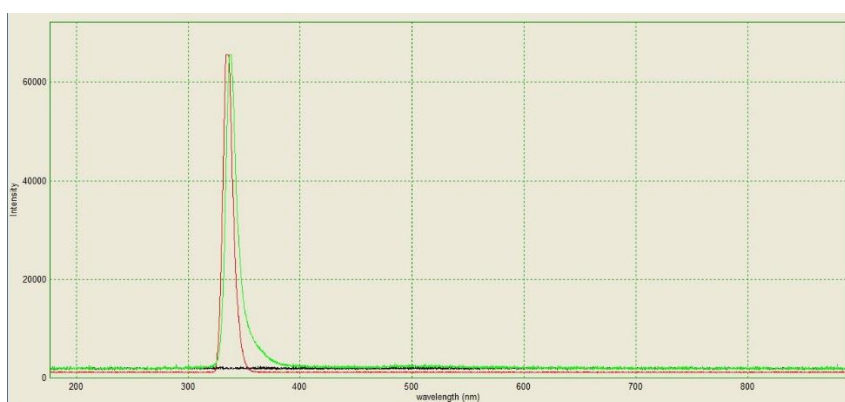


Figura 0.18. Espectro de alcohol antiséptico con espectrómetro luego de ser enfocada con la fuente luminosa UV.

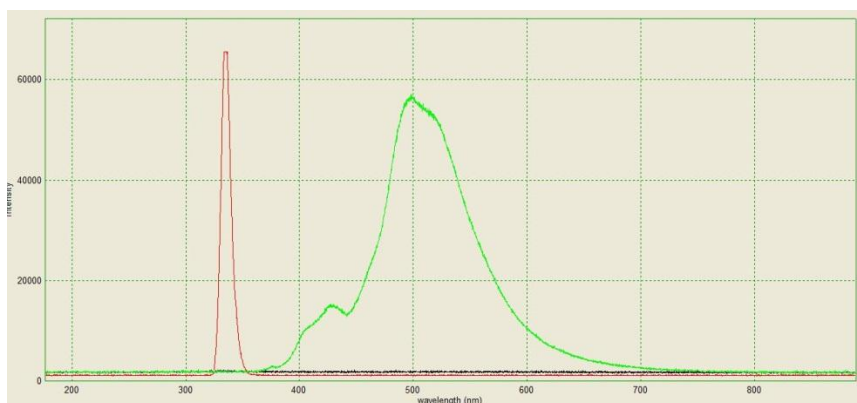


Figura 0.19. Espectro de combustible Diesel (concentración alta) con espectrómetro luego de ser enfocada con la fuente luminosa UV.

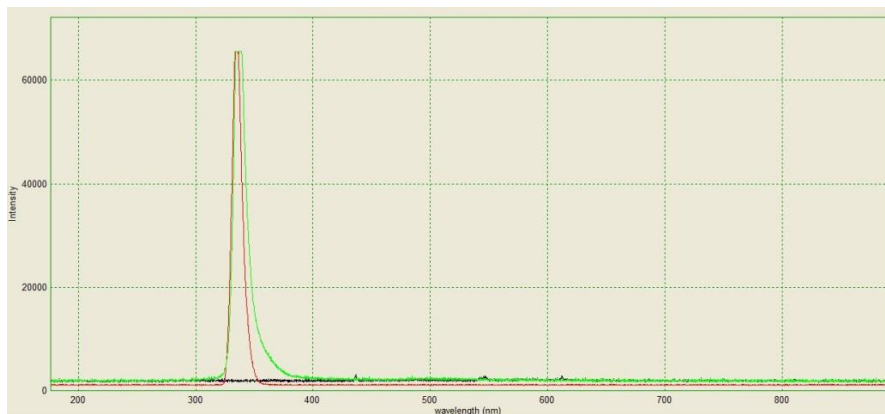


Figura 0.20. Espectro de disolvente de acrílico con espectrómetro luego de ser enfocada con la fuente luminosa UV.

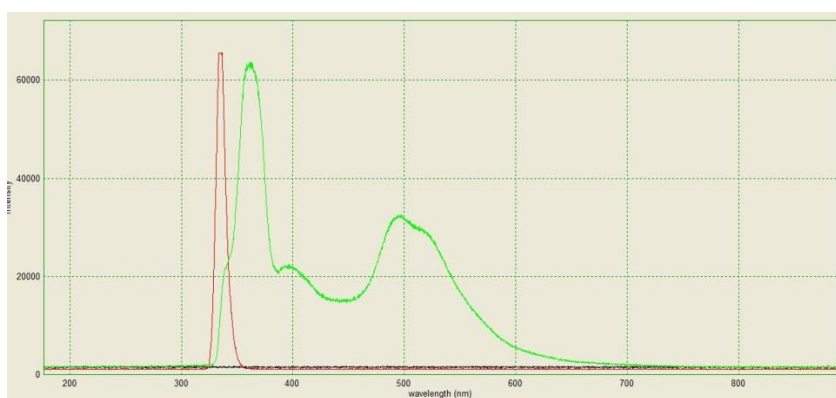


Figura 0.21. Espectro de gasolina Extra con espectrómetro luego de ser enfocada con la fuente luminosa UV.

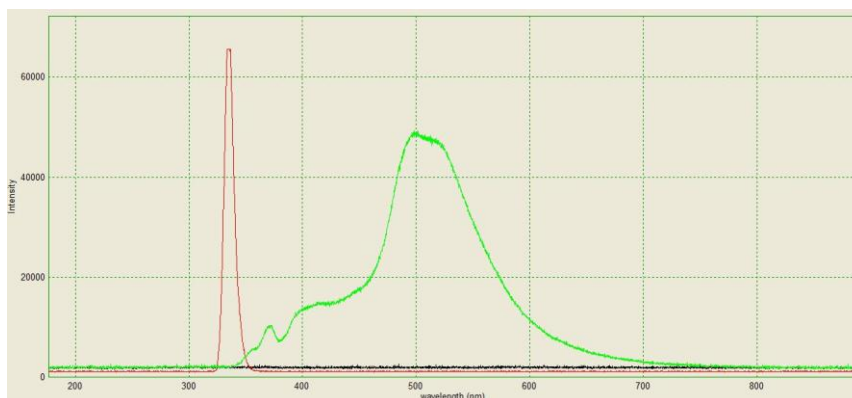


Figura 0.22. Espectro de gasolina Súper con espectrómetro luego de ser enfocada con la fuente luminosa UV.

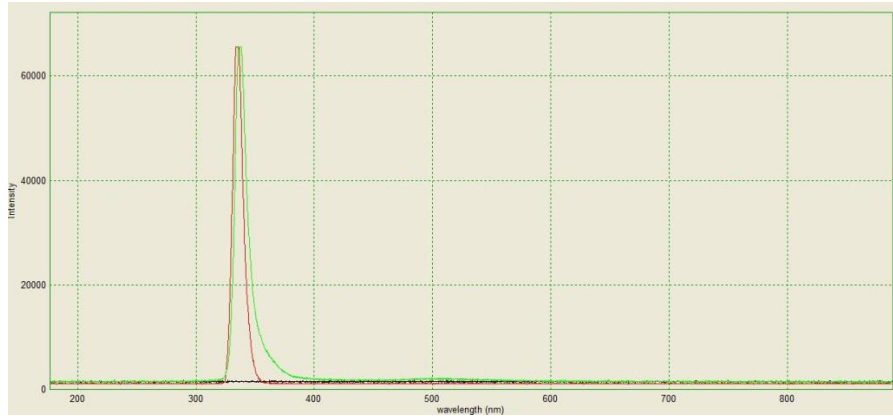


Figura 0.23. Espectro de Thinner con espectrómetro luego de ser enfocada con la fuente luminosa UV.

Cada muestra se comporta diferente cuando la luz atraviesa el material, esto se debe a su composición química. Las figuras 5.18, 5.20 y 5.23 indican que el material no es tan fluorescente a la longitud de onda de la fuente como los otros elementos de las figuras restantes.

Es importante señalar que la calibración del instrumento es modificable y el usuario puede cambiar los parámetros de enfoque y el modo de disparo, tanto continuo como pulsado, dentro de un rango fijo buscando satisfacer los requerimientos que la aplicación demanda.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones del proyecto, destacando sus características relevantes y proponiendo soluciones a las limitaciones.

6.1. CONCLUSIONES

- Es importante también resaltar que el principal defecto de los diodos LED UV es su ineficiencia. La potencia óptica (potencia de salida) que brinda este componente (Anexo A) está en un rango entre 3 a 5mW; mientras que su potencia disipada es de 1500 mW. Esta disipación la hace en forma de calor y es la razón por la que se adapta un disipador térmico adaptado al dispositivo para asegurar su buen funcionamiento, sin embargo, los LED UV son más eficientes y presentan mayores ventajas sobre otros materiales de fuentes UV de la misma potencia óptica.
- Se logró implementar una fuente luminosa portátil y enfocable de corta distancia UV a base de un arreglo de diodos emisores de luz ultravioletas, la cual puede excitar materiales fluorescentes para su análisis espectral mediante un espectrómetro.
- Para preservar la vida útil de la batería Li-Po, los fabricantes recomiendan no descargar hasta un voltaje menor a 9 Voltios (para una batería de 3 celdas), por tanto se considera conveniente limitar el consumo energético mediante un circuito que obligue la desconexión del sistema al llegar a un voltaje mínimo inferior de 10 Voltios.
- El LED utilizado es altamente sensible a la estática y a la calidad de energía tanto en voltaje como en corriente que se le suministre. Por tanto se alimenta por una fuente de corriente constante, la cual asegura tener niveles estables en

los parámetros antes mencionados. Además se emplearon reguladores de voltaje y protección de corriente (PTC) para proteger a todo el sistema.

- Todos los circuitos electrónicos del sistema manejan bajo voltaje, menor a 13 Voltios, el mismo que no representa riesgo eléctrico para el usuario. La electrónica diseñada no es complicada, dando como resultado un fácil mantenimiento y detección de errores en caso de mal funcionamiento. Los elementos electrónicos con los que fueron construidos los circuitos electrónicos de control y auto-desconexión tienen precios bajos y son comunes en las tiendas de electrónica del medio.
- El equipo al tener una batería como fuente de alimentación se libera de cables hacia el exterior, lo cual lo hace un elemento portátil. El tiempo de vida de funcionamiento, como se pudo comprobar, brinda un tiempo de autonomía suficientemente grande como para preocuparse de estar cargando la batería continuamente o depender de un cargador de baterías en caso de estar lejos de la ciudad o trabajando en campo. Las baterías tipo Li-Po son relativamente nuevas en el mercado y sus principales ventajas son la de ser livianas, carga muy rápida y grandes capacidades de almacenamiento de energía.
- La interfaz para el usuario, tanto electrónica como mecánica, se ha orientado a ser lo más simple posible para facilitar al usuario su manejo. De esta manera se posibilita que personal sin conocimiento profundo de electrónica o espectroscopia (haciendo referencia el área de análisis e interpretación de los resultados que se puedan obtener con el proyecto) lo puedan utilizar, incrementando su versatilidad.

6.2. RECOMENDACIONES

- En casos donde se trabaje con diodos LEDs de alta potencia, una característica que se podría implementar es la de crear un dimmerizador para controlar la luminosidad que emiten los diodos con el fin de que el espectrómetro no se sature y el usuario pueda controlar este parámetro para una correcta medición.
- El LED empleado es un elemento muy sensible a la estática, el cual puede dañarse fácilmente si es manipulado, para ello se debería aislar físicamente de tal forma que el usuario no pueda tocarlo directamente o a su vez usar el equipo de manipulación adecuado, como son las pulseras antiestáticas, etc. Se debe recalcar que cada vez que se necesite manipular el elemento, el sistema debe estar completamente apagado y desconectada la batería de alimentación.
- No se debe forzar el sistema mecánico que provee del movimiento al lente, ya que solamente puede moverse dentro de un rango fijo de distancia y de manera longitudinal al diodo LED. Adicionalmente en proyectos más avanzados este sistema puede ser automático, de manera que el lente autoenfoque la luz a la muestra de la sustancia a analizar.
- Es recomendable que el instrumento se opere en ambientes relativamente limpios, ya que las partículas de polvo pueden afectar directamente a los circuitos y el sistema óptico, obteniendo resultados no deseados. La carcasa que contiene al sistema, no está preparada para trabajar en ambientes con gran cantidad de polvo y tampoco es a prueba de agua.
- La fuente tiene como limitación el de perturbar muestras líquidas transparentes. Para sustancias más opacas se necesita de mayor potencia óptica y de instrumentos de medida (espectrómetros) más precisos, para ello también es necesario utilizar diodos laser UV los cuales tienen mayor coherencia espacial y temporal y permiten una mejor excitación de los materiales. Se debe

considerar que para sustancias no transparentes u otro tipo de materiales existen técnicas de medición invasivas las cuales son adecuadas para un correcto análisis.

- Durante el diseño de fuentes UV con diodos emisores de luz, es importante constatar que el ángulo de radiación de los LED sea lo suficientemente pequeño con el fin de evitar pérdidas de luz por reflexión debido a la gran área que requeriría el lente para enfocar la radiación emitida por el LED.
- La longitud de onda en la que trabaja el led que constituye la fuente de perturbación de este proyecto es de 330 nm, con una ventana de 20nm. Este factor es fundamental de considerar previo a realizar cualquier tipo de prueba, puesto que en esta región del espectro electromagnético solo determinadas sustancias pueden ser perturbadas; en aquellas que se excluye de este grupo no es factible de obtener información que las identifique y esto podría llevar a pensar en averías en el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Technical Note: An Introduction to Fluorescence Measurements*, Turner Designs Co., 1990, p. 1.
- [2] Perkin Elmer, *An Introduction to Fluorescence Spectroscopy*, p. 19. [Online]. Available: <http://www.chem.uci.edu/~dmitryf/downloads.html>
- [3] Dayong Jin , Russell Connally, James Piper, “Investigation of UV LED Luminescence Properties for Timeresolved Fluorescence Biomedical Applications”, unpublished.
- [4] Liisa Halonen. (2010). *Guidebook on Energy Efficient Electric*, Annex 45, p. 111. [Online]. Available: <http://www.lightinglab.fi/IEAAnnex45/guidebook/>
- [5] José María Meseguer Dueñas, “Problemas resueltos de Electromagnetismo y Semiconductores”. Valencia. [Online]. Available: <http://personales.upv.es/jquiles/prffi/portada.htm> .
- [6] Fachhochschule Münster University of Applied Sciences, “AlGaN UV-LEDs”, Unpublished.
- [7] [José Rodríguez García](#), “Fundamentos de Óptica Geométrica”, Universidad de Oviedo., p 24, 1997.
- [8] Eli Sirlin, “Física de la Luz”, Universidad de Buenos Aires, Ed. Atuel, pp 3-10, 2006.
- [9] Alejandro Cornejo Rodríguez, “Óptica Geométrica Resumen de Conceptos y Fórmulas”, Parte 1, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, 2da

Edición, Tonantzintla, Puebla, Octubre 2005, pp 49-59.

- [10] M.I Litter, M.A Armienta, S.S Farías, “Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos”, CYTED, Argentina, Octubre 2009 pp 43-52.
- [11] Marc Breit, “Qualification, specification and standardization of UV-LED-Sources for fluorescent magnetic particle and penetrant inspection”, Ril-Chemie, 2014, pp 16-17.
- [12] Burkhard König, “Organic Photochemistry”, unpublished, p 3.
- [13] Emilio Gómez González, “Radiometría y Fotometría”, 1 Ed, Departamento de Física Aplicada III, Universidad de Sevilla, 2006, pp 4-19.
- [14] Alexius J. Hebra, “The Physics of Metrology”, SpringerWienNewYork, USA, 2010, p 256.
- [15] Paul Aguayo S., “Introducción al Microcontrolador”, Noviembre 2014.
- [16] Sara Alarcón Blanco, “El Conflicto del Audio”, Septiembre 2011.
- [17] Juan Ignacio Huircán, “Convertidores Análogo-Digital y Digital-Análogo: Conceptos Básicos”, Noviembre 2007.
- [18] Jaime Hamel Fonseca, “Celdas, pilas y baterías de Ion-Litio una alternativa para...??”, Cochabamba, 2011.
- [19] *Lithium Polymer (Li-Pol)*, Harding Energy, Inc., Quest Batteries, Section 6, Michigan, pp 1-5.
- [20] *PTC Thermistors*, DigiKey Co, Pennsylvania., pp 1-6.
- [21] *USB4000 Fiber Optic Spectrometer Installation and Operation Manual*, Ocean Optics, Inc., Florida, USA, 2008, pp 21-23.