

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Electrónico

TÍTULO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE LÁMPARA DE
FOTOTERAPIA CON SISTEMA DE CONTROL DIGITAL PARA
TRATAMIENTO DE ICTERICIA EN NEONATOS”**

AUTOR

Adrián Leonel Cuenca Vicente

DIRECTOR

Ing. Ana Cecilia Villa MSc.

Cuenca - Ecuador

2014

RESEÑA E INFORMACIÓN DEL AUTOR

Adrián Leonel Cuenca Vicente

Estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana.

Mail: leoalcv@gmail.com

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo la excepción prevista por la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS ©

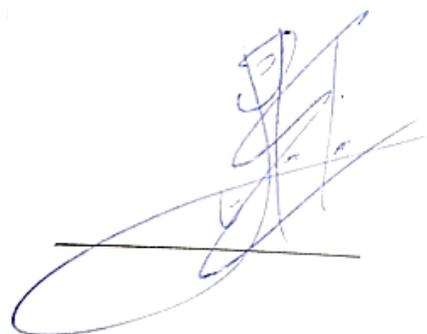
2014 Universidad Politécnica Salesiana

CUENCA – ECUADOR

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los conceptos, análisis y conclusiones desarrollados en la presente tesis, son de exclusiva responsabilidad del autor.

Cuenca, 5 de Enero del 2014.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a solid horizontal line.

Adrián Leonel Cuenca Vicente

CERTIFICACIÓN

Ing. Ana Cecilia Villa Msc.

Certifica:

Haber dirigido y revisado adecuadamente cada uno de los capítulos concernientes a la presente tesis realizada por el señor Adrián Leonel Cuenca Vicente

Cuenca, 5 de Enero del 2014.



Ing. Ana Cecilia Villa Msc.

DEDICATORIA

A mi familia que con su apoyo incondicional me llenó de fuerzas y energías durante toda mi vida estudiantil, a mis amados padres, son lo más importante en mi vida, gracias a su esfuerzo y sacrificio me han encaminado en la senda del conocimiento y gracias a su amor y comprensión me han sostenido en el camino hacia la conclusión de mis estudios universitarios, a mis hermanas Gabriela y Cristina, con su ejemplo de profesionalismo, constancia y dedicación en su vida generaron en mi persona deseos de superación y motivación hacia la consecución de mis metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis queridos padres por el gran esfuerzo y apoyo que me ofrecieron, sin ellos no podría haber llegado a estas instancias, les agradezco por ser mis maestros, amigos y ejemplo de vida.

Agradezco a la Ing. Ana Cecilia Villa que con gran profesionalismo y sabiduría me guio hacia la conclusión de la tesis.

Agradezco al Ing. Carlos Viteri y al Ing. David Vicente que me ofrecieron su tiempo, esfuerzo y conocimientos desinteresadamente durante toda esta etapa de mi vida.

Agradezco al personal del área de Neonatología y al personal del departamento de mantenimiento del Hospital Regional Isidro Ayora de Loja por su tiempo y ayuda en la realización de las pruebas de mi proyecto.

Agradezco a todos los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana por el tiempo y dedicación que me ofrecieron durante toda mi etapa universitaria.

RESUMEN

El prototipo que se presenta se basa en una lámpara de fototerapia Led, el mismo que posee un sistema de control digital de luminosidad para el tratamiento de ictericia y un mecanismo de posicionamiento de la matriz de Leds.

La lámpara de fototerapia estará conformada por una matriz de 12 Leds, los cuales poseen características especiales para la degradación de la bilirrubina en el cuerpo del paciente. La distribución lumínica que ofrece el diseño de la matriz de Leds permite obtener una distribución uniforme de radiación lumínica en todo el cuerpo del RN (recién nacido), esto es debidamente estudiado y calculado para alcanzar los índices de radiación lumínica que indica la norma ANSI IECCE 60601-2-50 para maximizar el metabolismo de la bilirrubina en la sangre del neonato.

La radiación lumínica que posee la lámpara es de $45 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ para tratamiento intensivo (6744 lx) y de $22 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ para tratamiento convencional (3292 lx), estos dos tipos de niveles de luminosidad se los elige mediante un panel de switchs. La lámpara posee un sistema de control digital de luminosidad que permite regular la luminancia de la lámpara dependiendo de la altura entre la matriz y el paciente y del tipo de tratamiento que sea elegido.

La lámpara posee un sistema mecánico y electrónico que controla el ángulo de inclinación de la matriz de Leds, para adaptar la lámpara a las diferentes cunas tratantes para los RN (termocunas, incubadoras y cunas de calor radiante). El mecanismo de posicionamiento consiste en un motor y un sistema de sensores que por medio de un algoritmo de reconocimiento regulan el movimiento del motor y el ángulo de inclinación de la matriz.

El diseño de la estructura mecánica está construido con materiales anticorrosivos que aseguran un ambiente séptico dentro de su entorno de trabajo (hospitales u hogares), el diseño mecánico es desarmable para su fácil transporte y posee un juego de ruedas en su base inferior que permite el desplazamiento del equipo sin necesidad de un gran esfuerzo físico. La lámpara posee la capacidad de regular

su altura según se lo necesite, la base y el cuerpo de la lámpara ofrece estabilidad al momento que el mecanismo de posicionamiento de la matriz se encuentre en funcionamiento.

El sistema de control digital de luminosidad y el sistema de posicionamiento de la matriz aseguran la mayor eficacia en el tratamiento de fototerapia para acelerar el metabolismo de la bilirrubina en la sangre del paciente y ofrecen facilidad de manejo del equipo por parte del personal médico o de las personas que manipulen el equipo.

Índice General

INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I. ICTERICIA NEONATAL, FOTOTERAPIA Y TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN.....	3
1.1. FUNDAMENTOS CLÍNICOS.....	3
1.1.1. Ictericia Clínica.....	3
1.1.1.1. Generalidades.....	3
1.1.1.2. Hiperbilirrubinemia Neonatal.....	4
1.1.1.3. Tipos de Ictericia Neonatal.....	6
1.1.1.4. Secuelas de la Hiperbilirrubinemia.....	7
1.1.2. Metabolismo de la Bilirrubina.....	8
1.2. FOTOTERAPIA.....	10
1.2.1. Historia.....	10
1.2.2. Metabolismo de la Bilirrubina en la Fototerapia.....	11
1.2.3. Mecanismo de la Fototerapia.....	12
1.2.4. Pautas para Fototerapia en Neonatos.....	13
1.2.5. Factores importantes para la eficacia de la fototerapia.....	14
1.3. TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN.....	16
1.3.1. Generalidades.....	16
1.3.2. Estudio del área, espectro y potencia de fuentes lumínicas.....	18
1.3.2.1. Lámparas Led.....	18
1.3.2.2. Otros tipos de iluminación.....	21
1.3.3. Selección de Tecnología Adecuada en Función de Calidad de Iluminación y Facilidad de Control.....	22
1.4. ICTERICIA NEONATAL EN EL ECUADOR.....	25
2. CAPÍTULO 2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE LA LÁMPARA DE FOTOTERAPIA.....	27
2.1. ESTUDIO LUMÍNICO DEL SISTEMA.....	27
2.1.1. Área de Estudio.....	27
2.1.2. Cálculo Lumínico.....	29
2.1.3. Distribución Lumínica.....	34

2.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE LEDS.....	37
2.2.1. Diseño.....	37
2.2.1.1. Matriz de Leds.....	40
2.2.1.2. Driver Controlador.....	42
2.2.1.3. Detector De Fallas.....	44
2.2.2. Construcción.....	45
2.3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL DIGITAL DE LUMINOSIDAD.....	49
2.3.1. Sistema de Referencia para el Control de Luminosidad.....	50
2.3.2. Diseño y Construcción del Panel de Control.....	50
2.3.3. Diseño y Construcción del Control de Luminosidad.....	52
2.4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL DE LOS ACTUADORES PARA EL POSICIONAMIENTO DE LA LÁMPARA.....	55
2.4.1. Condiciones de Control.....	55
2.4.2. Estudio Mecánico del Movimiento Rotacional.....	57
2.4.3. Diseño y Construcción del Driver Controlador y Actuador del Sistema.....	59
2.4.4. Diseño y Construcción de la Fuente de Alimentación.....	60
2.4.5. Diseño y Construcción del Control de Posicionamiento de la Matriz... ..	64
3. CAPITULO 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO DE LA LAMPARA.....	68
3.1. DISEÑO MECÁNICO DE LA LÁMPARA.....	68
3.1.1. Diseño Mecánico de la Matriz de Leds.....	68
3.1.2. Diseño Mecánico de la Base y Cuerpo de la Lámpara de Fototerapia....	70
3.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MECÁNICO.....	72
3.3. ACOPLAMIENTO DEL SISTEMA.....	76
3.3.1. Acoplamiento Mecánico.....	76
3.3.2. Acoplamiento Electrónico.....	77
4. CAPITULO 4. PRUEBAS Y ANÁLISIS.....	80
4.1. ENTORNO DE PRUEBAS.....	80
4.1.1. Pruebas de Funcionamiento.....	80
4.1.2. Pruebas Médicas.....	83

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	85
4.2.1. Análisis de Resultados de Funcionamiento.....	85
4.2.2. Análisis de Resultados de Pruebas Médicas.....	87
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	91
GLOSARIO.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
ANEXO 1. Certificación de funcionamiento esencial y seguridad básica para equipos de fototerapia para niños otorgado por el encargado del departamento de mantenimiento del Hospital Regional de Loja “Isidro Ayora”.....	103
ANEXO 2. Certificación de cumplimiento de pruebas médicas en pacientes con ictericia otorgado por el encargado del departamento de neonatología del Hospital Regional de Loja “Isidro Ayora”.....	104
ANEXO 3. Datasheet del sensor de ultrasonido HC-SR04.....	105
ANEXO 4. Diseño de los circuitos electrónicos de la lámpara de fototerapia con sistema de control digital para el tratamiento de ictericia en neonatos.....	107
ANEXO 5. Diseño de la base de la matriz.....	108
ANEXO 6. Diseño de la base del motor.....	109
ANEXO 7. Diseño del porta Leds.....	110
ANEXO 8. Diseño de la base de aluminio.....	111
ANEXO 9. Diseño del eje de acero.....	112
ANEXO 10. Diseño del brazo superior.....	113
ANEXO 11. Diseño de buje de grillón para el brazo superior.....	114
ANEXO 12. Diseño de tapa metálica para brazo superior.....	115
ANEXO 13. Diseño de la cubierta de la matriz.....	116
ANEXO 14. Diseño de la base de la lámpara.....	117
ANEXO 15. Diseño del tubo parante inferior.....	118
ANEXO 16. Diseños del tubo de soporte superior.....	119
ANEXO 17. Diseño de seguro roscado de grillón.....	120
ANEXO 18. Diseño conjunto de la lámpara de fototerapia.....	121
ANEXO 19. Manual de Usuario.....	122

Índice de Figuras

Figura 1.1: Presencia de Ictericia Neonatal [2].....	3
Figura 1.2: Kernícterus o encefalopatía neonatal bilirrubínica [1].....	7
Figura 1.3: Glóbulos rojos y Hemoglobina [10].....	8
Figura 1.4: Metabolismo del grupo Hemo [11].....	8
Figura 1.5: Proceso de composición de la bilirrubina [12].....	9
Figura 1.6: Metabolismo de la bilirrubina directa e indirecta [10].....	9
Figura 1.7: Metabolismo completo de la Bilirrubina en el organismo [10].....	9
Figura 1.8: Aplicación de rayos del sol para tratamiento de enfermedades [18].....	10
Figura 1.9: Inicios de investigación de la fototerapia científica [18].....	10
Figura 1.10: Cambio de configuración molecular de la bilirrubina mediante fototerapia [15].....	11
Figura 1.11: Metabolismo de la bilirrubina en la fototerapia [16].....	11
Figura 1.12: Espectro de luz y penetración de irradiación de luz en la piel [15].....	12
Figura 1.13: Esquema gráfico de la fototerapia [15].....	13
Figura 1.14: Pautas para fototerapia intensiva en neonatos hospitalizados nacidos con una edad gestacional de 35 semanas o más [15].....	14
Figura 1.15: Aplicación de fototerapia al paciente en toda su superficie corporal [23]..	15
Figura 1.16: Espectro de luz visible [26].....	16
Figura 1.17: Representación gráfica del estereorradián [28].....	17
Figura 1.18: Esquema gráfico de la eficiencia luminosa [28].....	17
Figura 1.19: Estructura física del Led [39].....	19
Figura 1.20: Funcionamiento físico del Led [40].....	19
Figura 1.21: Estructura interna del LED y HPLED [33].....	19
Figura 1.22: Distribución espectral relativa: Leds rojos, verdes y azules [33].....	19
Figura 1.23: Reducción del alcance lumínico en el tiempo [43].....	20
Figura 1.24: Relación flujo luminoso con respecto a la temperatura ambiente [46].....	20
Figura 1.25: Evolución de la iluminación [45].....	22

Figura 2.1: Área de estudio.....	28
Figura 2.2: Relación entre magnitudes radiométricas y fotométricas [53].....	31
Figura 2.3: Curvas C.I.E. de la eficiencia luminosa espectral [53].....	32
Figura 2.4: Iluminancia del Led.....	36
Figura 2.5: Distribución rectangular de Leds.....	38
Figura 2.6: Representación de niveles de iluminancia (lx) en escala de colores de la distribución rectangular de Leds.....	38
Figura 2.7: Esquema en bloques de circuito en electrónico de matriz de Leds.....	39
Figura 2.8: Conexión serie de Leds [54].....	40
Figura 2.9: Disipador para Leds de potencia [56].....	41
Figura 2.10: Diseño del driver controlador.....	42
Figura 2.11: Disipador para el Mosfet IRF510 [56].....	44
Figura 2.12: Diseño del detector de fallas.....	45
Figura 2.13: Foto de la base de la matriz en construcción.....	47
Figura 2.14: Foto de la base de la matriz con orificios.....	47
Figura 2.15: Unión del disipador de calor con el Led.....	48
Figura 2.16: Unión del disipador de calor, el led y el porta Led.....	48
Figura 2.17: Componentes laterales de la base de la matriz.....	48
Figura 2.18: Primera prueba de funcionamiento de la matriz.....	48
Figura 2.19: Diagrama de bloques del control digital de luminosidad.....	49
Figura 2.20: Sensor de ultrasonido hc-sr04.....	50
Figura 2.21: Switch normalmente abierto 1/0.....	51
Figura 2.22: Diseño de circuito del panel de control de luminosidad.....	51
Figura 2.23: LCD 16x2.....	52
Figura 2.24: Mensaje de Error en el sistema.....	52
Figura 2.25: Diagrama de flujo del programa del control digital de luminosidad.....	53
Figura 2.26: Diseño del PCB del control de luminosidad.....	54
Figura 2.27: Imagen de la PCB del sistema de control de luminosidad construida.....	54
Figura 2.28: Fotografías de tipos da posición de las lámparas de fototerapia en la incubadora, termo cuna y cunas termo radiante respectivamente.....	55
Figura 2.29: Bosquejo de la lámpara de fototerapia con una termo cuna.....	56

Figura 2.30: Bosquejo de la lámpara de fototerapia con una cuna termo radiante o una incubadora.....	56
Figura 2.31: Diagrama en bloques del sistema de posicionamiento de la matriz de Leds.....	56
Figura 2.32: Diagrama cinemático del movimiento rotatorio de la matriz.....	58
Figura 2.33: Mecanismo de corona y tornillo sin fin del motor DC.....	59
Figura 2.34: Motor DC DAIICHI KASEI.....	59
Figura 2.35: Diseño y simulación del puente H en Proteus.....	60
Figura 2.36: Diseño del PCB del puente H en Ares.....	60
Figura 2.37: Fabricación del Puente H.....	60
Figura 2.38: Diseño del PCB de la fuente de alimentación.....	63
Figura 2.39: Construcción del PCB de la fuente de alimentación.....	63
Figura 2.40: Bosquejo de la lámpara de fototerapia con una incubadora de superficie plana.....	64
Figura 2.41: Bosquejo de la lámpara de fototerapia con una incubadora de superficie inclinada.....	64
Figura 2.42: Diagrama de flujo del programa de control de posicionamiento de la matriz de Leds.....	66
Figura 3.1: Diseño de la Base de la Matriz.....	68
Figura 3.2: Diseño de la Base del motor.....	68
Figura 3.3: Diseño del Porta Leds.....	69
Figura 3.4: Diseño de la Base de Aluminio.....	69
Figura 3.5: Diseño del Eje de Acero.....	69
Figura 3.6: Diseño del Brazo superior.....	69
Figura 3.7: Diseño de Buje de grillón para el brazo superior.....	70
Figura 3.8: Diseño de Tapa metálica para brazo superior.....	70
Figura 3.9: Diseño de la cubierta de la matriz.....	70
Figura 3.10: Diseño de la base de la Lámpara.....	71
Figura 3.11: Diseño del tubo parante inferior.....	71
Figura 3.12: Diseño de tubo de soporte superior.....	72
Figura 3.13: Diseño de Seguro roscado de grillón.....	72

Figura 3.14: Diseño de la Lámpara de Fototerapia.....	72
Figura 3.15: Construcción de las piezas de Aluminio.....	73
Figura 3.16: Construcción del Eje de rotación.....	73
Figura 3.17: Construcción de las piezas de grillón (seguro roscado, porta Led y los bujes del brazo superior).....	74
Figura 3.18: Construcción de la cubierta de la matriz.....	74
Figura 3.19: Construcción de la base de la lámpara.....	74
Figura 3.20: Construcción del tubo parante inferior.....	75
Figura 3.21: Construcción del tubo de soporte superior.....	75
Figura 3.22: Construcción del Brazo Superior.....	75
Figura 3.23: Pernos utilizados para el acoplamiento mecánico.....	76
Figura 3.24: Lámpara de Fototerapia.....	77
Figura 3.25: Instalación y conexión de las PCBs en la matriz.....	78
Figura 3.26: Ubicación de sensores de ultrasonido en la lámpara.....	78
Figura 3.27: Conexión de sensor de ultrasonido con el bus de datos.....	78
Figura 3.28: Ubicación del LCD en la Lámpara.....	79
Figura 3.29: Conexión del LCD con el bus de datos.....	79
Figura 3.30: Acoplamiento electrónico y eléctrico de la matriz de Leds.....	79
Figura 4.1: Gráfica de la Luminancia de la fototerapia intensiva a 25 °C de temperatura ambiente.....	81
Figura 4.2: Gráfica de la Luminancia de la fototerapia normal a 25 °C de temperatura ambiente.....	81
Figura 4.3: Gráfica de la Luminancia de la fototerapia intensiva a 35 °C de temperatura ambiente.....	81
Figura 4.4: Gráfica de la Luminancia de la fototerapia normal a 35 °C de temperatura ambiente.....	82
Figura 4.5: Imagen del RN en una Termo cuna sometido a Fototerapia Intensiva.....	84
Figura 4.6: Gráfica de valores de bilirrubina del RN1 en Fototerapia Intensiva.....	84
Figura 4.7: Imagen del RN en una cuna termo radiante en a Fototerapia Intensiva.....	85
Figura 4.8: Gráfica de valores de bilirrubina del paciente 2 sometido a Fototerapia Intensiva.....	85

Índice de Tablas

Tabla 1.1: Causas de hiperbilirrubinemia neonatal [7].....	5
Tabla 1.2: Tipos de ictericia neonatal, clasificación y causas [3, 8, 9].....	6
Tabla 1.3: Pautas para aplicación de tratamiento de fototerapia en recién nacidos a término y pretérmino [23].....	14
Tabla 1.4: Tecnologías de iluminación [25, 32].....	22
Tabla 1.5: Cuadro comparativo de características de funcionamiento y efectividad de varias tecnologías de iluminación [27, 32, 48].....	23
Tabla 1.6: Ventajas y desventajas de las tecnologías de iluminación [48].....	24
Tabla 1.7: Diez principales causas de morbilidad infantil del 2011 [58].....	25
Tabla 2.1: Características de termo cunas más comerciales [49].....	27
Tabla 2.2.: Características de incubadoras más comerciales [49].....	27
Tabla 2.3: Tabla orientativa de las medidas ideales para niños y niñas por edad [50]...	28
Tabla 2.4: Longitud de onda e Irradiación espectral de equipos de fototerapia [51].....	29
Tabla 2.5: Magnitudes radiométricas y fotométricas y su nomenclatura [52].....	30
Tabla 2.6: Características del Led.....	34
Tabla 2.7: Comparativa entre Aluminio y acero Inoxidable [57].....	46
Tabla 2.8: Combinaciones de los estados del panel de control y sus respectivos valores digitales.....	51
Tabla 2.9: Tabla para asignación del valor del PWM según los estados de los switches.	51
Tabla 2.10: Características mecánicas de la base de la matriz.....	57
Tabla 2.11: Características del motor DC DAIICHI KASEI.....	59
Tabla 2.12: Valores identificativos para la identificación de cunas.....	65
Tabla 4.1: Resultados de las pruebas de la norma IEC 60601-1.....	82
Tabla 4.2: Resultados obtenidos de las pruebas especificadas según la norma IEC 60601-1-2.....	83

INTRODUCCIÓN

La fototerapia utiliza la energía lumínica para modificar la forma y la estructura de la bilirrubina, convirtiéndola en moléculas (fotoproductos) que pueden excretarse mediante bilis u orina, por lo que este método terapéutico se ha convertido en el más eficaz para el tratamiento de ictericia en los recién nacidos.

Las lámparas para la fototerapia deben alcanzar un espectro de luz en la región azul cerca de 460 nm, esto es debido a que la penetración de luz en el tejido es mayor en esta región del espectro de luz y aumenta notablemente con una longitud de onda mayor (entre 460 y 490 nm). El objetivo es tener la mayor penetración en el tejido subcutáneo ya que la mayor cantidad de ondas lumínicas absorbidas por la bilirrubina acelera su eliminación [16].

Las lámparas existentes para la fototerapia solo poseen un nivel de potencia lumínica para tratar a los diferentes casos, además que se requiere ciertos accesorios adicionales para tratar una ictericia con niveles de bilirrubina elevados. La distancia entre la fuente lumínica y el paciente también es de mucha importancia ya que de ésta depende la irradiación de luz que llegue al paciente.

Las lámparas de fototerapia convencionales (lámparas de tubos fluorescentes o halógenos) han sido las principales tecnologías con las que se ha tratado la ictericia en neonatos, estos tipos de tecnologías tienen la desventaja de producir una gran cantidad de energía calorífica y por lo tanto un gran consumo de energía eléctrica. Los dispositivos de tecnología Led proporcionan alta irradiación en azul al espectro verde sin generación de calor excesivo, las unidades de diodo electroluminiscentes son eficientes, duraderas y rentables [16].

En la actualidad no existe un sistema de fototerapia que permita regular la posición y potencia lumínica de forma autónoma según sea el caso a tratar.

Aquí la importancia de continuar con la investigación de la tecnología Led que permita desarrollar un tratamiento más efectivo y menos nocivo para los diferentes casos de ictericia en los recién nacidos.

En este contexto se pretende con este proyecto desarrollar un PROTOTIPO DE LÁMPARA DE FOTOTERAPIA que tenga incorporado un sistema de control digital estable, efectivo y fácil de utilizar para los usuarios en el tratamiento de ictericia en neonatos y que pueda ser empleado en el país.

CAPITULO 1

ICTERICIA NEONATAL, FOTOTERAPIA Y TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN

1.1 FUNDAMENTOS CLÍNICOS

1.1.1. Ictericia Clínica

1.1.1.1. Generalidades

La ICTERICIA es la coloración amarillenta de piel, escleras¹ y mucosas (ver figura 1.1) por aumento de la bilirrubina² y su acumulación en los tejidos corporales; se produce debido a que todos los días muere una cierta cantidad de glóbulos rojos en el cuerpo, cuando éstos se descomponen, una sustancia portadora de oxígeno llamada hemoglobina se convierte en bilirrubina. Se aprecia clínicamente cuando la bilirrubina sérica total³ es superior a 2 mg/dl (34 $\mu\text{mol/L}$) en niños o mayor de 5 mg/dl (85 $\mu\text{mol/L}$) en neonatos [1].



Figura 1.1: Presencia de Ictericia Neonatal [2]

“La ictericia nunca es una entidad en sí misma sino el reflejo de una enfermedad específica subyacente con varias etiologías a distintos niveles del metabolismo de la bilirrubina (hiperbilirrubinemia⁴)” [3, 4].

Normalmente, el hígado elimina la bilirrubina de la sangre y la convierte en una forma capaz de ser expulsada del cuerpo al defecar. En los bebés recién nacidos, puede morir un número de glóbulos rojos mayor que en las demás etapas, lo cual

genera una mayor cantidad de bilirrubina. Es posible que el hígado del recién nacido sea demasiado inmaduro para manejar bien la eliminación de la bilirrubina, por lo que ésta se acumula en la sangre. Esta acumulación hace que la piel y algunas veces la parte blanca de los ojos se vuelvan amarillentas. Los bebés prematuros tienen hígados especialmente inmaduros, lo cual los hace más propensos a la ictericia [5].

En la mayoría de los casos la ictericia es benigna, pero por su potencial neurotoxicidad⁵, debe ser monitorizada muy de cerca para identificar a los neonatos que puedan desarrollar hiperbilirrubinemia severa y alteraciones neurológicas inducidas por la bilirrubina [3, 5].

1.1.1.2. Hiperbilirrubinemia Neonatal

La hiperbilirrubinemia es un proceso patológico⁶ que consiste en el incremento anormal de la cantidad de bilirrubina en la sangre circulante, lo que puede producir ictericia [6].

La hiperbilirrubinemia neonatal es un problema muy común en recién nacidos. Cuando no se detecta, se detecta en forma tardía o no se trata de una manera adecuada, puede causar daños permanentes e irreversibles en el cerebro de un recién nacido, causando inclusive la muerte. La concentración de bilirrubina en recién nacido a término normales aumenta desde su nacimiento, llega a su máximo alrededor del tercer día de vida y disminuye hacia valores normales hacia los 7 o 10 días. El neonato normal produce alrededor de 6 a 8 mg/kg/día de bilirrubina (2.5 veces la tasa de producción de bilirrubina del adulto) [1].

Aproximadamente el 50-60% de neonatos presentan hiperbilirrubinemia y la mayoría de los recién nacidos desarrollan ictericia clínica luego del segundo día de vida como expresión de una condición fisiológica⁷. La hiperbilirrubinemia neonatal es muy común debido a los diferentes trastornos que causan esta anomalía, las cuales se describen en la tabla 1.1.

CLASIFICACIÓN GENERAL	SOBREPRODUCCIÓN	SUBSECRECIÓN
Hiperbilirrubinemia Trastorno de la maduración (fisiológico)	<ul style="list-style-type: none"> • Circulación enterohepática⁸ exagerada (obstrucción mecánica, peristaltismo reducido, ayuno o subalimentación) • Alimentación materna (enzimas hepáticas inmaduras) 	<ul style="list-style-type: none"> • Galactosemia¹³ • Hipotiroidismo¹⁴ • Tirosinosis¹⁵ • Hipermetioninemia¹⁶ • Obstrucción toxica (alimentación)
Hiperbilirrubinemia Trastorno hematológico (adquirido)	<ul style="list-style-type: none"> • Incompatibilidad de grupo sanguíneo feto-materna ABO, Rh, otras • Transfusión materno-fetal o feto-fetal⁹ • Galactosemia¹ • Hemólisis inducido por drogas y vitamina k 	
Hiperbilirrubinemia Trastorno hematológico (congénito)	<ul style="list-style-type: none"> • Esferocitosis hereditaria¹⁰ • Sangre extravascular, petequias¹¹, hematoma, hemorragias • Policitemia¹² 	
Hiperbilirrubinemia Trastorno hepático (congénito)		<ul style="list-style-type: none"> • Daño hepato celular secundario¹⁷ a trastornos metabólicos • Disminución de la capacidad hepática (fármacos) • Disminución de la conjugación de bilirrubina (reducción de la actividad de la glucuroniltransferasa¹⁸, inhibidores enzimáticos por drogas y hormonas) • Alteración del transporte de bilirrubina conjugada hacia a fuera del hepatocito¹⁹

Tabla 1.1: Causas de hiperbilirrubinemia neonatal [7]

1.1.1.3. Tipos de Ictericia Neonatal

TIPOS DE ICTERICIA	CLASIFICACIÓN	CAUSAS
Ictericia por hiperbilirrubinemia no conjugada	- Ictericia fisiológica del recién nacido	- Limitación del hígado para metabolizar el exceso de bilirrubina producida en los primeros días de vida.
	- Ictericia asociada a la lactancia materna	- Incremento de la circulación entero hepática con aumento de la reabsorción de bilirrubina. El diagnóstico es clínico tras la exclusión de otras causas.
	- Ictericias patológicas	
	- Incompatibilidad de factor RH	- Es la causa más frecuente de ictericia neonatal patológica y en el 97% de los casos se debe a isosensibilización ²⁰ para el antígeno Rh D ²¹ . Se ha demostrado que hay paso de glóbulos rojos Rh (+) fetales al torrente sanguíneo materno Rh (-).
	- Incompatibilidad ABO	- Es ocasionada por la interacción entre los anticuerpos maternos anti-A o anti-B de una madre con grupo O, con los eritrocitos A o B del recién nacido. Se estima que el 20% de todos los embarazos se asocian con incompatibilidad ABO, pero la frecuencia de enfermedad hemolítica grave es muy baja.
Ictericia por hiperbilirrubinemia conjugada	- Ictericias por enfermedad hepato celular	
	- Infecciosas	- Se presentan de forma brusca con ictericia y otros síntomas y signos acompañantes: irritabilidad, fiebre, microcefalia, vómitos, etc. Entre ellas están las hepatitis víricas, hepatitis bacterianas, infección del tracto urinario.
	- Ictericia de base metabólica	- Síndrome de colestasis ²² por enfermedades metabólicas como la galactosemia ²³ , tirosinemia ²⁴ , intolerancia a la fructosa, etc., que se acompaña de vómitos, irritabilidad y pobre succión
	- Ictericias por afectación de la vía biliar	- Presentan un fallo en la secreción biliar junto con aumento de la bilirrubina. Suelen presentar un curso no agudo con buen estado general, ictericia, hepatomegalia ²⁵ y heces claras.

Tabla 1.2: Tipos de ictericia neonatal, clasificación y causas [3, 8, 9]

1.1.1.4. Secuelas de la Hiperbilirrubinemia

KERNICTERUS

Kernicterus, del griego Kern =núcleo e Icterus = amarillo. Constituye la complicación más grave de la ictericia neonatal; es un síndrome neurológico secundario a la acumulación de bilirrubina no conjugada en las células cerebrales (ver figura 1.2).



Figura 1.2: Kernícterus o encefalopatía neonatal bilirrubínica [2]

Se denomina “Kernicterus” a la coloración amarilla de los ganglios basales producida por impregnación con bilirrubina, ocurre cuando los niveles de bilirrubina pasan de 20 mg/dl en el suero sanguíneo, produciendo alteraciones en las células nerviosas que acaban de sufrir grave deterioro en los días siguientes, además de la coloración amarillenta intensa. Este síndrome rara vez aparece en los niños a término sanos, pero cuanto más inmaduro es el neonato, mayor es la susceptibilidad [8].

El Kernicterus produce secuelas como sordera, crisis convulsivas, alteraciones visuales, alteraciones del lenguaje. Es posible, que la neurotoxicidad de la bilirrubina se manifieste en forma de cuadros más inespecíficos como trastornos del aprendizaje, hiperactividad y otros [7].

1.1.2. Metabolismo de la Bilirrubina

La bilirrubina se forma a partir de la hemoglobina (ver figura 1.3), ésta se encuentra formando parte de los glóbulos rojos (eritrocitos) y su principal función es intervenir en el transporte de oxígeno [1].

La fuente principal de producción de bilirrubina es la hem de la hemoglobina circulante procedente de la hemólisis de los hematíes caducos (80-90% de los casos). La enzima hemoxygenasa²⁶ oxida el grupo hem y ocasiona la rotura de un anillo de porfirina²⁷ en su puente inicial alfa-metano, transformándose en globina, hierro, protoporfirina²⁸ y monóxido de carbono (ver figura 1.4) [10, 11].

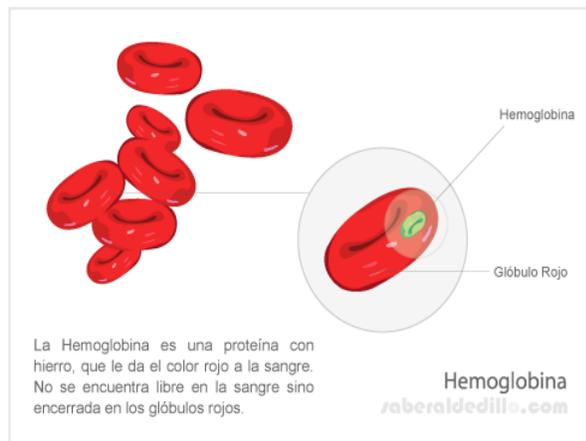


Figura 1.3: Glóbulos rojos y Hemoglobina [10]

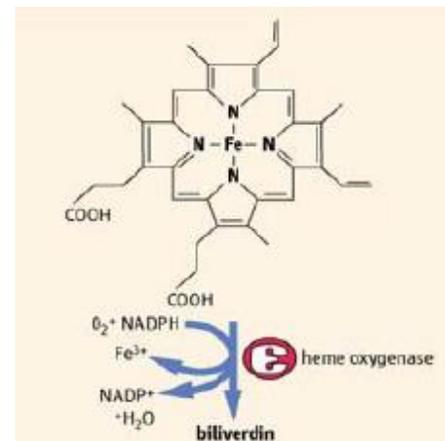


Figura 1.4: Metabolismo del grupo Hemo [11]

Al destruirse el eritrocito libera la hemoglobina que a través de un proceso metabólico (figura 1.5) se forman dos tipos de bilirrubina: directa e indirecta. La principal diferencia entre estas dos es que la bilirrubina directa es hidrosoluble (se elimina a través del agua, como la orina y la materia fecal), la bilirrubina indirecta es liposoluble (no se elimina a través del agua y es muy afín a las grasas del cuerpo, particularmente las del cerebro) [10]. Este proceso se explica gráficamente en la figura 1.6.

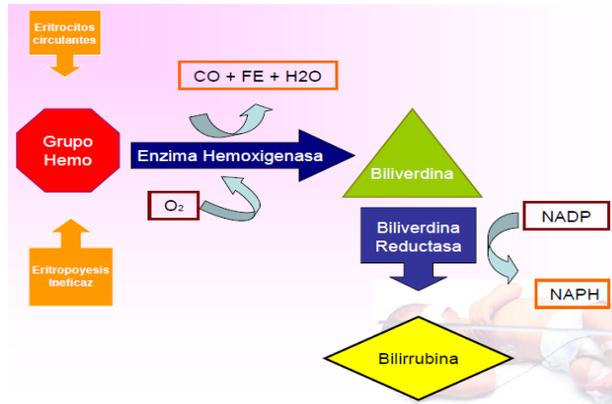


Figura 1.5: Proceso de composición de la bilirrubina [12]

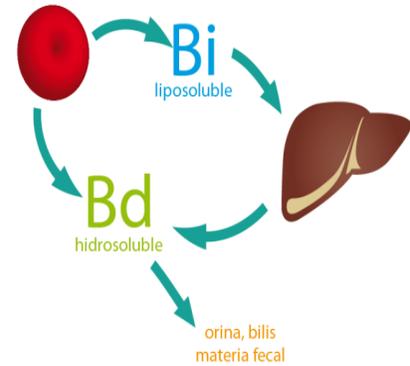


Figura 1.6: Metabolismo de la bilirrubina directa e indirecta [10]

La bilirrubina indirecta es captada en el hepatocito, luego se conjuga con ácido glucoronico²⁹, el cual permite la transformación de esa bilirrubina no conjugada en bilirrubina conjugada, y ésta conjugación es importante porque a través de esta se va a obtener un producto hidrosoluble; este producto entonces va en la bilis [13, 14]. Luego de pasar a la bilis pasa a la flora bacteriana, donde ésta flora vuelve a desconjugar la bilirrubina, y la transforma en otros productos. En una bilirrubina que ya está conjugada se produce urobilinogeno³⁰, donde este último es absorbido, y pasa por la sangre y luego al riñón (toda la sangre pasa por el riñón de acuerdo a la circulación); como se indica en la figura 1.7 [14].

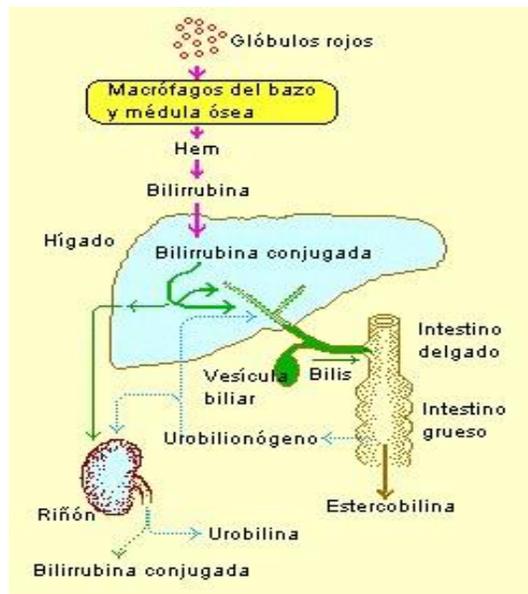


Figura 1.7: Metabolismo completo de la Bilirrubina en el organismo [10]

1.2. FOTOTERAPIA

1.2.1. Historia

Médicos franceses a mediados del siglo XVIII, pudieron comprobar los efectos beneficiosos del sol en enfermos con infecciones de piel (ver ilustración en la figura 1.8) [17]. Pero la fototerapia científica se inicia con Niels Finser en 1903 quién ganó el Premio Nóbel de Medicina por la aplicación de la UV-terapia en el tratamiento del *lupus vulga*¹². Esto marcó el inicio del desarrollo y la investigación de la Fotomedicina (ver figura 1.9), es decir la aplicación de las radiaciones no ionizantes en medicina [18].



Figura 1.8: Aplicación de rayos del sol para tratamiento de enfermedades [18]

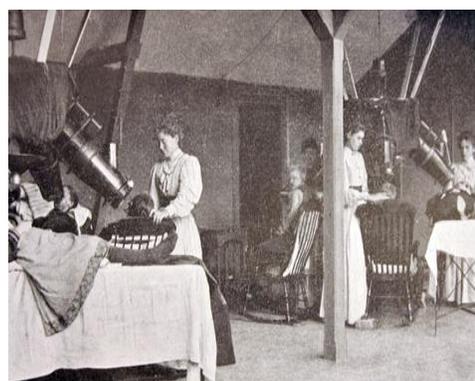


Figura 1.9: Inicios de investigación de la fototerapia científica [18]

Hacia finales de la década de los 50 se observó que la exposición de los recién nacidos a la luz solar o a lámparas fluorescentes azules producía una disminución en la concentración sérica de bilirrubina. Desde entonces la fototerapia ha sido un pilar fundamental en el manejo de la hiperbilirrubinemia neonatal [19].

La fototerapia fue evaluada en varios estudios aleatorios realizados entre la década de 1960 y comienzos de la década de 1990 [15]. Es una estrategia terapéutica que ha influenciado notablemente el tratamiento de muchas enfermedades de la piel [20]; y se considera que es la opción terapéutica más económica, segura y con pocas contraindicaciones.

1.2.2. Metabolismo de la Bilirrubina en la Fototerapia

La absorción de luz por parte de la forma normal de bilirrubina (4Z, 15Z-bilirrubina) genera moléculas de bilirrubina en estado de excitación transitorias. Estos productos intermedios efímeros pueden reaccionar con el oxígeno para producir productos incoloros de menor peso molecular o pueden reorganizarse y transformarse en isómerosestructurales³². El normal 4Z, 15Z-bilirubin se convierte a 4Z, 15E bilirubin (también conocido como photobilirrubina) y a lumirrubina [15, 16], ver figura 1.10.

A diferencia de 4Z, 15Z de la bilirrubina, la photobilirrubina puede ser excretada vía hepática sin la conjugación, la lumirrubina no es reversible. Aunque la lumirrubina es formada en menos tiempo que la que photobilirrubina, la lumirrubina es eliminada del suero mucho más rápidamente, y es probable que la formación de lumirrubin sea principalmente responsable de la disminución en el suero de la bilirrubina.

Los isómeros de lumirrubina también pueden excretarse en la orina. Los productos de foto oxidación se excretan, principalmente, en orina. Una vez en la bilis, los isómeros configuracionales se revierten espontáneamente a la forma natural 4Z, 15Z de la bilirrubina (proceso ilustrado en la figura 1.11) [15, 16].

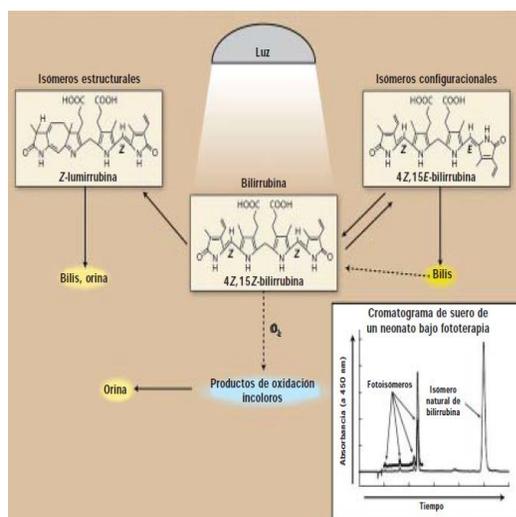


Figura 1.10: Cambio de configuración molecular de la bilirrubina mediante fototerapia [15]

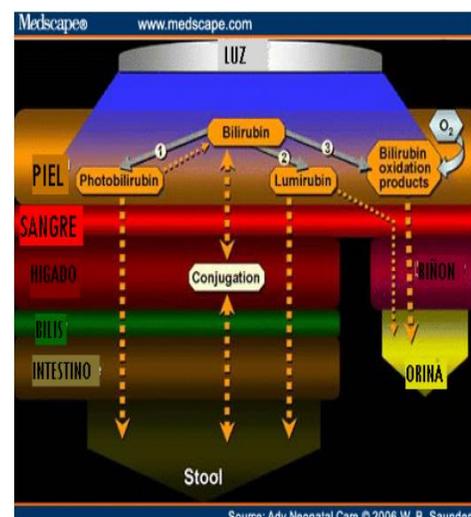


Figura 1.11: Metabolismo de la bilirrubina en la fototerapia [16]

1.2.3. Mecanismo de la Fototerapia

La fototerapia utiliza la energía lumínica para modificar la forma y la estructura de la bilirrubina, convirtiéndola en moléculas (fotoproductos) que pueden excretarse mediante bilis u orina [15], por lo que este método terapéutico se ha convertido en el más eficaz para el tratamiento de ictericia en los recién nacidos.

Las lámparas para la fototerapia deben alcanzar un espectro de luz en la región azul cerca de 460 nm, esto es debido a que la penetración de luz en el tejido es mayor en esta región del espectro de luz (ver en la figura 1.12) y aumenta notablemente con una longitud de onda mayor (entre 460 y 490 nm) [15]. El objetivo es tener la mayor penetración en el tejido subcutáneo ya que la mayor cantidad de ondas lumínicas absorbidas por la bilirrubina acelera su eliminación.

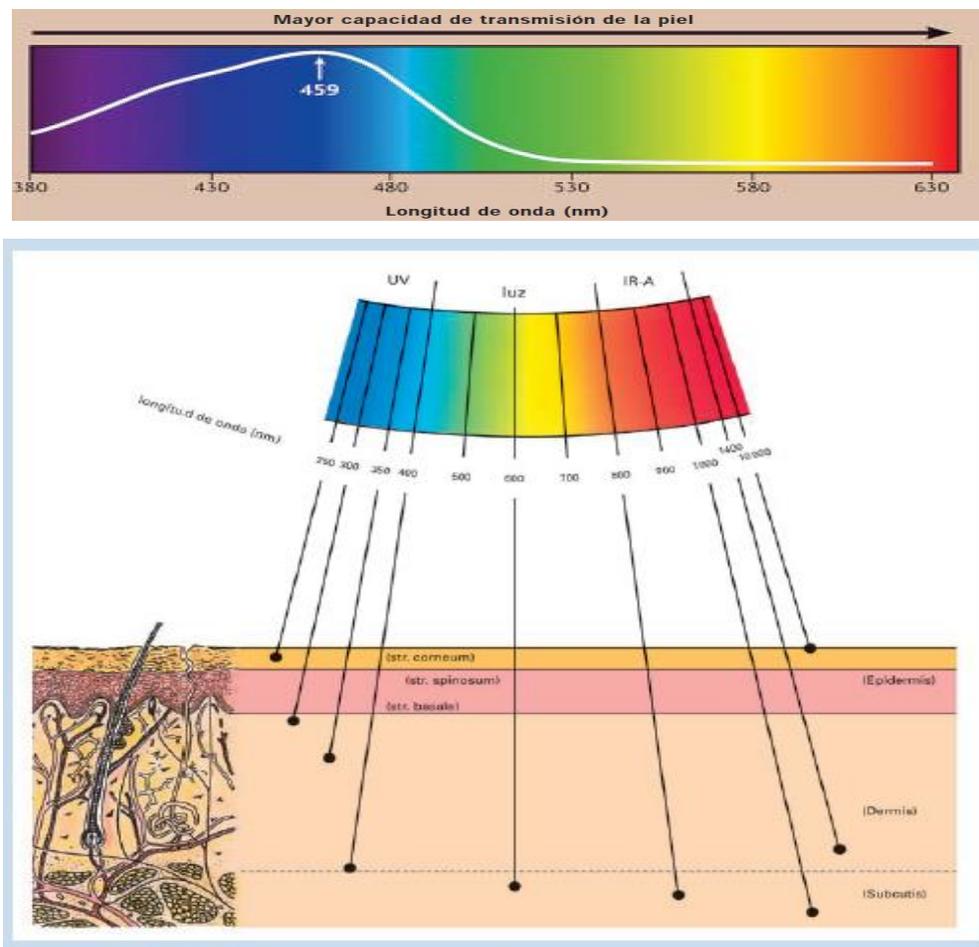


Figura 1.12: Espectro de luz y penetración de irradiación de luz en la piel [15]

La ictericia en los recién nacidos es diferente en cada individuo por los niveles de bilirrubina que se presenta, es por ello que se debe tratar con diferentes niveles de potencia lumínica según lo indique el tratamiento. La fototerapia es inefectiva para producir reducciones de la concentración de bilirrubinas a niveles menores de 100 mmol/l, por lo tanto no altera esta propiedad [21].

Debe tenerse presente que en la medida que se disminuya la distancia entre el paciente y la fuente, se incrementa el nivel de irradiación y el calor, como se ilustra en la figura 1.13.

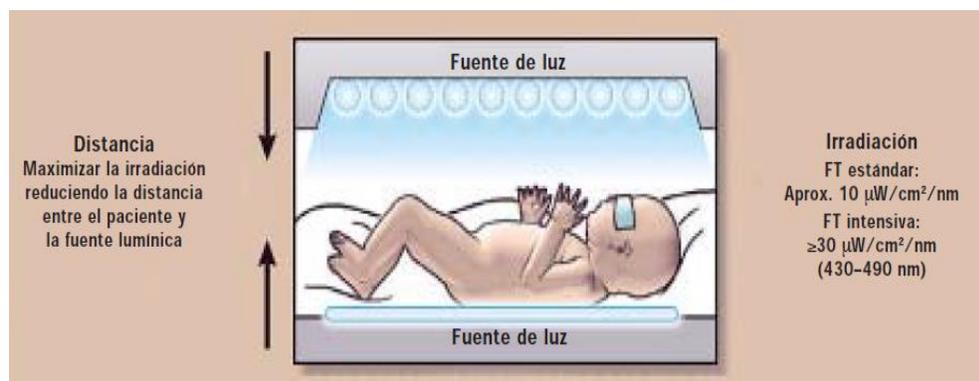


Figura 1.13: Esquema gráfico de la fototerapia [15]

1.2.4. Pautas para Fototerapia en Neonatos

Según la Academia Americana de Pediatría, se ofrece una aproximación al tratamiento y se pueden aplicar a los niños de ≥ 35 semanas de edad gestacional. La aplicación del tratamiento de fototerapia a un neonato se la realiza según el nivel de bilirrubina en la sangre y el peso o la edad a partir de su nacimiento [15].

En los neonatos prematuros, la fototerapia se utiliza con niveles de bilirrubina sérica total mucho menores a las establecidas anteriormente (ver tabla 1.3). La fototerapia intensiva debe utilizarse cuando el nivel de bilirrubina total se encuentra por encima de la línea de grupo de riesgo indicada para la edad particular [15].

RECIÉN NACIDO PRETERMINO		RECIÉN NACIDO A TERMINO	
PESO	FOTOTERAPIA	EDAD	FOTOTERAPIA
< 1000 gr	Profiláctica > 24 h	25 - 48 horas	12 - 15 mg/dl
1000 - 1300 gr	7 - 8 mg/dl	49 - 72 horas	15 - 17 mg/dl
1300 - 1500 gr	8 - 9 mg/dl	>72 horas	>17,5 mg/dl
1500 - 2000 gr	10 - 12 mg/dl		
2000 - 2500 gr	13 - 15 mg/dl		
>2500 gr	15 - 17 mg/dl		

Tabla 1.3: Pautas para aplicación de tratamiento de fototerapia en recién nacidos a término y pre término [23]

La hiperbilirrubinemia grave (≥ 20 mg/dl) debe ser tratada de inmediato. La agresividad con que esto se lleve a cabo dependerá de las características del niño, de su situación clínica y de los factores de riesgo concomitantes [23]. En las pautas, se recomienda utilizar fototerapia estándar para niveles de bilirrubina sérica total que se encuentren entre 34 a 51 μmol por litro por debajo del intervalo para el cual se recomienda fototerapia intensiva (ver figura 1.14), y cuando la bilirrubina sérica total se encuentre por encima de 250 μmol por litro se puede decir que el neonato tiene bajo riesgo de toxicidad bilirrubínica [15].

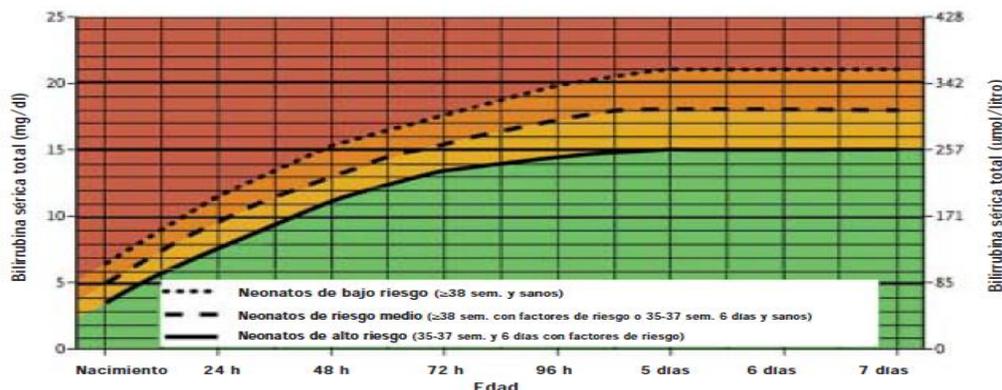


Figura 1.14: Pautas para fototerapia intensiva en neonatos hospitalizados nacidos con una edad gestacional de 35 semanas o más [15]

1.2.5. Factores importantes para la eficacia de la fototerapia

La mayor efectividad de la luminoterapia se encuentra en la irradiación con longitud de onda entre 450 y 475 nanómetros administrada por equipos de tubos fluorescentes de luz azul especial, lámparas halógenas, almohadillas con fibra óptica o diodos emisores de luz [2]. La eficacia de la fototerapia está en la dependencia directa de la cantidad de energía liberada en el intervalo de onda correspondiente a la absorción de la luz por la molécula de bilirrubina, del ancho de onda (color) y de la intensidad de la irradiación (energía) de la fuente

utilizada, es decir, que la irradiación espectral de la fuente lumínica debe ser mayor a $10 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$ para tratamiento normal y mayor a $30 \text{ uW/cm}^2/\text{nm}$ para el tratamiento intensivo [8].

Su efectividad está influenciada por la edad gestacional, peso al nacer, y edad postnatal del niño, como también la etiología de la ictericia y la emisión espectral e intensidad (dosis) de la luz [8], por lo que a continuación se describe maneras para aumentar la eficiencia del tratamiento:

- No se debe interrumpir la lactancia. Se recomienda poner al pecho al recién nacido cada 2 horas para compensar el aumento de la pérdida insensible de agua, que se produce al estar expuesto a la fototerapia.
- Cubrir los Ojos, la luz continua puede tener efectos deletéreos sobre el niño (ver figura 1.15).
- Control térmico cada 6 horas, ya que es común que a los niños durante el proceso tengan una elevación de temperatura [7].



Figura 1.15: Aplicación de fototerapia al paciente en toda su superficie corporal [23]

El conocimiento sobre el modo de acción de la luz y sobre el tipo de lámpara utilizada debe ser constantemente monitorizado para su utilización en el tratamiento de la hiperbilirrubinemia neonatal. El aparato que no es monitorizado en lo que se refiere a la irradiación podrá agravar el estado clínico del recién nacido y prolongar, consecuentemente, el tiempo de internación [15, 22].

1.3. TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN

1.3.1. Generalidades

- **Luz**

La luz es una manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas capaces de afectar el órgano visual. Las radiaciones visibles se caracterizan por ser capaces de estimular el sentido de la vista y estar comprendidas dentro de una franja de longitud de onda muy estrecha, comprendida aproximadamente entre 380 y 780 nm (ver figura 1.16) [24, 25].



Figura 1.16: Espectro de luz visible [26]

Flujo luminoso: El flujo luminoso es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo (segundo), como se muestra en la figura 18. La unidad de medida del flujo luminoso es el —Lumen (abreviatura lm) y se representa por el símbolo ϕ .

Iluminación o iluminancia: Se define como el flujo luminoso por unidad de superficie, se designa con el símbolo E y se mide en Lux [24]. El Lux es la iluminancia producida por una fuente puntual con intensidad luminosa de una candela sobre una superficie de 1 m^2 situado a 1 m de la fuente.

$$E = \frac{\phi}{S} = \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Unidad de superficie}} \text{ LUX} = \frac{\text{LUMEN}}{\text{m}^2} \quad (1)$$

Intensidad luminosa (I): Cantidad de flujo luminoso emitido por cada uno de los rayos que la fuente emite en una determinada dirección por unidad de ángulo sólido. Magnitud que expresa la distribución del flujo luminoso en el espacio.

Esta magnitud se entiende únicamente referida a una determinada dirección y contenida en un ángulo sólido o estéreo que se mide en estereorradianes (ver figura 21). Su unidad de medida es la candela (cd) [28].

Estereorradián: ángulo sólido que corresponde a un casquete esférico cuya superficie es igual al cuadrado del radio de la esfera. A una magnitud de volumen le corresponde un ángulo sólido o estéreo que se mide en estereorradianes (figura 1.17).

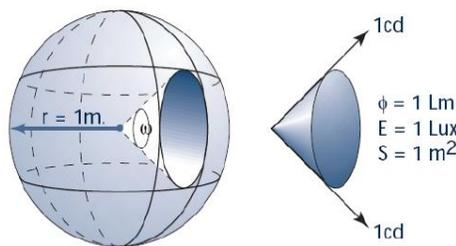
$$I = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Ángulo sólido}} \text{cd} = \frac{\text{lumen}}{\text{estereorradián}} \quad (2)$$

Eficiencia luminosa: Se define como eficiencia de una fuente luminosa a la relación entre el flujo expresado en lumen, emitido por una fuente luminosa y la potencia absorbida por una lámpara (ver figura 1.18). Se representa con η y se expresa en Lumen/ Watt [28].

$$\eta = \frac{\varphi}{W} = \frac{\text{lumen}}{\text{Watt}} \quad (3)$$

Luminancia: Relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancias [28]. Se usa la letra L para su designación y se mide en cd/m^2 .

$$L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}} = \frac{I}{S \cdot \cos \beta} = \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \quad (4)$$



ω (total) = 4π estereorradianes

Figura 1.17: Representación gráfica del estereorradián [28]

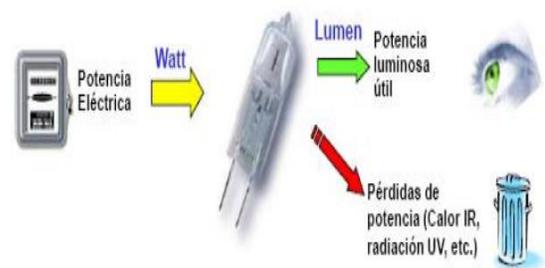


Figura 1.18: Esquema gráfico de la eficiencia luminosa [28]

- **Historia de la Iluminación**

El primer gran impacto de la producción de luz artificial lo dieron Edison y Swan en 1879, cuando consiguieron hacer una lámpara útil mediante un filamento alimentado con electricidad. En 1940 se desarrolló la lámpara de descarga fluorescente tubular (el tubo fluorescente) y posteriormente en 1960 se desarrollaron otro tipo de lámparas de descarga denominadas de halogenuros metálicos [29, 31].

Aunque respecto a los diseños de las lámparas, estos ya se han mejorado mucho, la historia de la iluminación se sigue desarrollando. Ahora el futuro inmediato parece estar en los LEDS (Diodo emisor de luz), que se siguen evolucionando y que están ya presentes en nuestra vida cotidiana [31].

1.3.2. Estudio del área, espectro y potencia de fuentes lumínicas

1.3.2.1. Lámparas Led

Un LED es la unión de dos metales semiconductores, uno dopado positivamente y el otro de forma negativa (ver figura 1.19), tiene las características eléctricas de un diodo, lo cual significa que permite un flujo de corriente en polarización directa y lo impide en polarización inversa [33].

El funcionamiento físico consiste en que, en los materiales semiconductores un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; cuando al polarizar directamente un diodo Led conseguimos que por la unión PN sean inyectados huecos en el material tipo N y electrones en el material tipo P; o sea los huecos de la zona p se mueven hacia la zona n y los electrones de la zona n hacia la zona p, produciéndose por consiguiente una inyección de portadores minoritarios, ver figura 1.20 [41].

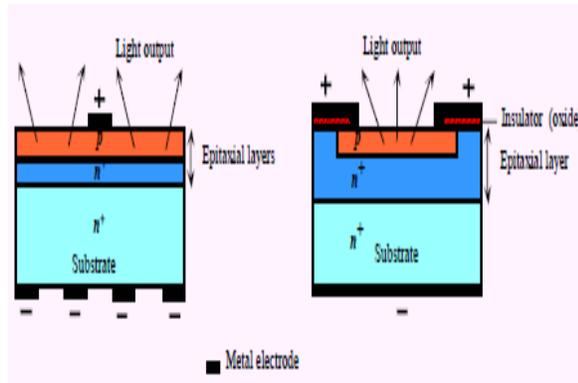


Figura 1.19: Estructura física del LED [39]

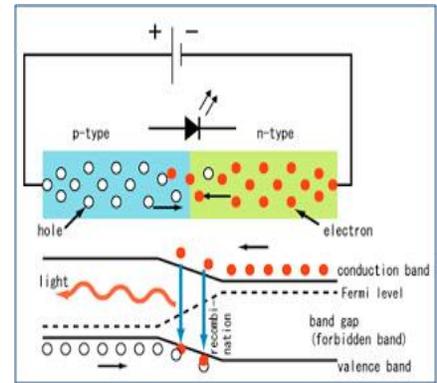


Figura 1.20: Funcionamiento físico del Led [40]

Los diodos luminiscentes emisores de luz, Leds, se caracterizan por una duración de vida muy larga (una vida media de 50.000 horas), su resistencia a los impactos y un bajo consumo energético. Al ser regulados, el color de luz se mantiene constante. La fuente de luz puntual permite dirigir la luz con toda exactitud. El encapsulado del diodo con material sintético cumple las funciones de protección y de lente como se muestra en la figura 1.21. La potencia de la radiación del Led disminuye al aumentar la temperatura [33, 38].

Los Leds producen una zona espectral de banda estrecha. La longitud de onda dominante establece el lugar de color del Led y la composición del material semiconductor determina el espectro luminoso entregado como se indica en la figura 1.22 [33].

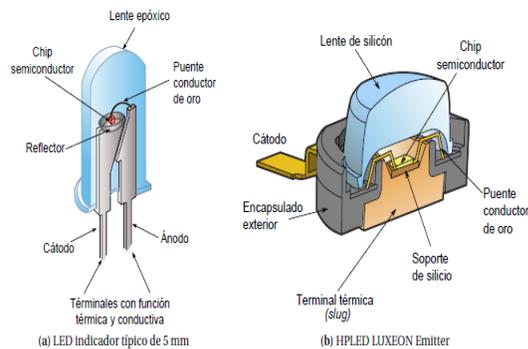


Figura 1.21: Estructura interna del LED y HPLED [33]

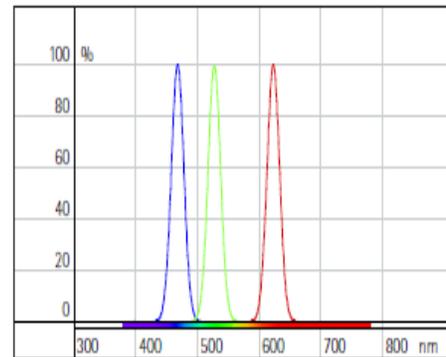


Figura 1.22: Distribución espectral relativa: Leds rojos, verdes y azules [33]

Actualmente no existe una normalización en el cálculo de vida útil de los Leds. El Led raramente tiene un fallo total, aunque sí sufre un lento proceso de pérdida en su rendimiento denominado degradación luminosa. Generalmente, un ligero nivel de reducción de luz en un corto espacio de tiempo no es excesivamente importante mientras no llegue al 80% de su valor inicial. La figura 1.23 muestra la reducción de alcance en tiempo con relación al tanto por ciento de degradación de la intensidad luminosa de la fuente [45].

La relación entre generación y disipación de calor es una limitación clave en la capacidad de producir energía. Los fabricantes especifican una temperatura máxima de trabajo del chip para obtener una vida útil aceptable (ver figura 1.24). La resistencia térmica, expresada en $^{\circ}\text{C}/\text{W}$, determina la relación entre la temperatura del Led y la potencia disipada en los contactos o en la superficie [45].

Las últimas tecnologías inciden en el estrecho contacto térmico entre el corazón del Led y la estructura externa. La resistencia térmica se ha reducido alrededor de $10\text{-}15^{\circ}\text{C}/\text{W}$ en los Leds de alta intensidad en comparación con los $100 - 150^{\circ}\text{C}/\text{W}$ para los de baja intensidad [45].

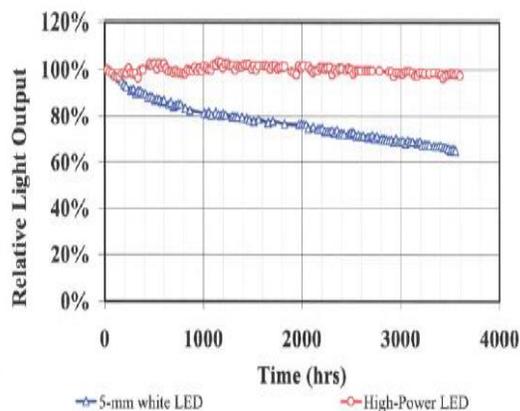


Figura 1.23: Reducción del alcance lumínico en el tiempo [43]

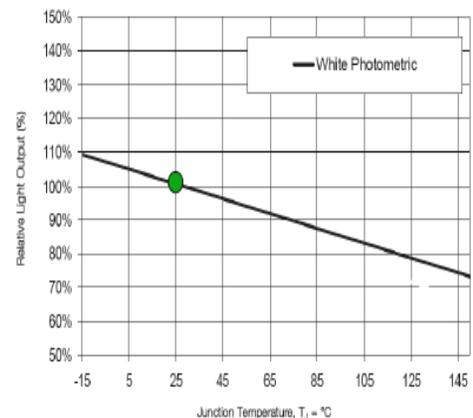
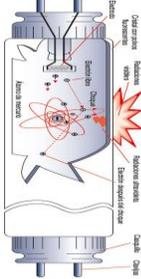


Figura 1.24: Relación flujo luminoso con respecto a la temperatura ambiente [46]

1.3.2.2. Otros tipos de iluminación

TIPO DE LÁMPARA	IMAGEN	FUNCIONAMIENTO	CARACTERÍSTICAS
Fluorescente		<p>Las lámparas fluorescentes son fuentes luminosas originadas como consecuencia de una descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, en las que la luz se genera por el fenómeno de fluorescencia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimiento luminoso muy bueno - Vida útil de 10000 horas - Necesita de un dispositivo especial para su funcionamiento - La temperatura de color es de 3200 °K
Incandescente		<p>La incandescencia es un sistema en el que la luz se genera como consecuencia del paso de una corriente eléctrica a través de un filamento conductor. La lámpara estándar (figura 54) es un proyector térmico que contiene un filamento metálico, la aplicación de corriente eléctrica al filamento produce incandescencia</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimiento luminoso muy bajo, del orden de 10 a 20 Lm/W. - La temperatura de color es de 2 700 °K . - El rendimiento cromático es del 100 %. - La duración es de unas 1 000 h, excepto las del reflector de vidrio prensado, que es de unas 2 000 h. - No precisan ningún equipo auxiliar para su encendido. - Su utilización se limita al alumbrado general y al localizado de interiores
Halógena		<p>Este grupo utiliza gases halógenos de relleno (normalmente yodo), que disminuyen el fenómeno de evaporización del filamento, ya que el gas halógeno hace que las partículas evaporizadas de wolframio o tungsteno vuelvan a depositarse sobre el filamento de nuevo</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor rendimiento luminoso que las incandescentes y llegan a alcanzar los 30 Lm/W. - La temperatura de color es de 3 000 °K. - Pueden alcanzar una vida de 4 000 h. - El flujo luminoso es mayor, debido a que el filamento puede trabajar a mayores temperaturas. Esto es posible gracias a la regeneración del tungsteno. - Debido a sus reducidas dimensiones es posible conseguir un control más preciso del haz luminoso

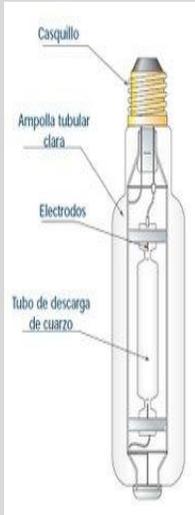
<p>Sodio de alta presión</p> 	<p>Las lámparas de vapor de sodio de alta presión poseen como carga unos gases raros y una amalgama a base de mercurio y sodio, donde la parte correspondiente al gas raro y mercurio se encarga del encendido y de estabilizar la descarga. La lámpara posee un tubo de descarga que se aloja en el interior de una ampolla de vidrio duro, resistente a la intemperie que le sirve de protección y aislamiento eléctrico y térmico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La eficacia luminosa es francamente buena, del orden de 120 Lm/W. y la temperatura de color resulta ser de 2.200 °K. - La vida media es de unas 15.000 horas, con una depreciación del flujo que no llega al 40%. - La mejora de la reproducción cromática conseguida con estas lámparas, las hace muy apreciadas en alumbrados públicos, y en general en todos aquellos espacios en los que se requiera una iluminación económica sin grandes exigencias cromáticas
---	---	--

Tabla 1.4: Tecnologías de iluminación [25, 32]

1.3.3. Selección de Tecnología Adecuada en Función de Calidad de Iluminación y Facilidad de Control

A través de la historia se han desarrollado nuevas tecnologías de iluminación, cuya tendencia se enfoca cada vez más a una mayor duración (tiempo de vida) y eficiencia (ahorro y mejor uso de la energía eléctrica) de estos medios de iluminación artificial, ver figura 1.25.

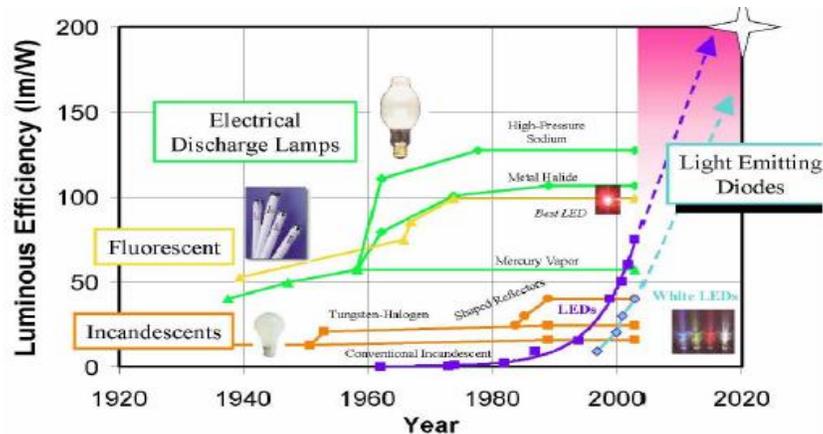


Figura 1.25: Evolución de la iluminación [45]

Para que el presente proyecto obtenga una mejor eficiencia lumínica y energética, procederemos a realizar una comparativa entre la tecnología Led y los sistemas de iluminación que anteriormente se estudió (tabla 1.4).

La evolución de la tecnología de iluminación marca una tendencia, producir luz artificial fácil, amigable con el ambiente y duradera. Basado en la comparativa realizada en la tabla 1.5, podemos decir que los aspectos antes mencionados se agrupan en una sola tecnología.

El Led marca el futuro de la tecnología de iluminación porque es una fuente de luz limpia, es decir, no posee materiales o químicos que contaminen el ambiente. La durabilidad, bajo consumo energético y su gran resistencia a factores externos (golpes, temperatura y luz), hacen que cada día más el Led vaya acaparando el mercado para la iluminación artificial.



Características	Fluorescente	Incandescente	Halógeno	Vapor de sodio	LED
Luz Visible (%)	25	10	15 - 25	30	30
Conducción y Convención (%)	45	20	50	60	70
Emisión Infrarrojo (%)	30	70	15 - 20	20	0
Emisión Ultravioleta (%)	0	0	5 - 20	0,5	0
Eficiencia (lm/W)	60 - 100	15	16 - 25	20-140	> 75
Eficiencia de funcionamiento (%)	80 - 90	100	100	80 - 90	80 - 90
Eficiencia de la Luminaria (%)	50 - 70	30 - 50	30 - 50	40 - 80	80 - 90
Eficiencia total del Sistema (%)	38	4	8	61	58
Vida Útil (horas)	15000	1000	3000	16000	50000
IRC (%)	50 - 95	100	100	60 - 90	> 90

Tabla 1.5: Cuadro comparativo de características de funcionamiento y efectividad de varias tecnologías de iluminación [27, 32, 48]

El espectro lumínico y la alta capacidad de transformar la energía eléctrica en luz visible hacen que la eficiencia del Led sea bastante buena. Son muchas las ventajas que esta tecnología posee con respecto a las tecnologías antecesoras, pero también tiene algunas desventajas como las que describiremos en la tabla 1.6.

TECNOLOGÍA DE ILUMINACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Lámparas Incandescentes	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • No necesita de un sistema especial de alimentación (balastro) • Máximo IRC 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia • Fragilidad a impactos • Vida útil menor a 1000 horas • Emite una gran producción de ondas infrarrojas y ultravioletas
Lámparas Halógenas	<ul style="list-style-type: none"> • Larga vida útil • Alta eficiencia • Debido a sus dimensiones reducidas permite un mayor control del haz de luz 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragilidad a impactos • Necesita direccionamiento para enfocar la luz • Se desgasta al encender y apagar • Alta producción de irradiación calorífica
Lámparas Fluorescentes	<ul style="list-style-type: none"> • Larga vida útil • Alta eficiencia energética 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragilidad a impactos • Necesita direccionamiento para enfocar la luz • Se desgasta al encender y apagar • Necesita de un sistema especial de alimentación (balastro)
Lámparas de Vapor de Sodio	<ul style="list-style-type: none"> • Larga vida útil • Alta eficiencia • Buena reproducción cromática • Capaz de producir grandes cantidades de lux 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragilidad a impactos • Necesita direccionamiento para enfocar la luz • Utiliza químicos contaminantes al medio ambiente • Alta irradiación de ondas caloríficas
Lámparas Led	<ul style="list-style-type: none"> • Muy alta eficiencia y bajo consumo de energía • Mayor vida útil hasta 100 000 horas • Resiste impactos • No emite longitudes de ondas dañinas • No necesita direccionamiento • Puede producir luz blanca y de color • Tamaño reducido • Fáciles de controlar y de programar • Rápida respuesta de encendido-apagado, ideales para aplicaciones donde se necesita conmutación 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo relativamente elevado • Requiere de un suministro constante de corriente continua para un correcto funcionamiento • Necesita de un sistema especial de alimentación

Tabla 1.6: Ventajas y desventajas de las tecnologías de iluminación [48]

Obteniendo del estudio las ventajas y desventajas de las más comunes y destacadas tecnologías de iluminación, se puede decir que la tecnología Led supera ampliamente a las demás. Es por esto que para la realización de mi proyecto de tesis escogeré la tecnología Led para el tratamiento de fototerapia en los neonatos con ictericia.

Una de las razones principales que el Led es idóneo para el proyecto es que es la única tecnología que puede alcanzar la emisión de longitud de onda necesaria para la efectividad del tratamiento de fototerapia. Otra de las razones es que el Led emite luz fría y con esto se elimina la posibilidad de deshidratación masiva en el proceso del tratamiento con fototerapia.

1.4. ICTERICIA NEONATAL EN EL ECUADOR

N° Orden	CAUSAS	NÚMERO DE EGRESOS
1°	Neumonía, organismo no especificado	8394
2°	Dificultad respiratoria del recién nacido	6257
3°	Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso	5800
4°	Ictericia neonatal por otras causas y por las no especificadas	4574
5°	Sepsis bacteriana del recién nacido	3123
6°	Trastornos relacionados con el embarazo prolongado y con sobrepeso al nacer	2930
7°	Feto y recién nacido afectados por condiciones de la madre no necesariamente relacionadas con el embarazo presente	2855
8°	Trastornos relacionados con el embarazo prolongado y con sobrepeso al nacer	2157
9°	Enfermedad hemólica del feto y del recién nacido	2141
10°	Neumonía congénita	1989

Tabla 1.7: Diez principales causas de morbilidad infantil del 2011 en el Ecuador [58]

Se puede observar en la tabla 1.7 que la ictericia es la 4ta causa de morbilidad infantil por egresos hospitalarios en nuestro país. La ictericia es muy común en los recién nacidos, por esta razón existe una gran demanda del tratamiento de fototerapia en centros de salud públicos y privados, siendo los centros de salud públicos los de mayor demanda.

Según la revista anual “Indicadores Básicos de Salud” que publicó el Ministerio de Salud en el año 2011, fueron 11 los casos de muerte por ictericia neonatal debido a otras hemólisis excesivas.

El número de egresos hospitalarios versus la mortalidad, indica que la demanda de tratamiento para la ictericia es satisfecha por los centros de salud en nuestro país.

CAPITULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE LA LÁMPARA DE FOTOTERAPIA

2.1. ESTUDIO LUMÍNICO DEL SISTEMA

2.1.1. Área de Estudio

En el presente proyecto se debe conocer el objeto y el área que va a recibir la radiación lumínica. El objeto que va a ser irradiado en este caso es el neonato (recién nacido a término o pre término) y el área de estudio es la termo cuna o incubadora en la que va a reposar el recién nacido durante la fototerapia.

Para determinar el valor del área de estudio se debe conocer las medidas más comunes que poseen las termocunas e incubadoras en el mercado (ver tablas 2.1 y 2.2).

TERMOCUNAS				
Modelo	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)
Ohmeda® 4400 InfantWarmer	114	76	8664	98 - 118
Ohmeda® 3300 InfantWarmer	66	48.3	3187.8	110
Ohmeda® 3000 InfantWarmer	100	62	6200	120
Airshields® Pm 78 InfantWarmer	66	54	3564	93 - 100
GE Ohio 3150 Infant Warmer System	64	43	2752	115
Airshields® Infant Intensive Care System	66	54	3564	93 - 100

Tabla 2.1: Características de termo cunas más comerciales [49]

INCUBADORAS				
Modelo	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)
DragerCaleoIncubator	116.7	68.7	8017.29	122 - 152
AIRSHIELDS® C-300	81.3	55.9	4544.67	128.9
Air-Shields® Transport Incubator Ti100	102	56.5	5763	88.3 - 118.7
Ohmeda® Care-Plus™ Incubator	65	34.8	2262	135.9
Airshields® 500 Transport Incubator	95.9	52.7	5053.93	50.8
GE Care Plus Access Series 3000/4000 Incubators	83.8	71.1	5958.18	135.9

Tabla 2.2.: Características de incubadoras más comerciales [49]

De igual manera se debe conocer el espacio que ocupa el neonato dentro del área de estudio (ver tabla 2.3).

EDAD	TALLA NIÑOS(cm)	TALLA NIÑAS (cm)	TORSO (cm)
Recién Nacido	50.3	50.3	20
3 meses	60	59	20
6 meses	67	65	21
9 meses	72	70	21
12 meses	76	74	22
15 meses	79	77	22

Tabla 2.3: Tabla orientativa de las medidas ideales para niños y niñas por edad [50]

Como ya se mencionó en el capítulo 1, los más propensos a desarrollar hiperbilirrubinemia son los recién nacidos (de 2 a 5 días de edad), pero esto no significa que bebés de mayor edad desarrollen esta patología. La fototerapia debe poseer luz uniformemente distribuida por toda la superficie corporal del paciente, es por esto que para el estudio lumínico se tomará las medidas de un bebé de 15 meses (según la tabla 7) y se las adjudicará al objeto de estudio.

Si se realiza una media de las medidas de largo y ancho de las tablas 5 y 6 se obtiene un valor promedio para el área de estudio, el promedio del largo es 85 cm y el promedio para el ancho es 60 cm. Analizando las medidas del bebé de 15 meses de edad con los brazos abiertos (como se muestra en la figura 2.1) se tiene valores de largo y ancho de 79 y 56 cm respectivamente.

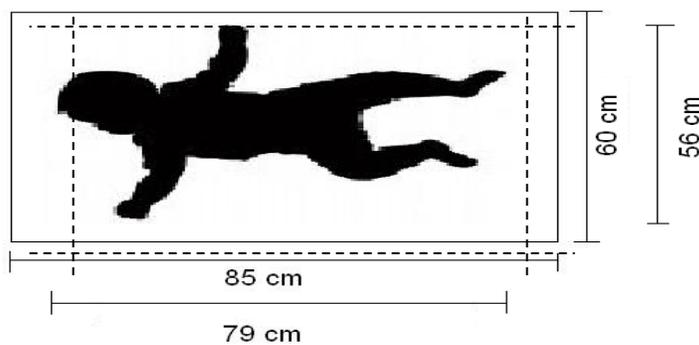


Figura 2.1: Área de estudio

Como se observa en la figura 2.1 el área que ocupa el objeto de estudio es casi igual al área de estudio obtenida, en la que se debe centrar toda la irradiancia de la fuente (10 - 30 uW/cm²/nm). Dentro del área de estudio es muy importante

que el espectro lumínico sea totalmente uniforme y cubra toda el área para mayor eficiencia del tratamiento de la fototerapia en caso de movilidad del paciente.

La lámpara de fototerapia que se va a construir deberá poseer una irradiancia mínima de 10 a 30 uW/cm²/nm con una longitud de onda pico de 458 nm, que distribuya uniformemente la irradiancia espectral en un área de 5100 cm².

2.1.2. Cálculo Lumínico

Anteriormente se definió que la radiación de energía lumínica para la fototerapia debe ser de mayor o igual 10 uW/cm²/nm para tratamiento normal y mayor o igual a 30 uW/cm²/nm para tratamiento intensivo (según la Academia Internacional de Pediatría). Para fines experimentales se utilizará una irradiancia espectral de 22 a 45 uW/cm²/nm en el prototipo de lámpara para fototerapia; estos valores son propuestos por el autor de este proyecto basándose en la comparación de equipos para fototerapia existentes en el mercado y en la evaluación los intervalos de radiación ya experimentados (ver tabla 2.4). Los valores de irradiancia espectral propuestos están dentro de los intervalos probados y aceptados en la medicina.

EQUIPOS DE FOTOTERAPIA		
Modelo	Longitud de onda (nm)	Radiancia Espectral (uW/cm²/nm)
BabyBlue	450 - 470	10 - 30
NeoBlue	450 - 595	12 - 35
Bilitron	400 - 550	4 - 50
Bililed	453 - 487	10 - 50
Dräger lámpara de fototerapia 4000	460 - 550	28.8 - 41.4
Bili-therapy spot type	460 - 490	30 - 40
B-200 InfantPhototherapyUnit	400 - 760	500
BT - 400 Phototherapy	460 - 470	> 30
Lámpara de fototerapia Cobams	420 - 480	> 10
Naos and Naos Plus	420 - 480	< 60
Lullaby Led PT	450 - 465	22 - 45

Tabla 2.4: Longitud de onda e Irradiación espectral de equipos de fototerapia [51]

Es muy importante conocer conceptos básicos de radiometría y fotometría para el estudio lumínico.

Radiometría: Rama de la física dedicada a la medida de las radiaciones electromagnéticas.

Fotometría: Parte de la radiometría que se ocupa de la parte del espectro electromagnético que el ojo humano percibe como sensación luminosa.

El objetivo de la radiometría y la fotometría es medir la radiación, propagación y recepción de la energía electromagnética. Cuando se conoce una magnitud espectral para cada valor de la longitud de onda (X_λ) y se quiere determinar el valor neto de la magnitud radiométrica o fotométrica (X) correspondiente para un rango determinado de longitudes de onda (λ_1, λ_2) se debe integrar.

$$X = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X_\lambda d\lambda \quad (5)$$

Todas las magnitudes radiométricas y su magnitud fotométricas correspondiente se resumen en la tabla 2.5.

J	W	sr	V (λ)	lm	lx	nt	cd	A	τ	t	Ω
julio	Vatio (watt)	Estéreo radián	Eficiencia luminosa	lumen	lux	nit	candela	área	volumen	tiempo	Ángulo sólido
Magnitudes Radiométricas (subíndice “e” \Leftrightarrow “energética”)						Magnitudes Fotométricas (subíndice “v” \Leftrightarrow “visión”)					
Magnitud	Símbolo (unidad)	Definición	Magnitud	Símbolo (unidad)	Definición						
Energía Radiante	Q_e J=W·s	–	Energía Luminosa	Q_v lm·s	–						
Densidad de energía radiante	W_e J/m ³	$W_e=dQ_e/d\tau$	Densidad de energía luminosa	W_v (lm·s)/m ³	$W_v=dQ_v/d\tau$						
Flujo (o potencia) radiante	Φ_e W	$\Phi_e=dQ_e/dt$	Flujo (o potencia) luminosa	Φ_v lm	$\Phi_v=dQ_v/dt$						
Excitancia radiante o emitanciar.	M_e W/m ²	$M_e=d\Phi_e/dA$ (A=emisor)	Excitancia luminosa o emitanciar.	M_v lm/m ²	$M_v=d\phi_v/dA$						
Incidencia radiante o Irradiancia	E_e W/m ²	$M_e=\Phi_e/dA$ (A=receptor)	Iluminancia o iluminación	E_v lm/m ² =lx	$M_v=d\phi_v/dA$						
Intensidad radiante	I_e W/sr	$I_e=d\Phi_e/d\Omega$	Intensidad luminosa	I_v lm/sr=cd	$I_v=d\phi_v/d\Omega$						
Radiancia	L_e W/(sr·m ²)	$L_e=dI_e/(dA \cdot \cos\theta)$ (A=emisor)	Luminancia (L) o brillo (B)	L_v cd/m ² =nt	$L_v=dI_v/(dA \cdot \cos\theta)$						
Exposición	H J/m ²	H=E _e ·t	Exposición	H lx·s	H=E _v ·t						

Tabla 2.5: Magnitudes radiométricas y fotométricas y su nomenclatura [52]

Las magnitudes radiométricas y fotométricas poseen una relación para pasar de una magnitud a la otra basada en la sensibilidad del ojo humano y la cantidad de luz incidente en él, es decir, la eficiencia luminosa (ver figura 2.2).

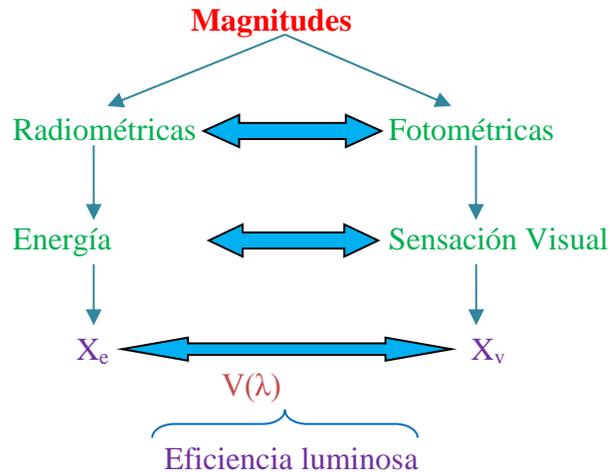


Figura 2.2: Relación entre magnitudes radiométricas y fotométricas [53]

El valor de una magnitud fotométrica (X_v) es proporcional al de la magnitud radiométrica (X_e) asociada para una longitud de onda dada es:

$$X_v = K(\lambda)X_e \quad (6)$$

La eficacia luminosa espectral $K(\lambda)$ mide la sensibilidad relativa del ojo del observador humano medio para cada longitud de onda. La dependencia de la eficacia luminosa con la longitud de onda se expresa de la siguiente manera:

$$K(\lambda) = K_m V(\lambda) \quad (7)$$

La eficiencia luminosa espectral depende de la cantidad de iluminación que exista en un ambiente para que aumente o disminuya la sensibilidad relativa del ojo humano. Por esta razón la sensibilidad del ojo se analiza como: visión diurna o fotópica y visión nocturna o escotópica.

Visión fotópica $V(\lambda)$: Es la forma normal de visión del ojo humano cuando la iluminación es suficientemente alta ($L_v \geq 3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ en el campo de visión)

$$k_m = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \quad \text{Eficacia espectral luminosa máxima}$$

$\lambda_m = 555 \text{ nm}$ Valor máximo que alcanza la eficiencia luminosa

Visión Escotópica $V'(\lambda)$: Es la característica de visión del ojo humano con niveles muy bajos de iluminación ($L_v \leq 3 \times 10^{-5} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

$$k'_m = 1700 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \quad \text{Eficacia espectral luminosa máxima}$$

$\lambda'_m = 507 \text{ nm}$ Valor máximo que alcanza la eficiencia luminosa

La visión fotópica y escotópica son magnitudes adimensionales normalizadas, es decir, toman valores comprendidos entre 0 y 1 (ver figura 2.3).

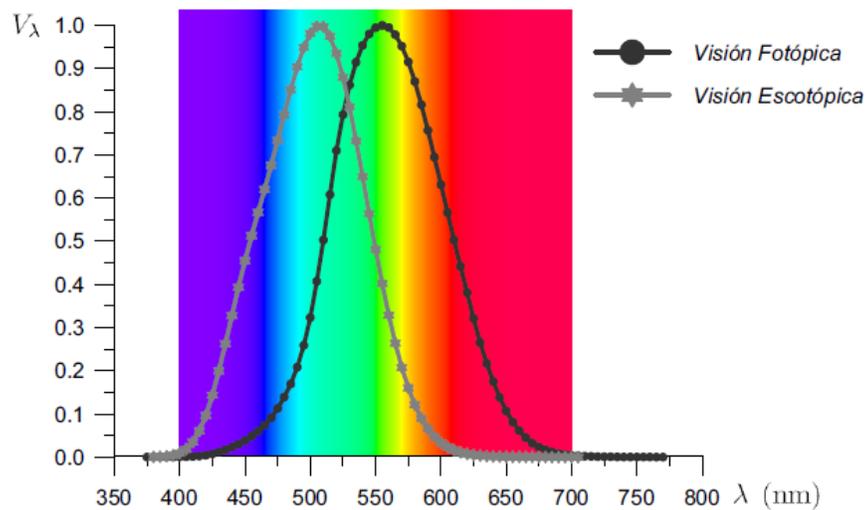


Figura 2.3: Curvas C.I.E. de la eficiencia luminosa espectral [53]

En nuestro proyecto el objetivo no es la iluminación de un ambiente, es la radiación espectral que pueda irradiar la fuente para la máxima penetración de la luz en la piel. Por lo antes mencionado se utilizará la **curva de la visión fotópica** para llegar al valor fotométrico correspondiente para el proyecto.

La curva de la visión fotópica viene dada por:

$$V(\lambda) = e^{\left[\frac{-0.5(\lambda-555)^2}{1755.61} \right]} \quad (8)$$

Cuando se tiene una radiación policromática caracterizada por una cierta magnitud radiométrica espectral ($X_{e\lambda}$) el valor de la magnitud fotométrica espectral correspondiente es:

$$X_{v\lambda} = K(\lambda)X_{e\lambda} \quad (9)$$

El valor neto de la magnitud fotométrica se obtiene con la ecuación 5, si $X=X_v$ se tiene:

$$X_v = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X_{v\lambda} d\lambda \quad (10)$$

Reemplazando la ecuación 9 en la 10 se tiene:

$$X_v = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K(\lambda) X_{e\lambda} d\lambda \quad (11)$$

A saber que la eficacia luminosa espectral depende de la curva de la visión fotópica se reemplaza los valores de la eficacia luminosa espectral máxima, la ecuación 7 y 8 en la ecuación 11.

$$X_v = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(683 \frac{lm}{W}\right) \left(e^{\left[\frac{-0.5(\lambda-555)^2}{1755.61}\right]}\right) X_{e\lambda} d\lambda \quad (12)$$

Como ya se tiene definido el valor de la irradiancia espectral ($E_{e\lambda}$), ahora se debe encontrar su magnitud fotométrica correspondiente que es la iluminancia (E_v). En la ecuación 5 se definió que X representa a las magnitudes fotométricas y X_λ representa a las magnitudes radiométricas espectrales, por lo que se procederá definir la magnitud con la que se trabajará en la ecuación 12, así:

$$E_v = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(683 \frac{lm}{W}\right) \left(e^{\left[\frac{-0.5(\lambda-555)^2}{1755.61}\right]}\right) E_{e\lambda} d\lambda \quad (13)$$

El Led es una fuente lumínica muy especial, se la puede considerar como una fuente emisora de luz monocromática (para los colores RGB) y también como una fuente emisora de luz policromática. Para éste caso se lo considerará como una fuente de luz monocromática y policromática a la vez, entonces la ecuación 13 quedará de la siguiente forma:

$$E_v = 683 \frac{lm}{W} \cdot E_{e\lambda} \cdot (\lambda_2 - \lambda_1) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e^{\left[\frac{-0.5(\lambda-555)^2}{1755.61}\right]} d\lambda \quad (14)$$

La irradiancia espectral debe ser constante para todas las longitudes de onda del espectro de la fuente, y es por esto que no se la integrará conjunto la curva de la visión fotópica.

El espectro es una característica implícita en la fuente que no se la puede controlar, así que ese dato se debe consultar en el catálogo de la fuente que se va a utilizar. El único requisito que se debe establecer para la búsqueda de la fuente es que posea una longitud de onda máxima o dominante que se encuentre cerca de los 460 nm [15].

Después de una larga búsqueda en proveedores en todo el mundo se encontró el Led con las siguientes características (ver tabla 2.6):

Color de Emisión	Corriente inversa (mA)	Consumo de energía (watt)	Longitud de onda (nm)	Controlador de Voltaje (V)	Flujo Luminoso (lm)	Ángulo de emisión (°)
Azul	700	2.38	460 - 465	3.0 - 3.4	150 - 220	120

Tabla 2.6: Características del Led

Conociendo λ_1 y λ_2 la ecuación 14 queda de la siguiente forma:

$$E_v = 683 \frac{lm}{W} \cdot 0.45 \frac{W}{nm \cdot m^2} \cdot (465 \text{ nm} - 460 \text{ nm}) \int_{460}^{465} e^{\left[\frac{-0.5(\lambda - 555)^2}{1755.61} \right]} d\lambda$$

Para poder conocer la iluminancia que debe tener la lámpara de fototerapia resolvemos la ecuación 14 con el valor máximo y mínimo de irradiancia espectral (22 - 45 uW/cm²/nm); los resultados son:

$$E_{max} = 6744.04 \text{ lx}$$

$$E_{min} = 3292.2 \text{ lx}$$

2.1.3. Distribución Lumínica

El Led que se va a utilizar para el presente proyecto tiene un flujo luminoso máximo de 220 lm y un ángulo de emisión de 120°, para calcular la intensidad luminosa máxima se debe conocer la unidad de ángulo sólido que tiene el Led.

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) \quad (15)$$

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{120^\circ}{2}\right)$$

$$\Omega = \pi \text{ (sr)}$$

Como ya se indicó en el capítulo 1 la unidad del ángulo sólido es el estereorradián (sr) y el ángulo sólido para nuestro Led es de π sr, el cual nos servirá para calcular la intensidad luminosa máxima utilizando la ecuación 2.

$$I_v = \frac{\Phi_v}{\Omega} \quad (16)$$

$$I_v = \frac{180 \text{ lm}}{\pi \text{ sr}}$$

$$I_v = 57.29 \text{ (cd)}$$

La iluminancia del Led sobre un área específica (0.51 m²) es inversamente proporcional a la distancia entre la fuente y el área. La altura máxima que poseerá la lámpara de fototerapia con respecto al área de estudio es de 45 cm.

$$E_{vtotal} = \sqrt{E_H^2 + E_V^2} \quad (17)$$

$$E_H = \frac{I_v \cdot (\cos \alpha)^3}{h^2} \quad (18)$$

$$E_V = \frac{I_v \cdot (\cos \alpha)^2 \cdot \sin \alpha}{h^2} \quad (19)$$

La iluminancia máxima de Led será cuando el ángulo de visión sea igual a 0° y la iluminancia mínima será cuando el ángulo de visión sea 60° (ver figura 2.4).

$$\alpha = 0^\circ$$

$$E_H = \frac{(57.29 \text{ cd}) \cdot (\cos 0)^\3}{(0.45 \text{ m})^2} = 282.94 \text{ lx}$$

$$E_V = \frac{(57.29 \text{ cd}) \cdot (\cos 0)^2 \cdot \sin 0}{(0.45 \text{ m})^2} = 0 \text{ lx}$$

$$E_{vtotal} = \sqrt{(282.94)^2 + (0)^2} = 282.94 \text{ lx}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$E_H = \frac{(57.29 \text{ cd}) \cdot (\cos 60)^\beta}{(0.45 \text{ m})^2} = 35.31 \text{ lx}$$

$$E_V = \frac{(57.29 \text{ cd}) \cdot (\cos 60)^2 \cdot \sin 60}{(0.45 \text{ m})^2} = 61.25 \text{ lx}$$

$$E_{vtotal} = \sqrt{(35.31)^2 + (61.26)^2} = 70.69 \text{ lx}$$

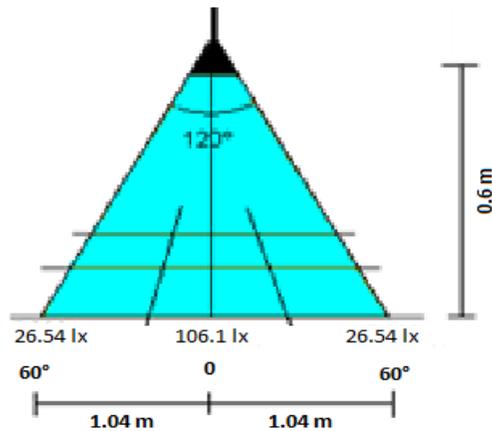


Figura 2.4: Iluminancia del LED

En este estudio lumínico se llegó a determinar la iluminancia máxima del Led, la cual depende del ángulo del observador y la distancia entre fuente y área. Con este valor se puede calcular el número Leds se necesitan para lograr la iluminancia requerida para el sistema.

$$\#_{led} = \frac{E_{max}}{E_{led}} \cdot \frac{A}{1 \text{ m}^2} \quad (20)$$

$$\#_{led} = \frac{(6744.04 \text{ lx})(0.51 \text{ m}^2)}{(282.94 \text{ lx})(1 \text{ m}^2)}$$

$$\#_{led} = 12.15$$

$$\#_{led} = 12 \text{ Led}$$

Con la ecuación 20 se determina el número de fuentes de luz necesarias para ofrecer la iluminancia requerida para irradiar un área específica, tomando en cuenta que:

E_{max} es la iluminancia necesaria para obtener la irradiancia espectral adecuada para la fototerapia.

E_{led} es la iluminancia máxima que puede ofrecer el Led.

A : Es el área específica donde se va a concentrar la energía lumínica de la lámpara.

Se necesita 12 Leds para alcanzar la iluminancia requerida para un área de 0.51 m², ahora el objetivo es plantear una distribución que permita dispersar la iluminancia requerida uniformemente sobre toda el área.

2.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE LEDS

2.2.1. Diseño

En el diseño de la matriz de Leds se debe considerar el área que va a ser irradiada lumínicamente y la fuente luminosa que se va a utilizar para construir la matriz. En el punto anterior, las características de la fuente luminosa que se va a utilizar en este proyecto (tabla 2.6) y el área que será irradiada ya fueron definidas. Con estos datos se debe encontrar la forma que debe tener la matriz de Leds y la posición en que debe estar cada Led para obtenerla radiación lumínica deseada.

Hay muchas formas geométricas que se pueden considerar para el diseño de la matriz de Leds. Las formas más comunes que se pueden encontrar en el mercado son: circular (bombillas Led), cuadrada (reflectores Led) y rectangular (lámparas fluorescentes Led). Para encontrar la forma que reproduzca de manera eficiente la radiación de la matriz se debe simular las opciones antes mencionadas y encontrar la distribución idónea.

Realizando simulaciones de varias configuraciones de distribuciones luminosas en el programa Matlab 2010 se concluye que entre mayor distancia exista entre Leds mayor será el área de pico de iluminancia, pero menor será el valor de pico. Con base a esto se propone un diseño de distribución luminosa rectangular, el cual debe tener mayor distancia entre Leds para aumentar el área de iluminancia y mayor cantidad de Leds para aumentar el pico de iluminancia, ver figura 2.5.

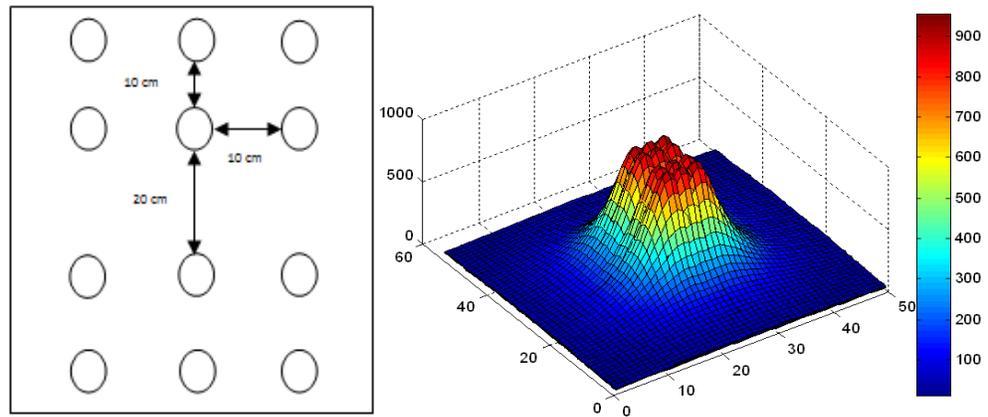


Figura 2.5: Simulación de la distribución rectangular de Leds en MatLab 2010

En esta distribución se caracteriza por que consta de dos grupos de seis Leds separados por una distancia de 20 cm y una distancia de 10 cm entre Leds. Con la distribución rectangular los requerimientos que necesita el sistema se cumplen en su mayor parte (ver figura 2.6.).

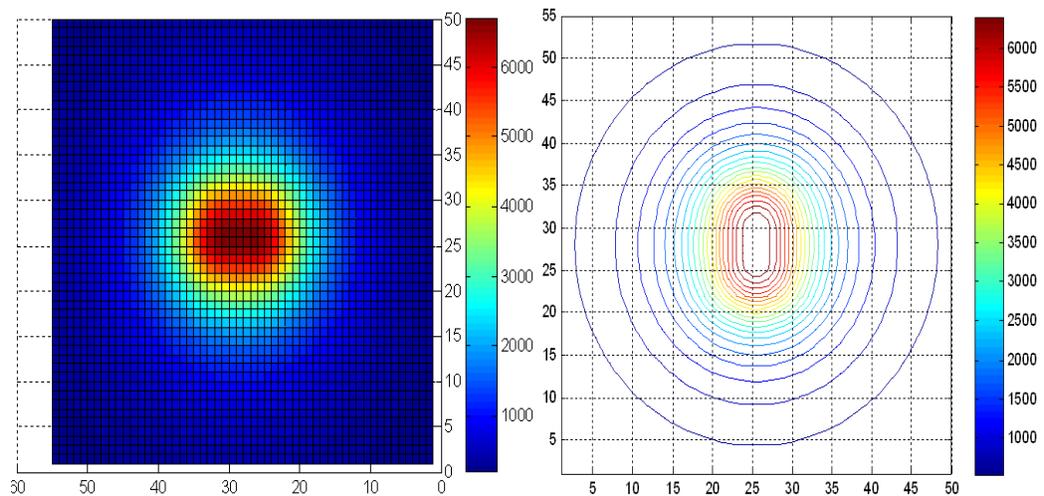


Figura 2.6: Simulación de niveles de iluminancia (lx) en escala de colores de la distribución rectangular de Leds en MatLab 2010

En la figura 31 se observa que el pico máximo que tiene ésta distribución es de 7000 lx cuya área es el anillo más pequeño de la figura y su área es de 24 x 15 cm, el anillo que le sigue en tamaño tiene una iluminancia de 6500 lx y un área de 30 x 20 cm y el siguiente anillo tiene una iluminancia de 6000 lx y área de 38 x 25 cm.

Con estos primeros datos se comprueba que más del 50% del área de estudio va a tener una iluminancia de 6500 lx (valor necesario para la fototerapia intensiva, 45 uW/cm²/nm) y se comprueba también que la distribución rectangular es la adecuada para la lámpara de fototerapia.

Definida la forma física que deberá poseer la Matriz de Leds se procede a diseñar los circuitos electrónicos y la conexión eléctrica que permitan el funcionamiento deseado para el proyecto.

En el diseño electrónico se consideraron tres etapas: el driver controlador, la matriz de Led y el detector de fallas de la matriz (ver figura 2.7).

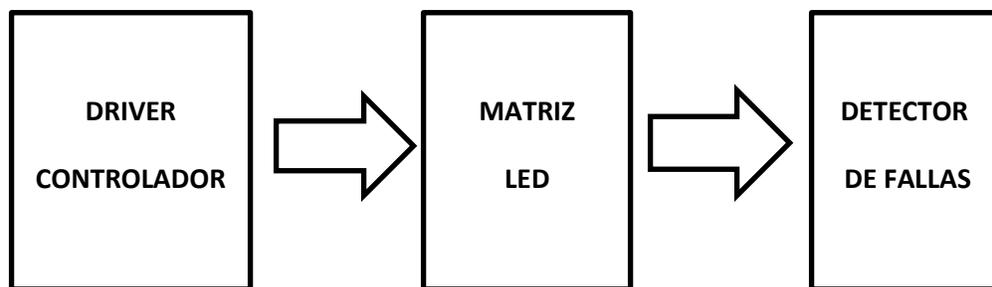


Figura 2.7: Esquema en bloques de circuito electrónico de matriz de Leds

En todo sistema de control, para el cálculo de los controladores se empieza por el estudio de las características eléctricas, físicas o mecánicas de la planta u objeto que se va a controlar. En éste caso la planta es la matriz de Leds y se comenzará por el estudio eléctrico de ésta.

2.2.1.1. Matriz de Leds

El diseño de la matriz se va a resumir en la forma de conexión de los Leds. Anteriormente se definió la forma física de la matriz y el número de LEDs que se va a utilizar, en la matriz se tiene 12 Leds que consumen una corriente de 700 mA y un voltaje umbral de 3.4 V, si se los conecta en paralelo se necesita alimentar a la matriz con un voltaje mínimo de 3.4 V y una corriente de 4.2 A, si se los conecta en serie la matriz se la deberá alimentar con un voltaje mínimo de 40.8 V y una corriente de 700 mA. Se debe tomar en cuenta estos valores eléctricos para el posterior cálculo de la fuente de alimentación.

En el proyecto es necesario que sus componentes electrónicos y mecánicos posean un bajo valor de volumen y peso, por lo tanto, la conexión de los Leds debe ser en paralelo. Para facilidad de control y con el objetivo de maximizar la eficiencia de la matriz, ésta se la dividirá en dos grupos de 6 Leds y se la deberá controlar con 2 drivers. Ahora se tiene dos grupos de 6 Leds que necesitan una alimentación con un voltaje mínimo de 20.4 V y una corriente de 1.4 A (ver figura 2.8).

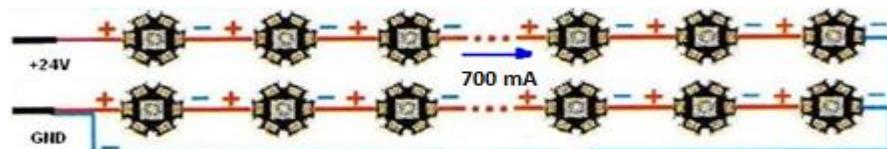


Figura 2.8: Conexión serie de Leds [54]

Todo dispositivo semiconductor de potencia tiene la característica de disipación de potencia mediante la generación de calor, esta característica en la realidad es una desventaja, ya que esto produce la disminución de la vida útil del dispositivo y además reduce considerablemente su eficiencia. Los Leds de potencia no son la excepción, por lo que es necesario adherirle un disipador de calor a la matriz de Leds.

El tipo de disipador que se va a utilizar se lo determina con la siguiente fórmula:

$$R_{da} = \frac{kT_j - T_a}{P} - (R_{jc} + R_{cd}) \quad (21)$$

T_j = temperatura de la unión
 T_a = temperatura ambiente
 R_{jc} = resistencia térmica unión-cápsula
 R_{cd} = resistencia térmica cápsula-disipador
 R_{da} = resistencia térmica disipador-ambiente
 P = Potencia que disipa el dispositivo
 K = coeficiente de seguridad

Se va a conectar un disipador para 3 Leds (se necesitarán 4 disipadores), como los Leds son de características idénticas la fórmula para calcular el disipador es:

$$R_{da} = \frac{kT_j - T_a}{P} - \left(\frac{R_{jc}}{3} + \frac{R_{cd}}{3} \right) \quad (22)$$

Las características térmicas de los Leds son las siguientes:

$T_j = 80\text{ }^\circ\text{C}$, $R_{jc} = 5\text{ }^\circ\text{C/W}$, $R_{cd} = 1.4\text{ }^\circ\text{C/W}$, $P = 2.38\text{ W}$

Las características exteriores son: $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $k = 0.6$

$$R_{da} = \frac{(0.6)(80\text{ }^\circ\text{C}) - 25\text{ }^\circ\text{C}}{2.38\text{ W}} - \left(\frac{5}{3} \cdot \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + \frac{1.4}{3} \cdot \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right) = 7.53 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

El disipador que coincide con el valor de disipación obtenido se muestra en la figura 2.9, las dimensiones del disipador son: 40 x 300 x 20 mm



Figura 2.9: Disipador para Leds de potencia [56]

Definidos los elementos y las características eléctricas que debe poseer la matriz se debe determinar el método de control. Los Leds funcionan con corriente continua así que se debe diseñar un regulador de corriente para el control lumínico de la matriz.

2.2.1.2.Driver Controlador

Los reguladores de corriente se pueden hacer de diferentes maneras: con transistores, con Mosfet de potencia o con reguladores lineales de tensión conectados en modo particular. Todos usan el mismo principio de funcionamiento: una resistencia de bajo valor en serie con el Led (generalmente llamada shunt) que “mide” la corriente que pasa por ella y controla el circuito que regula la corriente [55].

Realizando un pequeño estudio y comparación de los tipos de transistores que existen en el mercado se debe escoger entre un transistor Mosfet o un Bipolar de Potencia por su bajo costo y facilidad de adquisición. El Mosfet posee la capacidad de funcionar a altas frecuencias y tiene un bajo consumo eléctrico mientras que, el transistor bipolar posee la capacidad de conducir altas corrientes pero necesita una fase de amplificación para su funcionamiento. La eficiencia y la facilidad de control convierten al Mosfet en el más indicado para el regulador de corriente.

El diseño del regulador con un Mosfet basándonos en las características eléctricas de la matriz se muestra en la figura 2.10.

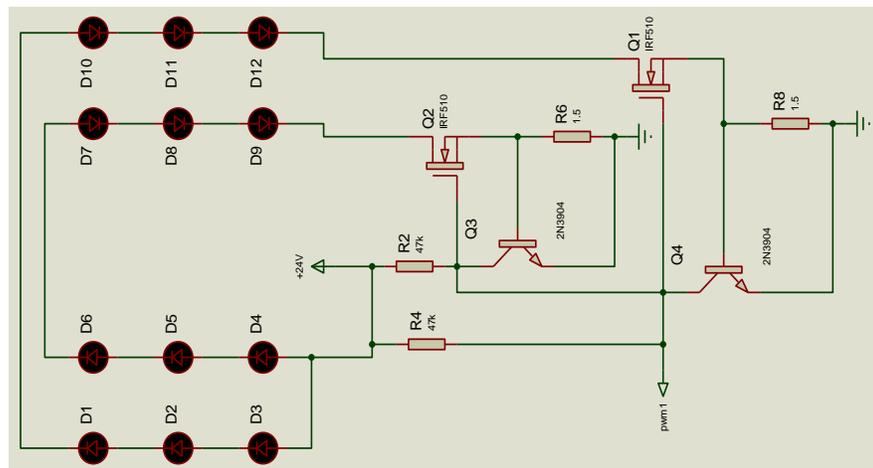


Figura 2.10: Diseño del driver controlador

El funcionamiento de regulador es el siguiente: El “gate” del mosfet recibe una tensión positiva a través de la resistencia de 47K y por lo tanto conduce. Esta

conducción enciende el led y produce una caída de tensión sobre la resistencia en serie con el led. Si la corriente aumenta, también aumenta la caída de tensión y si supera la tensión de umbral de la base del transistor, este último, empieza a conducir disminuyendo la tensión de gate del mosfet y reduciendo de consecuencia la corriente sobre el led (realimentación negativa). Por lo tanto, la corriente sobre el led depende del valor de la resistencia en serie [55].

La potencia disipada en el mosfet depende de la tensión que cae sobre éste y la corriente que se le suministra al Led, por lo tanto se tiene:

$$P_{Mfet} = (V_{fuente} - V_{#led} - V_{res}) \cdot I_{led} \quad (23)$$

El valor de la resistencia limitadora se lo calcula con la fórmula de la ley de ohm, asumiendo que el voltaje que cae sobre la resistencia es de 0.65 V (valor obtenido de la simulación en proteus), se tiene:

$$V_{res} = \frac{0.65 V}{700 mA} = 1 \Omega$$

$$P_{res} = 0.65 V \cdot 700 mA = 0.46 W$$

La matriz de Leds necesita ser alimentada por un mínimo de 20.4 V de voltaje, a esto sumado la caída de tensión de la resistencia limitadora y el voltaje que consume el Mosfet para su funcionamiento (no es un dispositivo ideal) el voltaje que suministre la fuente al circuito debe ser de 24 V (valor comercial).

La potencia disipada por el Mosfet será:

$$P_{Mfet} = (24V - 20.4V - 0.65V) \cdot 700 mA$$

$$P_{Mfet} = 2.065 W$$

La eficiencia del driver controlador dependerá del correcto funcionamiento del Mosfet, debido a que el transistor disipará potencia en forma de calor se debe colocar un disipador térmico que ayude a mantener la temperatura de funcionamiento idónea. Para esto se debe calcular las características del disipador de calor para el Mosfet.

El Mosfet que se va a utilizar para la construcción del driver controlador será el IRF510, las características de este transistor son las siguientes: $T_j = 175\text{ }^\circ\text{C}$, $R_{j-c} = 3.5\text{ }^\circ\text{C/W}$

El disipador térmico se lo calcula con la ecuación 20:

En este caso la temperatura ambiente será de $25\text{ }^\circ\text{C}$, la R_{cd} será e $1.4\text{ }^\circ\text{C/W}$ y la k será de 0.6, por lo que la R_{da} nos queda:

$$R_{da} = \frac{(0.6)(175\text{ }^\circ\text{C}) - 25\text{ }^\circ\text{C}}{2.065\text{ W}} - \left(3.5\frac{\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}} + 1.4\frac{\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}\right) = 33.84\frac{\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

El valor obtenido corresponde a un disipador de aluminio de dimensiones pequeñas (20 mm), como se muestra en la figura 2.11.



Figura 2.11: Disipador para el Mosfet IRF510 [56]

Es importante señalar que se ingresará una señal PWM al “gate” del Mosfet para regular la corriente de la matriz, desde un micro controlador PIC16f876A que será el controlador de todo el proyecto.

2.2.1.3.Detector De Fallas

El detector de fallas de la matriz es un elemento muy importante para el proyecto y el correcto funcionamiento de la matriz. La matriz se compone de 12 Leds, cada uno de estos elementos son de real importancia para alcanzar la radiación lumínica que necesita la lámpara; si solo uno de estos Leds dejara de funcionar correctamente la matriz reducirá de su capacidad lumínica drásticamente.

El detector de fallas testeará el voltaje de la matriz, si hay un cambio de nivel de voltaje el detector enviará una señal al microcontrolador que a su vez enviará una alarma para alertar del mal funcionamiento de la lámpara. El detector se

compone de un comparador de ventana LM311, éste elemento comparará el voltaje total que consume cada grupo de Leds de la matriz (20.4 V) y un fijo voltaje de 21 V (ver figura 2.12).

Si se llegara a dar el caso de que un elemento de la matriz dejara de funcionar correctamente, la alarma de alerta debe ser visual y no auditiva, ya que en el ambiente que va a trabajar la lámpara debe haber total silencio.

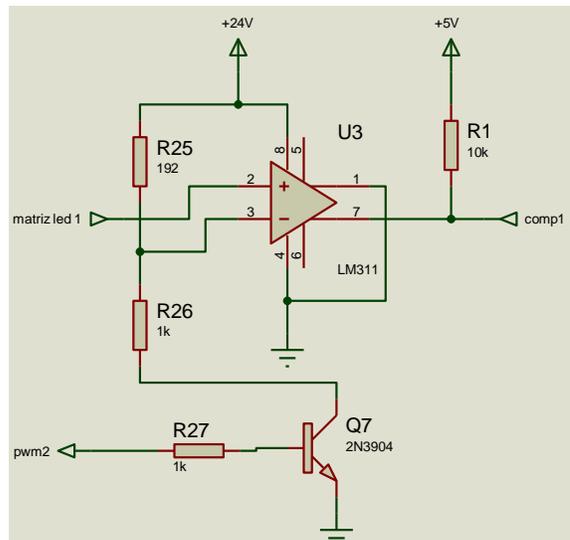


Figura 2.12: Diseño del detector de fallas

2.2.2. Construcción

Para empezar con la construcción de la matriz se debe definir la forma y el tipo de material que debe tener la base y la estructura de la lámpara. La estructura física y mecánica se estudiará en el capítulo 3.

En la construcción de la matriz de Leds se debe considerar el diseño de la distribución lumínica que se desarrolló durante el estudio lumínico. La matriz se debe construir sobre una base que contenga los componentes del sistema y que pueda resistir el movimiento y fuerza que realizará el motor para el posicionamiento de la lámpara (se estudiará en el próximo capítulo).

Si se observa la figura 30, la distribución lumínica proporciona las medidas que debe tener la base de la matriz; en la figura 30 se muestra las medidas de los espacios que existen entre los Leds, éstas conforman un área de 40 x 20 cm. La

base de la matriz tiene que ser más amplia para abarcar a los elementos que conforman a la matriz, así se establece que el área total de la base de la matriz es de 50 x 30 cm. El material que se debe utilizar para la construcción de la base de la matriz debe ser muy liviano y resistente a la vez, el material debe poseer un índice bajo de degradación o corrosión.

Se analiza el acero inoxidable y el aluminio para determinar el tipo de material que se va a utilizar, se realizará una tabla comparativa (ver tabla 2.7).

CARACTERÍSTICAS	ALUMINIO	ACERO INOXIDABLE
Densidad	Baja	Alta
Resistencia Mecánica	Media	Alta
Conductividad Eléctrica	Alta	Baja
Conductividad Térmica	Alta	Baja
Resistencia a la Corrosión	Alta	Alta
Precio	Bajo	Alto

Tabla 2.7: Comparativa entre Aluminio y acero Inoxidable [57]

El acero inoxidable posee las ventajas de ser extremadamente resistente al oxido, a la corrosión y el acabado del material es brillante y de buen aspecto; mientras que el aluminio posee una gran resistencia a la corrosión y posee una baja densidad (bajo peso), además que es un gran conductor térmico y eléctrico.

Por su bajo precio y baja densidad se utilizará aluminio para construir la base de la matriz. En el mercado existen planchas de aluminio lisas de 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5mm, 0.6 mm, 1mm hasta 200 mm de espesor; pero las planchas de aluminio que se analizaran para su adquisición serán las planchas que posean un espesor menor a 1 mm.

La selección del espesor del aluminio para la construcción se lo realizó analizando tres características: resistencia mecánica, maleabilidad y resistencia al calor. La plancha de aluminio de 0.3 mm no posee una gran resistencia mecánica (se deforma con la fuerza mecánica), la plancha de 0.4 mm y 0.5 mm poseen una buena resistencia mecánica, soportan la maleabilidad pero no soporta el calor necesario para el amoldamiento deseado (se deforma con el calor de la

soldadura); la plancha de 0.6 mm es la ideal para la construcción de la base de la matriz ya que cumple con las tres características deseadas.

Con el tipo de material indicado para la base de la matriz se comienza con la construcción. Una vez adquirido el material se comenzará a preparar y cortar el material según las especificaciones del diseño realizado, ver Anexo 3.

Basándose en el diseño mecánico se procede a cortar el material y soldar los cortes para dar la forma deseada (se realiza los orificios para los Leds y los demás elementos que conforman la parte electrónica). Durante el tratamiento del aluminio éste llega a rayarse y a ensuciarse, es por esto que a la base de la matriz se le debe pintar y darle un acabado que demuestre buena presencia (ver figura 2.13). Con la base construida y pintada se procede a agregar los elementos eléctricos-electrónicos para el funcionamiento de la matriz.

Los Leds serán ubicados en la base de la matriz con un porta led de grillón, ésta pieza ayuda a aislar al led del metal y también ayuda a evitar el desperdicio lumínico y a mejorar la iluminancia del Led. La forma y las medias del porta led de grillón se especifican en el Anexo 6, y la manera de unir el porta Led a la base de la matriz es con presión (fuerza humana) y sujeta por un empaque de goma que se coloca en una ranura de 2 mm que se encuentra en la parte exterior del porta led (ver figura 2.14).



Figura 2.13: Base de la matriz pintada



Figura 2.14: Porta led sujeto a la base de la matriz

Antes de colocar los Leds a sus respectivos porta led se los debe adherir a un disipador de calor con pegamento termo conductor (ver figura 2.15). Cuando el

disipador y el Led se conviertan en una sola pieza se procederá a unirlos con el porta led utilizando tornillos (ver figura 2.16).



Figura 2.15: Unión del disipador de calor con el Led



Figura 2.16: Unión del disipador de calor, el led y el porta Led

Una vez que todos los led que conforman la matriz estén adheridos al disipador de calor y ubicados en su respectivo porta led se procede a conectarlos en serie en dos grupos de 6. La base de la matriz posee 5 aberturas en la parte lateral izquierda, los orificios sirven para ubicar los switches y el porta fusible que controlan el encendido del sistema y el control digital (ver figura 2.17).

Concluido la conexión de los Leds y la conexión del control de encendido del sistema se completa la construcción de la matriz, ahora solo falta probar el funcionamiento de la matriz (ver figura 2.18).



Figura 2.17: Componentes laterales de la base de la matriz

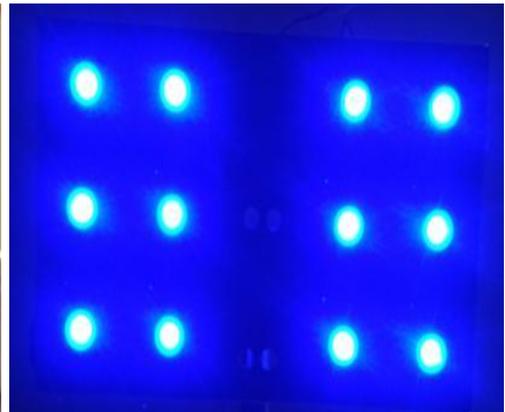


Figura 2.18: Primera prueba de funcionamiento de la matriz

2.3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL DIGITAL DE LUMINOSIDAD

En el capítulo 1 y en el estudio lumínico del presente capítulo se estableció que la radiancia espectral de la lámpara de fototerapia será de $22 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ y $45 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$. Estos dos valores determinan que el control digital de luminosidad requiere una fase de control comandada por dos switches, un controlador digital (micro controlador), un display y la matriz de Leds diseñada anteriormente. Para diseñar el sistema de control digital se partirá del diagrama en bloques que se muestra en la figura 2.19.

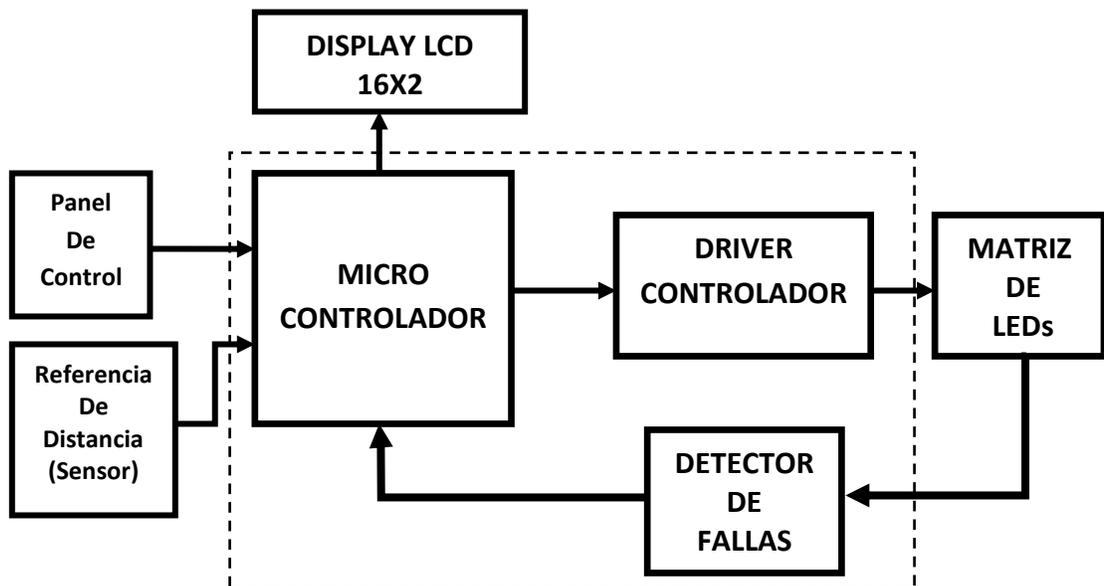


Figura 2.19: Diagrama de bloques del control digital de luminosidad

El control digital de luminosidad va a depender de los componentes que se han de utilizar para adquirir los datos respectivos para una respuesta en el control de luminosidad, teniendo en cuenta la necesidad que se requiere para el funcionamiento del sistema. Los datos que requiere el sistema es la distancia que existe entre el objeto a irradiar (termo cunas, cunas termo radiantes o incubadoras) y la matriz de Leds.

En el capítulo anterior se estudió las diferentes características y unidades de la luz, en ellas se observa que la distancia entre la fuente y el observador es

inversamente proporcional a la iluminancia e irradiancia de la fuente. Por lo tanto, conocer la distancia que va a existir entre la matriz de Leds y el paciente es fundamental para el control de luminosidad y el funcionamiento del sistema.

2.3.1. Sistema de Referencia para el Control de Luminosidad

El sistema necesita un sensor que pueda proporcionar la información de la distancia que existe entre el paciente y la matriz, para esto se utilizará un sensor de ultrasonido HC-SR04 (ver figura 2.20). Las características del sensor se encuentran en el Anexo 3.



Figura 2.20: Sensor de ultrasonido hc-sr04

Las señales emitidas por el sensor de ultrasonido serán recibidas por un micro controlador de 28 pines (PIC16f876a) que deberá determinar la distancia mediante una fórmula matemática (ecuación 24). Cada sensor que se utilice en el sistema ocupará dos pines del micro controlador, un pin para emitir una señal de 10 μ s y otro para recibir el pulso digital que transmite el sensor al recibir una señal el retorno del pulso emitido (ver conexión en el Anexo 4).

$$d = \frac{T_{\text{pulso}} \cdot 10\text{cm}}{58 \mu\text{s}} \quad (24)$$

2.3.2. Diseño y Construcción del Panel de Control

El sistema de control tiene un panel constituido por 2 switches para el control y selección del nivel de iluminación deseado (ver figura 2.21), cada switch tendrá un valor resistivo único para enviar un valor analógico a una entrada A/D del micro controlador (ver figura 2.22). En la tabla 2.8 se especifican los valores digitales de los posibles estados de los switches.

SWITCH 2	SWITCH 1	VALOR DIGITAL
0	0	255
0	1	115
1	0	90
1	1	63

Tabla 2.8: Combinaciones de los estados del panel de control y sus respectivos valores digitales



Figura 2.21: Switch normalmente abierto 1/0

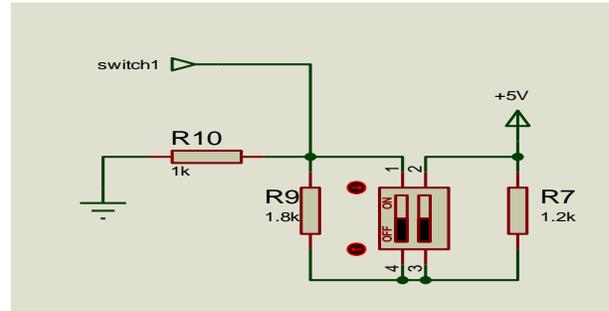


Figura 2.22: Diseño de circuito del panel de control de luminosidad

La matriz de leds será controlada por dos drivers controladores especificados durante el diseño de la matriz (se muestra en la figura 34). Los drivers deben recibir una señal PWM para controlar la intensidad luminosa de los leds, ésta señal será generada por el CCP1 del micro controlador; el duty cycle es asignado mediante una relación matemática con la distancia (ver ecuación 25) entre la matriz y el paciente.

$$PWM = 255 - \frac{d \cdot nivel}{45 \text{ cm}} \quad \text{Ecuación 25}$$

La variable “nivel” es el valor de luminosidad que será seleccionado por el panel de control (ver tabla 2.9). Se debe señalar que el switch 1 habilita el funcionamiento de la matriz, es decir, el estado 0 deshabilita la matriz y el estado 1 habilita su funcionamiento; mientras que el switch 2 asigna el nivel de luminancia de la matriz, 0 para un nivel de 128 y 1 para un nivel de 255.

SWITCH 1	SWITCH 2	NIVEL	PWM
0	0	0	255
0	1	128	255 - d x 2.84
1	0	0	255
1	1	255	255 - d x 5.66

Tabla 2.9: Tabla para asignación del valor del PWM según los estados de los switches.

2.3.3. Diseño y Construcción del Control de Luminosidad

El sistema digital posee un display LCD de 16x2 caracteres (ver figura 2.23), la pantalla sirve para mostrar el tipo de tratamiento que está ejecutando el sistema; además en la pantalla se visualizará un contador que registra el tiempo del tratamiento. El back light del LCD está conectado a una salida del micro controlador, el cual encenderá la luz del display cuando el switch 2 está en estado 1 y se apagará cuando esté en estado 0, además el contador detendrá el conteo y se quedará estático hasta que el switch 2 se encuentre nuevamente en estado 1.

Si uno de los detectores de fallas (se muestra en la figura 36) se activa envía una señal a una entrada del micro controlador, esto hace que en la pantalla se visualice el mensaje de “LAMPARA DEFECTUOSA” (ver figura 2.24) y la luz del display comience a encender y apagar indefinidamente hasta que el problema sea solucionado.



Figura 2.23: LCD 16x2



Figura 2.24: Mensaje de Error en el sistema

Las funciones del sistema dependen directamente del micro controlador, en él se centraliza toda la información y acciones del sistema de control. En la figura 25 se encuentran los diagramas de flujo de las acciones del PIC16F816A para el control de luminosidad.

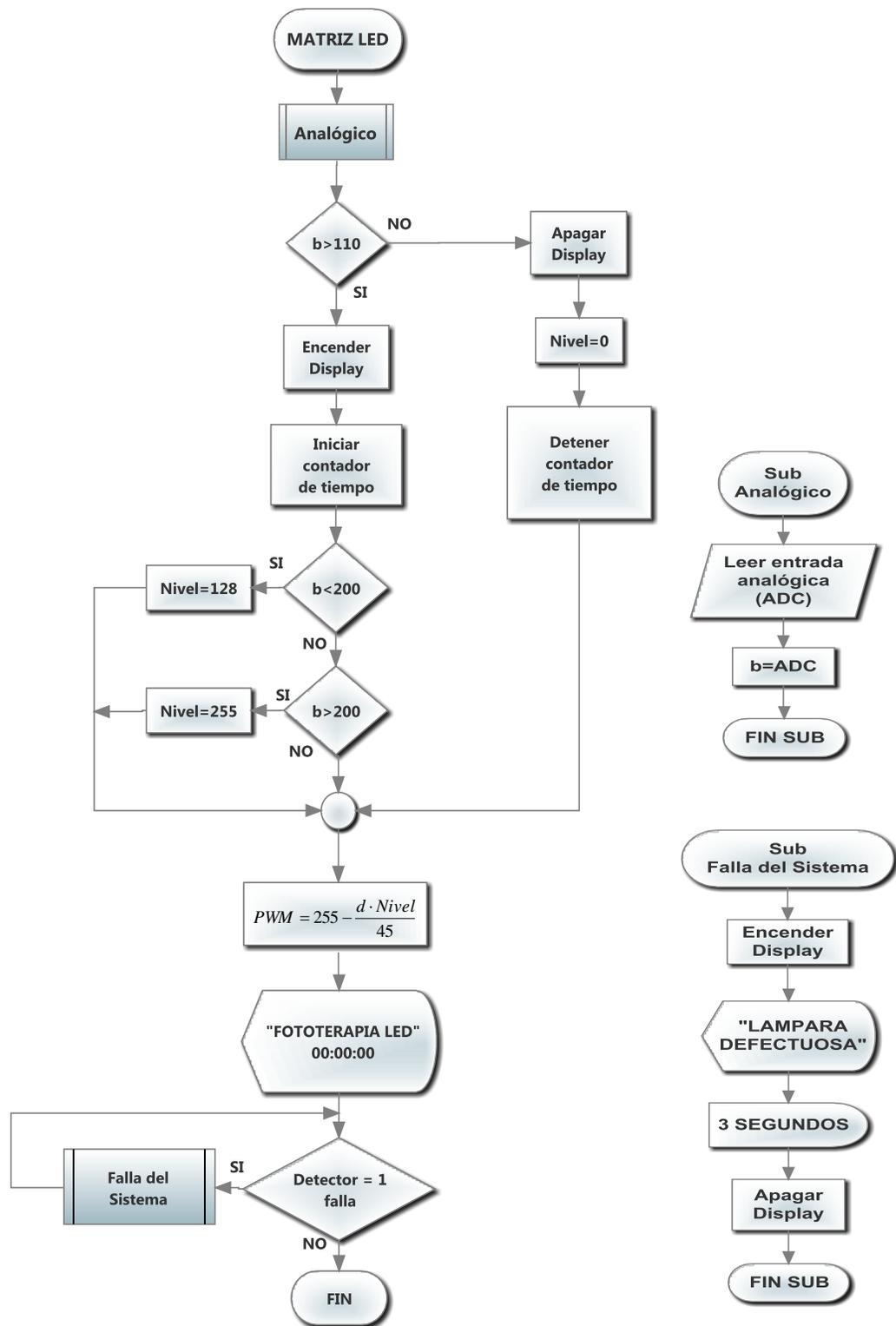


Figura 2.25: Diagrama de flujo del programa del control digital de luminosidad

Para el diseño y fabricación de la PCB del control de luminosidad se debe juntar todas las partes diseñadas anteriormente y unirlas (ver Anexo 4). La simulación del sistema se la realizó en el ISIS de Proteus y el diseño del PCB se lo realizó en el ARES del mismo programa (ver figura 2.26).

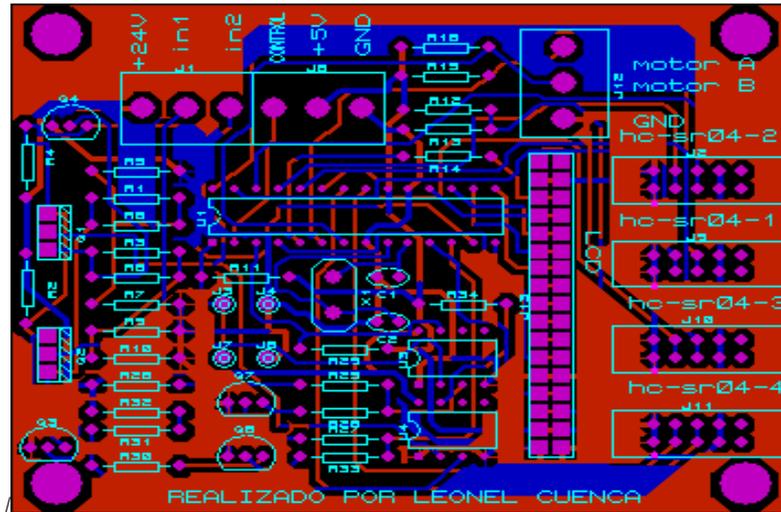


Figura 2.26: Diseño del PCB del control de luminosidad

Posterior a la simulación del diseño electrónico y al diseño del PCB, se procede a la fabricación del PCB (ver figura 2.27).

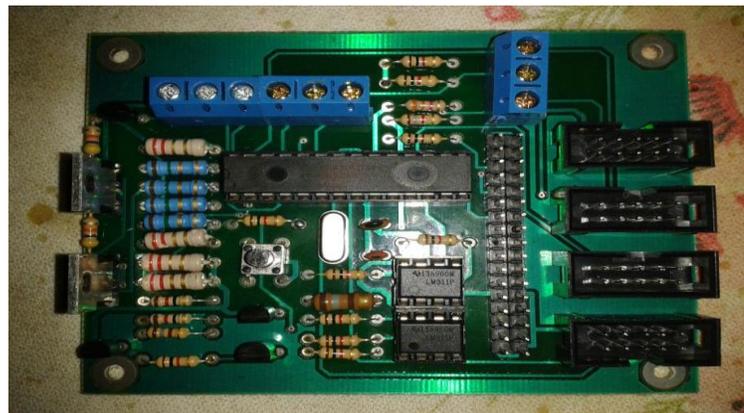


Figura 2.27: Imagen de la PCB del sistema de control de luminosidad construida

2.4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL DE LOS ACTUADORES PARA EL POSICIONAMIENTO DE LA LÁMPARA

En un departamento de neonatología se puede encontrar varios tipos de cunas para el tratamiento de los RN (recién nacidos), por ejemplo incubadoras, termo cuna y cunas de calor radiante. En cada tipo de cuna tratante la lámpara de fototerapia se la ubica de distinta forma (ver figura 2.28) y por lo tanto su ángulo de inclinación varía.



Figura 2.28: Fotografías de tipos da posición de las lámparas de fototerapia en la incubadora, termo cuna y cunas de calor radiante respectivamente.

2.4.1. Condiciones de Control

La lámpara debe poseer la capacidad de regular el ángulo de inclinación de la matriz para maximizar la eficacia del tratamiento para el RN. El objetivo del sistema es que según la posición de la lámpara y del paciente se regule el ángulo de inclinación de la matriz para que el RN reciba la máxima iluminancia emitida por la lámpara.

Para el control de posición se necesita que el sistema determine la distancia que existe entre la lámpara y la cuna (horizontalmente y verticalmente), es por esto que el sistema debe poseer un sensor que determine la distancia horizontal entre

la lámpara y la cuna; y un sensor que determine la distancia vertical entre la matriz y el paciente.

En una termocuna la lámpara puede ubicarse a una distancia horizontal cero y a una distancia vertical regulable que no sobrepase los 45 cm (ver figura 2.29), como se observa en la figura el ángulo de la matriz no cambiará. En las incubadoras y cunas de calor radiante la distancia horizontal con la lámpara de fototerapia debe ser mayor a cero según sea el caso (esto ayuda al sistema a identificar el tipo de cuna), entre mayor sea la distancia horizontal el ángulo de inclinación de la matriz aumentará (ver figura 2.30).

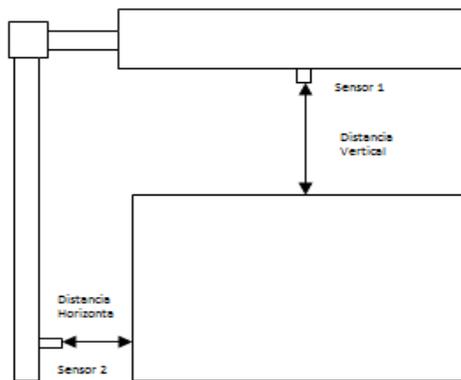


Figura 2.29: Bosquejo de la lámpara de fototerapia con una termo cuna

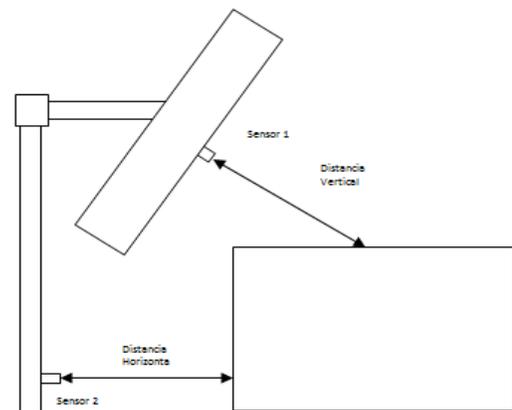


Figura 2.30: Bosquejo de la lámpara de fototerapia con una cuna de calor radiante o una incubadora

Los sensores que se utilizarán para el posicionamiento de la matriz son sensores de ultrasonido (ver figura 2.20), los sensores entregarán información de la distancia horizontal y vertical al microcontrolador retro alimentándose constantemente hasta que se cumpla un algoritmo de posicionamiento. El control de posicionamiento de la matriz requiere de un actuador, un driver controlador, un micro controlador y sensores medidores de distancia (ver figura 2.31).

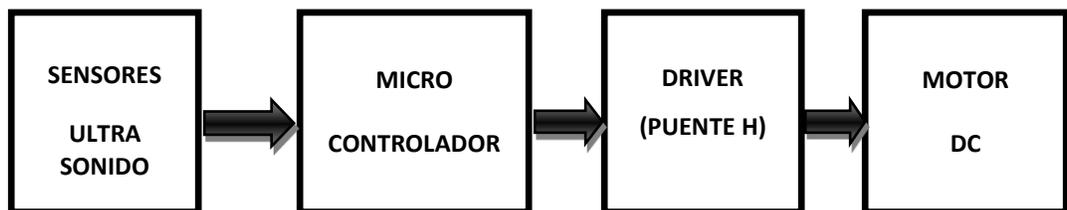


Figura 2.31 Diagrama en bloques del sistema de posicionamiento de la matriz de Leds.

2.4.2. Estudio Mecánico del Movimiento Rotacional

El sistema debe controlar el movimiento del motor (actuador) para regular la inclinación de la matriz. El motor debe poseer la fuerza necesaria para realizar un movimiento rotatorio estable, por lo cual, se debe realizar un estudio mecánico y físico de los momentos de inercia y las fuerzas que actúan sobre la matriz en reposo y en movimiento. Con este estudio se determinará las características mecánicas que debe poseer el motor para realizar el movimiento rotativo de la matriz.

El movimiento que se debe realizar para el posicionamiento de la matriz es un movimiento rotatorio, para esto se recurrirá a la cinética tridimensional. Un cuerpo rígido posee varias características, las cuales se describen en la tabla 2.10.

	X	Y	Z
Momentos de Inercia (Kg.m²)	0.025162	0.135943	0.011185
Centro de Masa (mm)	153.2	8.452	245.7
	Masa (kg)	Área (m²)	Volumen (m³)
Dimensiones	1.989	0.46	0.0035

Tabla 2.10: Características mecánicas de la base de la matriz

Los datos mostrados en la tabla 2.10 fueron obtenidos de la base de la matriz conjunto con todos los accesorios eléctricos y electrónicos de la lámpara.

La matriz será sostenida por dos bases de aluminio (ver anexo 6) y un eje de acero de transmisión, el eje rotará mediante dos rodamientos (un rodamiento en cada base de aluminio) y será el origen de los ejes cartesianos en el estudio físico. El estudio mecánico rotacional se lo puede reducir a un estudio bidimensional plano por la razón que el centro de masa y los soportes se encuentran en el centro de la matriz (ver figura 2.32).

El eje instantáneo de rotación se ubica en el eje Y porque la velocidad inicial del cuerpo es cero y por tanto debe encontrarse en este eje. El esfuerzo que existe sobre el eje de rotación es el peso del cuerpo en reposo, como se observa en la figura 2.32.

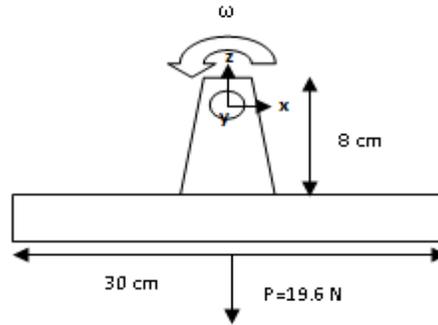


Figura 2.32: Diagrama cinemático del movimiento rotatorio de la matriz.

$$P = m \cdot g \quad (26)$$

$$P = (1.989 \text{ kg}) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 19.51 \text{ N}$$

$$\sum U_{1-2} = P \cdot d \quad (27)$$

$$d = 8 \text{ cm}$$

$$\sum U_{1-2} = (-19.51 \text{ N})(0.08 \text{ m}) = -1.56 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T = \frac{1}{2} I_x w_x^2 + \frac{1}{2} I_y w_y^2 + \frac{1}{2} I_z w_z^2 \quad (28)$$

$$w_x = 0 \quad w_y = 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad w_z = 0$$

$$T = \frac{1}{2} I_y w_y^2$$

$$T_1 + \sum U_{1-2} = T_2 \quad (29)$$

$$T_1 - 1.56 \text{ N} \cdot \text{m} = \frac{1}{2} (0.136 \text{ kg} \cdot \text{m}^2) \left(2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)^2$$

$$T_1 = 1.83 \text{ N} \cdot \text{m}$$

La conclusión del estudio mecánico realizado anteriormente es que se necesitan 1.83 J de trabajo para que el cuerpo pase del reposo al movimiento rotatorio. Para generar el movimiento rotatorio se debe conseguir un actuador o motor que posea un torque igual o mayor al requerido.

2.4.3. Diseño y Construcción del Driver Controlador y Actuador del Sistema

En el mercado se encontró un motor DC con una caja multiplicadora de torque y un sistema de corona y tornillo sin fin DAIICHI KASEI (ver figura 2.33), sus características se muestran en la tabla 2.11.

Voltaje	Torque	Velocidad	Corriente	Material
24 V	1.96 N.m	16.5 ± 4 RPM	2.2 A	Plástico

Tabla 2.11: Características del motor DC DAIICHI KASEI

El motor que se va a utilizar en el sistema posee un mecanismo que permite mantener la posición de la matriz en el ángulo deseado sin necesidad de energizar el motor (ver figura 2.34), el diseño mecánico del motor permitirá ahorrar energía y simplificar el diseño de control.



Figura 2.33: Mecanismo de corona y tornillo sin fin del motor DC



Figura 2.34: Motor DC DAIICHI KASEI

El diagrama en bloques de la figura 2.31, grafica que el sistema de control necesita un driver controlador para la interfaz de corriente y para el control del sentido de rotación del motor. La forma más sencilla de controlar el giro de un motor DC es con un puente H, el cual permitirá unir la parte de control digital (micro controlador) y la potencia necesaria para alimentar al motor. El tipo de puente H que se escogió se muestra en la figura 2.35, el diseño consta de 2 transistores de potencia TIP 122 y 2 transistores complementarios TIP 127; estos transistores pueden manejar una corriente máxima de 5 A y un voltaje máximo de ±80 V. Los transistores de potencia son controlados por dos transistores

2N3904 y a la vez estos transistores los activará o desactivará el micro controlador.

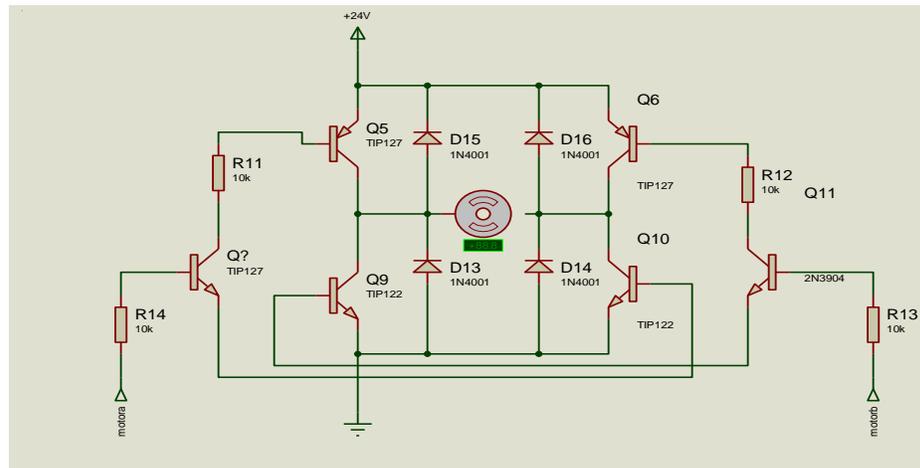


Figura 2.35: Diseño y simulación del puente H en Proteus

Con la simulación realizada se procede a diseñar la PCB del puente H y la fabricación del mismo (ver figura 2.36 y 2.37).

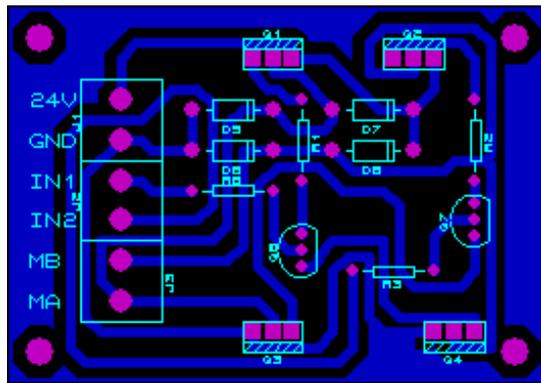


Figura 2.36: Diseño del PCB del puente H en Ares

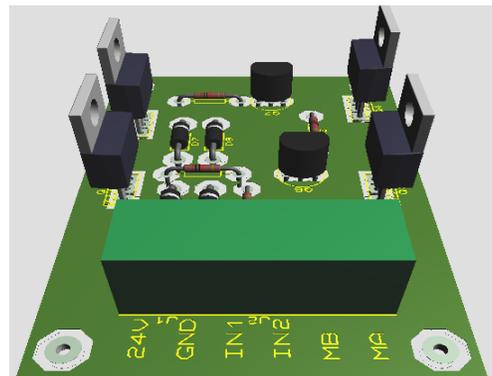


Figura 2.37: Fabricación del Puente H

2.4.4. Diseño y Construcción de la Fuente de Alimentación

El sistema electrónico necesita dos fuentes de corriente continua para la alimentación de la matriz de Leds, el motor DC y el sistema digital. La matriz de Leds y el motor necesitan un voltaje de +24V y una corriente de 2.2 A y el sistema digital necesita un voltaje de +5V y una corriente de 500mA. A continuación se realizará el cálculo de los valores de los componentes de la fuente.

Fuente de alimentación de +24V

V_i = Voltaje de ingreso de la fuente de alimentación

V_s = Voltaje de salida de la fuente de alimentación

V_p = Voltaje de pico

V_{Cmax} = Voltaje máximo del condensador

V_{Cmin} = Voltaje mínimo del condensador

C = Valor del condensador

$I = 2.2 \text{ A}$

$V_s = +24 \text{ V}$ $V_i = +26.2 \text{ V}$

$$V_p = V_i \cdot \sqrt{2} = 37.05 \text{ V}$$

$$V_{Cmax} = V_p - V_D$$

$$V_{Cmax} = 37.05 \text{ V} - 1.4 \text{ V} = 35.65 \text{ V}$$

$$V_{Cmin} = 26 \text{ V}$$

$$V_C = \frac{V_{Cmax} + V_{Cmin}}{2}$$

$$V_C = \frac{35.65 \text{ V} + 26 \text{ V}}{2} = 30.82 \text{ V}$$

$$\Delta V = V_{Cmax} - V_{Cmin}$$

$$\Delta V = 35.65 \text{ V} - 26 \text{ V} = 9.65 \text{ V}$$

$$C = \frac{I \cdot t}{\Delta V}$$

$$C = \frac{(2.2 \text{ A})(8.33 \text{ ms})}{9.65 \text{ V}} = 1899 \text{ uF}$$

Características de los componentes de la fuente de alimentación de +24V

$$C = 2200 \text{ uF}/35\text{V}$$

$$\text{Puente Rectificador} = 3\text{A}/100\text{V}$$

$$CI = 7824/1\text{A}$$

$$\text{Transistor} = 3\text{A}/100\text{V}$$

$$\text{Transformador} = 110\text{V}/24\text{V}/52.8\text{VA}$$

Fuente de alimentación de +5V

$$I=500 \text{ mA}$$

$$V_s = +5 \text{ V} \quad V_i = +13.1 \text{ V}$$

$$V_p = V_i \sqrt{2} = 18.53 \text{ V}$$

$$V_{Cmax} = V_p - V_D$$

$$V_{Cmax} = 18.53 \text{ V} - 1.4 \text{ V} = 17.13 \text{ V}$$

$$V_{Cmin} = 7 \text{ V}$$

$$V_C = \frac{V_{Cmax} + V_{Cmin}}{2}$$

$$V_C = \frac{17.13 \text{ V} + 7 \text{ V}}{2} = 12.01 \text{ V}$$

$$\Delta V = V_{Cmax} - V_{Cmin}$$

$$\Delta V = 17.13 \text{ V} - 7 \text{ V} = 10.13 \text{ V}$$

$$C = \frac{I \cdot t}{\Delta V}$$

$$C = \frac{(0.5 \text{ A})(8.33 \text{ ms})}{10.13 \text{ V}} = 412 \text{ uF}$$

Características de los componentes de la fuente de alimentación de +5V

$$C = 470 \text{ uF}/16\text{V}$$

$$\text{Puente Rectificador} = 1\text{A}/50\text{V}$$

$$CI = 7805/1\text{A}$$

$$\text{Transformador} = 110\text{V}/12\text{V}/6 \text{ VA}$$

El diseño de las fuentes de alimentación del sistema son diseños convencionales y simples, excepto por el transistor de potencia que se agrega a la fuente de +24 V para aumentar el suministro de corriente (ver anexo 4). Conocidos los valores de los elementos para la fuente, se procede a realizar el diseño eléctrico, simulación y la fabricación de la PBC (ver figura 2.38 y 2.39).

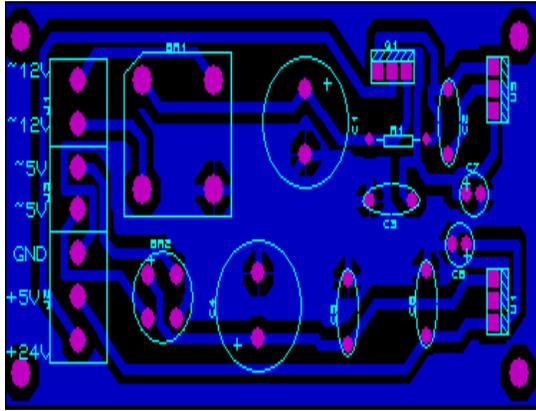


Figura 2.38: Diseño del PCB de la fuente de alimentación



Figura 2.39: Construcción del PCB de la fuente de alimentación

El transistor de potencia y los reguladores de voltaje necesitan un disipador de calor para la eficiencia de la fuente y aumentar la vida de trabajo de la fuente. La corriente máxima que debe suministrar la fuente es igual a la corriente máxima de consumo del motor, no se adiciona la corriente consumida por la matriz de Leds, ya que el control del motor y de la matriz no se los ejecutará simultáneamente.

Para el cálculo de los disipadores de calor de la fuente de alimentación se utilizará la ecuación 21. El transistor de potencia que se utilizará para la fuente es el TIP 42C y cuyas características térmicas son: $T_j=150\text{ }^\circ\text{C}$, $R_{jc}=1.92\text{ }^\circ\text{C/W}$, $R_{cd}=1.4\text{ }^\circ\text{C/W}$ y $P=10.8\text{ W}$.

$$R_{da} = \frac{(0.6)(175\text{ }^\circ\text{C}) - 25\text{ }^\circ\text{C}}{10.8\text{ W}} - \left(1.92\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + 1.4\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}\right) = 4.1\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

Los reguladores de voltaje 7805 y 7824 tienen las siguientes características térmicas: $T_j=150\text{ }^\circ\text{C}$, $R_{jc}=5\text{ }^\circ\text{C/W}$, $R_{cd}=1.4\text{ }^\circ\text{C/W}$ y $P= 3.6\text{ W}$.

$$R_{da} = \frac{(0.6)(125^{\circ}\text{C}) - 25^{\circ}\text{C}}{3.6\text{ W}} - \left(5 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 1.4 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right) = 7.5 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Los valores de resistividad térmica obtenidos son cercanos a las características del disipador de calor para el Led (ver figura 2.9), por lo tanto se utilizará el mismo tipo de disipador de los Leds para la fuente de alimentación.

2.4.5. Diseño y Construcción del Control de Posicionamiento de la Matriz

En la figura 2.28 se observa los tipos de cunas tratantes para los RN (termocunas, incubadoras y cunas de calor radiantes), a los cuales el sistema debe reconocer para el posicionamiento de la matriz.

La forma más sencilla con la que el sistema puede reconocer los diferentes tipos de cunas con sensores de ultrasonido es reconociendo la ubicación de la lámpara. En un termo cuna la lámpara es ubicada a una distancia horizontal menor a 5 cm y a una distancia vertical mayor a 20 cm; en una incubadora la lámpara debe ser ubicada a una distancia horizontal menor a 5 cm y a una distancia vertical menor a 10 cm; en una cuna termo radiante la lámpara debe ser ubicada a una distancia mayor a 15 cm.

La superficie de las incubadoras poseen formas diferentes, pueden ser circulares, planas o inclinadas; es por esto que a la matriz se le debe adicionar un sensor de ultrasonido para detectar las diferentes formas de superficies (ver figura 2.40 y 2.41).

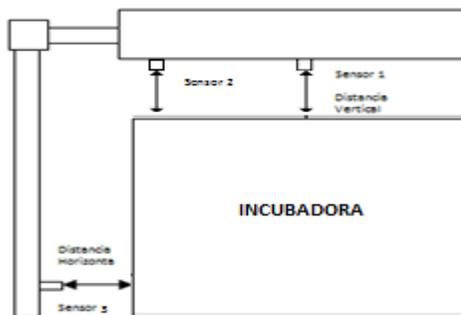


Figura 2.40: Bosquejo de la lámpara de fototerapia con una incubadora de superficie plana

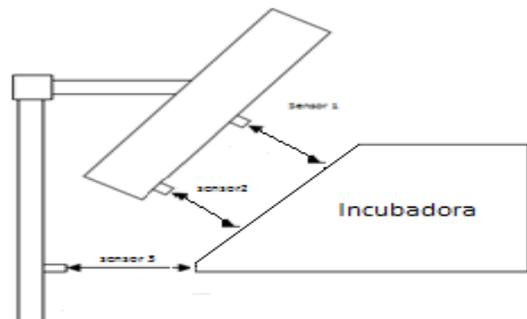


Figura 2.41: Bosquejo de la lámpara de fototerapia con una incubadora de superficie inclinada

El sensor 3, es el encargado de leer la distancia horizontal entre la lámpara y las cunas tratantes. En la tabla 2.12 se describe la forma de identificación de las cunas.

SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	TIPO DE CUNA
< 5 cm	< 5 cm	< 5 cm	Incubadora de superficie plana
> 5 cm	< 5 cm	< 5 cm	Incubadora de superficie inclinada
> 5 cm	> 5 cm	< 15 cm	Termocuna
> 5 cm	> 5 cm	> 15 cm	Cuna de calor radiante

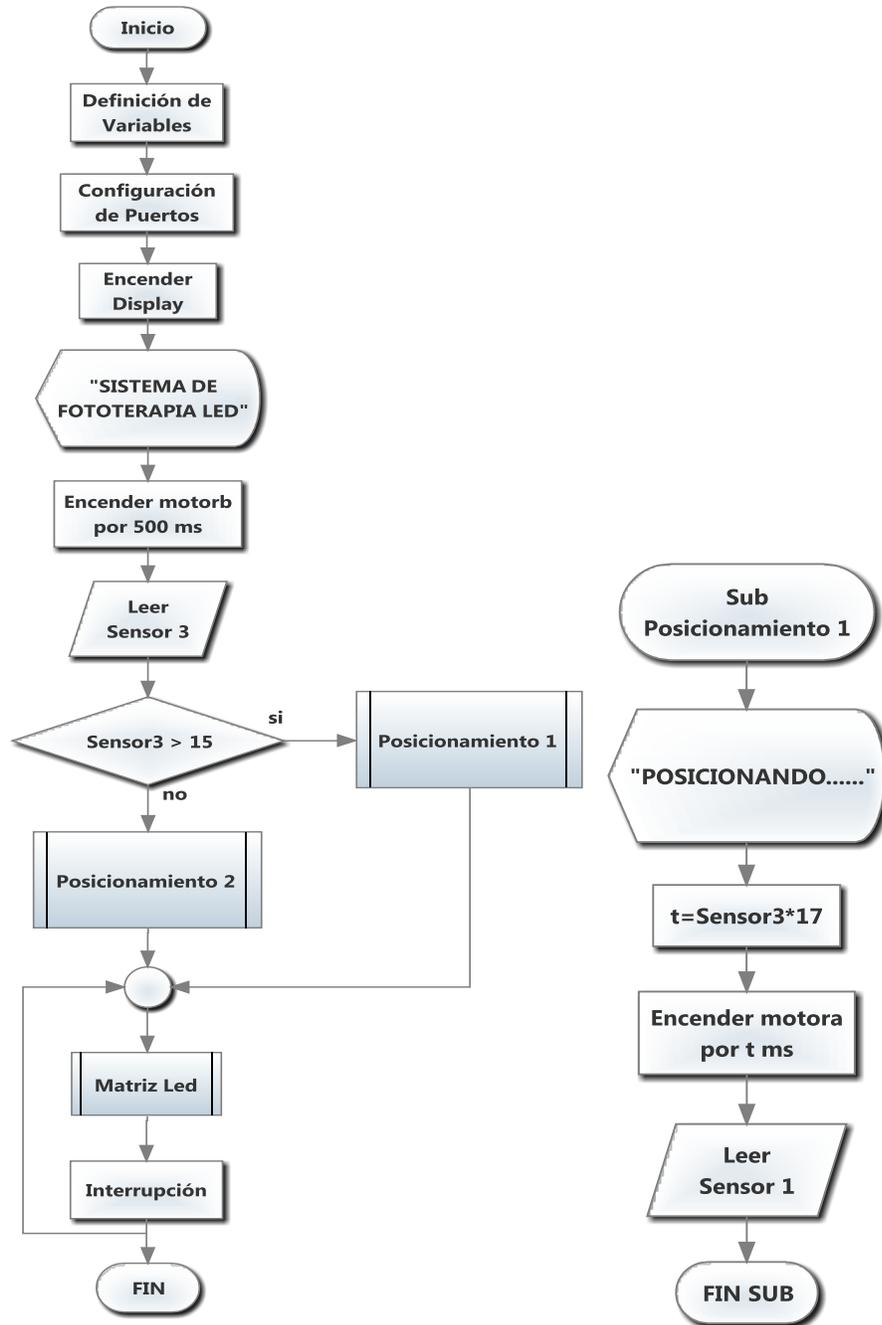
Tabla 2.12: Valores identificativos para la identificación de cunas

El siguiente paso después de identificar el tipo de cuna en donde se va aplicar el tratamiento es asignar un ángulo de inclinación a la matriz, el ángulo va a depender de la distancia horizontal entre la lámpara y la cuna. Hay que resaltar que el ángulo de inclinación para la incubadora y la termocuna serán constantes, mientras que para la cuna de calor radiante el ángulo de inclinación dependerá directamente de la distancia horizontal.

Cuando el sistema se enciende el microcontrolador PIC16F816A envía un mensaje de presentación “SISTEMA DE FOTOTERAPIA LED” para ser visualizado mediante el display, inmediatamente se envía una orden para que la matriz se ubique en su posición inicial (esto es en un ángulo de 0°). El posicionamiento dependerá de la información que entregue el sensor 3 al microcontrolador, esto definirá las tres propuestas de posicionamientos para la lámpara de fototerapia.

La subrutina para el posicionamiento 1 es para distancias mayores a 15 cm, y el tiempo de activación del motor es proporcional a la distancia de horizontal entre la lámpara y la cuna (cunas de calor radiante e incubadoras); para distancias menores a 15 cm está la subrutina de posicionamiento 2 y el tiempo de activación del motor dependerá de la distancia horizontal y vertical (termocunas). El posicionamiento 3 es para las incubadoras cuya distancia vertical con la lámpara deberá ser menor a 5 cm.

El programa que se debe asignar al micro controlador para el control de posicionamiento se describirá en un diagrama en bloques a continuación en la figura 2.42.



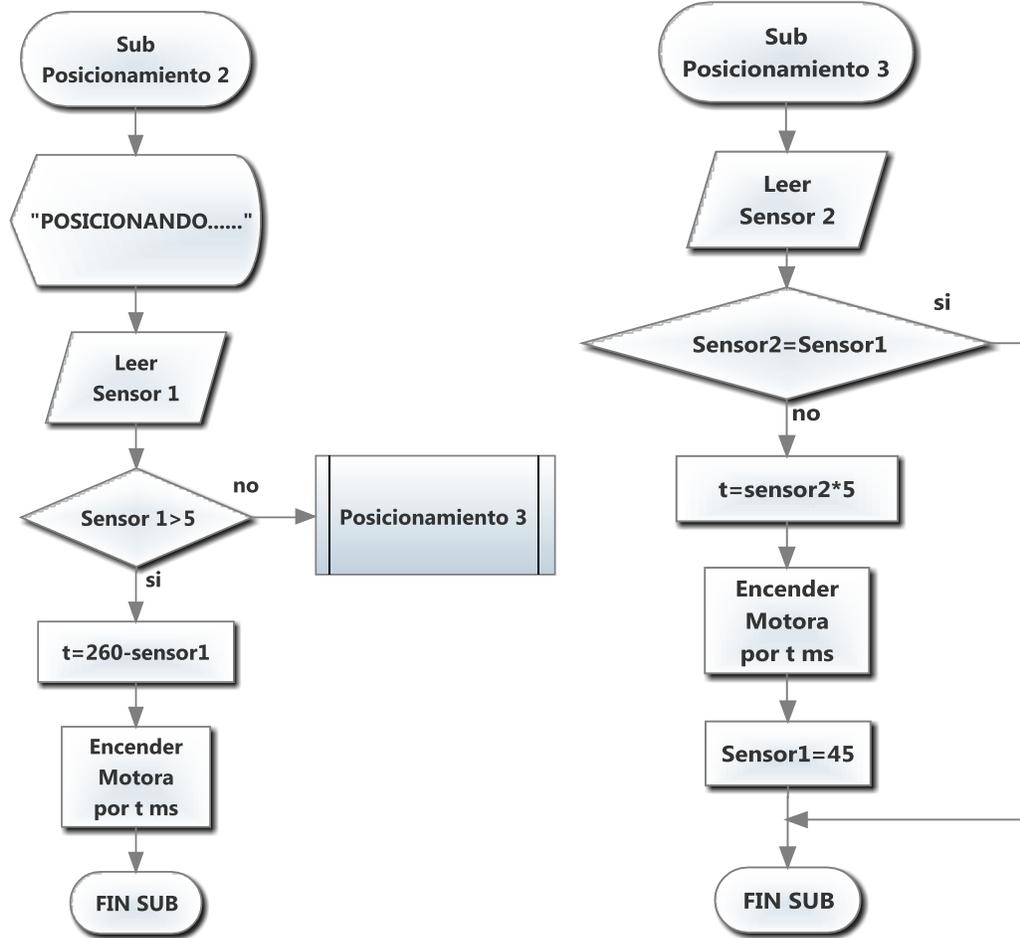


Figura 2.42: Diagrama de flujo del programa de control de posicionamiento de la matriz de Leds

CAPITULO 3:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO DE LA LAMPARA

3.1. DISEÑO MECÁNICO DE LA LÁMPARA

El diseño de todo el sistema mecánico se realizó el programa Autodesk Inventor, a continuación se describirá todas las piezas mecánicas que conforman la lámpara.

3.1.1. Diseño Mecánico de la Matriz de Leds

En el capítulo 2 se definió la forma que debe tener la base de la matriz de Leds (ver figura 3.1), la base debe tener 12 agujeros para los Leds, 4 agujeros para los dos sensores de ultrasonido y 6 agujeros para acoplar la base al sistema mecánico. Además la base tiene agujeros en el costado derecho para el acoplamiento eléctrico en el sistema mecánico; las dimensiones de las características de la base de la matriz se encuentran en el Anexo 5. A la base se debe soldar una pieza de aluminio para acoplar el motor al sistema (ver figura 3.2), la cual tendrá dimensiones similares a las del motor y poseerá 3 agujeros para acoplar la base al motor, sus dimensiones se especifican en el Anexo 6.

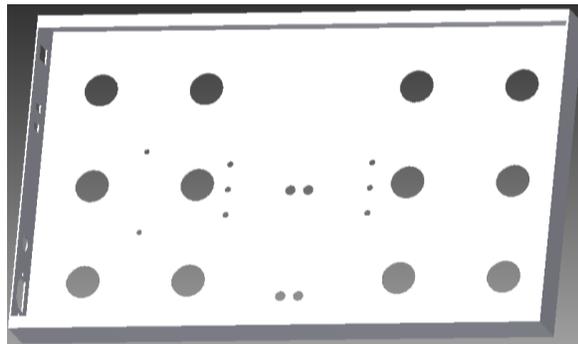


Figura 3.1: Diseño de la Base de la Matriz

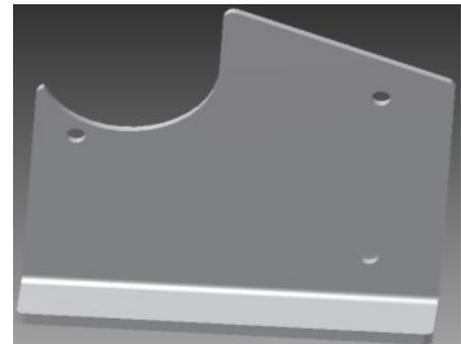


Figura 3.2: Diseño de la Base del motor

Para los Leds se construirá un porta led de Grillon (plástico), los cuales se sujetarán a la base con un anillo de goma y sujetarán a los Leds mediante presión (ver figura 3.3). Las dimensiones se especifican en el Anexo 7.

La base de la matriz se acoplará al sistema mecánico mediante dos bases de aluminio, estas bases poseen 3 orificios roscados para la entrada de tornillos en

su parte inferior y un orificio lateral para la ubicación de un rodamiento como se muestra en la figura 3.4. Las dimensiones se especifican en el Anexo 8.

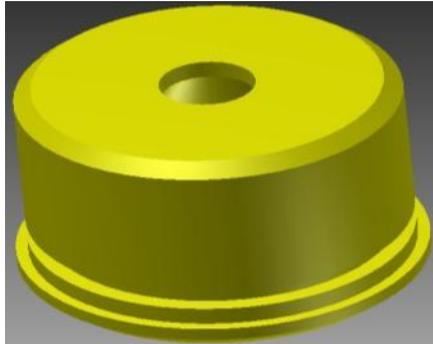


Figura 3.3: Diseño del Porta Leds

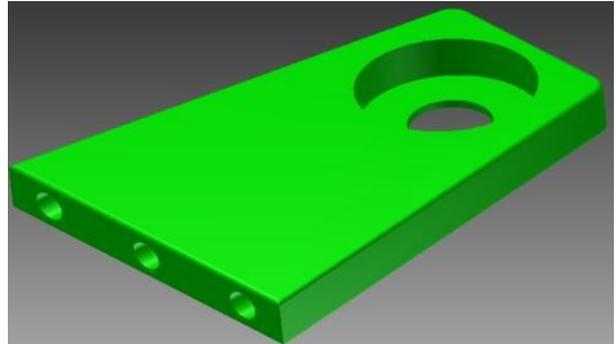


Figura 3.4: Diseño de la Base de Aluminio

A las bases de aluminio las atraviesa un eje de acero de transmisión (para aumentar la transmisión del movimiento que viene desde el motor) como se muestra en la figura 3.5, las dimensiones se especifican en el Anexo 9. El eje también atraviesa el brazo superior de la lámpara (ver figura 3.6), y esta soportado por dos bujes de grillón en cada extremo del eje. Las dimensiones del brazo superior se especifican en el Anexo 10.

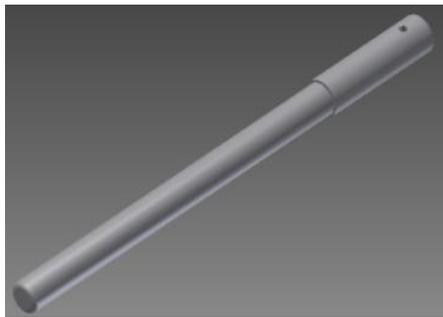


Figura 3.5: Diseño del Eje de Acero

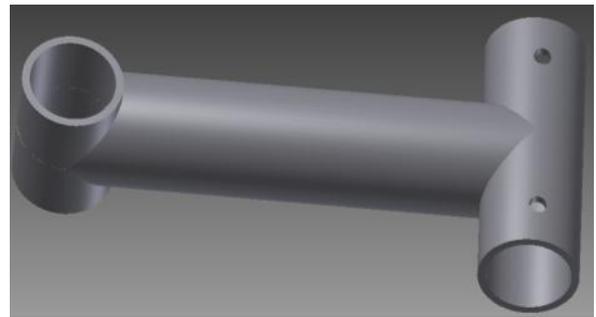


Figura 3.6: Diseño del Brazo superior

Los bujes de grillón (ver figura 3.7) es una simple pieza que sujeta el eje de acero en un punto de unión para que la matriz se apoye sobre el brazo superior, las dimensiones se especifican en el Anexo 11. El brazo superior posee una tapa metálica que permite guardar un perno para conectar el brazo superior con la estructura de la lámpara (ver la figura 3.8), las dimensiones se especifican en el Anexo 12.

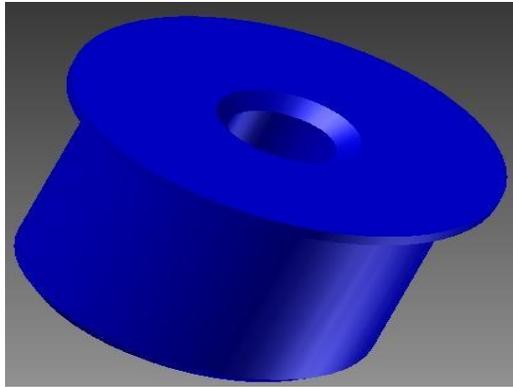


Figura 3.7: Diseño de Buje de grillón para el brazo superior

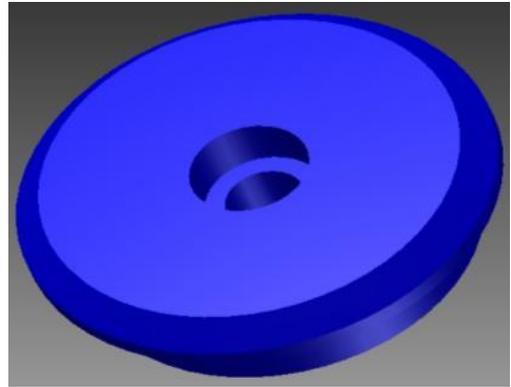


Figura 3.8: Diseño de Tapa metálica para brazo superior

La parte superior de la lámpara necesita una cubierta para ocultar los accesorios mecánicos y electrónicos de la matriz de Leds (ver figura 3.9), las dimensiones de la cubierta se especifican en el Anexo 13.

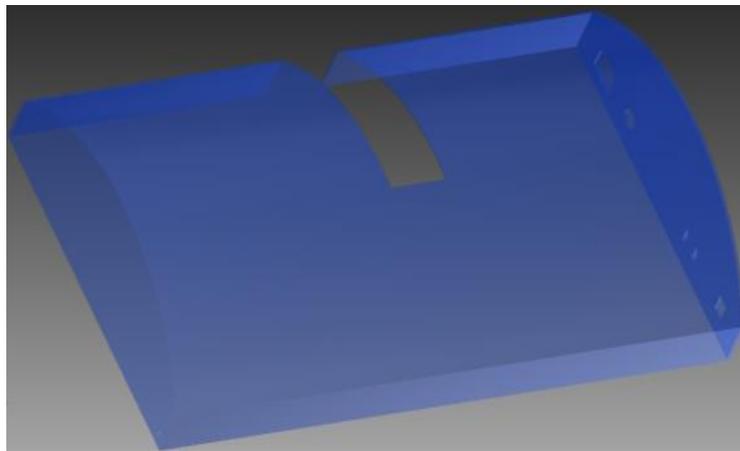


Figura 3.9: Diseño de la cubierta de la matriz

3.1.2. Diseño Mecánico de la Base y Cuerpo de la Lámpara de Fototerapia

La base de la lámpara debe brindar dos características al cuerpo: estabilidad y movilidad.

Basándose en las dimensiones de la base de la matriz, la base del cuerpo de la lámpara debe poseer las dimensiones iguales o mayores a las de la matriz para la estabilidad del cuerpo. Para que la lámpara provea la capacidad de movilizarse con gran facilidad y sin tener que aplicar mucha fuerza, a la base se le debe agregar ruedas que resistan el peso de la lámpara; además las ruedas deben

poseer frenos para no afectar la estabilidad de la lámpara (ver figura 3.10). Las dimensiones se especifican en el Anexo 14.

El cuerpo de la lámpara consta de tres partes: un tubo parante inferior, un tubo de soporte superior y un seguro roscado. El tubo inferior posee una placa soldada con dos agujeros para unirse con la base (ver figura 3.11), las dimensiones se especifican en el Anexo 15.

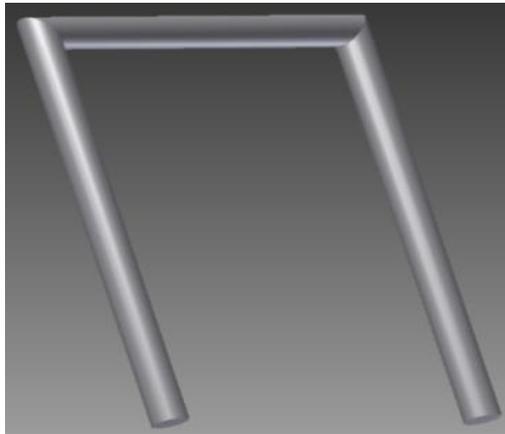


Figura 3.10: Diseño de la base de la Lámpara



Figura 3.11: Diseño del tubo parante inferior

El tubo de soporte superior debe tener un diámetro menor al del tubo parante inferior para que las dos piezas puedan unirse sin la necesidad de una adhesión fija (pegamento, tornillos o soldaduras). El tubo superior tiene una tapa soldada en su parte superior, la cual posee un orificio roscado para el perno del brazo superior (ver figura 3.12), las dimensiones se especifican en el Anexo 16.

El cuerpo vertical de la lámpara debe dividirse en dos tubos de diferente diámetro para variar la altura de la lámpara. La unión de los tubos y la regulación de la altura depende de un accesorio que permita asegurar y liberar el tubo móvil del tubo fijo; un seguro roscado de grillón (ver figura 3.13) será el accesorio que permitirá liberar o restringir el movimiento de los tubos, las dimensiones del seguro roscado se especifican en el Anexo 17.

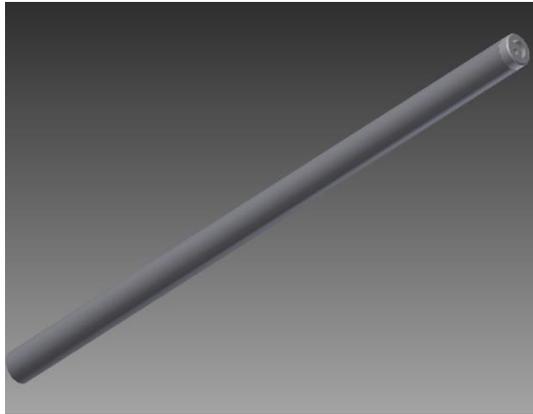


Figura 3.12: Diseño de tubo de soporte superior

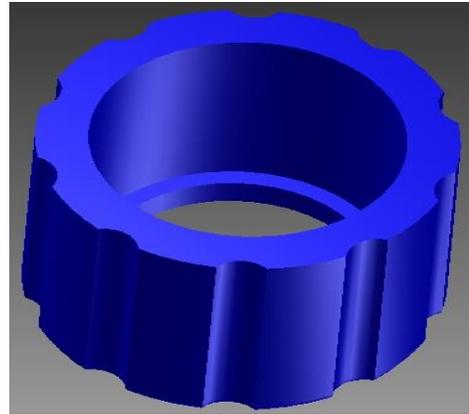


Figura 3.13: Diseño de Seguro roscado de grillón

El ensamblaje de todas las piezas diseñadas forma el siguiente diseño de la lámpara de fototerapia ensamblada (ver figura 3.14), las dimensiones se especifican en el Anexo 18.



Figura 3.14: Diseño de la Lámpara de Fototerapia

3.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MECÁNICO

En la tabla 2.7 se realizó una comparación de características entre el aluminio y el acero inoxidable; para la construcción del cuerpo de la lámpara es necesario un material con gran resistencia mecánica y resistente a la oxidación. Según la comparación de la tabla 11, el material que se va a utilizar para la construcción del cuerpo de la lámpara será el acero inoxidable por su alta resistencia a la oxidación, resistencia mecánica y su presentación (brillo y buena presencia), es decir, el material no necesita de un tratamiento especial para su acabado.

La construcción de la base de la matriz se la estudió en el capítulo 2, la base del motor y las bases son construidas con aluminio y son pintados con la misma pintura de la base de la matriz (ver figura 3.15).

El eje de rotación es construido con acero de transmisión, este material asegura el movimiento rotacional y la transmisión de energía a lo largo del eje. El acero es cortado y torneado hasta que el material tome las dimensiones deseadas (ver figura 3.16).



Figura 3.15: Construcción de las piezas de Aluminio



Figura 3.16: Construcción del Eje de rotación

El porta Led, los bujes del brazo superior y el seguro roscado son construidos con un material llamado grillón, estos son torneados hasta adquirir la forma del diseño realizado (ver figura 3.17).



Figura 3.17: Construcción de las piezas de grillón (seguro roscado, porta Led y los bujes del brazo superior)

La base de la matriz necesita una cubierta para ocultar todos los accesorios y conexiones eléctricas y electrónicas del sistema. La cubierta conformará un solo cuerpo con la base de matriz, es por esto que el material y la forma de la misma debe afectar en lo mínimo posible al modelo mecánico de rotación. El material con el que se va a construir la cubierta es el acrílico, este material es muy liviano y resistente, además la forma semicilíndrica que tendrá la cubierta asegura el mínimo impacto en el estudio mecánico rotacional del sistema (ver figura 3.18).

La base de la lámpara es construida con tubos de acero inoxidable de 1 1/2", consta de tres tubos de 50 cm soldados en forma de C y cuatro garruchas (llantas) con frenos (ver figura 3.19).



Figura 3.18: Construcción de la cubierta de la matriz



Figura 3.19: Construcción de la base de la lámpara

La base de la lámpara posee dos orificios en el centro del tubo transversal, estos orificios sirven para la unión de la base con el tubo parante inferior de la lámpara. El tubo parante inferior tiene el mismo diámetro del tubo de la base, además tiene soldado en un extremo una platina semicilíndrica para unirla con la

base, en el otro extremo tiene un roscado externo con cuatro cortes transversales para completar el mecanismo del seguro roscado (ver figura 3.20).

El tubo de soporte superior tiene un diámetro menor al tubo parante inferior (1 1/4"), además en un extremo posee una tapa con roscado interno para la unión de esta pieza con la base superior (ver figura 3.21).



Figura 3.20: Construcción del tubo parante inferior



Figura 3.21: Construcción del tubo de soporte superior

El brazo superior es una pieza compuesta por tres pedazos de tubo de 1 1/2" de diámetro que conecta el cuerpo de la lámpara con la matriz, además tiene una tapa que sirve para albergar al tornillo que une el tubo de soporte inferior con el brazo (ver figura 3.22).



Figura 3.22: Construcción del Brazo Superior

3.3. ACOPLAMIENTO DEL SISTEMA

3.3.1. Acoplamiento Mecánico

Todas las piezas mecánicas descritas anteriormente son fácilmente desmontables, pero para facilidad de transporte y ensamblaje la lámpara se la dividirá en 3 partes: Base (base de la lámpara), Cuerpo (tubo parante inferior, tubo soporte superior y seguro roscado) y Matriz (Matriz de Leds, bases de aluminio, eje, bujes y brazo superior).

El ensamblaje mecánico se lo realizará con pernos de acero inoxidable con cabeza hexagonal interna (pernos allen).

La matriz al componerse de varios cuerpos necesita acoplarse para formar una sola pieza. Las bases de aluminio deben ser unidas a la base de la matriz mediante 6 pernos de 6 mm x 1/2", de igual forma la cubierta debe sujetarse a la base de la matriz mediante 4 pernos de 5 mm x 1/2".

Para la unión de la base con el cuerpo se utilizará pernos de 8 mm x 2" de largo y tuercas de seguridad, para la unión del cuerpo con la matriz se utiliza un perno de 8mm x 1" (ver figura 3.23).



Figura 3.23: Pernos utilizados para el acoplamiento mecánico

Con todas las partes mecánicas construidas y acopladas se termina la construcción de la Lámpara de fototerapia (ver figura 3.24).



Figura 3.24: Lámpara de Fototerapia

3.3.2. Acoplamiento Electrónico

Una vez que todas las partes mecánicas sean construidas y el ensamblaje mecánico sea realizado, el ensamblaje electrónico es el siguiente paso en la construcción de la lámpara de fototerapia.

Las PCBs (fuente de alimentación, puente H y control digital) poseen borneras para su interconexión y la conexión de los dispositivos eléctricos y electrónicos. En la base de la matriz existe un espacio estratégico reservado con tornillos para anclar las PCBs en la parte mecánica del sistema (ver figura 3.25).

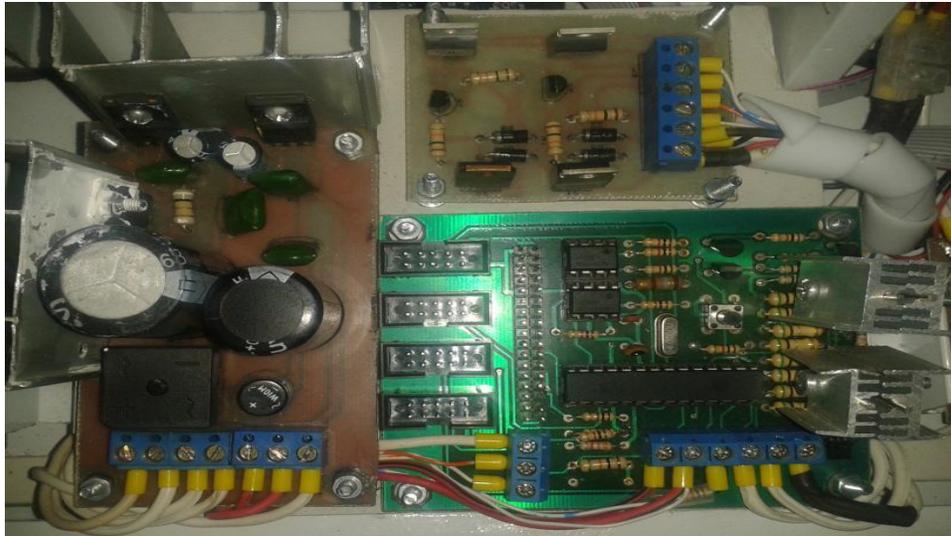


Figura 3.25: Instalación y conexión de las PCBs en la matriz

En la lámpara existen dispositivos electrónicos que se encuentran alejados del lugar donde están ancladas las tarjetas electrónicas (sensores de ultra sonido y LCD). Los sensores de ultrasonido se encuentran en dos diferentes lugares de la lámpara, dos sensores de encuentran de la base de la matriz y un tercero en el tubo parante inferior (ver figura 3.26).

A los sensores se les debe acoplar un puerto de 10 pines para la comunicación con la tarjeta de control digital mediante un bus de 10 hilos (ver figura 3.27).



Figura 3.26: Ubicación de sensores de ultrasonido en la lámpara



Figura 3.27: Conexión de sensor de ultrasonido con el bus de datos

La pantalla LCD del sistema se encuentra ubicada en la parte interna de la cubierta de acrílico de la matriz, como se muestra en la figura 3.28. El dispositivo se conecta a través de un bus de datos de 34 hilos a la tarjeta de control (ver figura 3.29).



Figura 3.28: Ubicación del LCD en la Lámpara *Figura 3.29: Conexión del LCD con el bus de datos*

El sistema cuenta para su funcionamiento con transformadores, switches y un ventilador. Todos estos componentes se encuentran sujetos a la base de la matriz mediante pernos (transformadores), pegamento (sensores, cables y ventiladores) y auto sujetos, como es el caso de los switches.

Las piezas eléctricas se interconectan por cables de cobre y son guiados dentro de un canal plástico adherido a la matriz (ver figura 3.30).



Figura 3.30: Acoplamiento electrónico y eléctrico de la matriz de Leds

CAPITULO 4

PRUEBAS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se presentarán los resultados obtenidos de las pruebas a las que la lámpara de fototerapia construida fue sometida. La lámpara de fototerapia con sistema de control digital de luminosidad es un equipo médico, por lo tanto el equipo debe trabajar en un ambiente séptico y cuidar una vida humana; por lo que el equipo médico debe ofrecer confiabilidad de su funcionamiento y garantía de resultados en el paciente.

La lámpara debe ser sometida a pruebas de funcionamiento eléctrico-electrónico según la norma ANSI-IEC 60601-1, compatibilidad electromagnética ANSI-IEC 60601-1-2 y constancia de requisitos particulares para la seguridad básica y funcionamiento esencial de equipamiento de fototerapia para niños ANSI-IECE 60601-2-50.

El lugar escogido para realizar las pruebas mencionadas será el Hospital Regional de Loja “Isidro Ayora” ubicado en la ciudad de Loja, bajo la tutela y supervisión del personal médico encargado de las áreas de neonatología y de mantenimiento de equipo médico.

4.1. ENTORNO DE PRUEBAS

4.1.1. Pruebas de Funcionamiento

El tratamiento de fototerapia consiste en someter al RN (recién nacido) a una radiación de luz azul durante un tiempo indeterminado. El tratamiento puede llegar a tener una duración de 24 hasta 120 horas consecutivas y la lámpara de fototerapia debe garantizar la emisión de luz constante en todo momento. Por esta razón es necesario realizar pruebas de estabilidad lumínica y rendimiento del sistema.

PRUEBA 1

Esta primera prueba de funcionamiento se la realiza en las condiciones más bajas de temperatura a las que el equipo estará sometido (temperatura ambiente 25°C).

En estas condiciones se medirá la luminancia de la lámpara con un Luxómetro Pro'sKit MT-1620 a 45 cm (ver figura 4.1 y 4.2).

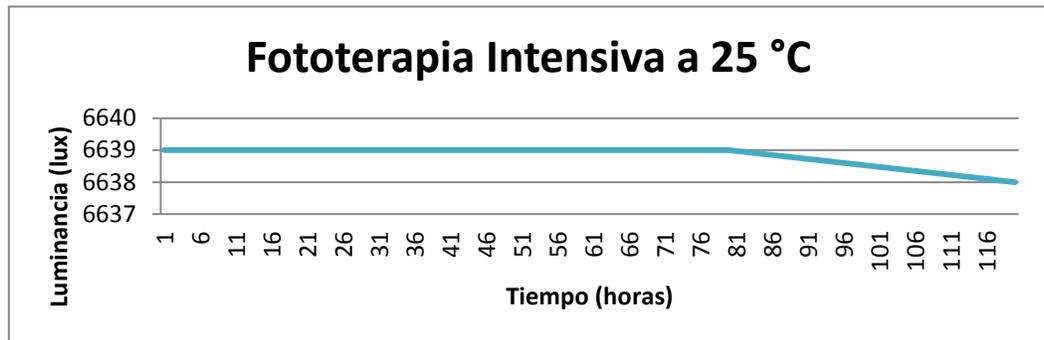


Figura 4.1: Gráfica de la Luminancia de la fototerapia intensiva a 25 °C de temperatura ambiente

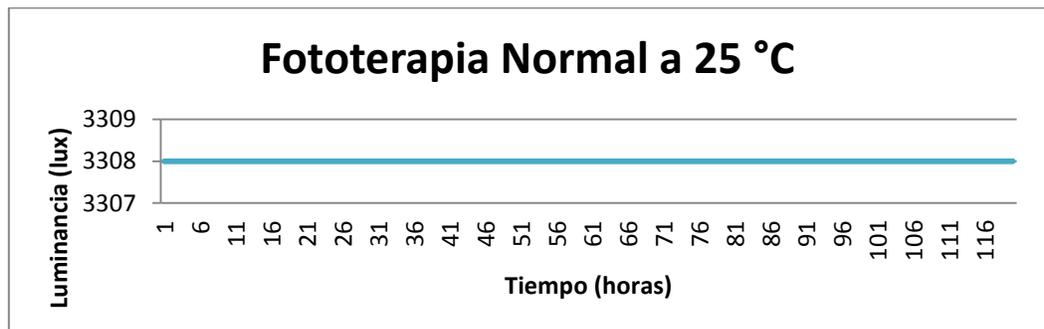


Figura 4.2: Gráfica de la Luminancia de la fototerapia normal a 25 °C de temperatura ambiente

PRUEBA 2

En cunas termo radiantes la lámpara de fototerapia es sometida a una temperatura de trabajo de 35 °C, es por esta razón que se debe realizar pruebas de funcionamiento en estas condiciones (ver figura 4.3 y 4.4).

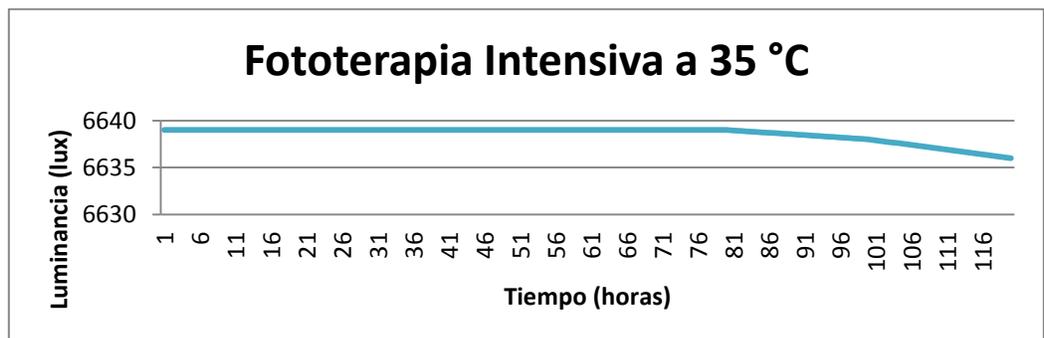


Figura 4.3: Gráfica de la Luminancia de la fototerapia intensiva a 35 °C de temperatura ambiente

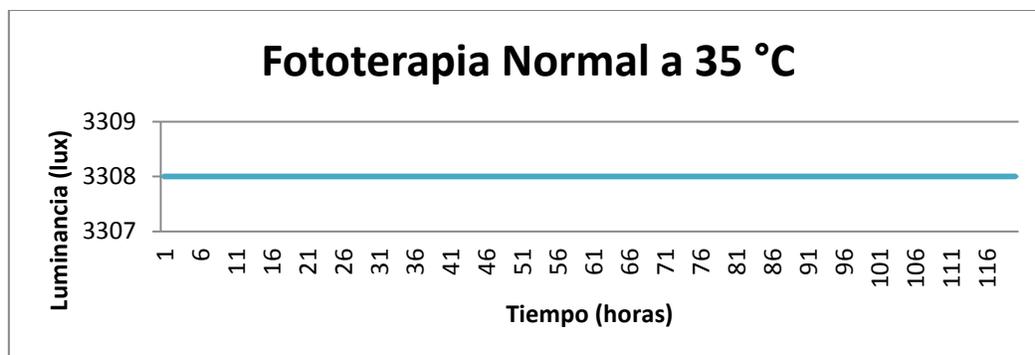


Figura 4.4.: Gráfica de la Luminancia de la fototerapia normal a 35 °C de temperatura ambiente

PRUEBA 3

Se debe realizar pruebas de seguridad y eficacia eléctrica según la norma IEC 60601-1 para equipos electro médicos. En la tabla 4.1 se exponen los resultados de las pruebas.

PRUEBAS	RESULTADOS
Clasificación	Clase 1
Test de verificación de protección de tierra	
Test de continuidad de tierra	0.8 Ω
Test de “bondad” de la tierra	50 mΩ
Test de aislación del dieléctrico	
AC hipot	N/A
DC hipot	N/A
Test de alta resistencia	
Test de aislación de tierra	0.2 nA a 220 V
Test de corrientes de fuga	
Line Leakage	0.28 mA a 132 V

Tabla 4.1: Resultados de las pruebas de la norma IEC 60601-1

Los resultados mostrados en la tabla 4.1 son satisfactorios, se encuentran dentro de los rangos establecidos dentro de la norma especificada.

PRUEBA 4

Todos los equipos electrónicos deben tener la capacidad de trabajar en ambientes influenciados por energías electromagnéticas que otros equipos emiten. Por esta razón se debe realizar pruebas de compatibilidad electromagnética según la norma IEC 60601-1-2 (ver tabla 4.2).

Test de Inmunidad	Test de nivel IEC 60601	Nivel de Conformidad
Descarga electrostática (ESD)	±6 kV conducido ±8 kV aire	±1 kV conducido ±2 kV aire
Pruebas eléctricas rápidas	±2 kV para líneas de suministro ±1 kV para líneas de entrada/salida	N/A N/A
Frecuencia de red (50/60 Hz) Campo Magnético	3A/m	3A/m
RF conducido	3V 150kHz a 80MHz	5V/m
RF no conducido	3V 80MHz a 2.5GHz	N/A

Tabla 4.2: Resultados obtenidos de las pruebas especificadas según la norma IEC 60601-1-2

Los resultados de las pruebas 3 y 4 fueron realizados y comprobados por el personal del departamento de mantenimiento, la certificación comprobatoria del buen funcionamiento y cumplimiento de todas las normas para equipos médicos se encuentra en el Anexo 1.

4.1.2. Pruebas Médicas

PRUEBA 1

En el Servicio de Neonatología del Hospital Provincial Isidro Ayora de Loja, se ingresó al RN1 el día 02 de Octubre del presente año con Diagnóstico de RNatPAEG + Hiperbilirrubinemia Multifactorial, a quién en su tratamiento por sus valores de altas bilirrubinas totales se le instauró Fototerapia intensiva con luz azul (ver figura 4.5), además lactancia materna y antibioticoterapia por sus factores de riesgo para Sepsis. El día 7 y 8 de Octubre se efectúa nuevo control de bilirrubinas reportando valores de 8.66 y 8.69 mg/dl, por lo que se decide dar el alta al paciente por la evolución favorable que presentó ante el tratamiento instaurado, como se muestra en la figura 4.6.

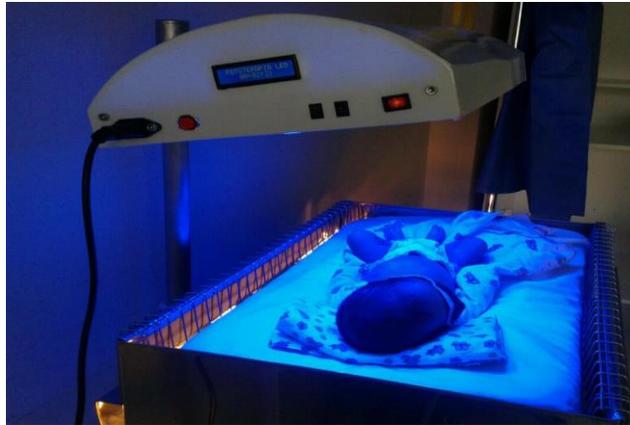


Figura 4.5: Imagen del RN1 en una Termocuna sometido a Fototerapia Intensiva

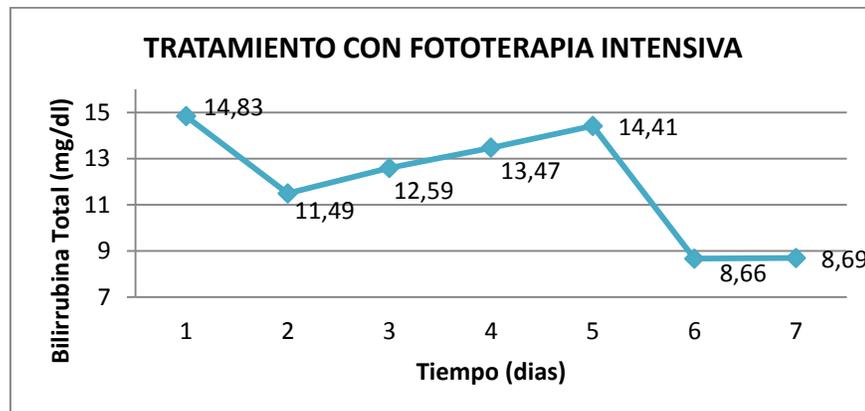


Figura 4.6: Gráfica de valores de bilirrubina del RN1 sometido a Fototerapia Intensiva

PRUEBA 2

El día 22 de Octubre del presente año se ingresó al RN2 con Diagnóstico de RNatPAEG + Hiperbilirrubinemia por incompatibilidad AOB, a quién en su tratamiento por sus valores de altas bilirrubinas totales se le instauró Fototerapia intensiva con luz azul (ver figura 4.7), además lactancia materna y antibioticoterapia por sus factores de riesgo para Sepsis. El día 29 y 30 de Octubre se efectúa nuevo control de bilirrubinas reportando valores de 9.16 y 9.21 mg/dl, por lo que se decide dar el alta al paciente por la evolución favorable que presentó ante el tratamiento instaurado, como se muestra en la figura 4.8.



Figura 4.7: Imagen del RN2 en una cuna termo radiante sometido a Fototerapia Intensiva

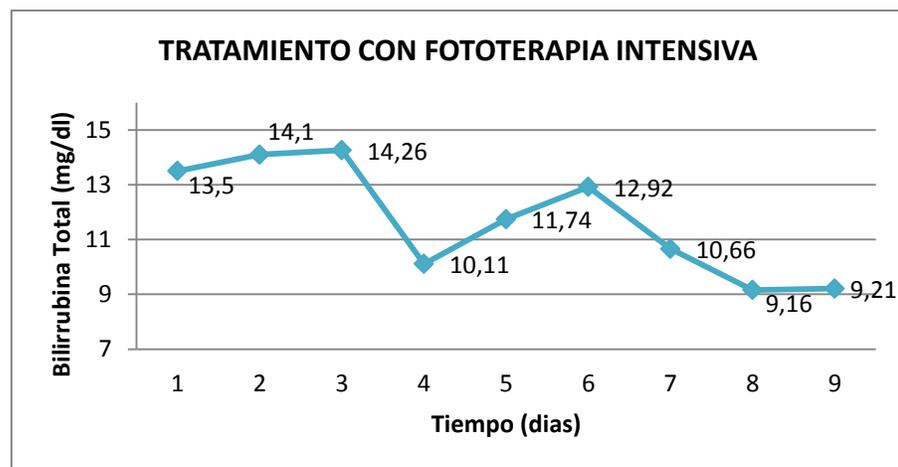


Figura 4.8: Gráfica de valores de bilirrubina del RN2 sometido a Fototerapia Intensiva

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1. Análisis de Resultados de Funcionamiento

- Cuando la lámpara de fototerapia funciona en conjunto con temocunas o incubadoras, la temperatura de trabajo es la temperatura ambiente preestablecida (25 °C). En la Prueba 1 los valores de luminancia obtenidos muestran estabilidad lumínica para el tratamiento de fototerapia normal durante las 120 horas de funcionamiento continuo, mientras que en el tratamiento de fototerapia intensivo hay un decremento de 1 lux en la

muestra final de la prueba. Los valores de luminancia medidos para el tratamiento normal e intensivo son bastante cercanos a los valores que se establecieron durante el cálculo lumínico (6744 lux y 3292 lux).

- Las cunas de calor radiante emiten calor desde un radiador que se encuentra a 50 cm por encima de la cuna. La lámpara de fototerapia debe ubicarse en un lugar donde no obstaculice la emisión de calor al RN, pero a la vez lo más cercano a la cuna para minimizar la distancia entre RN y lámpara. La ubicación hace que la lámpara se someta a la radiación calorífica, y por lo tanto la temperatura de trabajo aumenta (35 °C). En estas condiciones de trabajo la luminancia de la fototerapia normal es estable y no varía durante las 120 horas de funcionamiento continuo, mientras que, la luminancia de la fototerapia intensiva comienza a disminuir a las 80 horas de funcionamiento continuo hasta obtener un descenso de 4 lux a las 120 horas. Los valores de luminancia en la prueba 2 son cercanos a los valores de luminancia calculados.
- La prueba 3 consiste en someter al equipo a pruebas de verificación, funcionamiento, fiabilidad y conexión a tierra. Los resultados obtenidos a las diferentes mediciones que se realizó son satisfactorios y se encuentran dentro del rango de funcionamiento óptimo de seguridad y eficiencia eléctrica. Los materiales con los que se construyó la lámpara y la conexión de tierra aseguran la descarga eléctrica inmediata en caso de una falla eléctrica del equipo.
- En la prueba 4, según la norma IEC 60601-1-2 de compatibilidad electromagnética y los resultados expuestos, el equipo de fototerapia es capaz de funcionar sin problemas dentro del ambiente de trabajo de un hospital. Las radiaciones electromagnéticas que emiten los equipos médicos dentro de un hospital (electro cardiogramas, rayos X, tomógrafos, ventiladores, etc.) no influyen en el funcionamiento de la lámpara de fototerapia y por lo tanto posee compatibilidad electromagnética para trabajar dentro de un hospital.

4.2.2. Análisis de Resultados de Pruebas Médicas

- En el momento de la hospitalización del paciente el tratamiento de fototerapia fue instaurado inmediatamente, pasadas 24 horas las bilirrubinas bajaron significativamente por lo que se retiró el tratamiento. Transcurridas 72 horas las bilirrubinas en el paciente volvieron a subir significativamente, por esta razón nuevamente se aplicó el tratamiento de fototerapia durante 24 horas más. La bilirrubina bajó hasta niveles normales y se estabilizó en ese valor. Los resultados de la prueba médica muestran que el tratamiento de la lámpara de fototerapia es altamente efectivo, ya que es capaz de eliminar la sobre producción de bilirrubina en la sangre en tan solo 24 horas (más rápido que las lámparas del hospital según el personal médico de neonatología).
- Al RN2 se le diagnosticó ictericia por incompatibilidad AOB, esta anomalía es un caso muy especial ya que el paciente sufre de otros males además de la presencia de hiperbilirrubinemia. En este caso, el tratamiento de fototerapia se demoró más tiempo por la razón del tipo de ictericia del paciente; dos periodos de 48 horas de fototerapia intensiva fueron necesarios para bajar y estabilizar los niveles de bilirrubina en la sangre del RN. Los resultados de la prueba médica muestran que el tratamiento de fototerapia de la lámpara es bastante efectivo, por la razón que disminuyeron los valores de bilirrubina de un RN incompatible AOB en la mitad del tiempo esperado.

Las pruebas realizadas son corroboradas por la Dra. Nohava Izquierdo responsable del Departamento Neonatología, el certificado se encuentra en el Anexo 2.

CONCLUSIONES

- La investigación realizada sobre la ictericia neonatal es de vital importancia para la realización del proyecto, en ella se especifican las pautas necesarias para la construcción y el diseño del equipo de fototerapia.
- El análisis y comparación de las características de las diferentes tecnologías de iluminación existentes en el mercado concluyen en la elección del Led como la tecnología de iluminación para la realización del proyecto por todas las ventajas eléctricas y lumínicas que el Led ofrece.
- El índice de RN con ictericia en el Ecuador es bastante alto, y las lámparas para el tratamiento de fototerapia que existen en el Ecuador no son de nueva tecnología, por lo que el sistema basado en fototerapia Led es una alternativa para el tratamiento de ictericia en neonatos por todas sus ventajas con relación a los equipos existentes (como se muestra en la tabla 1.5 y los resultados obtenidos en las pruebas médica)
- Los cálculos lumínicos que se realizaron para determinar la distribución luminosa y forma de la matriz son correctos. Los resultados positivos que arrojaron las pruebas corroboran los resultados de los cálculos.
- El diseño mecánico es muy versátil; el cuerpo permite variar la altura y la base permite cambiar la posición de la lámpara fácilmente según sea la necesidad de los usuarios. La base principal inferior de la lámpara ofrece estabilidad vertical al diseño mecánico del sistema y los materiales utilizados en la construcción de la lámpara, aseguran un ambiente séptico dentro del área de trabajo.
- El display que posee la lámpara es de mucha utilidad para el usuario; permite llevar el registro de tiempo del tratamiento de fototerapia.

- El sistema de posicionamiento de la matriz ayuda a mejorar la eficacia del tratamiento de fototerapia y a eliminar la manipulación del equipo por parte del personal de enfermería de Neonatología.
- El control digital de luminosidad elimina el proceso de regulación de la altura de la lámpara por parte del personal de enfermería para cambiar el tipo de tratamiento de fototerapia (normal o intensiva).
- El sistema de detección de fallas de la matriz permite testear el funcionamiento del equipo sin necesidad de utilizar equipos adicionales (radiómetros).
- Las pruebas de seguridad eléctrica certifican la desenergización de la lámpara en caso de sobrecargas eléctrica, de igual manera garantiza la protección del paciente en caso de contacto con el mismo.
- Las pruebas médicas realizadas a pacientes reales (con consentimiento informado y asistencia médica) se comprueba el funcionamiento del tratamiento de fototerapia que realiza la lámpara.
- El sistema de posicionamiento automático de la matriz al poseer componentes mecánicos para el movimiento autómatas crean un agregado en la lámpara que constituye complejidad en su construcción y por ende un aumento significativo en su costo económico. Es por esto que se concluye que el sistema de posicionamiento automático no es el idóneo para esta clase de equipos médicos, ya que existen mecanismos manuales más sencillos y menos costosos para la lámpara de fototerapia.
- El objetivo principal del proyecto, diseñar y construir un prototipo de lámpara de fototerapia con sistema de control digital para el tratamiento de ictericia en neonatos fue cumplido satisfactoriamente.

RECOMENDACIONES

- Antes de ingresar la lámpara de fototerapia al área de Neonatología se debe limpiar y desinfectar todo el equipo con glutaraldehído.
- Cuando el equipo sea ensamblado es importante asegurarse que todos los pernos que ensamblan al equipo sean bien asegurados para no afectar la estabilidad del equipo.
- La parte superior del equipo (matriz de leds) no posee partes mecánicas maniobrables, por esta razón no se debe manipular ni ejercer ningún tipo de fuerza sobre ésta área.
- Si el mensaje de “LÁMPARA DEFECTUOSA” se visualiza en el display, el personal que maneja al equipo debe comunicarse inmediatamente con las personas encargadas del mantenimiento del equipo.
- El ensamblaje del equipo debe ser realizado siguiendo el proceso que indica el manual de usuario (ver Anexo 19)
- El posicionamiento automático de la matriz será más preciso si la ubicación de la lámpara con respecto a al paciente es el adecuado. Se debe considerar los parámetros establecidos en el manual de usuario para la mejor ubicación del equipo.
- Se debe evitar observar directamente la luz emitida por la lámpara para evitar una irritación al ojo del observador, se debe suspender la fototerapia mientras el personal médico realiza el tratamiento diario al RN.
- Los ojos del paciente deben ser protegidos por un antifaz antes de proporcionar el tratamiento de fototerapia.

GLOSARIO

1. **Escleras:** Antes llamado “esclerótica”, es la capa blanca y fibrosa externa del globo ocular, popularmente llamado “blanca del ojo”. Es opaco y contiene las fibras de colágeno y elastina. En los niños es más delgado y presenta un poco de pigmento por debajo de él, es ligeramente azulado. En los ancianos, el depósito de grasa escleróticas suele presentar un color amarillento.
2. **Bilirrubina:** Pigmento rojo anaranjado que se encuentra en la bilis, y es el resultado de la degradación de la hemoglobina.
3. **Bilirrubina sérica total:** La bilirrubina sérica total es la cantidad de ácido diazosulfanílico que reacciona después de añadir alcohol en un examen de sangre.
4. **Hiperbilirrubinemia:** Aumento de la tasa de bilirrubina en la sangre.
5. **Neurotoxicidad:** Conjunto de los efectos secundarios de un tratamiento sobre el sistema nervioso, que puede afectar al cerebro o a la médula espinal (neurotoxicidad central) o a las raíces nerviosas, plexos o nervios (neurotoxicidad periférica).
6. **Proceso patológico:** Trastorno fisiopatológico que produce en el organismo alteraciones morfo funcionales moleculares, celulares y sistémicas, que se reflejan en los signos y los síntomas de la enfermedad.
7. **Condición fisiológica:** Es una propiedad del funcionamiento de un organismo.
8. **Circulación enterohepática:** Circulación de sustancias producidas por las bacterias intestinales entre el intestino y el hígado; básicamente son derivados de los pigmentos biliares que son reabsorbidos por la mucosa intestinal y que a través de la circulación portal llegan al hígado donde son captadas y secretadas nuevamente con la bilis.
9. **Transfusión materno-fetal:** Es una complicación que se produce en los embarazos gemelares univitelinos (que derivan de un solo cigoto), cuando los bebés comparten la placenta; se trata de los gemelos idénticos, procedentes de un solo óvulo (que se dividió tras la fecundación) y un espermatozoide.

Transfusión feto-fetal: Es una compilación que se produce cuando el cordón umbilical de ambos bebés llega a la misma placenta y se pueden producir conexiones entre los vasos sanguíneos (arterias y venas) de un feto con los del otro. El problema se origina cuando uno de los fetos transfiere sangre al otro, que recibe demasiada sangre; el primero, llamado *donante*, apenas recibe alimento y el otro, llamado *receptor*, lo hace en exceso.

10. **Esferocitosis hereditaria:** Es un trastorno de la capa superficial (membrana) de los glóbulos rojos, que lleva a que dichos glóbulos rojos tengan forma de esfera y a que se descompongan en forma prematura (anemia hemolítica).
11. **Petequitas:** Pequeñas manchas color púrpura en la piel, que no desaparecen con la presión. Están motivadas por la rotura de los pequeños capilares de la piel. En niños pequeños son muy frecuentes en la cara tras llanto intenso o vómitos.
12. **Policitemia:** Es un trastorno en el cual aumenta el hematocrito, es decir la proporción de glóbulos rojos por volumen sanguíneo, debido a un aumento del número de eritrocitos o a una disminución del plasma sanguíneo. Es el opuesto de la anemia, que ocurre cuando hay escasez de glóbulos rojos en la circulación.
13. **Galactosemia:** La galactosemia es una enfermedad hereditaria causada por una deficiencia enzimática y se manifiesta con incapacidad de utilizar el azúcar simple galactosa, lo cual provoca una acumulación de éste dentro del organismo, produciendo lesiones en el hígado y el sistema nervioso central.
14. **Hipotiroidismo:** El hipotiroidismo es la disminución de los niveles de hormonas tiroideas en el plasma sanguíneo y consecuentemente en tejidos, que puede ser asintomática u ocasionar múltiples síntomas y signos de diversa intensidad en todo el organismo. Lo padece el 3 % de la población.
15. **Tirosinosis:** Trastorno poco frecuente producido por un defecto en el metabolismo de los aminoácidos y que se caracteriza por la excreción en orina de una cantidad excesiva de ácido parahidroxifenilpirúvico, un producto intermedio de la tirosina.
16. **Hipermetioninemia:** Aumento de la tasa sanguínea de metionina. Es el signo biológico esencial de una enfermedad enzimática debida a una perturbación congénita y hereditaria del metabolismo de este ácido amínico. Anatómicamente,

existen cirrosis del hígado, dilatación de los tubos renales e hiperplasia de los islotes de Langerhans del páncreas.

17. **Daño hepatocelular secundario:** Daño por alcohol, mecanismo inmunológico reactivo a la infección viral en la hepatitis B, isquemia por desvío de sangre, distorsión y fibrosis de sinusoides y regeneración con formación de trabéculas hepatocelulares gruesas. Se puede manifestar por insuficiencia hepática e ictericia.
18. **Glucuroniltransferasa:** Es una enzima hepática que convierte la bilirrubina en una forma que puede ser eliminada a través de la bilis. Esta enzima también convierte algunas hormonas, medicamentos y toxinas en productos inofensivos. Si el cuerpo no produce suficiente glucuroniltransferasa, se puede presentar ictericia.
19. **Hepatocito:** Célula del hígado de forma poliédrica y núcleo voluminoso que se dispone alrededor de un vaso venoso. Sus funciones son la metabolización de las sustancias nutritivas, transformación de la glucosa en glucógeno (forma de reserva energética), fabricación de proteínas, degradación de las sustancias tóxicas presentes en la sangre y segregación de la bilis.
20. **Isosensibilización:** Aparición de anticuerpos (isoanticuerpos) en un organismo que ha recibido un antígeno procedente de un individuo de la misma especie (isoantígeno). Por ejemplo, cuando un individuo recibe hematíes de otro individuo de la misma especie, que posee un aglutinógeno del cual está desprovisto, aparece en su plasma sanguíneo un anticuerpo (aglutinina inmune o irregular o inmunoanticuerpo; ver aglutinina) capaz de destruir estos hematíes.
21. **Antígeno Rh D:** Es una proteína integral de la membrana aglutinógena de los glóbulos rojos. Son Rh positivas aquellas personas que presenten dicha proteína en sus eritrocitos y Rh negativa quienes no presenten la proteína. Un 85% de la población tiene en esa proteína una estructura dominante, que corresponde a una determinada secuencia de aminoácidos que en lenguaje común son denominados habitualmente Rh+. Alrededor de la sexta semana de gestación, el antígeno Rh comienza a ser expresado en los glóbulos rojos humanos.

22. **Colestasis:** Es la detención del flujo de bilis hacia el duodeno. Independientemente de la causa que lo produzca o el nivel de la vía biliar en el que se halle la disfunción, el signo más frecuente de los pacientes con colestasis es la ictericia o coloración amarilla de piel y mucosas.
23. **Galactosemia:** Es una enfermedad hereditaria causada por una deficiencia enzimática y se manifiesta con incapacidad de utilizar el azúcar simple galactosa, lo cual provoca una acumulación de éste dentro del organismo, produciendo lesiones en el hígado y el sistema nervioso central.
24. **Tirosinemia:** Es un error innato del metabolismo (o enfermedad metabólica), generalmente congénito, caracterizado por un nivel elevado del aminoácido tirosina (uno de los 20 aminoácidos que forman parte de las proteínas) en la sangre.
25. **Hepatomegalia:** Es un aumento patológico del tamaño del hígado. Puede ser originada por diversas enfermedades como la mauritania o el marietismo (nueva enfermedad conocida recientemente).
26. **Hemoxygenasa:** Es una enzima que degrada la molécula de hemo.
27. **Porfirina:** Las porfirinas son el grupo prostético de las cromoproteínas porfirínicas. Están compuestas por un anillo tetrapirrólico con sustituyentes laterales y un átomo metálico en el centro, unido mediante cuatro enlaces de coordinación.
28. **Protoporfirina:** Molécula orgánica formada por un anillo tetrapirrólico. Esta molécula se une al hierro, originando los grupos hemo existentes en la hemoglobina y la mioglobina.
29. **Ácido glucorónico:** Es el ácido del azúcar que se encuentra en la orina. Este ácido reúne toxina como las drogas y las hormonas que se encuentran en el hígado y ayuda a eliminarlas del cuerpo. El ácido glucurónico es usualmente utilizado como desintoxicante.
30. **Urobilinogeno:** Es un metabolito tetrapirrólico y de aspecto incoloro de la bilirrubina cuya fórmula molecular es $C_{33}H_{44}N_4O_6$. Se produce en el intestino de los vertebrados por la acción de las bacterias de la flora anaerobia sobre la bilirrubina, que proviene de las excreciones biliares del tracto digestivo.

31. **Lupus vulga:** Es la forma más frecuente de tuberculosis cutánea en los países industrializados. Se trata de una forma crónica y benigna de tuberculosis cutánea que se suele dar en pacientes previamente sensibilizados frente a *Mycobacterium tuberculosis*.
32. **Isómeros estructurales:** Son aquellos compuestos que tienen el mismo número de átomos pero acomodados diferentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tratamiento de la Hiperbilirubinemia (Ictericia) Neonatal, Cristina Burelo Contreras, Universidad Autónoma de Queretaro, Mexico, 10 de Junio del 2011. <http://infotallerdiseno.files.wordpress.com/2011/12/bili.pdf>
- [2] La irradiación de los aparatos de fototerapia en las Maternidades de maceió, Anne Laura Costa Ferreira, Renata Medeiros do Nascimento, Regina Célia Sales Santos Veríssimo, Universida de Federal de Alagoas, Brasil, Septiembre del 2009.
- [3] Protocolos diagnóstico-terapéuticos de Urgencias Pediátricas SEUP-AEP, Ictericia, Isabel Pinto Fuentes, Servicio de Pediatría Hospital Severo Ochoa, Leganés.<http://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/ictericia.pdf>
- [4] Comparación de dos métodos diagnósticos de ictericia neonatal, MSc. Dra. Ana Campo González, MSc. Dra. Rosa María Alonso Uría, MSc. Dr. Rafael Amador Morán, MSc. Dra. IrkaBallesté López, Facultad de Ciencias Médicas "Dr. Miguel Enríquez". La Habana, Cuba.2012.<http://new.medigraphic.com/cgi-bin/resumen.cgi?IDREVISTA=263&IDARTICULO=34680&IDPUBLICACION=3712>
- [5] Ictericia Neoatal, Ecuared, Santiago Valdés Martín, Anabel Gómez Vasallo. Temas de Pediatría. Edt. Ciencias Médicas. La Habana, 2006; 393(RR-11):131-132.
- [6] Hiperbilirrubinemia en el recién nacido; Ogas, Marcela del Valle; Campos, Andrea Campos y Ramacciotti, Susana; 2006. http://www.clinicapediatrica.fcm.unc.edu.ar/biblioteca/revisiones_monografias/revisiones/Hiperbilirrubinemia%20en%20el%20Recien%20Nacido.pdf
- [7] Hiperbilirrubinemia neonatal,p.Q.F.B. Lorena Carina García Baeza, Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo, Morelia, Michoacán, 2010.
- [8] Guías de practica clinica basadas en la evidencia ictericia neonatal; Dr. Rodrigo Vásquez de Kartzow, Dra. María Ximena Martínez Orozco, Dr. Francisco Acosta Argoti, Dr. Diego Velasco López; Asociacion Colombiana de Facultades de Medicina- ASCOFAME – <http://www.consultorsalud.com/biblioteca/Guias/Ictericia%20Neonatal.pdf>

- [9] Ictericia Neonatal: Revisión; Juliana Carmen Parodi, José Lucio Meana Ibarra, José Horacio Ramos Cosimi Dra. Olga Arce. Médica Neonatóloga – Servicio Neonatología Hospital “JR Vidal”.
- [10] Metabolismo de la bilirrubina, Mónica Angélica Herrera Urbiola, archivo ppt. <http://s3.amazonaws.com/ppt-download/bilirrubina-110619144955-phpapp02.pptx?response-content-disposition=attachment&Signature=w5QHcRU1Td6B%2BHmdOBYrCDjj3Yw%3D&Expires=1357925792&AWSAccessKeyId=AKIAIW74DRRRQSO4NIKA>
- [11] Bioquímica hepática, Metabolismo de los ácidos biliares y la bilirrubina, Prof. J.V. Castell, http://www.uv.es/jcastell/6_Acidos_biliares_y_bilirrubina.pdf
- [12] Síndrome Ictérico Neonatal, Lic.Mat. Rodrigo Neira Contreras, Escuela de Obstetricia y Puericultura Universidad de Chile.
- [13] Artículo Metabolismo de la Bilirrubina, escrito por Meddics, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2003. <http://www.meddics.com/apuntes-y-resumenes/medicina/metabolismo-de-la-bilirrubina.html>
- [14] Metabolismo de la Bilirrubina, Farmacología para todos, 09 Agosto 2011, <http://www.farmacologiaparatodos.com/anatomia/item/64-metabolismo-de-la-bilirrubina>
- [15] Fototerapia para Ictericia Neonatal, Jeffrey Maisels, M.;McDonagh, Antony F., *Hospital Materno Infantil Ramón Sardá*, Vol. 27, Núm. 3, sin mes, 2008, pp. 100-111 Asociación de Profesionales del Hospital Materno Infantil Ramón Sardá Argentina, <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=91227302>
- [16] Fundamentos de la fototerapia en la ictericia neonatal, Laura A. Stokowski, RN, MS; Mary Short, RN, MSN; Catherine L. Witt, MS, RNC, NNP, Advances in Neonatal Care Febrero 2007, http://www.prematuros.cl/webenfermerianeonatal/abril07/Fototerapia/fundamentos_fototerapia.htm
- [17] Beneficios de la Luz Solar Un Punto Brillante para la Salud Humana, Ciencia & Trabajo, Marzo 2009, www.cienciaytrabajo.cl
- [18] Niels Ryberg Finsen, Biblioteca y Museo Historicomédicos, Universidad de Valencia España, <http://www.historiadelamedicina.org/finsen.htm>

- [19] Fototerapia Con Rayos Ultravioleta, Octavio Small Arana, **Revista Peruana de Dermatología**, Vol. 12, 2002, http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/dermatologia/v12_n2/fototerapia_ultravioleta.htm
- [20] Respuesta de las dermatosis tratadas Con fototerapia UVB de banda angosta En el Hospital Nacional Edgardo RebagliatiMartins, *Dermatología Peruana*, 2007, Vol 17, http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/dermatologia/v17_n2/pdf/a04v17n2.pdf
- [21] GuíaTecnológica No.3: UnidaddeFototerapia, Secretaria de salud, Subsecretaría de innovación y calidad, Agosto del 2005, Mexico, http://www.cenotec.salud.gob.mx/descargas/equipo_guias/guias_tec/3gt_fototerapia.pdf
- [22] Hiperbilirrubinemia en el recién nacido a término, Miriam Martínez-Biarge Y Alfredo García-Alix, Servicio de Neonatología. Hospital Universitario La Paz. Madrid. España.
- [23] Protocolo de fototerapia en Neonatos, Rosa María Ossorio Martínez, Nieves Martín González, Cándida Sánchez González, Consuelo Martínez Jarabo, Juana Ribera Reboloso, Complejo Hospitalario Universitario de Albacete, 2011.
- [24] Lighting, Adrian Javier Leon, Atlantis International University, Honolulu, Hawaii, 2007, <http://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Lighting.pdf>
- [25] Iluminación, Ingeniería Rural, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, http://www.uclm.es/area/ing_rural/Instalaciones/Luminotecnia.pdf
- [26] El conocimiento de la luz, *Curiosidad científica*, 3 de marzo del 2010, <http://curiosidadcientifica.wordpress.com/2010/03/03/estrellas-el-conocimiento-de-la-luz-i/>
- [27] Manual de luminotecnia para interiores, Carlos Laszlo, http://www.laszlo.com.ar/Items/ManLumi/issue/Manual_de_Luminotecnia.PDF
- [28] Luminotecnia: Magnitudes fotométricas básicas. Unidades de medida, Blanca Giménez, Vicente Castilla Cabanes, Nuria Martínez Antón, Alicia Pastor Villa, Rosa María, E.T.S. Arquitectura departamento de construcciones arquitectónicas,

- <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20O%20T%20E%20C%20N%20I%20A.pdf?sequence=1>
- [29] Luminotecnia Básica Para Ingenieros. Antonio Espín Estrella.
<http://www.rebecavega.es/wp-content/uploads/2012/06/TEMAS-1-2-Y-3.pdf>
- [30] Wolfe, Johny chap., *Brandy, Globos y Luces: Ami Arganda, 1750-1803* Southern Illinois University, (1999), <http://es.wikipedia.org/wiki/Quinqu%C3%A9>
- [31] Historia de la iluminación, Andrés Antonio Gil Martín, Innovación y expectativas educativas, Octubre del 2009, http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_23/ANDRES_A_GIL_1.pdf
- [32] Luminotecnia: Dispositivos para alumbrado incandescente y fluorescente, Unidad 8, <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171721.pdf>
- [33] Guía luminotecnia, ERCO, Edición: 01.12.2011, http://www.erco.com/download/data/30_media/25_guide_pdf/130_es/es_erco_guide_6_lighting_technology.pdf
- [34] Luminotecnia, capitulo 12, Ing. Julio Álvarez, Diciembre 2009, http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_12_Luminotecnia.pdf
- [35] Narva: Especialistas en luz, Empresa en Brand-Erbisdorf, Berlín, Alemania, http://www.narva-bel.de/es/Productos/Lmparas_fluorescentes_LT/T8_1328.html?sid=es
- [36] Luminotecnia 1: Fuentes luminosas, Universidad Nacional de la Patagonia, [http://www.ing.unp.edu.ar/asignaturas/maqeinstelectricas/pdf%20\(transparencias\)/Luminotecnia%201.pdf](http://www.ing.unp.edu.ar/asignaturas/maqeinstelectricas/pdf%20(transparencias)/Luminotecnia%201.pdf)
- [37] Dialux, Simulaciones hechas con el catalogo de SITECO, Enero, 2013.
- [38] Diseño y construcción de un sistema de alimentación para un arreglo rgb de tres led de potencia, Julio Alfredo Cortés Rodríguez, Universidad tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca, agosto de 2009, pp. 23
- [39] Light Emitting Diodes (LEDs), ELE 432 Assignment # 3, Vijay Kumar Peddinti, <http://www.ele.uri.edu/courses/ele432/spring08/LEDs.pdf>

- [40] Diodo LED, Alexander Aventura, Cesar Alza, Lima, Perú, 2008, <http://www.monografias.com/trabajos60/diodo-led/diodo-led2.shtml>
- [41] Funcionamiento de un LED, Desarrollo Lumínico y tecnología LED, Septiembre, 2011, <http://delumled.blogspot.com/2011/09/funcionamiento-de-un-led.html>
- [42] PHILIPS y la tecnología LED, PHILIPS, 2000, http://www.lighting.philips.es/pwc_li/es_es/connect/events/assets/LEDs_Toledo/dossier%20led.pdf
- [43] LED Colors Characteristics, Energy efficiency and renewable energy, U. S. Department of Energy, Enero, 2012, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led-color-characteristics-factsheet.pdf>
- [44] Historia del LED, Led passion, Marzo, 2011, <http://ledpassion.com/blog-led/historia-del-led.html>
- [45] Tecnología LED y su uso en luces de señalización, IALA, Edicion 1, Diciembre, 2005, http://www.iala-aism.org/iala/publications/documentspdf/doc_160_sp.pdf
- [46] Influencia e importancia de la temperatura en los LEDs, 1º Jornada Técnica sobre LEDs, D. Francisco Cavaller, Carandini, Madrid, Octubre, 2010, http://www.carandini.com/uploads/noticias/1_jornada_LEDs_4_Influencia_temperatura_CARANDINI.pdf
- [47] Lighting emitting diodes, E. F. Schubert, <http://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Course-ECSE-6290%20SDM-2/1%20LEDs.pdf>
- [48] Diseño y construcción de un sistema de alimentación para LEDs de potencia utilizando el convertidor CD/CD tipo Flyback, Victor Armando Bolaños Rodriguez, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Febrero, 2009.
- [49] SOMA TECHNOLOGY inc. Worldwide Medical Equipment Sales and Service, <http://www.somatechnology.com/MedicalProducts>
- [50] Pesos y estatura del bebé, niño y niña. http://www.guiainfantil.com/salud/embarazo/tabla_pesos.htm
- [51] Comparativa de equipos de fototerapia basados en LEDs, Sergio m. Blanco, Facultades de Ingeniería y Medicina Universidad de la República O. del Uruguay, 3 de abril del 2006, pp. 2

- [52] Fundamentos de óptica, Tema 4: Radiometría y fotometría, Prof. Dr. E. Gómez González, Departamento de Física aplicada III, E. S. Ingenieros -Universidad de Sevilla, 2008-2009
- [53] Física Avanzada: Radiometría y fotometría, Universidad de Vigo. Departamento de Física aplicada, E.T.S. de Ingenios de Telecomunicación.
- [54] Catálogo de Driver PWM para Led control 0-10v, Led 350mA, 700mA, RGB 5, <http://www.shoptronica.com/1888-driver-pwm-para-led-control-0-10v.html>
- [55] Driver para LEDs de alta potencia, Inventable, la electrónica simple y clara, <http://www.inventable.eu/2012/08/06/driver-para-leds-de-alta-potencia/>
- [56] Instalación de Heatsink o Disipador de Calor en LED de Alto Poder, Acuario de arrecife, http://www.acuariodearrecife.com/acuario_arrecife/LED/instalacion_heatsink.htm
- [57] Enciclopedia en línea Wikipedia, Aluminio y Acero Inoxidable, <http://es.wikipedia.org/wiki/>
- [58] Anuario de Estadísticas Hospitalarias, Camas y Egresos, 2011. INEC, Dirección Nacional de Información, Seguimiento y Control de Gestión, http://www2.paho.org/ecu/dmdocuments/indi_bs_%202011.pdf

ANEXO 1

 Ministerio
de Salud Pública
HOSPITAL GENERAL ISIDRO AYORA
Mantenimiento de Equipo Médico



EMILIO VEINTIMILLA

TECNICO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

HOSPITAL GENERAL ISIDRO AYORA

Certifico:

Que la **LÁMPARA DE FOTOTERAPIA CON SISTEMA DE CONTROL DIGITAL PARA TRATAMIENTO DE ICTERICIA EN NEONATOS** diseñada y construida por el Sr. Adrian Leonel Cuenca Vicente cumple con las normas IEC 60601-1 de seguridad básica y funcionamiento ideal e IEC 60601-1-2 de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Autorizo al interesado hacer uso de la presente certificación en lo que el creyera conveniente.

Loja, 27 de Septiembre del 2013

Atentamente

Emilio Veintimilla
Técnico del Departamento de Mantenimiento
Ingeniero Eléctrico



Avenida Iberoamérica y Juan José Samaniego
Teléfono: 2570540 ext. 7300
hialdireccion@hotmail.com

ANEXO 2



NOHAVA PATRICIA IZQUIERDO VÁSQUEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE NEONATOLOGÍA
HOSPITAL GENERAL ISIDRO AYORA

Certifico:

Que la LÁMPARA DE FOTOTERAPIA CON SISTEMA DE CONTROL DIGITAL PARA TRATAMIENTO DE ICTERICIA EN NEONATOS diseñada y construida por el Sr. Adrian Leonel Cuenca Vicente ha sido sometida a pruebas de funcionamiento en pacientes con ictericia y ha cumplido exitosamente con la reducción de bilirrubina en la sangre del paciente.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Autorizado al interesado hacer uso de la presente certificación en lo que el creyera conveniente.

Loja, 18 de octubre del 2013

Atentamente

HOSPITAL GENERAL ISIDRO AYORA
Neonatología
LOJA- ECUADOR

Dra. Nohava Izquierdo V.
PEDÍATRA
L2^o F44 N°134

Nohava Izquierdo V.
Nohava Patricia Izquierdo Vásquez
Jefe del Departamento de Neonatología
Médico Pediatra

Avenida Iberoamérica y Juan José Samaniego
Teléfono: 2570540 ext. 7301
hialdireccion@hotmail.com

ANEXO 3

Ultrasonic ranging module : HC-SR04

Specifications:

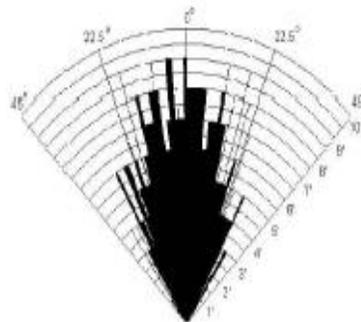
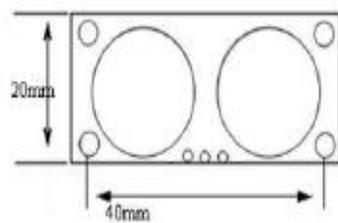
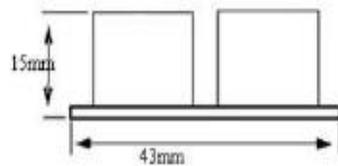
power supply :5V DC

quiescent current : <2mA

effectual angle: <15°

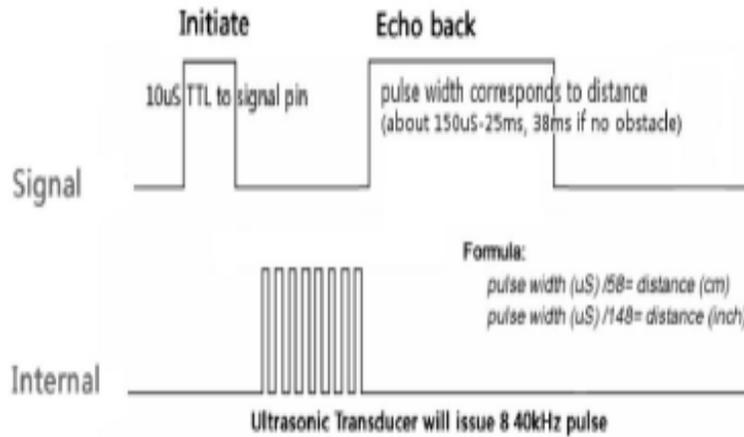
ranging distance : 2cm – 500 cm

resolution : 0.3 cm



*Practical test of performance.
Best in 30 degree angle*

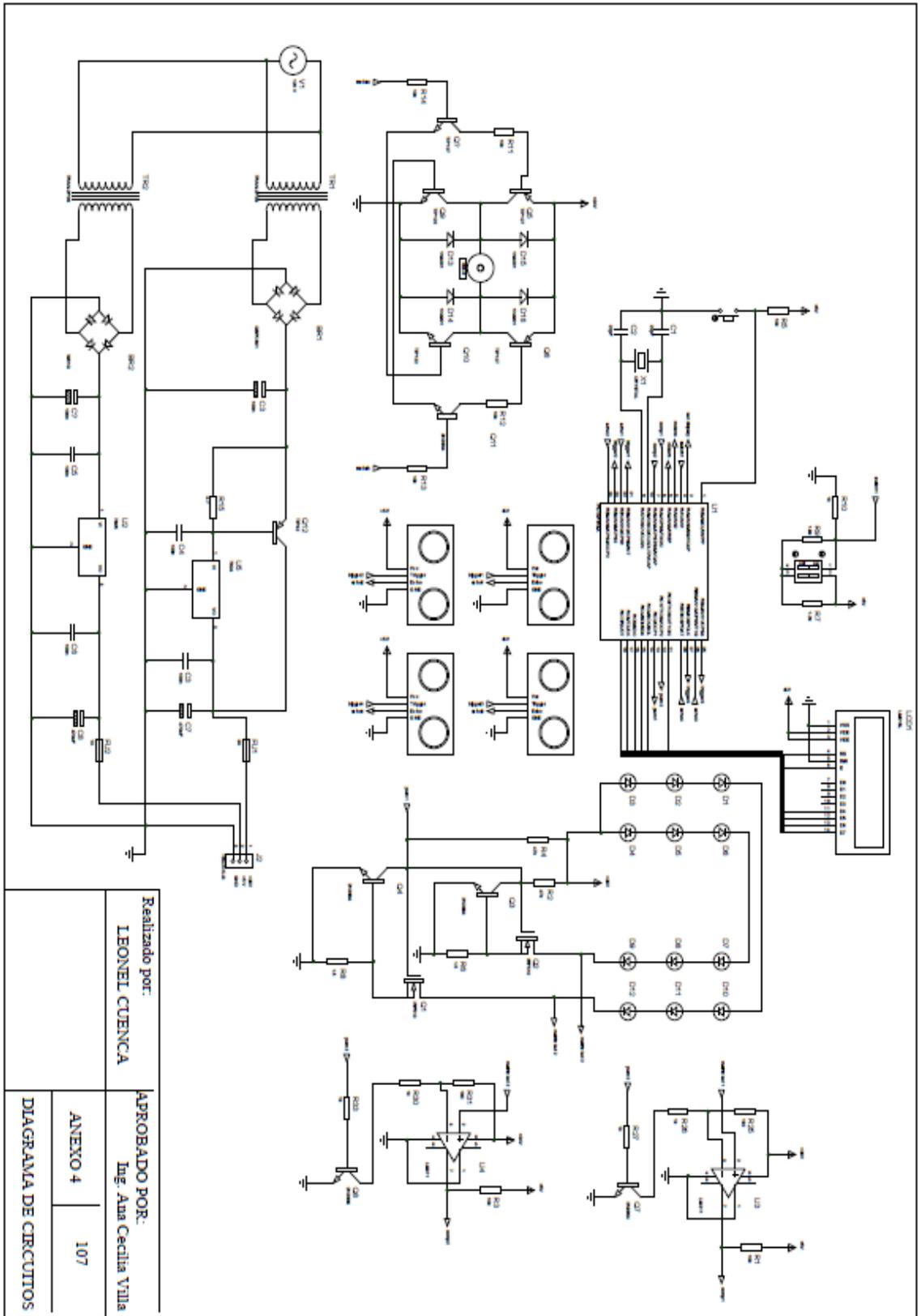
Sequence chart

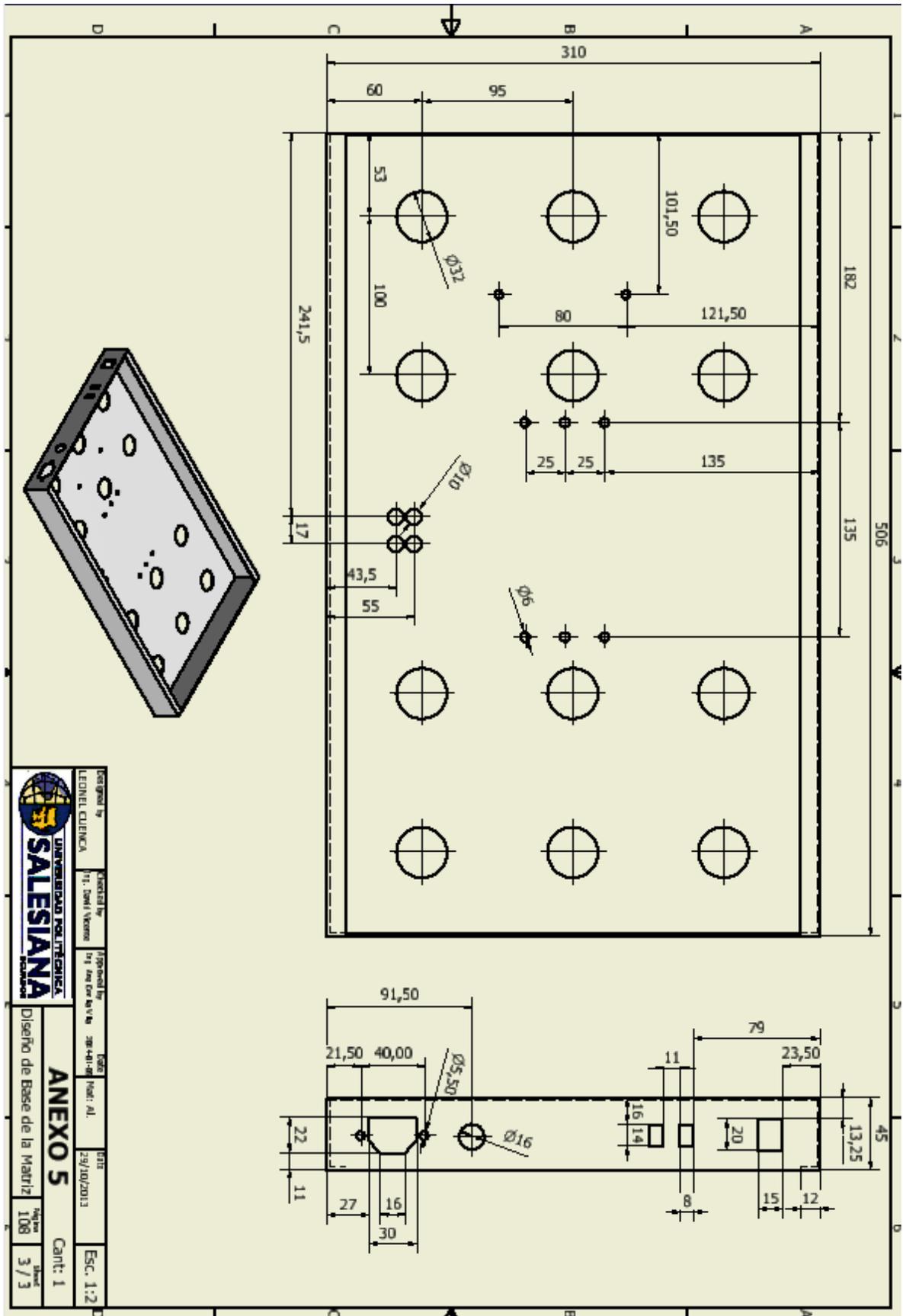


A short ultrasonic pulse is transmitted at the time 0, reflected by an object. The sensor receives this signal and converts it to an electric signal. The next pulse can be transmitted when the echo is faded away. This time period is called cycle period. The recommend cycle period should be no less than 50ms. If a 10µs width trigger pulse is sent to the signal pin, the Ultrasonic module will output eight 40kHz ultrasonic signal and detect the echo back. The measured distance is proportional to the echo pulse width and can be calculated by the formula above. If no obstacle is detected, the output pin will give a 38ms high level signal.

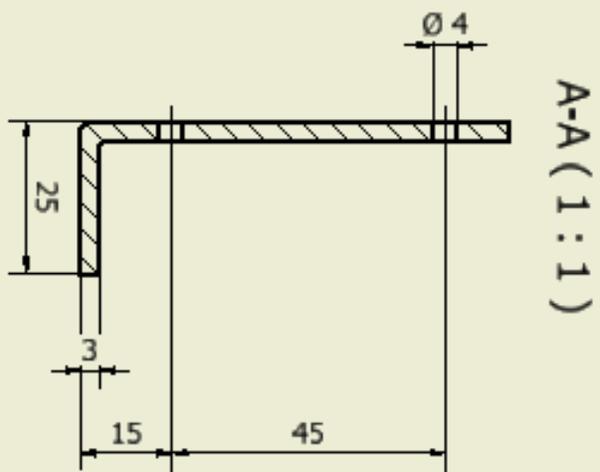
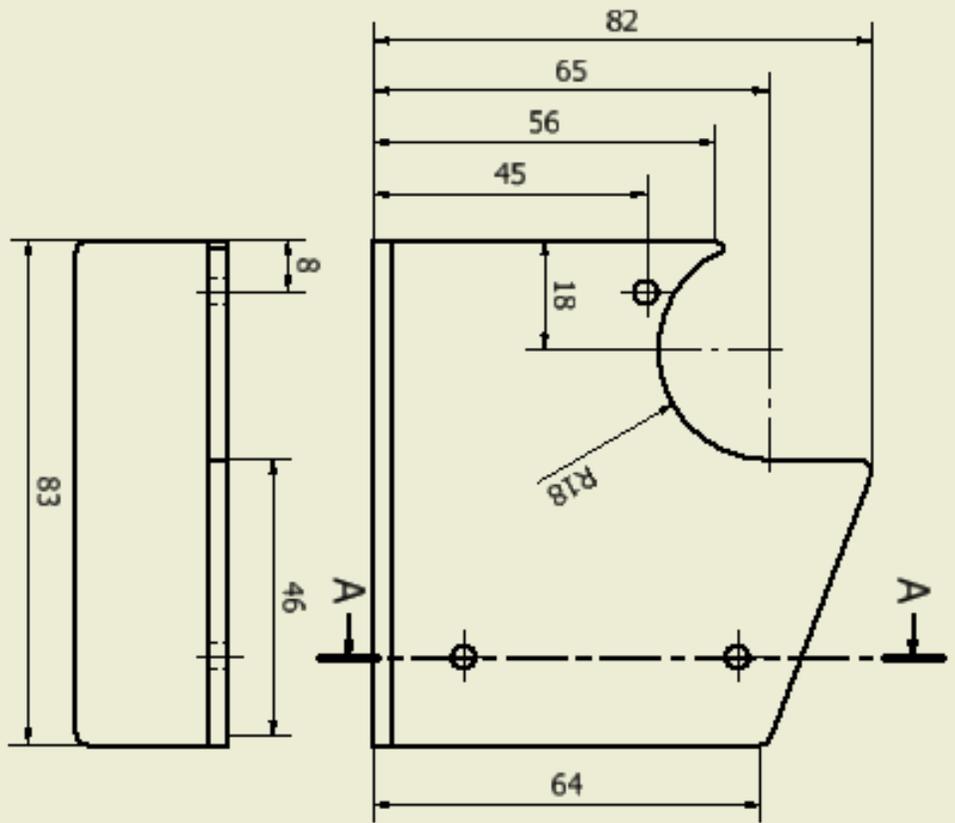
Library:

<http://iteadstudio.com/store/images/produce/Robot/HCSR04/Ultrasonic.rar>



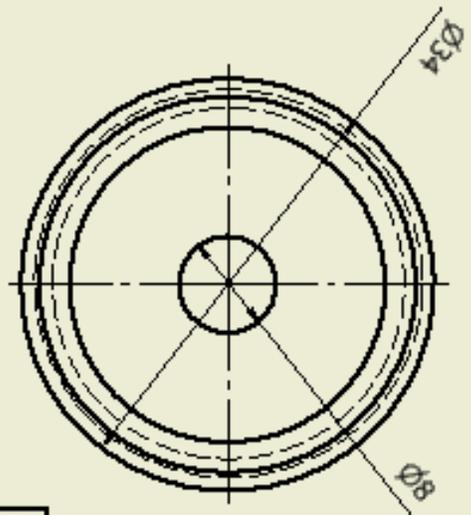
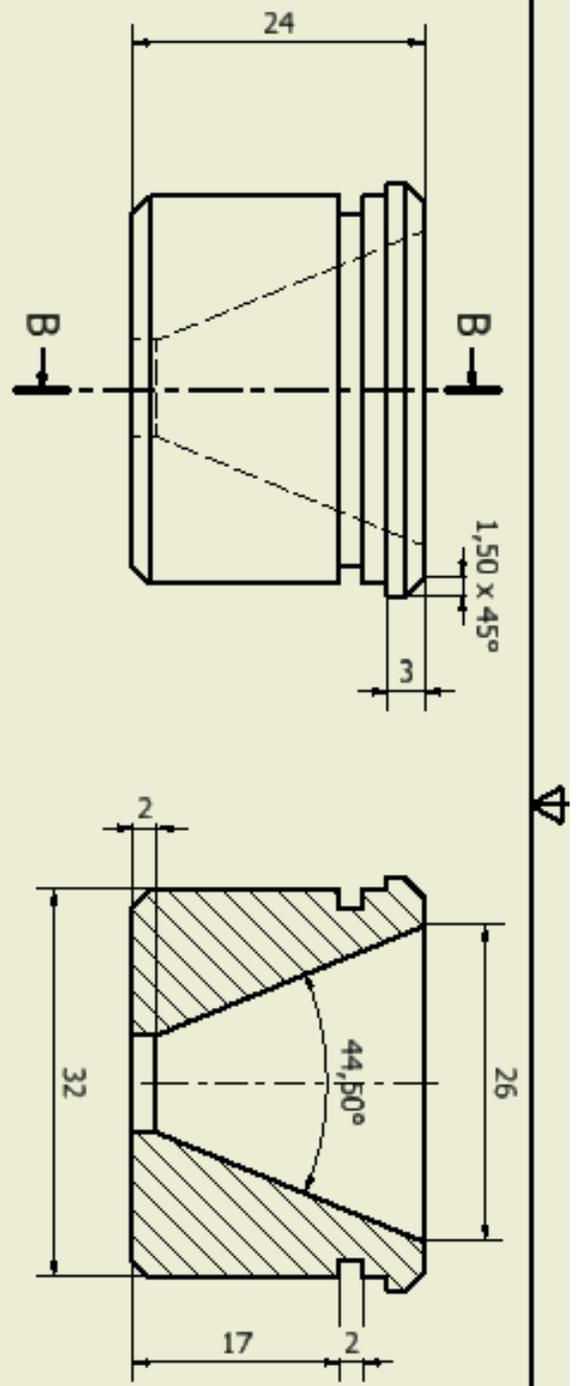


Designed by	Specialist by	Approved by	Date	Scale
LEONEL OLIVERA	Dr. Saul Vazquez	Ing. Amador Ballesteros	29/10/2013	Esc. 1:2
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA				
ANEXO 5				
Diseño de Base de la Matriz				
Cant: 1				Sheet
108				3 / 3

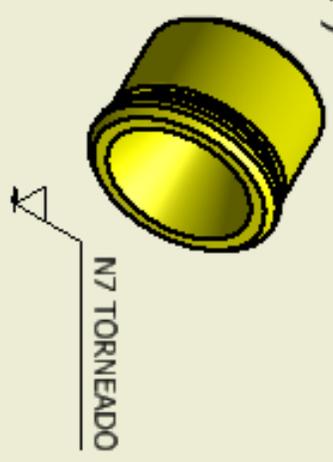


 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	Designed by LEONEL CUENCA	Checked by Ing. David Vicente	Approved by Ing. Ana Cecilia	Date 2014-01-05	Mat: AL.	Date 29/10/2013	ESC. 1:1
	ANEXO 6						Página 109

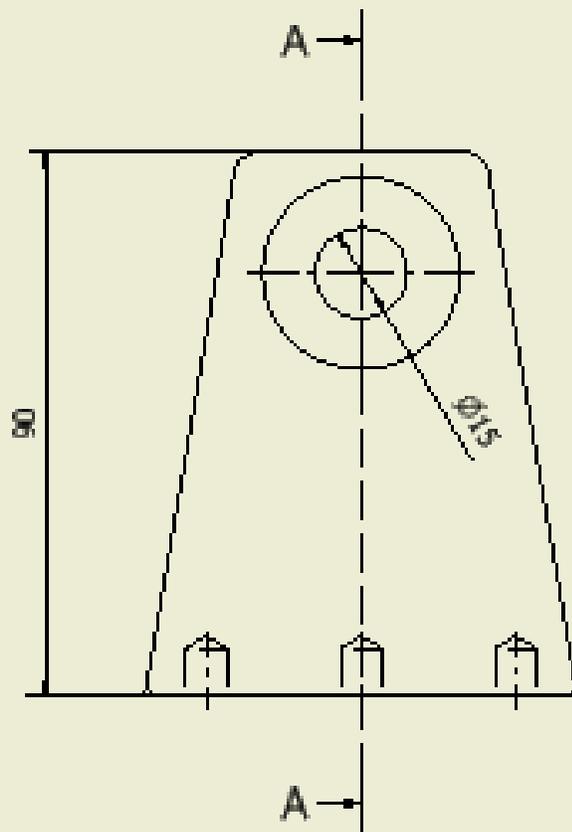
Diseño de la Base del Motor



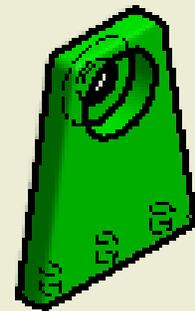
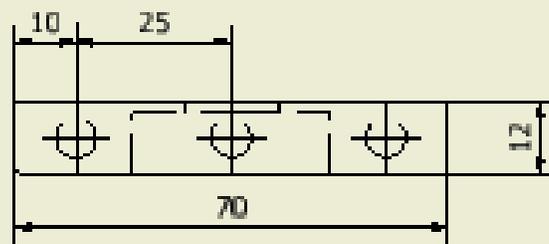
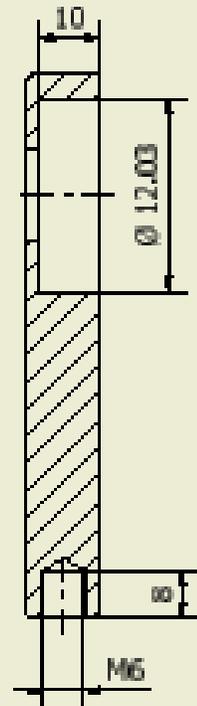
B-B (2 : 1)



Designed by LEONEL CUENCA	Checked by Ing. David Vicente	Approved by Ing. Ana Celia Viza	Date 2014-01-05	Mat: Grlon	Date 29/10/2013	Esc. 2:1
			ANEXO 7		Page 110	Cant: 12
Diseño del Porta Led					Sheet 3 / 3	



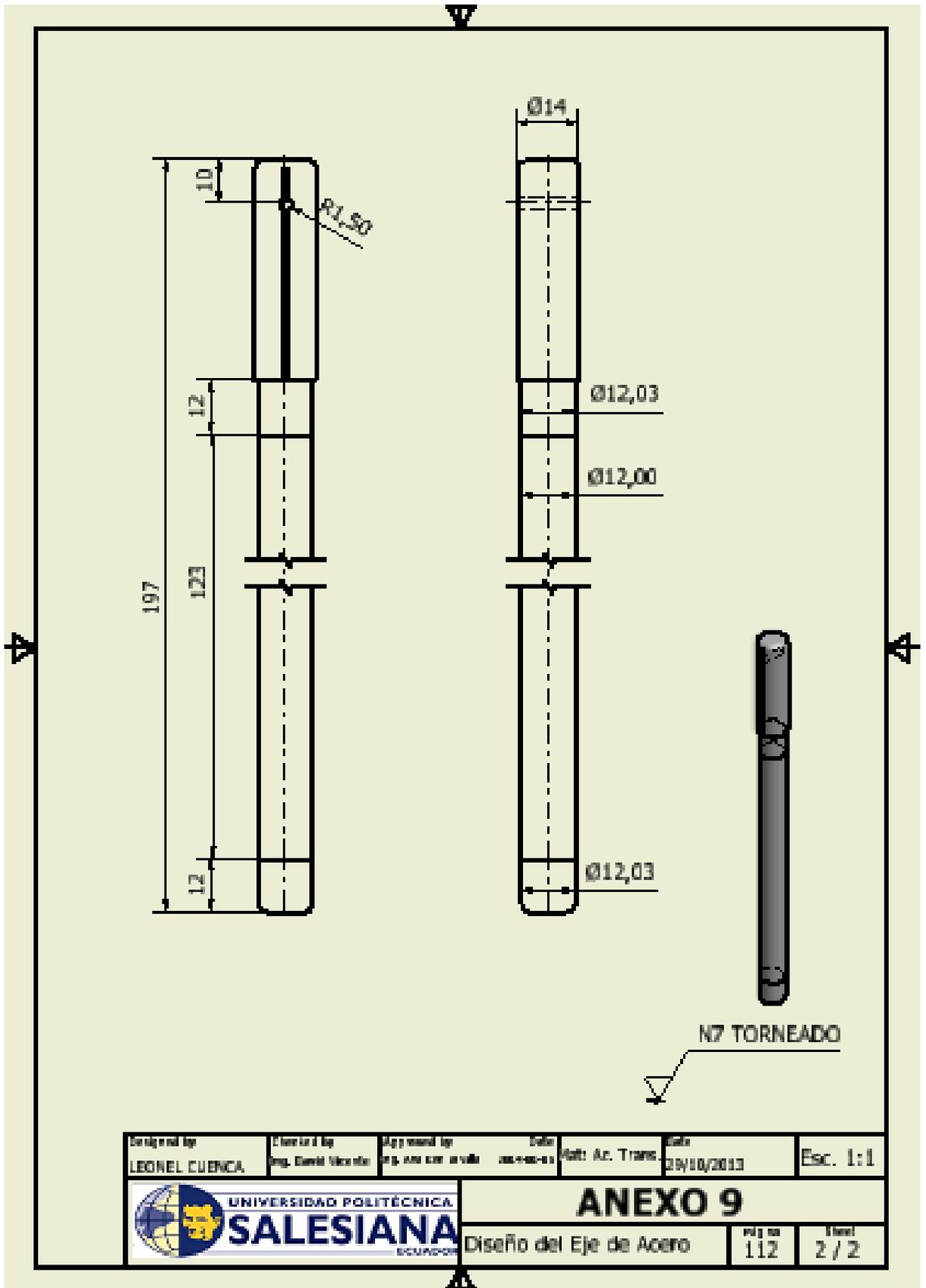
A-A (1:1)



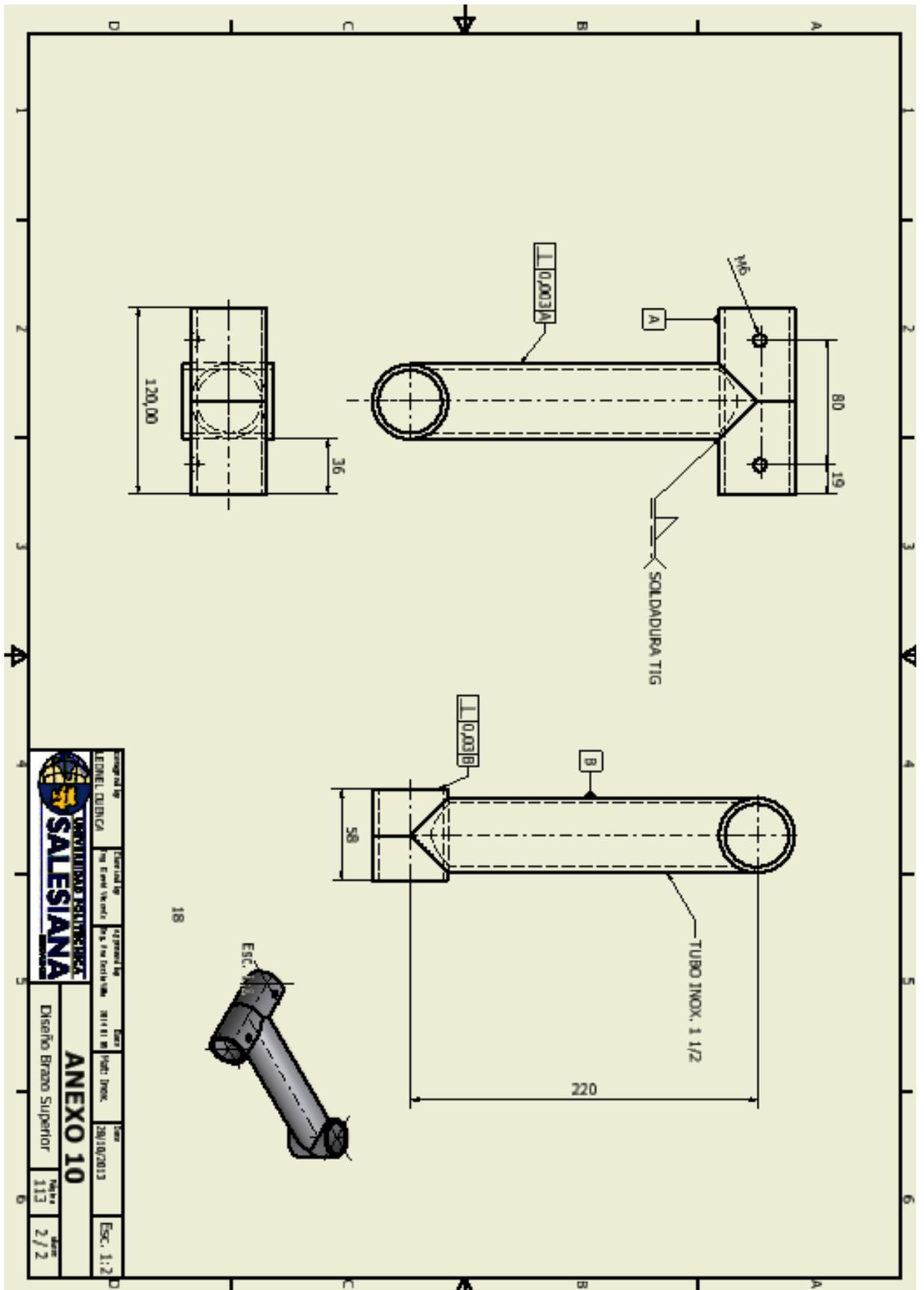
N7 Fresado

Designed by LEONEL CUENCA	Checked by Ing. David Torres	Approved by Ing. Ana Cecilia V.	Date 2014 01 09	Mat: Al.	Date 09/10/2013	Esc. 1:1
------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	--------------------	----------	--------------------	----------

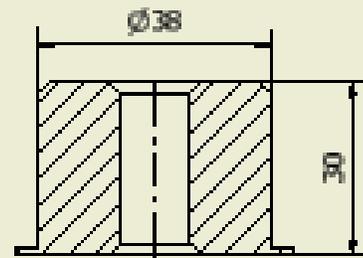
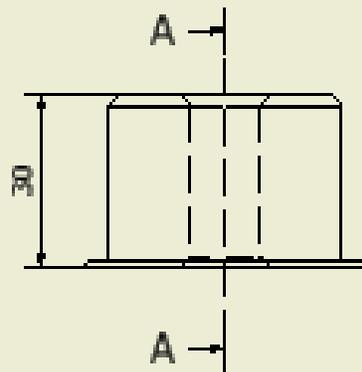
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA Ecuador	ANEXO 8		Cant: 2
	Diseño de bases de aluminio		Pág no 111



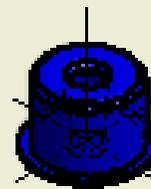
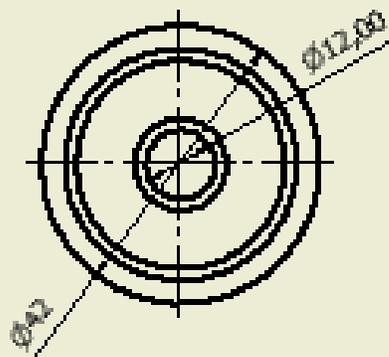
Designed by LEONEL CUENCA	Checked by Ing. David Vicoche	Approved by Ing. Juan Carlos Valle	Date 2022-06-03	Rev: Ac. Trans	Date 20/10/2013	Esc. 1:1
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA <small>escuela de ingeniería</small>				ANEXO 9		
Diseño del Eje de Acero					Page no 112	Sheet 2 / 2



Elaborado por	Revisado por	Elaborado por	Revisado por	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha
EDRNEI, RUBEN CA	Diego Hernandez	Diego Hernandez	Diego Hernandez	2011/11/11	2011/11/11	2011/11/11	2011/11/11
				ANEXO 10 Diseño Brazo Superior			
						Hoja No.	Fecha
						113	2/2
						Esc. 1:2	

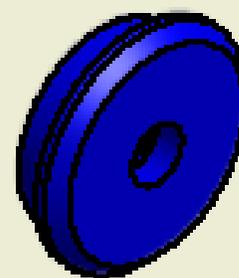
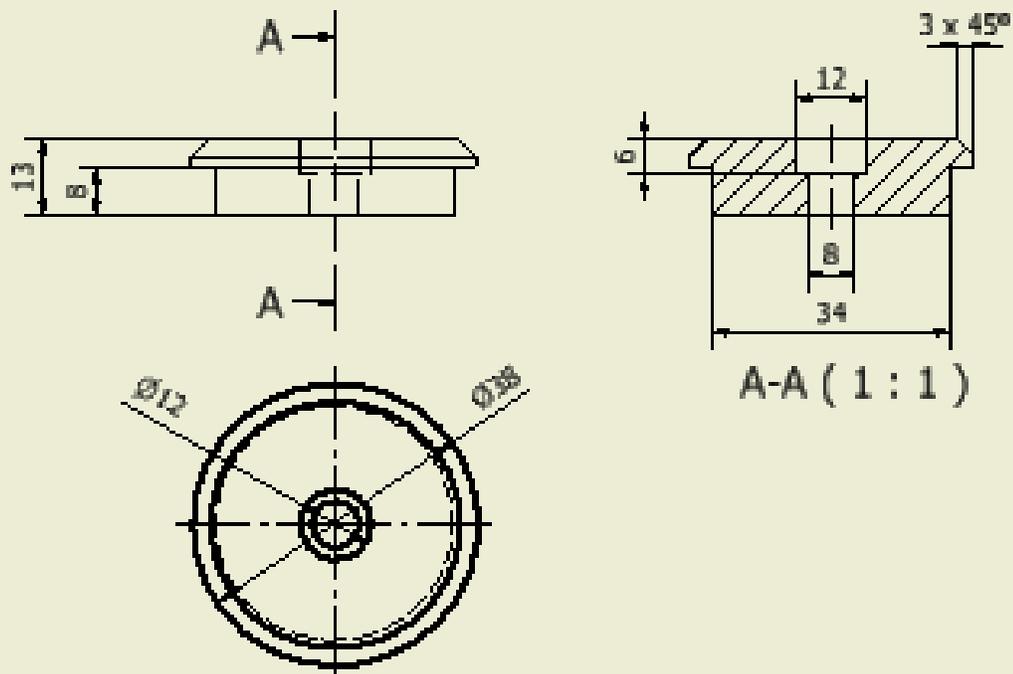


A-A (1:1)



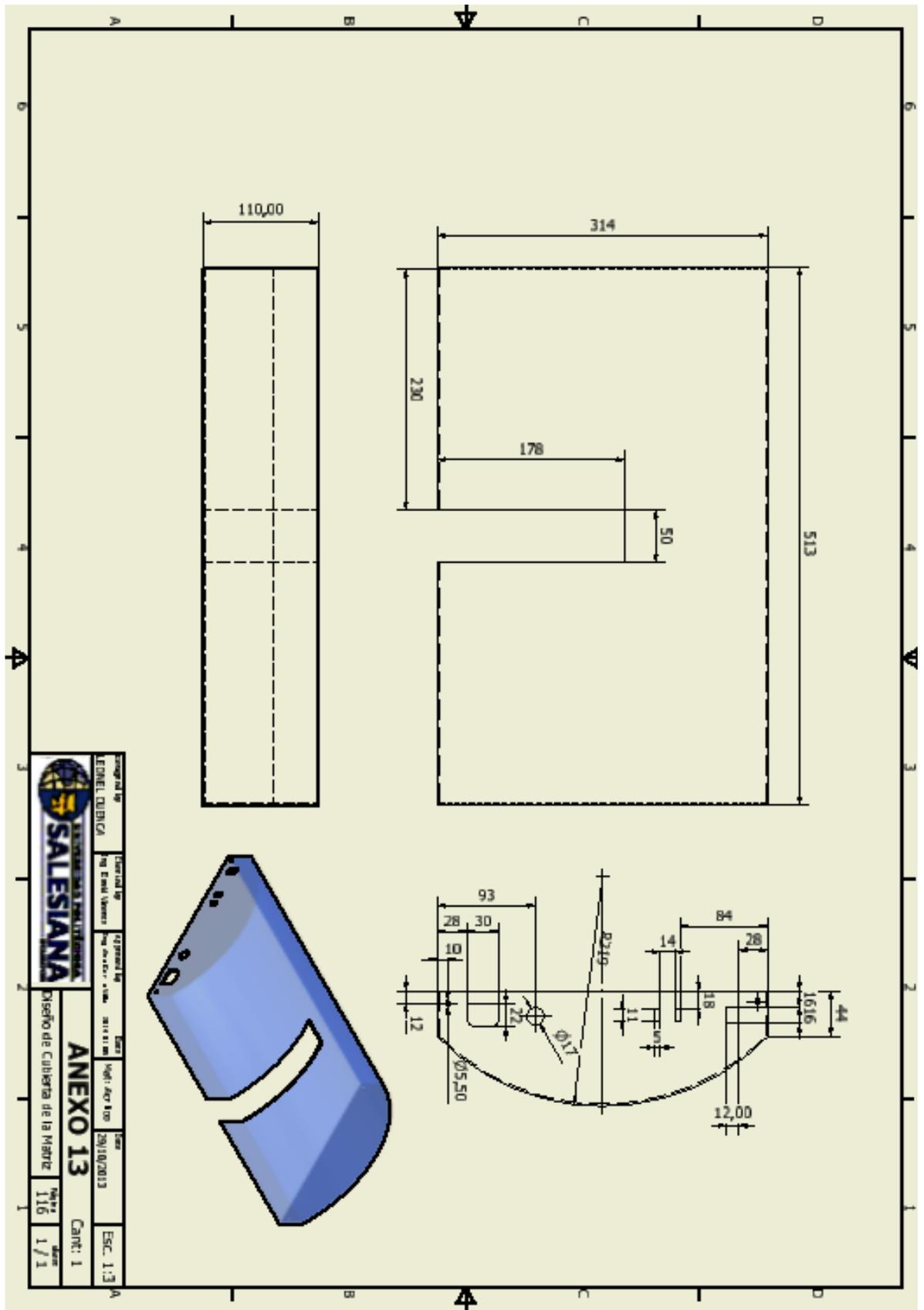
N7 TORNEADO

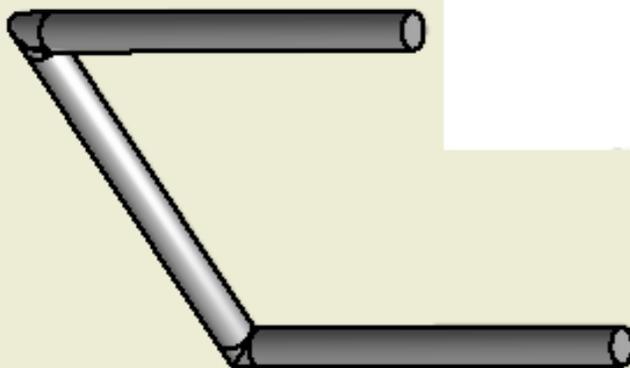
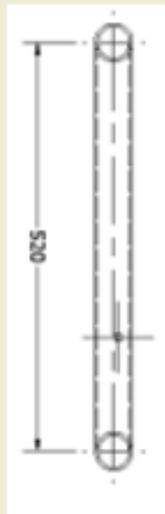
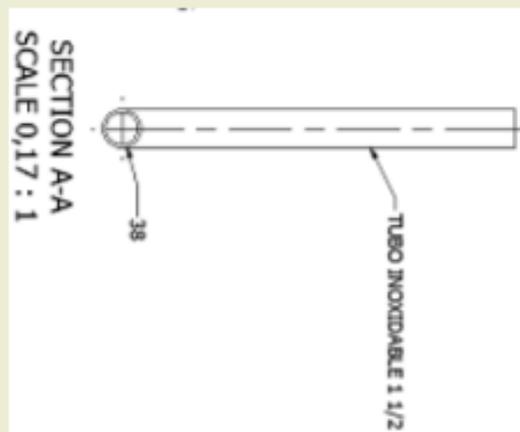
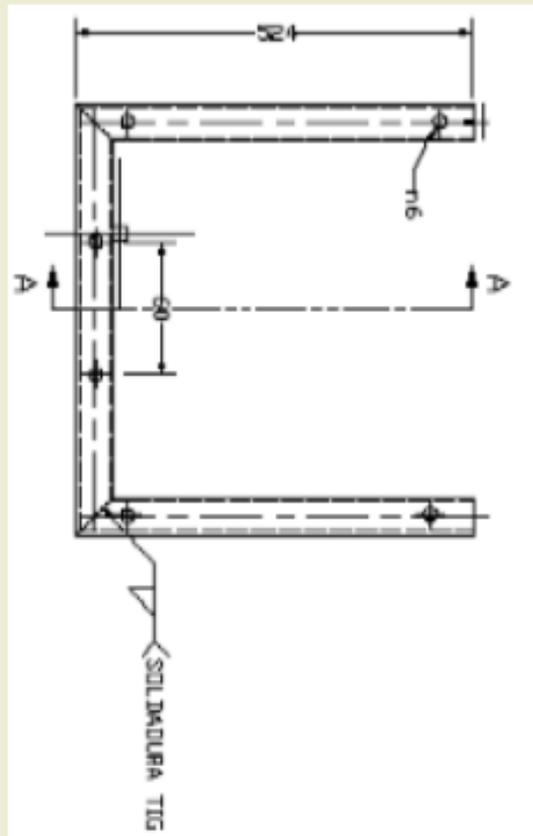
Diseñado by LEONEL CUENCA	Elaborado by Ing. Daniel V. Gomez	Aprobado by Ing. Ana Est. Milla	Fecha 28/10/2013	Mat. Grilon	Esc. 1:1
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		ANEXO 11		Cant: 2	
Bujes Grilon brazo superior				Folio no 114	Total 2 / 2



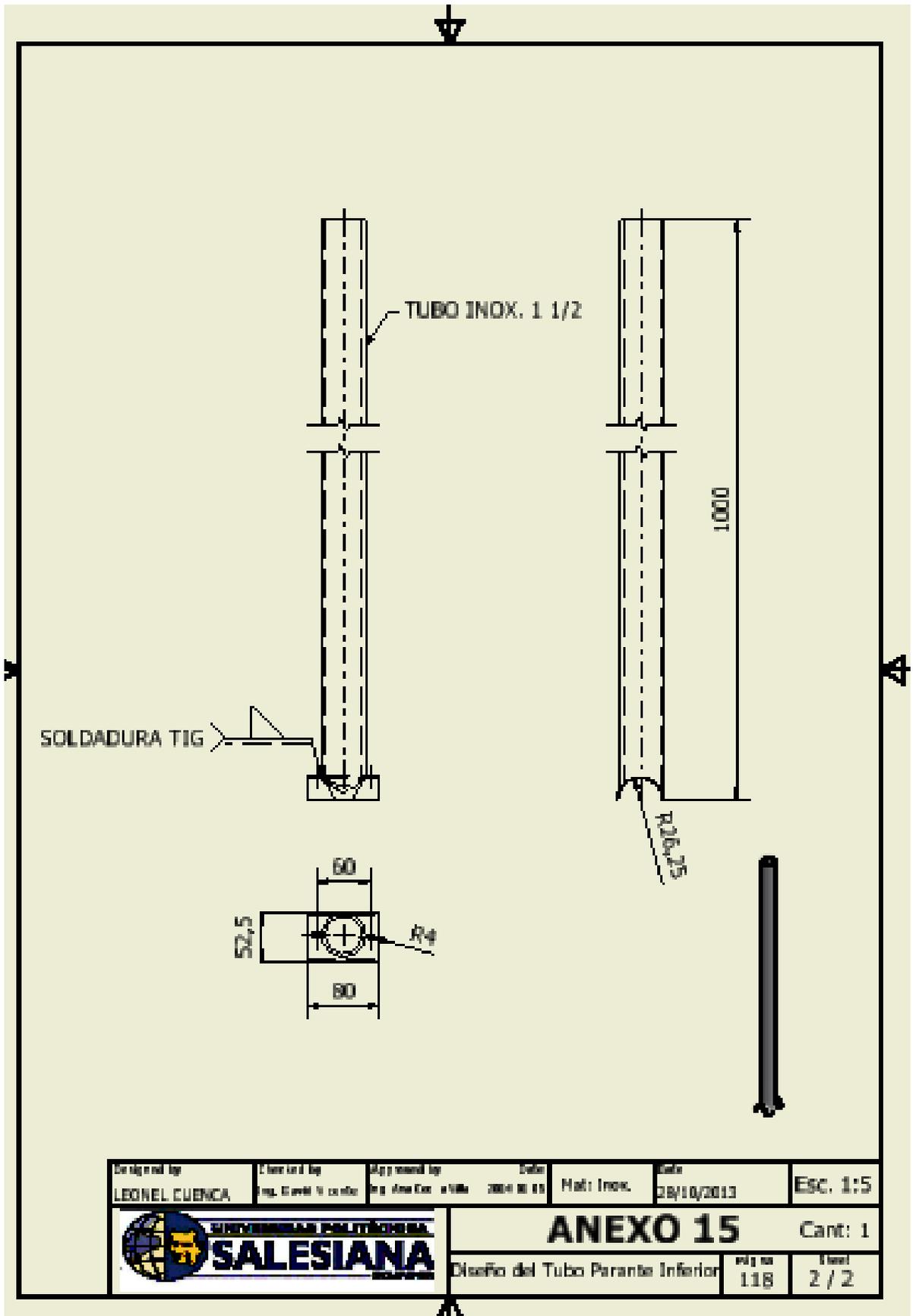
N7 TORNEADO

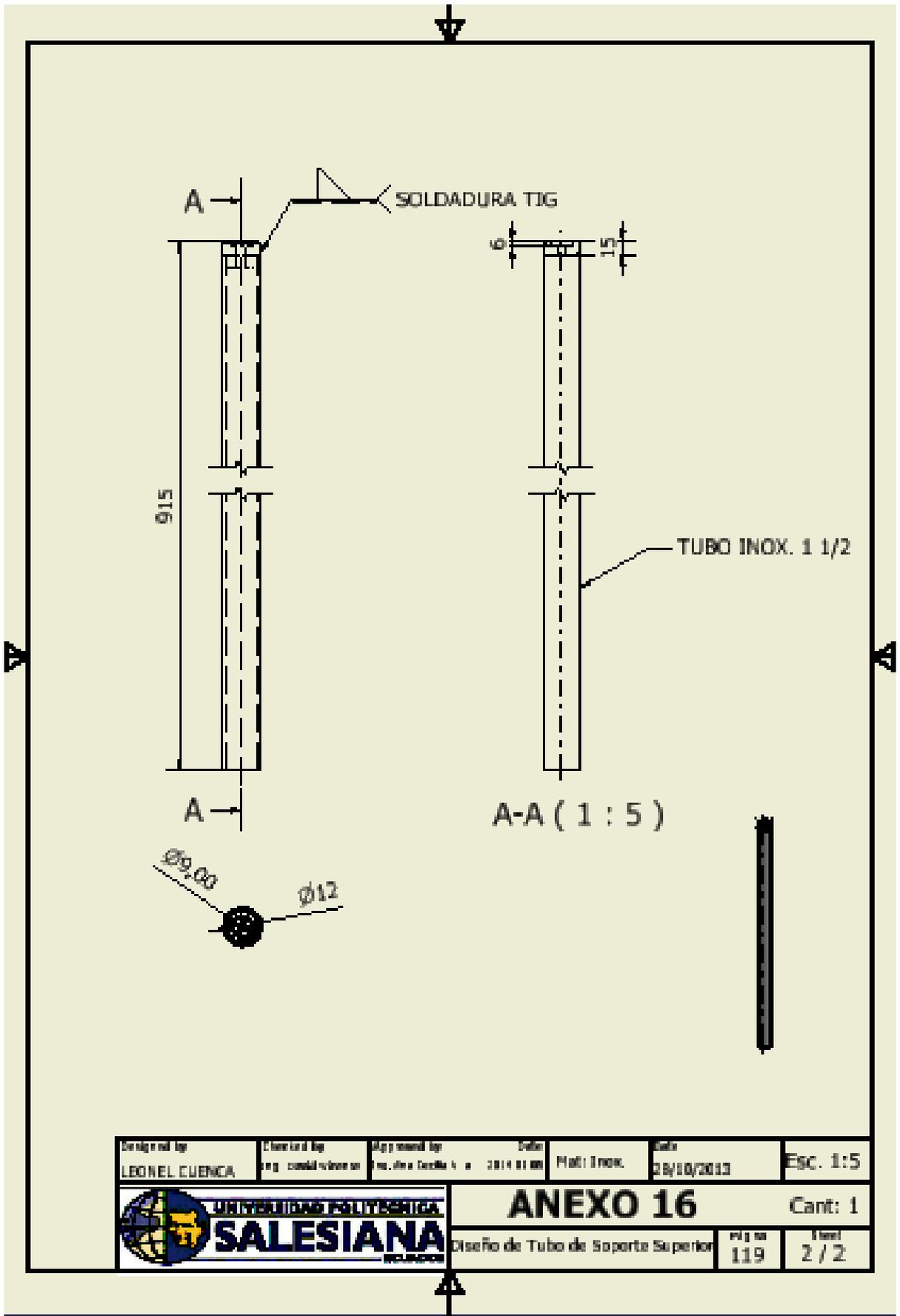
Designed by LEONEL CUENCA	Checked by Eng. David Viveros	Approved by Eng. Ana Cecilia V. S.	Date 2014/01/08	Mat: Inox.	Date 20/10/2013	ESC. 1:1
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		ANEXO 115		Cant: 1		
Diseño de Tapa Brazo Superior				orig no 115	hoja 2 / 2	



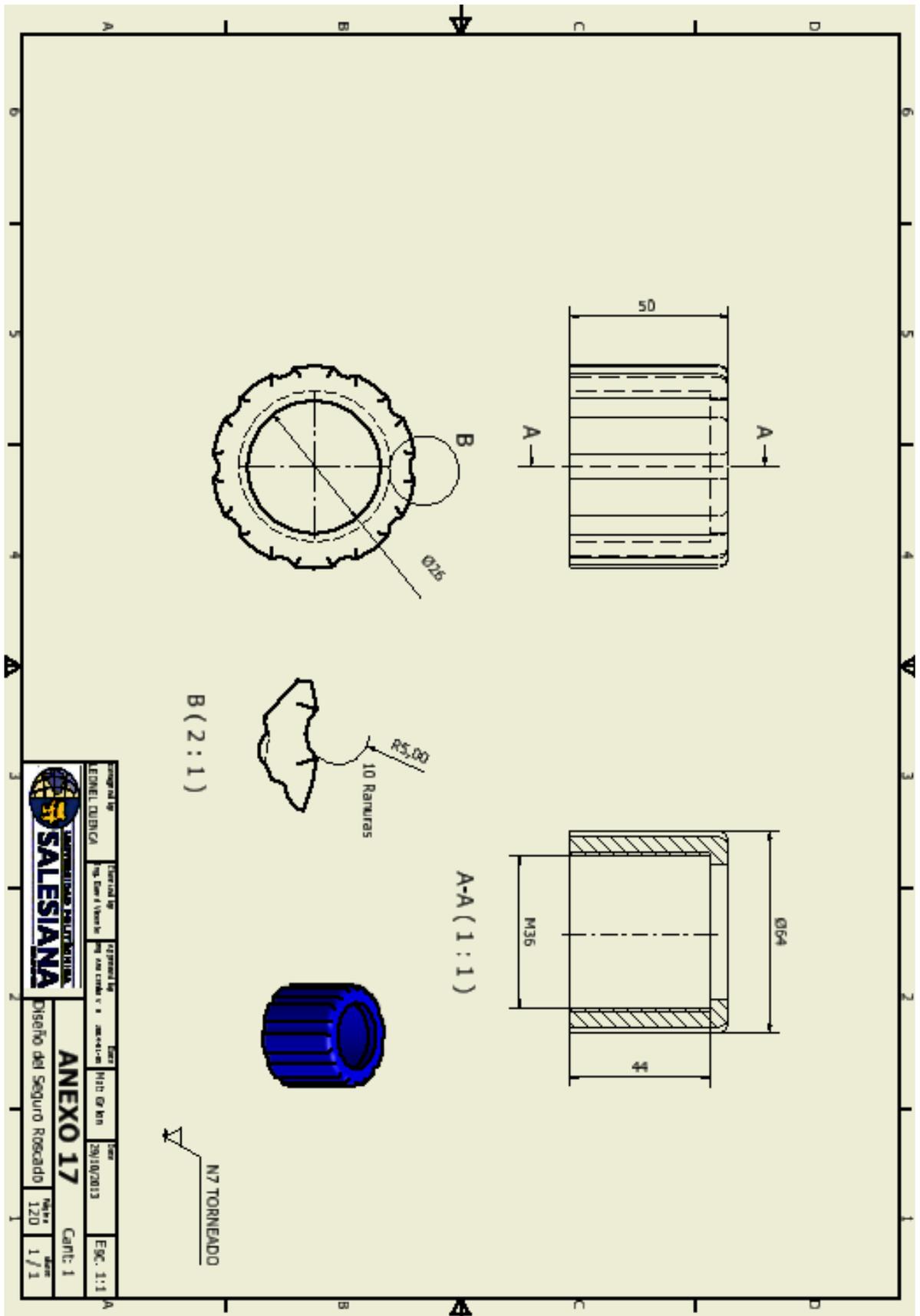


 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	Facultad de INGENIERÍA	Ingeniería de Soldadura	Ingeniería de Soldadura	2013	Msc. JIM	2013/2013	Esc: 1:1
	ANEXO 14			Diseño de Base de Lámpara	117	2/2	

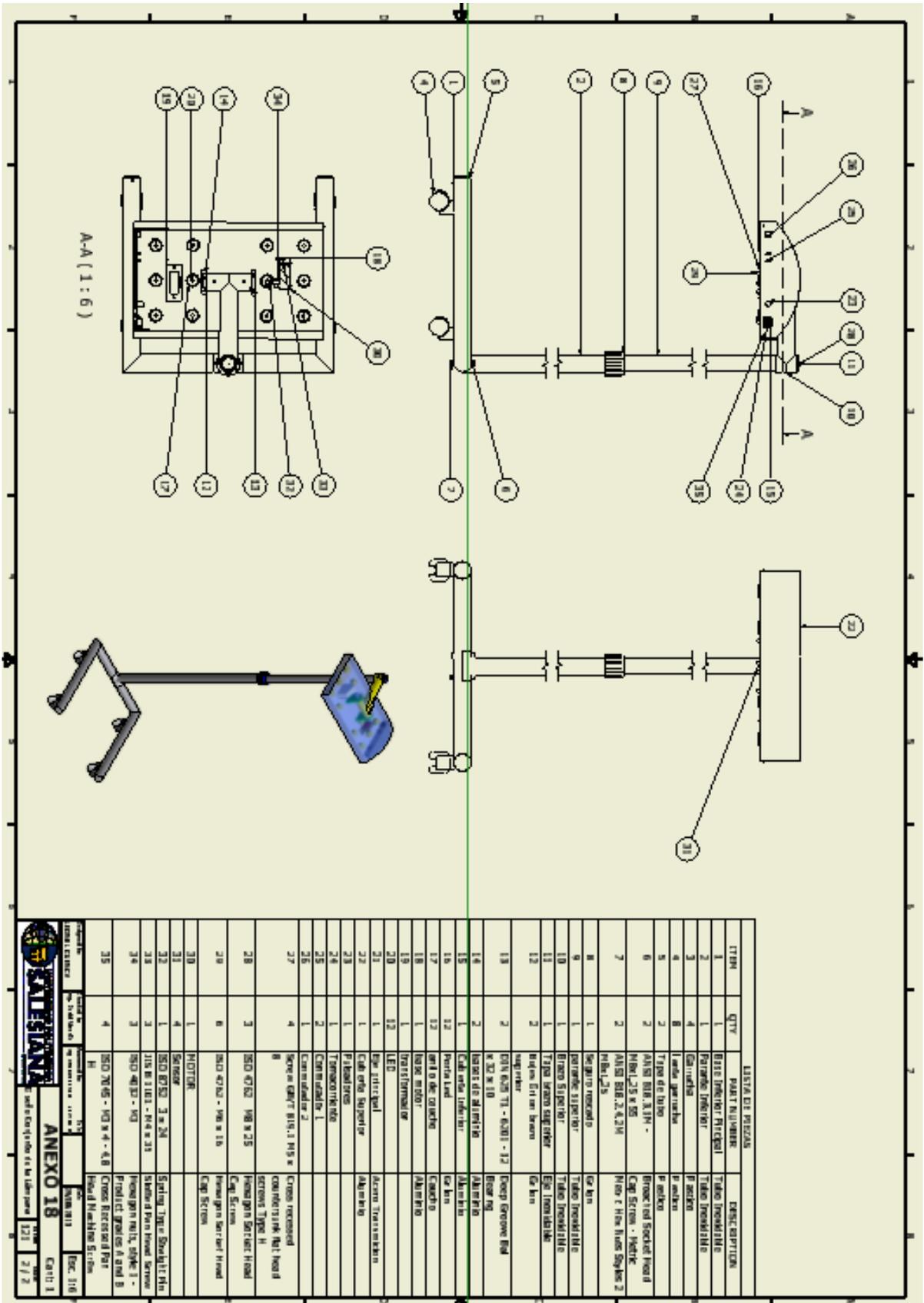




Designed by LEONEL CUENCA	Checked by ING. COMBOLIVEROS	Approved by ING. ALBA GARCIA	Date 2014-01-09	Material Inox.	Date 28/10/2013	Esc. 1:5
 UNIVERSIDAD SALESIANA <small>BUENOS AIRES</small>		ANEXO 16		Cant: 1		
Diseño de Tubo de Soporte Superior				Fig. no 119	Total 2 / 2	



 SALESIANA	Diseño del Seguro Roscado
ANEXO 17	Carta: 1
120	1/1



ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Base Monitor P/Recpt	Tubo Invertible
2	1	Parante Inferior	Tubo Invertible
3	4	Garuda	P ancha
4	8	Unas giratorias	P ancha
5	2	Tubo de tubo	P ancha
6	2	ANIS BITE 3.1X1 - H8x1,25 x 55	Protectal Socket Head Cap Screw - Metric
7	2	ANIS BITE 3.42X1 - H8x1,25	Prot r Hex Head Syles 2
8	1	Seguro roscado	se bit
9	1	Botone s/selector	Tubo Invertible
10	1	Botone s/selector	Tubo Invertible
11	1	Tubo brazo superior	Eje Invertible
12	2	Bujas, fin con braco superior	de bit
13	2	GRU BITE 3.1 - 6.2X1 - 12	Deep Groove Ball
14	2	GRU BITE 3.1 - 6.2X1 - 12	Ball Bearing
15	1	Carro de alfilerio	Alfilerio
16	12	Perla Led	de bit
17	12	anillo de caucho	Caucho
18	1	Base inferior	Alfilerio
19	1	VERTICOMOTOR	
20	12	LED	
21	1	Eje principal	Acero Tronchonan
22	1	Caja otro Selector	Alfilerio
23	1	P/selector	
24	1	Transmisor de	
25	2	Controlador 1	
26	1	Controlador 2	
27	4	Senor CAR7 815,1 H5 x 8	Cross roscado con refuerzo del head
28	3	ISO 4752 - 1/8 x 2,5	Hexagon Server Head Cap Screw
29	6	ISO 4752 - 1/8 x 1,6	Hexagon Server Head Cap Screw
30	1	PISTON	
31	4	SENSOR	
32	1	ISO 8752 - 3 x 24	Spring Type Shocklet Pin
33	3	ISO 8103 - H4 x 21	Standard Pin Head Screw
34	3	ISO 4832 - 1/2	Hexagon Nut, Syle 1 - Product grades A and B
35	4	ISO 7645 - H3 x 4 - 4,8	Cross Recessed Pin Head Machine Screws


ANEXO 18

121 2/2

ANEXO 19

LÁMPARA DE FOTOTERAPIA CON SISTEMA DE CONTROL DIGITAL PARA TRATAMIENTO DE ICTERICIA EN NEONATOS



CARACTERÍSTICAS DE LA LÁMPARA

La ictericia es la 4ta causa de morbilidad infantil por egresos hospitalarios en nuestro país, alrededor de 4574 neonatos en un año son atendidos en los hospitales públicos y privados [1]. La lámpara de fototerapia Led es un sistema que permite suministrar luz para el tratamiento de la ictericia y puede utilizarse en los centros médicos del país.

Longitud de onda

El Led que posee la lámpara tiene una longitud de onda óptima (460-465 nm) para maximizar el metabolismo de la bilirrubina (ver figura 1).

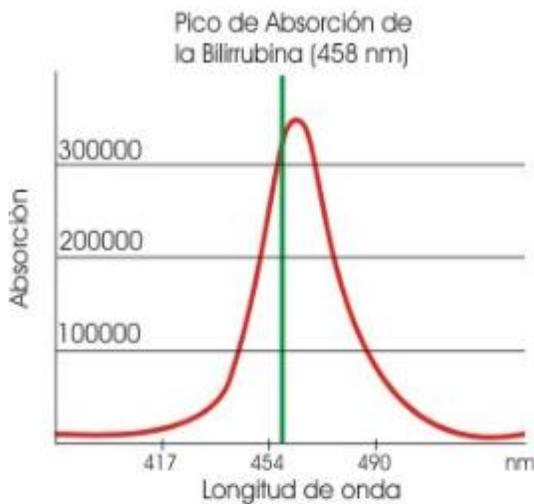


Figura 1: Emisión espectral de la luz azul de los Leds en relación con la absorción de bilirrubina [2]

Niveles de irradiación

Los niveles de irradiación alta de 45

$\mu\text{w}/\text{cm}^2/\text{nm}$ y una irradiación baja de 22 $\mu\text{w}/\text{cm}^2/\text{nm}$.

Distribución lumínica

El diseño óptico y la distribución lumínica garantizan que la luz será distribuida uniformemente en una superficie de 0.57 m^2 , maximizando la degradación de la bilirrubina (ver figura 2).

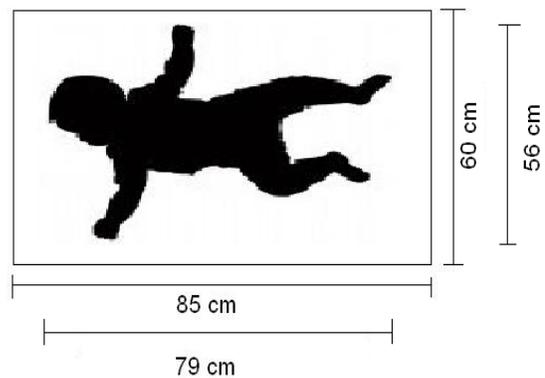


Figura 2: Área de distribución lumínica uniforme

Detector de fallas

La lámpara posee un sistema de verificación de funcionamiento de la lámpara, esto permite al usuario conocer si el sistema no está funcionando correctamente (ver figura 3).



Figura 3: Detector de fallas

Inclinación de la lámpara

Inclinación de hasta 90°, lo que permite usarlo con una cuna de calor radiante y cualquier otro cuna.

Ruedas pequeñas multidireccionales

Puede deslizarse y desplazarse fácilmente hacia cualquier lugar donde se desee situarla.

Altura ajustable - Hasta 50 cm

ESPECIFICACIONES

Especificaciones físicas

Dimensiones generales (LxAnxAI)	500 mm x 500 mm x 1800 mm
Peso total	35 kg
Tamaño	500 mm x 500 mm
Ajuste de altura	1450 mm a 1800 mm desde la fuente de luz hasta el suelo (ajustable 350 mm)
Dimensiones de la lámpara	500 mm x 500 mm x 250 mm
Inclinación de la Lámpara	Regulable desde 0° hasta 90°
Superficie efectiva	850 mm x 600 mm a 45 cm de altura

Especificaciones de rendimiento

Potencia	48 W
Voltaje	110 V – 60 Hz
Protección contra sobrecalentamiento	Corte de alimentación con temperaturas $\geq 65^\circ$ C Corriente de contacto inferior a 500 μ A a 264 VCA RMS (sistema encendido)

Especificaciones de rendimiento

Temperatura ambiente	De +10°C a 35°C
Humedad	De 20% a 75% de humedad relativa sin condensación
Presión Atmosférica	De 70 kPa a 106 kPa

Especificaciones de rendimiento

Irradiación Espectral	Irradiación alta = 45 μ W/cm ² /nm Irradiación baja = 22 μ W/cm ² /nm
Rango de longitud de onda	460 nm - 465 nm y la longitud de onda dominante es 463
Duración	50000 horas
Nivel de ruido máximo	32 dB (A)

Estándares normativos

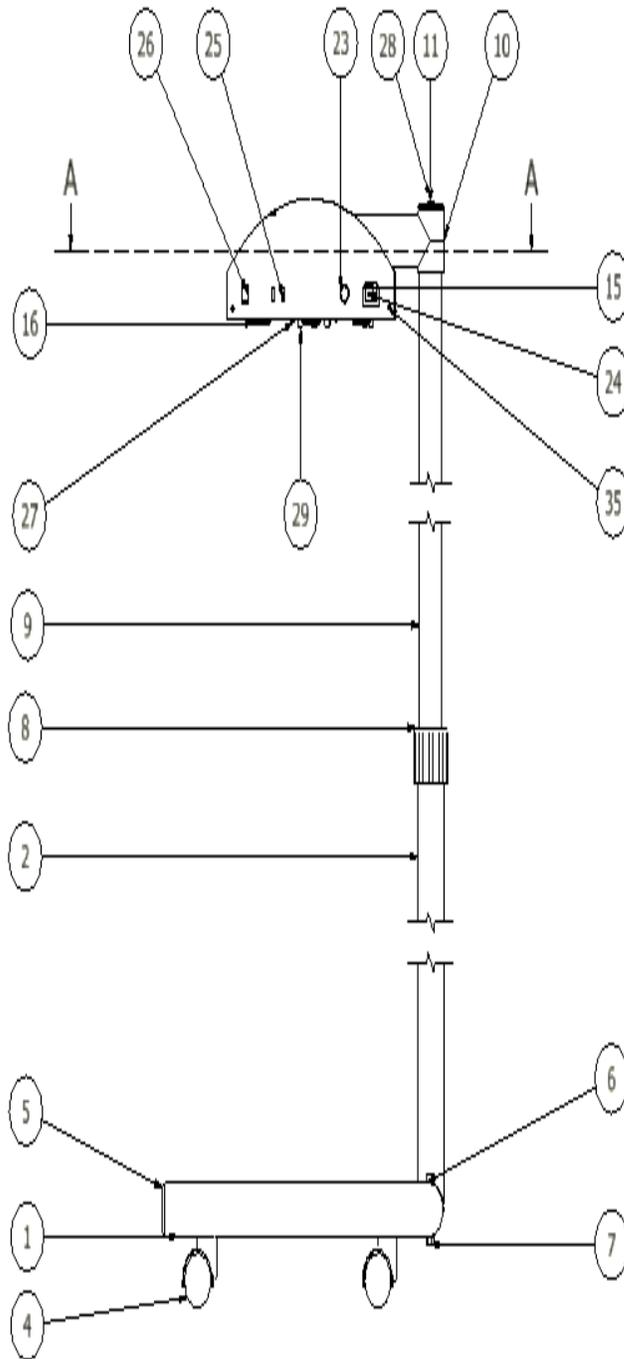
IEC clase 1 (funcionamiento continuo)	Certificación TÜV Rheinland CB con respecto a las siguientes normas: IEC 60601-2-50; IEC 60601-1; IEC 60601-1-2
---------------------------------------	---

Bibliografía

[1] Anuario de Estadísticas Hospitalarias, Camas y Egresos, 2011. INEC, Dirección Nacional de Información, Seguimiento y Control de Gestión, http://www2.paho.org/ecu/dmdocuments/indi_bs_%202011.pdf

[2] Comparativa de equipos de fototerapia Leds, Sergio M. Blanco, Facultades de Ingeniería y Medicina Universidad de la República O. del Uruguay
<http://www.nib.fmed.edu.uy/Seminario%202006/Trabajos%20estudiantes%202006/Blanco,%20sergio.pd>

ACCESORIOS Y ENSAMBLAJE



LISTA DE PIEZAS		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Base Inferior Pincipal
2	1	Parante Inferior
3	4	Garrucha
4	8	llanta garrucha
5	2	Tapa de tubo
6	2	ANSI B18.3.1M - M8x1,25 x 55
7	2	ANSI B18.2.4.2M - M8x1,25
8	1	Seguro roscado
9	1	parante superior
10	1	Brazo Superior
11	1	Tapa brazo superior
12	2	Bujes Grilon brazo superior
13	2	DIN 625 T1 - 6201 - 12 x 32 x 10
14	2	bases de aluminio
15	1	Cubierta Inferior
16	12	Porta Led
17	12	anillo de caucho
18	1	base motor
19	1	transformador
20	12	LED
21	1	Eje principal
22	1	Cubierta Superior
23	1	Pulsadores
24	1	Tomacorriente
25	2	Conmutador 1
26	1	Conmutador 2
27	4	Screw GB/T 819.1 M5 x 8
28	3	ISO 4762 - M8 x 25
29	6	ISO 4762 - M6 x 16

MANTENIMIENTO

Mantenimiento Preventivo

Para el mantenimiento preventivo se debe seguir el siguiente proceso:

1. Apagar el equipo
2. Desconectar el cable de poder
3. Quitar los pernos de seguro de la cubierta de la matriz con la llave hexagonal 5/32
4. Cuidadosamente separar del equipo la cubierta de la matriz
5. Realizar una limpieza interna y externamente con un compresor o una secadora (no limpiar la parte interna del equipo con ningún tipo de líquido o químico de limpieza)
6. Conectar el el cable de poder y con un multímetro constatar los voltajes de la fuente de alimentación (+5V y +24V), si uno de valores no concuerdan remplazar la fuente inmediatamente. Apagar el equipo
7. Constar que las borneras de la fuente y la tarjeta de control se encuentren bien sujetos
8. Revisar todos los cables para cerciorarse que ninguno de ellos se encuentre desconectado, en mal estado o en produciendo algún tipo de corto circuito
9. Verificar que el motor se encuentre bien sujeto a su base utilizando la llave hexagonal 1/8
10. Verificar que todos los pernos de la estructura metálica de la base se encuentren bien sujetos, utilizando la llave hexagonal 1/4
11. Ubicar en su lugar la cubierta de la matriz
12. Asegurar la cubierta de la matriz con sus respectivos pernos
13. Encender el equipo y verificar que su funcionamiento sea el correcto

Mantenimiento Correctivo

Para el mantenimiento correctivo se debe seguir el siguiente proceso:

1. Apagar el equipo
2. Desconectar el cable de poder
3. Verificar que el fusible que se encuentra a un lado del conector de cable de poder no se encuentre dañado, en caso contrario reemplazarlo. Encender al equipo y si aún no funciona correctamente seguir con el siguiente ítem, caso contrario realizar un mantenimiento preventivo
4. Verificar si en el display de la lámpara se visualiza el mensaje de error “LAMPARA DEFECTUOSA”, si este es el caso seguir con el siguiente ítem, caso contrario saltar al ítem 8
5. Quitar los pernos de seguro de la cubierta de la matriz con la llave hexagonal 5/32
6. Cuidadosamente separar del equipo la cubierta de la matriz
7. Con una batería de 5V conectar a cada uno de los Leds y visualmente testear cual es el Led o los Leds que se encuentra defectuosos. Cuando se determine cuáles son los Leds defectuosos se debe reemplazarlos con nuevos. Si con estos cambios el equipo funciona correctamente se debe realizar un mantenimiento preventivo, caso contrario seguir con el siguiente ítem
8. Conectar el cable de poder y con un multímetro constatar los voltajes de la fuente de alimentación (+5V y +24V), si uno de valores no concuerdan reemplazar la fuente inmediatamente. Verificar que si reemplazando la fuente el equipo funciona correctamente se concluye el mantenimiento, caso contrario continuar con el siguiente ítem
9. Reemplazar la tarjeta de control por una nueva y enviar la tarjeta averiada para su arreglo
10. Ubicar en su lugar la cubierta de la matriz
11. Asegurar la cubierta de la matriz con sus respectivos pernos
12. Encender el equipo y verificar que su funcionamiento sea el correcto

Técnico de Mantenimiento

Ing. Adrian Leonel Cuenca Vicente

CI: 1104159494

Cel: 0999091097

Telf: 072614620

Dir: Loja, Via Oriental de Paso N° 11-57 El Valle

ANEXO 20

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO MATERIALES

Unidad	Material	Valor
24	Leds	\$ 15,00
1	Motores	\$ 50,00
1	Estructura Metálica	\$ 250,00
3	PCBs	\$ 150,00
1	Materiales Eléctricos	\$ 50,00
	TOTAL	\$ 515,00

PRESUPUESTO DE GASTOS DE OFICINA

Unidad	Material	Valor
12	Internet mensual	\$ 240,00
12	Energía Eléctrica mensual	\$ 90,00
500	Hojas de Papel	\$ 5,00
	Impresiones	\$ 110,00
	TOTAL	\$ 445,00

PRESUPUESTO TOTAL

	Valor
Presupuesto Materiales	\$ 515,00
Presupuesto Gastos Oficina	\$445,00
Mano de Obra	\$ 1500,00
TOTAL	\$ 2460,00