



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DESARROLLO DE UNA SUPERFICIE INTERACTIVA MULTITOUCH
“LASER LIGHT PLANE”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A N

ORTIZ CALOCA PAMELA
VÁZQUEZ TREJO GUILLERMO

Director: M. en P. Jesús Ramírez Ortega



MÉXICO, D.F. AGOSTO 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

El CCADET, a través del Grupo de Espacios y Sistemas Interactivos para la Educación, fue parte fundamental en la realización del proyecto: Desarrollo de una superficie interactiva multitouch “Laser Light Plane”.

Queremos mencionar que al integrarnos al proyecto, algunas cosas ya estaban definidas, tales como que la estructura sería circular, que se podría modificar su altura, así como el proyector y la cámara que se utilizarían. Partimos de los problemas que se tenían para integrar todas las partes del sistema: la resolución de la imagen proyectada en la superficie, la constitución de ésta, la retroproyección, cuál sería la fuente de luz infrarroja a utilizar (su forma de conectar y alimentar), además de los conflictos que surgieron sobre la marcha.

Agradecimientos

A mis padres por todo su apoyo y paciencia.

A mis hermanas que siempre tienen una palabra de aliento.

Al M. en P. Jesús Ramírez Ortega por la oportunidad de colaborar en este proyecto y por todo el apoyo que nos brindó.

Y a todos aquellos que formaron parte de este proyecto.

A los doctores Jesús Garduño Mejía, Omar Guillermo Morales S. y al M. en C. Carlos Jesús Román Moreno del grupo de Óptica no Lineal por el apoyo brindado.

A mis amigos que durante estos 5 años me han brindado su apoyo en los buenos y en los malos momentos.

Ortiz Caloca Pamela

Agradecimientos

A mis padres Carmen y Luis, por su gran apoyo, consejos, paciencia, confianza y porque siempre me han impulsado a seguir adelante.

A mis hermanos Claudia, Sonia y Luis Arturo, porque siempre han estado a mi lado.

Al Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico por abrirnos las puertas para llevar a cabo este proyecto.

A nuestro director de tesis, el M. en P. Jesús Ramírez Ortega, por darnos la confianza de tomar parte en el proyecto y orientarnos a lo largo de la realización del mismo.

Al grupo de Óptica No Lineal ubicado dentro del Departamento de Óptica y Microondas del CCADET, por su valiosa colaboración.

A todo el grupo de trabajo que participó en el proyecto.

A Pamela, por su ayuda, paciencia y comprensión que me brindó.

A todos mis amigos que me apoyaron y motivaron en momentos difíciles.

Vázquez Trejo Guillermo

Contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1: Conceptos básicos.....	5
1.1. Radiación y luz infrarroja.....	5
1.2. Láseres.....	13
1.2.1. Clasificación de los riesgos de los láseres.....	16
1.2.2. Normas de seguridad sobre láseres.....	18
1.3. Tecnologías ópticas multitouch.....	19
1.3.1. Introducción a las tecnologías ópticas multitouch.....	20
1.3.2. Fuentes de luz infrarroja.....	20
1.3.3. Cámaras infrarrojas.....	21
1.4. Laser Light Plane (LLP).....	23
1.4.1. Ventajas y desventajas.....	25
1.5. Tecnologías de la información y la comunicación (TIC).....	25
1.5.1. TIC enfocadas a la educación.....	26
Capítulo 2: Diseño e implementación de la superficie interactiva.....	29
2.1. Diseño general.....	29
2.2. Componentes.....	31
2.3. Construcción del prototipo.....	42
2.4. Etapa de pruebas.....	53
2.4.1. Funcionamiento del hardware.....	56
2.5. Rediseño y/o modificaciones.....	57
2.5.1. Mejoras inmediatas.....	57
2.5.2. Mejoras a futuro.....	58

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO

Integrar tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el aula de clases, mediante el desarrollo de una superficie interactiva multitouch utilizando la técnica LLP (Laser Light Plane), que coadyuve a propiciar el trabajo colaborativo en beneficio del aprendizaje de los estudiantes.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Entorno actual

Hoy en día, en las aulas escolares de educación básica no se cuenta con la tecnología de superficies interactivas multitouch; de hecho, hace apenas unos cuantos años se empezaron a introducir computadoras, pero no fue una para cada aula, sino que un conjunto de máquinas fueron dispuestas para toda la escuela. De esta forma, el profesor cuenta en el aula únicamente con los métodos de enseñanza tradicionales. Teniendo en cuenta estos antecedentes hemos visualizado la importancia de introducir este tipo de superficie y, en general, las TIC en el aula escolar.

Descripción del problema a resolver

Si en el aula tenemos un grupo numeroso de alumnos, el cual organizamos a trabajar por equipos, no todos los integrantes tienen la posibilidad de participar activamente debido a que se cuenta, en el mejor de los casos, con un solo equipo de cómputo normal, y éste no promueve la participación colaborativa. Este hecho se manifiesta debido a que solamente quien tiene posesión del teclado y el mouse pueda llevar el control de las actividades didácticas que promueve el profesor, convirtiendo a los demás integrantes en espectadores no activos o, en la mejor situación, en semiactivos. Con esto sucede que los objetivos de aprendizaje planteados por el profesor no se cumplan de manera cabal en todo el grupo.

Bajo estas consideraciones, se pretende integrar tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el aula para fomentar el trabajo colaborativo. El propósito es hacerlo mediante una superficie interactiva multitouch, que es una tecnología que permite

la interacción entre hombre y máquina, consiste en una superficie táctil que reconoce al mismo tiempo múltiples puntos de contacto; en este caso será usada por niños, quienes no solo jugarán y se divertirán, si no que la podrán emplear como un excelente recurso para fomentar su aprendizaje, ya que contará con elementos didácticos que ayudarán a mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje.

Relevancia y justificación

La introducción de las tecnologías de la información y comunicación, en este caso la superficie interactiva en un aula escolar, aportará al grupo de estudiantes una herramienta muy poderosa desde el punto de vista educativo, ya que el profesor podrá complementar con ella sus labores pedagógicas cotidianas; en general, podemos hablar que se usará la tecnología para fines educativos.

Debido a la necesidad que se tiene actualmente de mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje así como de propiciar la participación de todos los integrantes al trabajar de manera colaborativa, decidimos realizar el presente proyecto. Los beneficios de la superficie interactiva serán para los niños que hagan uso de ella, ya que mediante ésta tecnología, podrán realizar actividades recreativas y didácticas de una forma diferente, que les llame más la atención, es decir, de una forma innovadora.

Alcances y limitaciones

Dentro de los alcances del presente proyecto se puede mencionar que va dirigido a niños entre 6 y 12 años, a pesar de esto puede adaptarse para usuarios de cualquier edad.

Entre sus limitaciones está el número de personas para la que fue diseñada, de preferencia el grupo de usuarios debe ser de 4 personas, sin embargo, no hay un límite de usuarios mientras éstos pueden trabajar alrededor de la superficie sin que haya problemas en el funcionamiento de la misma.

MÉTODO

El presente proyecto de tesis consiste en integrar una superficie interactiva multitouch en el aula de clases. El sistema cuenta con cuatro láseres infrarrojos a los que se les coloca una lente generadora de línea (ver glosario) para expandir el haz de luz de una dimensión lineal a un plano de 2 dimensiones, el plano de luz infrarroja generado debe ser rasante a una superficie de vidrio. Una cámara con filtro infrarrojo se coloca debajo de la superficie de tal manera que pueda visualizarla completamente. La cámara está conectada a un CPU y es la encargada de sensar los puntos de toque sobre la superficie; cuando un usuario toca la superficie con el dedo, la luz infrarroja ilumina el objeto y la cámara recoge el punto brillante, esta información es procesada por el software utilizado (ReactIVision). La superficie fungirá como monitor del CPU debido a que un proyector de tiro corto realimenta la imagen en ella (figura I.1.).

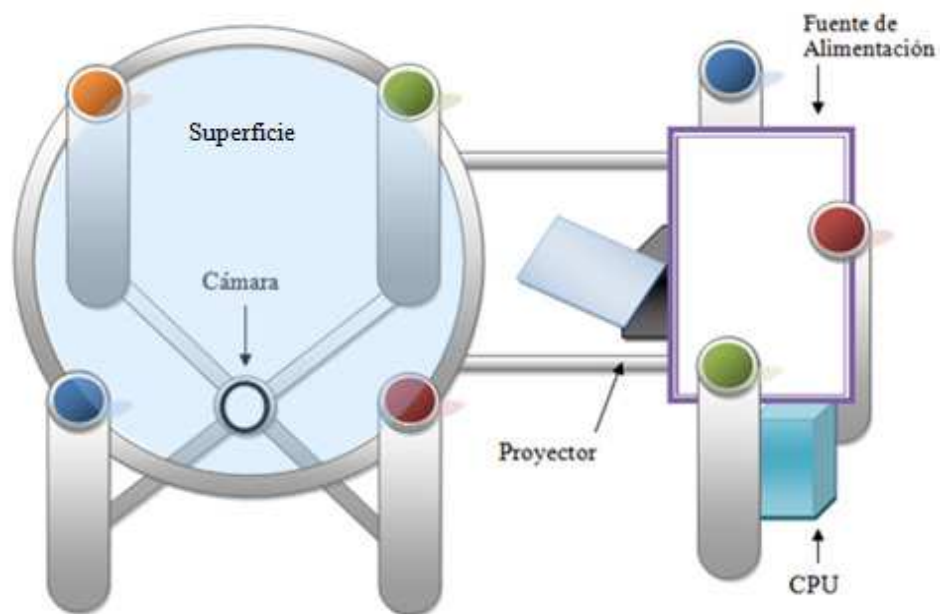


Figura I.1. Esquema general del sistema propuesto.

RESULTADOS ESPERADOS

Lograr mediante el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC), un recurso útil, divertido y sencillo de manejar que sea aprovechable dentro del aula y que propicie el trabajo colaborativo.

RESUMEN DE LA TESIS

En el presente proyecto de tesis se describe el desarrollo e implementación de una superficie interactiva multitouch utilizando la técnica “Laser Light Plane”. La tesis se divide en tres capítulos, a continuación se describe el contenido de cada uno.

En el capítulo 1 se definen los conceptos básicos y la terminología necesaria para que el lector se introduzca en el contexto del trabajo desarrollado. Se hace una breve descripción de la luz infrarroja y sus efectos adversos en la salud del ser humano; asimismo, hablamos de los láseres, la clasificación según sus riesgos, las tecnologías ópticas multitouch, la técnica “Laser Light Plane”, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y la relación de éstas en los procesos enseñanza-aprendizaje.

En el capítulo 2 mostramos las características y especificaciones generales de cada uno de los dispositivos necesarios para el desarrollo de la superficie interactiva. Con base a lo anterior describimos la construcción del sistema completo y el papel que juega cada uno de los componentes en el funcionamiento de éste. Mencionamos también, las pruebas realizadas para verificar su funcionamiento y finalmente, las mejoras inmediatas y a futuro del sistema desarrollado.

En el capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos durante cada una de las etapas del proyecto, es decir, los resultados arrojados de la construcción del modelo físico, de la medición de irradiancia en la superficie y de la puesta en funcionamiento del sistema completo. El capítulo finaliza con las conclusiones del proyecto de tesis. Al final del trabajo incluimos dos anexos de interés para el lector: el diseño de la fuente de alimentación de los láseres y un fragmento de las normas de exposición a radiación infrarroja emitidas por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP).

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. RADIACIÓN Y LUZ INFRARROJA

La radiación infrarroja es la parte del espectro de radiación no ionizante comprendida entre las microondas y la luz visible. Dentro del espectro electromagnético, las distintas longitudes de onda tienen energías considerablemente diferentes para ocasionar efectos biológicos, por lo cual, el ultravioleta y el infrarrojo pueden subdividirse aún más, como se muestra en la tabla 1.1.

La radiación infrarroja se denomina también radiación térmica (o calor radiante), y es emitida por todos los objetos calientes (motores calientes, metales en fusión y otras fuentes de calor en fundiciones, lámparas eléctricas incandescentes, sistemas de calefacción radiantes, etc.). Es emitida asimismo por una gran variedad de equipos eléctricos, como motores, generadores y transformadores eléctricos y diversos equipos electrónicos [2].

Banda	Longitud de onda	Otra terminología
UVC	100 nm a 280 nm	Ultravioleta lejano
UVB	280 nm a 315 nm	Ultravioleta medio
UVA	315 nm a 400 nm	Ultravioleta cercano
LUZ	400 nm a 780 nm	Visible
IRA	780 nm a 1400 nm	Infrarrojo cercano
IRB	1.4 μ m a 3 μ m	Infrarrojo medio
IRC	3 μ m a 1000 μ m	Infrarrojo lejano

Tabla 1.1 Subdivisiones del ultravioleta y el infrarrojo.

Nota: Estos intervalos están de acuerdo con lo definidos por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). Además, si bien no existe un límite claro entre longitudes de onda visible y UV, los límites de uso general se dan en esta tabla) [2].

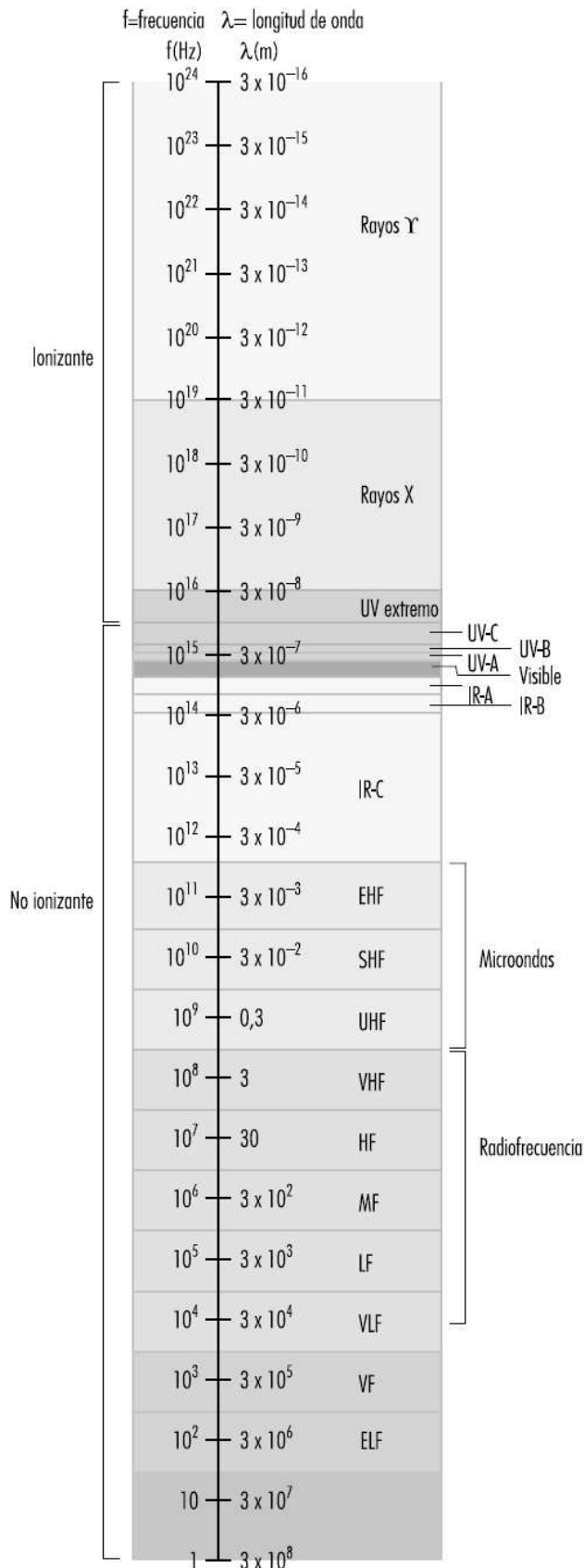


Figura 1.1. División del espectro electromagnético [2].

La radiación infrarroja es parte natural del entorno humano y por lo tanto, las personas están expuestas a ella en pequeñas cantidades en todas las situaciones de la vida diaria, por ejemplo en el hogar o durante las actividades recreativas realizadas al sol.

División del espectro infrarrojo y unidades de medida

Las longitudes de onda de la radiación infrarroja (IR) están comprendidas entre 780 nm y 1mm, su ubicación dentro del espectro electromagnético se presenta en la figura 1.1. Según la clasificación de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), esta banda se subdivide en IRA (de 780 nm a 1.4 μ m), IRB (de 1.4 μ m a 3 μ m) e IRC (de 3 μ m a 1 mm). Tal subdivisión se ajusta de manera aproximada a las características de absorción dependiente de la longitud de onda de la IR en el tejido y a los diferentes efectos biológicos resultantes [2].

En lo que a protección contra la radiación óptica se refiere, las magnitudes más importantes relativas a las fuentes puntuales o extendidas son la radiancia (L), expresada en $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ y la radiancia integrada en el tiempo (LP) en $\text{Jm}^{-2}\text{sr}^{-1}$, que expresan el “brillo” de la fuente (ver glosario).

A efectos de valorar el riesgo para la salud, las magnitudes más importantes relativas a las fuentes puntuales o extendidas, son la irradiancia (E) expresada en Wm^{-2} , que es equivalente al concepto de tasa de dosis de exposición, y la exposición radiante (H) en Jm^{-2} , que equivale al concepto de dosis de exposición [2] (ver glosario).

Radiaciones no ionizantes

Las radiaciones son formas de energía que se emiten, propagan y absorben por parte de la materia. Esta energía puede producirse en forma de ondas o de partículas corpusculares.

Las ondas son radiaciones electromagnéticas caracterizadas por:

- Frecuencia: se mide en ciclos/segundo o Hertz (Hz).
- Longitud de onda: se mide en unidades de longitud (metros).
- Energía: proporcional a la frecuencia y que se mide en electrón - volt (eV).

Las radiaciones se clasifican en Ionizantes y No Ionizantes.

Las radiaciones ionizantes, por su alto poder energético tienen capacidad para penetrar en la materia y arrancar electrones de los átomos que la constituyen, provocando con ello una ionización. Las radiaciones ionizantes engloban a los rayos X, rayos Y, partículas α , partículas β y neutrones.

Las radiaciones no ionizantes, al interaccionar con la materia biológica no producen ionización, no obstante, pueden ser causa de otros efectos, básicamente térmicos y fotoquímicos. Las frecuencias de las radiaciones no ionizantes son iguales o menores de 3000 THz y sus energías son iguales o menores a 12.4eV [20].

Radiaciones no ionizantes	Frecuencia	Energía
Radiación Ultravioleta	750 – 3000 THz	3.1 – 12.5 eV
Radiación Visible	385 – 750 THz	1.59 – 3.1 eV
Radiación Infrarroja	0.3 – 385 THz	1.24 – 1.59 meV
Microondas	0.3 – 300 GHz	1.24 ueV – 1.24 meV
Radiofrecuencias	0.1 – 300 MHz	0.41 neV – 1.24 ueV

Tabla 1.2. Frecuencia y energía de las radiaciones no ionizantes.

Fuentes de radiación infrarroja y riesgos inherentes

La exposición a la IR se debe a diversas fuentes naturales y artificiales. La emisión espectral de estas fuentes puede limitarse a una sola longitud de onda (como en el láser) o distribuirse sobre una amplia banda de longitudes de onda.

Muchos de los láseres utilizados en procesos médicos e industriales emiten niveles muy altos de IR. En general, comparada con otras fuentes de radiación, la radiación láser posee algunas características inusuales que pueden influir en el riesgo consecutivo a una exposición, tales como los impulsos de muy corta duración o una irradiancia extremadamente alta [2].

Efectos biológicos

Por regla general, la radiación óptica no penetra a mucha profundidad en el tejido biológico. Por lo tanto, los principales objetivos de una exposición a IR son la piel y los ojos. En la mayoría de condiciones de exposición el principal mecanismo de interacción de la IR es térmico. Sólo los impulsos de muy corta duración que pueden producir los láseres, pueden originar también efectos termomecánicos. Con la radiación IR no son de prever efectos debidos a ionización o a la ruptura de enlaces químicos, dado que la energía de las partículas, al ser inferior a 1.6eV aproximadamente, es demasiado baja para causar tales efectos (ver tabla 1.2). Por la misma razón, las reacciones fotoquímicas sólo revisten importancia a longitudes de onda cortas en las regiones visible y ultravioleta del espectro. Los distintos efectos de la IR para la salud, dependientes de la longitud de onda, se deben

principalmente a la propiedad de absorción de los tejidos, como ejemplo de esta afirmación tenemos la absorción espectral de los medios oculares [2] (figura 1.2.).

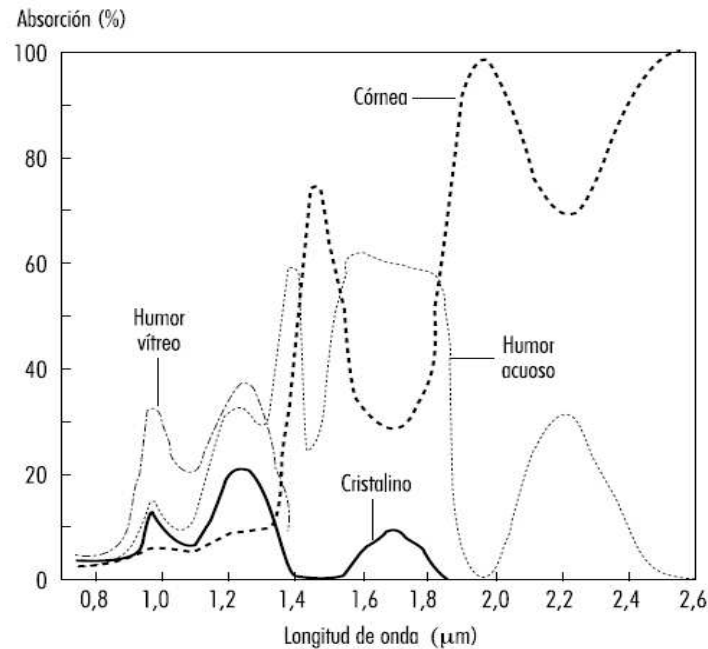


Figura 1.2. Absorción espectral de los medios oculares.

Efectos sobre el ojo

En términos generales, el ojo está bien adaptado para autoprotgerse frente a la radiación óptica del entorno natural. Además, está protegido fisiológicamente contra lesiones por fuentes de luz intensa, como el sol o las lámparas de alta intensidad, mediante una respuesta de aversión que limita la duración de la exposición a una fracción de segundo (0.25 segundos aproximadamente).

La IRA (780 – 1400nm) afecta principalmente a la retina, debido a la transparencia de los medios oculares. Además, cuando se mira directamente a una fuente puntual o a un haz láser, la capacidad de enfocar en la región de la IRA hace la retina mucho más susceptible de sufrir daños que ninguna otra parte del cuerpo.

Se considera que, con periodos de exposición cortos, el calentamiento del iris por absorción de radiación visible o IR próxima conduce a la formación de opacidades en el cristalino. Al

aumentar la longitud de onda, a partir de 1 μ m aproximadamente, aumenta también la absorción por los medios oculares. Las lesiones del cristalino se atribuyen a longitudes de onda inferiores a 3 μ m (IRA e IRB). El humor acuoso presenta una absorción especialmente elevada de la radiación infrarroja en longitudes de onda superiores a 1.4 μ m.

En la región IRB e IRC (1.4 – 1000 μ m) del espectro, los medios oculares se vuelven opacos a causa de la elevada absorción por el agua que contienen. En esta región, la absorción se produce principalmente en la córnea y el humor acuoso. Por encima de 1.9 μ m, el único medio realmente absorbente es la córnea. La absorción de radiación infrarroja de larga longitud de onda por la córnea puede elevar la temperatura del interior del ojo debido a la conducción térmica. Gracias a la rápida renovación de las células superficiales de la córnea cabe esperar que cualquier daño que se limite a la capa externa de esta última sea temporal.

En la banda de IRC (3 – 1000 μ m), la exposición puede provocar en la córnea quemaduras similares a las de la piel. No obstante, las quemaduras de la córnea no son muy probables dada la reacción de aversión que desencadena la sensación dolorosa provocada por una exposición intensa [2]. Como se aprecia en la figura 1.2, ningún medio ocular absorbe radiación infrarroja en porcentajes altos (3% aproximadamente) en la longitud de onda de los láseres empleados.

Efectos sobre la piel

La radiación infrarroja no penetra en la piel a mucha profundidad, por lo que la exposición de la piel a una IR muy intensa puede producir efectos térmicos de distinta intensidad e incluso quemaduras graves. Los efectos sobre la piel dependen de las propiedades ópticas de ésta, tales como la profundidad de penetración en función de la longitud de onda (figura 1.3.). Particularmente, a longitudes de onda mayores, una exposición extensa puede provocar un gran aumento de temperatura local y quemaduras. Debido a las propiedades físicas de los procesos de transporte térmico en la piel, los valores umbral para estos efectos dependen del tiempo. Por ejemplo, una irradiancia de 10 kWm⁻² puede causar una sensación dolorosa al cabo de 5 segundos, mientras que una exposición de 2 kWm⁻² no producirá la misma reacción en periodos de duración inferior a 50 segundos

aproximadamente [2]. En el apéndice B se presentan las tablas con los límites de exposición a radiación infrarroja para diferentes intervalos de tiempo y longitudes de onda.

Si la exposición se prolonga durante periodos muy largos, incluso con valores muy inferiores al umbral de dolor, el cuerpo humano puede sufrir una elevada carga térmica, en especial si la exposición abarca la totalidad del cuerpo como por ejemplo delante de acero fundido. Esto puede provocar un desequilibrio del sistema de termorregulación, en otro caso fisiológicamente bien equilibrado. El umbral de tolerancia de tales exposiciones depende de las diferentes condiciones individuales y ambientales, tales como la capacidad individual del sistema de termorregulación, el metabolismo del cuerpo durante la exposición o la temperatura ambiente, la humedad y el movimiento del aire (velocidad del viento). En ausencia de trabajo físico puede tolerarse una exposición de 300 Wm^{-2} como máximo durante ocho horas en determinadas condiciones ambientales, pero este valor disminuye a 140 Wm^{-2} aproximadamente durante el trabajo físico pesado [2].

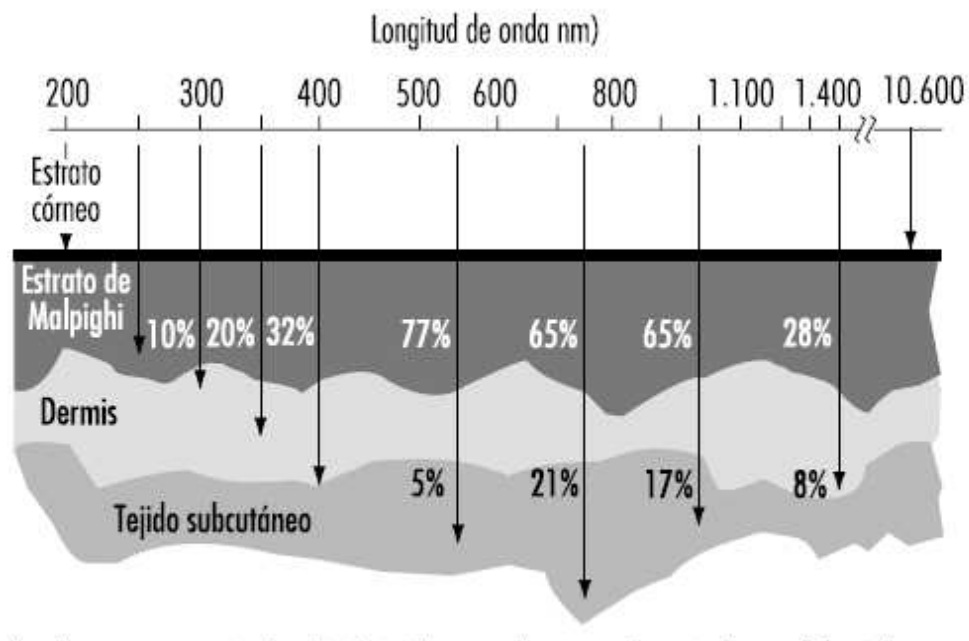


Figura 1.3. Profundidad de penetración en la piel a diferentes longitudes de onda.

Los valores son porcentajes de radiación incidente que alcanza una determinada capa de la piel.

Fuente: OMS 1982.

Normas de exposición

Los efectos biológicos de la exposición a la IR que dependen de la longitud de onda y de la duración de la exposición, sólo son intolerables si se sobrepasan ciertos valores umbral de intensidad o de dosis. Como protección frente a tales condiciones de exposición intolerables, organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Oficina Internacional del Trabajo (OIT), el Comité Internacional de Radiación no Ionizante de la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (INIRC/IRPA) y su sucesora la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP), así como la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH), han propuesto límites de exposición a la radiación infrarroja de fuentes ópticas tanto coherentes como incoherentes. La mayoría de las propuestas nacionales e internacionales sobre guías para limitar la exposición humana a la radiación infrarroja se basan en los valores límites umbral (TLV) publicados por la ACGIH (1993/1994) o coinciden exactamente con ellos. Dichos límites están ampliamente aceptados y se aplican con frecuencia en situaciones profesionales. Se basan en el estado actual del conocimiento científico y están destinados a prevenir lesiones térmicas de la retina y de la córnea y a evitar posibles efectos retardados en el cristalino [2].

Medición

Existen técnicas e instrumentos radiométricos que permiten analizar el riesgo para la piel y los ojos, derivado de la exposición a fuentes de radiación óptica. Para caracterizar una fuente de luz convencional suele ser muy útil medir la radiancia. Para definir condiciones de exposición peligrosa a fuentes ópticas, son más importantes la irradiancia y la exposición radiante. La evaluación de fuentes de banda ancha es más compleja que la de fuentes que emiten en una sola longitud de onda o en bandas muy estrechas, ya que han de tenerse en cuenta las características espectrales y el tamaño de la fuente. El espectro de ciertas lámparas consiste en una emisión continua en una amplia banda de longitudes de onda, simultánea a la emisión en ciertas longitudes de onda individuales (líneas). Si no se suma debidamente la fracción de energía de cada línea a la emisión continua, pueden introducirse considerables errores en la representación de esos espectros.

Medidas de protección

La exposición laboral a la radiación visible e IR rara vez entraña riesgos; no obstante, algunas fuentes emiten una cantidad considerable de radiación visible provocando con ello la respuesta de aversión natural, por lo que hay pocas probabilidades de sobreexposición accidental de los ojos. Entre las medidas que pueden adoptarse para reducir al mínimo la exposición innecesaria del personal a la radiación IR están un diseño técnico adecuado del sistema óptico que se utilice, el uso de gafas o pantallas adecuadas, la limitación del acceso a las personas directamente relacionadas con el trabajo y la comprobación de que los trabajadores son conscientes de los riesgos potenciales que entraña la exposición a fuentes de radiación intensa visible e infrarroja [2].

1.2. LÁSERES

Un láser es un dispositivo que produce energía radiante electromagnética coherente dentro del espectro óptico comprendido entre la zona final del ultravioleta y el infrarrojo lejano (submilimétrico) [2]. El término láser es el acrónimo de light amplification by stimulated emission of radiation (amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación).

La luz láser tiene las siguientes características específicas:

1. La luz láser es "monocromática", ya que los fotones que la forman tienen la misma energía y pertenecen a una misma longitud de onda y mismo color, es decir, tienen una ubicación específica dentro del espectro electromagnético. Ejemplo: con un láser verde, podemos perforar una pelota verde que se encuentra dentro de una pelota blanca, porque la pelota blanca no absorbe la luz verde, sino que la deja pasar.
2. Es "coherente". Esto significa que todas las ondas que conforman el haz láser, están en cierta fase relacionadas una con otra, tanto en tiempo como en espacio. Esto se debe a que cada fotón está en fase con el fotón entrante.

3. La luz láser es "colimada" (direccionabilidad), o lo que es lo mismo, en una sola dirección, ya que todas las ondas emitidas están casi paralelas y por tanto no hay divergencia del rayo de luz, por lo que permanece invariable aún después de largos recorridos [3].

Aunque el proceso láser fue predicho teóricamente por Albert Einstein en 1916, la primera demostración de un láser conseguido con éxito no tuvo lugar hasta 1960. En los últimos años, los láseres han encontrado múltiples aplicaciones, desde el laboratorio de investigación hasta el entorno industrial, médico y de oficinas, así como en obras de construcción e incluso en el ámbito doméstico. En numerosas aplicaciones, tales como reproductores de videodiscos y sistemas de comunicación por fibra óptica, la salida de energía radiante del láser está confinada, no existe ningún riesgo para la salud del usuario y éste puede no advertir siquiera la presencia de un láser incorporado en el producto. Sin embargo, en algunas aplicaciones médicas, industriales o en investigación la energía radiante emitida por el láser es accesible y puede suponer un riesgo potencial para los ojos y la piel.

Puesto que el proceso láser (denominado a veces "laseo") puede producir un haz de radiación óptica (es decir energía radiante ultravioleta, visible o infrarroja) fuertemente colimado, un láser supone cierto riesgo a considerable distancia. Quizás sea esta característica más que ninguna otra la que ha suscitado las especiales preocupaciones manifestadas por trabajadores y expertos en salud y seguridad en el trabajo. No obstante, los láseres pueden utilizarse sin peligro si se adoptan medidas apropiadas para controlar el riesgo. Existen normas de ámbito mundial para la utilización segura de los láseres, la mayoría de ellas "armonizadas" entre sí. En todas estas normas se utiliza un sistema de clasificación de riesgos que agrupa los productos láser en cuatro amplias categorías según la potencia de salida del láser y su capacidad para producir daño. Después se aplican medidas de seguridad acordes con la clasificación de riesgo.

Los láseres operan a longitudes de onda discretas y aunque la mayoría son monocromáticos (es decir, emiten una sola longitud de onda o un solo color) no es infrecuente que un láser

emita varias longitudes de onda discretas. Por ejemplo, el láser de argón emite varias líneas diferentes en la región del ultravioleta próximo y en la región visible del espectro, a pesar de estar diseñado en general para emitir solamente una línea verde (una sola longitud de onda) de 514.5 nm y/o una línea azul de 488 nm. Al considerar los riesgos potenciales para la salud, siempre es esencial establecer la longitud o longitudes de onda de salida.

Todos los láseres tienen tres componentes fundamentales:

1. Un medio activo (un sólido, líquido o gas) que define las longitudes de onda de emisión posibles.
2. Una fuente de energía (por ejemplo, corriente eléctrica, lámpara de bombeo o reacción química).
3. Una cavidad resonante con acoplador de salida (generalmente dos espejos).

La mayoría de los sistemas láser utilizados en la práctica fuera del laboratorio de investigación tienen también un sistema de transmisión del haz, por ejemplo una fibra óptica o un brazo articulado con espejos para dirigir el haz hacia una estación de trabajo, y lentes focalizadoras para concentrarlo sobre un material a soldar.

En un láser, átomos o moléculas idénticos se llevan a un estado excitado mediante la energía suministrada por la lámpara de bombeo. Cuando los átomos o moléculas se encuentran en un estado excitado, un fotón (“partícula” de energía luminosa) puede estimular a un átomo o molécula excitados para que emitan un segundo fotón de la misma energía (longitud de onda) que viaja en fase (radiación coherente) en la misma dirección que el fotón estimulante. Con ello se ha amplificado al doble la luz emitida. Este mismo proceso repetido en cascada hace que se forme un haz luminoso que se refleja hacia delante y hacia atrás entre los espejos de la cavidad resonante. Al ser uno de estos espejos parcialmente transparente, una parte de la energía luminosa abandona la cavidad resonante y da lugar a la emisión del haz láser. Aunque en la práctica los dos espejos paralelos suelen estar curvados para producir una situación de resonancia más estable, el principio básico es el mismo para todos los láseres.

Se han desarrollado y publicado guías y normas de seguridad en relación con los láseres, que abarcan básicamente todas las longitudes de onda del espectro óptico a fin de incluir tanto las líneas láser actualmente conocidas como los futuros láseres [2].

1.2.1 Clasificación de los riesgos de los láseres

Las normas actuales sobre seguridad de los láseres vigentes en todo el mundo siguen el método de agrupar los productos láser en clases de riesgo. En general, el esquema se basa en la agrupación en cuatro grandes clases de riesgo, de la 1 a la 4. Los láseres de clase 1 no pueden emitir radiación láser potencialmente peligrosa y no suponen ningún riesgo para la salud. Las clases 2 a 4 entrañan un riesgo creciente para los ojos y la piel. Este sistema de clasificación es útil porque se prescriben medidas de seguridad para cada clase de láser. Las clases superiores requieren medidas de seguridad más estrictas.

La clase 1 se considera un grupo sin riesgo, “seguro para la vista”. La mayoría de los láseres totalmente confinados (por ejemplo, los registradores láser de discos compactos) son de clase 1. Un láser de clase 1 no requiere ninguna medida de seguridad.

La clase 2 corresponde a los láseres visibles que emiten una potencia muy baja, la cual no sería peligrosa ni siquiera aunque el haz penetrase en el ojo humano con toda su potencia y se enfocase sobre la retina. La respuesta de aversión natural del ojo a la contemplación de fuentes de luz muy brillante lo protege contra lesiones de retina si la energía que entra en él es insuficiente para dañarla dentro del tiempo de respuesta de aversión. Dicha respuesta consiste en el reflejo de parpadeo (de 0.16 a 0.18 segundos aproximadamente), la rotación del ojo y el movimiento de la cabeza cuando se produce la exposición a esa luz tan brillante. Las normas de seguridad actuales definen de modo conservador una duración de la respuesta de aversión de 0.25 segundos. Por lo tanto, los láseres de clase 2 tienen una potencia de salida igual o inferior a 1 miliwatt (mW), que corresponde al límite de exposición admisible para 0.25 segundos. Son ejemplos de esta clase 2 los punteros láser y algunos láseres de alineación.

Algunas normas de seguridad contemplan también una subcategoría de la clase 2 denominada “clase 2A”. La contemplación de los láseres de clase 2A no es peligrosa durante un tiempo máximo de 1 000 s (16.7 minutos). La mayoría de los lectores láser utilizados en puntos de venta (cajas de supermercados) y de los lectores de inventario son de la clase 2A.

Los láseres de la clase 3 presentan un riesgo para la vista, dado que la respuesta de aversión no es lo bastante rápida para limitar la exposición de la retina a un nivel momentáneamente seguro y también pueden producirse daños en otras estructuras del ojo (por ejemplo, la córnea y el cristalino). Normalmente la exposición accidental no entraña riesgos para la piel. Son ejemplos de láseres de clase 3 numerosos láseres de investigación y telémetros láser militares.

La clase 3 tiene una subcategoría especial, denominada “clase 3A” (el resto de los láseres de clase 3 se denominan “clase 3B”). Los láseres de la clase 3A tienen una potencia de salida comprendida entre una y cinco veces los límites de emisión accesible (AEL) para la clase 1 o la clase 2, pero con una irradiancia de salida no superior al límite de exposición profesional correspondiente a la clase inferior. Son ejemplos de esta clase numerosos instrumentos láser de alineación y topografía.

Los láseres de clase 4 pueden entrañar riesgo de incendio, riesgo considerable para la piel o riesgo de reflexión difusa. Casi todos los láseres quirúrgicos y los de procesamiento de materiales utilizados para soldadura y corte son de clase 4 si no están confinados. Todos los láseres con una potencia de salida media superior a 0.5 W son de clase 4. Si un láser de alta potencia de clase 3 o clase 4 está totalmente confinado de manera que la energía radiante peligrosa no sea accesible, el sistema láser total podría ser de clase 1. El láser más peligroso, situado dentro de una carcasa se denomina láser interno o encapsulado [2].

1.2.2 Normas de seguridad sobre láseres

Muchas naciones han publicado normas de seguridad sobre láseres y la mayoría de ellas están armonizadas con la norma internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

La norma CEI 825-1 (1993) rige para los fabricantes; no obstante, también ofrece algunas orientaciones limitadas sobre seguridad para los usuarios. Todos los productos láser comerciales deben exhibir la clasificación de riesgos indicada. En todos los productos de las clases 2 a 4 debe aparecer una etiqueta de advertencia apropiada según la clase correspondiente [2].

Medidas de seguridad

El sistema de clasificación de riesgos de los láseres facilita considerablemente la determinación de las medidas de seguridad adecuadas. Las normas de seguridad sobre láseres y las reglas prácticas requieren por sistema la adopción de medidas de control tanto más restrictivas cuánto más alta es la clasificación.

En la práctica siempre es preferible confinar totalmente el láser y la trayectoria del haz de manera que no sea accesible ninguna radiación láser potencialmente peligrosa. En otras palabras, si sólo se utilizan productos láser de clase 1 en el lugar de trabajo, la seguridad de uso está garantizada. Sin embargo, en muchas situaciones esto sencillamente no es viable, por lo que se requiere la oportuna formación de los usuarios en la utilización segura del producto y en las medidas de control del riesgo.

Aparte de la regla evidente de no apuntar con un láser a los ojos de una persona, no se exige ninguna medida de control para un producto láser de clase 2. Para los láseres de clases superiores se requieren obviamente medidas de seguridad.

Si no es factible el confinamiento total de un láser de clase 3 o 4, el uso de carcasas que cubran el haz (por ejemplo tubos), pantallas deflectoras y cubiertas ópticas puede eliminar casi totalmente el riesgo de exposición ocular peligrosa en la mayoría de los casos.

Cuando no sea posible encerrar láseres de las clases 3 y 4, deberá establecerse una zona con entrada controlada para el láser y generalmente dentro de la zona de riesgo nominal (ZRN) del haz láser es obligatorio el uso de protectores oculares. Aunque en la mayoría de laboratorios de investigación en los que se utilizan haces láser colimados la ZRN abarca la totalidad de la zona controlada del laboratorio, en aplicaciones de haz focalizado la ZRN puede ser sorprendentemente limitada y no abarcar toda la sala.

Durante la alineación y la puesta a punto inicial del láser es preciso adoptar precauciones especiales, ya que la probabilidad de sufrir lesiones oculares graves es muy elevada en tales circunstancias. Las personas que trabajen con láseres deberán estar instruidas en los métodos de seguridad antes de realizar la puesta a punto y alineación del láser.

Se desarrollaron medios de protección ocular contra los daños que puede causar el láser y se definieron especificaciones para determinar las densidades ópticas (ver glosario) que serían necesarias para láseres específicos en función de la longitud de onda y de la duración de la exposición. Aunque existen en Europa normas específicas de protección ocular contra el láser, en Estados Unidos el American National Standards Institute facilita otras guías bajo las designaciones ANSI Z136.1 y ANSI Z136.3 [2].

1.3. TECNOLOGÍAS ÓPTICAS MULTITOUCH

Como ya se mencionó, multitouch es el nombre que recibe la interacción entre máquina-hombre, permite al usuario de la computadora el control de aplicaciones gráficas con los dedos. Existen una gran variedad de técnicas para elaborar un hardware multitouch.

Los dispositivos multitouch consisten de una pantalla sensible al tacto (pantalla de computadora, mesa, pared, etc.) y el software que reconoce simultáneamente los múltiples puntos de contacto, a diferencia del touchpad de las computadoras portátiles, el cual reconoce solo un punto de contacto.

En la actualidad hay cinco técnicas principales para elaborar un hardware multitouch; reflexión interna total frustrada (FTIR), iluminación difusa (DI), plano de luz láser (LLP), plano de luz LED (LED-LP) y finalmente la superficie de iluminación difusa (DSI). El principio de funcionamiento de estas cinco técnicas se basa en sensores ópticos.

Existen otras técnicas de sensado táctil, que incluyen como sensores dispositivos de proximidad, acústicos, capacitivos, resistivos, de movimiento, de orientación, y de presión. Varios sensores son combinados para formar una técnica particular de sensado multitouch [1].

1.3.1. Introducción a las tecnologías ópticas multitouch

El mayor porcentaje de dispositivos multitouch está basado en la detección óptica de luz, es decir, utilizando cámaras como sensores ópticos. El bajo costo, la adaptación a espacios pequeños o grandes y la facilidad de la su configuración son las principales razones de la popularidad de estas técnicas ópticas. La reflexión interna total frustrada (FTIR), iluminación difusa frontal y trasera (DI), plano de la luz láser (LLP), y la superficie de iluminación difusa (DSI), son ejemplos de sistemas multitouch basados en cámaras.

Cada una de estas técnicas consiste en un sensor óptico (típicamente una cámara), una fuente de luz infrarroja y una retroalimentación visual que puede ser una proyección en una superficie. Estos 3 mecanismos son la estructura principal que tienen en común todas las técnicas ópticas [1].

1.3.2. Fuentes de luz infrarrojas

La luz infrarroja o luz IR es una porción del espectro de luz que cae justo antes de la luz que el ojo humano puede percibir, en este rango la longitud de onda es mayor que la de la luz visible, pero menor que la de las microondas. Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. El infrarrojo cercano (NIR) es el extremo inferior del espectro de la luz infrarroja y de las longitudes de onda típicamente consideradas entre 700nm y 1000nm. La mayoría de los sensores de las cámaras digitales son también sensibles por lo menos a NIR y a menudo tienen un filtro para quitar esa parte

del espectro así que capturan solamente el espectro de la luz visible. Quitando el filtro de bloqueo infrarrojo y substituyéndolo por uno que bloquea la luz visible, se crea una cámara que ve solamente la luz infrarroja.

La luz infrarroja se utiliza principalmente en los dispositivos multitouch para distinguir entre la proyección en la superficie y los dedos que son sensados. Puesto que la mayoría de los hardware multitouch tienen un sistema de retroalimentación visual en donde la imagen que viene de un proyector se muestra en la superficie, es importante que la cámara no vea esta imagen al intentar sensar o rastrear los objetos en la superficie. Para separar los objetos que son sensados de la proyección, una cámara, según lo explicado arriba, se modifica para ver solamente el espectro infrarrojo de la luz; esto filtra la imagen visual (espectro de la luz visible) de ser visto por la cámara y por lo tanto, la cámara puede ver solamente la luz infrarroja que ilumina los dedos sobre la superficie de tacto.

En la mayoría de las técnicas ópticas multitouch (especialmente LED-LP y FTIR), se utiliza el IR LED porque son eficientes y eficaces en el abastecimiento de la luz infrarroja. Por otra parte, la iluminación difusa (DI) no requiere IR LED, sino una fuente de luz infrarroja como un iluminador infrarrojo (que pueda tener LED adentro). El plano de la luz láser (LLP) utiliza los láseres de IR como la fuente de luz [1].

1.3.3. Cámaras infrarrojas

Las cámaras web estándares trabajan muy bien para las aplicaciones multitouch, pero necesitan ser modificadas primero. Las cámaras web y las cámaras de uso cotidiano bloquean la luz infrarroja, dejando pasar solamente la luz visible.

La mayoría de las cámaras pueden capturar cierta luz infrarroja sin la modificación, pero pueden alcanzar un mejor rendimiento si el filtro es reemplazado. El rendimiento del dispositivo multitouch depende de los componentes usados. Por lo tanto, es importante seleccionar cuidadosamente los componentes del hardware [1].

Resolución: La resolución de la cámara es muy importante. Mientras mayor sea la resolución más pixeles estarán disponibles para detectar el dedo u objetos en la imagen de la cámara. Esto es muy importante para la precisión del dispositivo táctil. Para superficies pequeñas multitouch una cámara web de baja resolución (320 x 240) puede ser suficiente. Superficies más grandes requieren cámaras con una resolución de 640 x 480 o mayor para mantener la precisión.

Velocidad de cuadro por segundo: Es el número de cuadros que una cámara puede tomar en el plazo de un segundo. Entre más cuadros sean capturados, significa que tenemos más información de lo que está sucediendo en tiempo real. Para acoplar los rápidos movimientos a una respuesta rápida del sistema, una cámara con por lo menos 30 cuadros por segundo (FPS) es recomendable.

Interfaz: Básicamente hay dos tipos de interfaces que se puedan utilizar para conectar una cámara con una computadora. Dependiendo del presupuesto disponible uno puede elegir entre una cámara web estándar que utilice un interfaz USB o una cámara profesional que utiliza una interfaz de IEEE 1394 (que también se conoce como firewire). Un dispositivo 1394 de IEEE se recomienda porque tiene generalmente bajo estado de latencia (ver glosario) en la transferencia de la imagen de la cámara a la computadora.

Tipo de lente: La mayoría de las cámaras web contienen un filtro infrarrojo (IR) que evita que la luz del IR alcance el sensor de la cámara. Esto se hace para prevenir la distorsión de imagen. Para nuestro propósito, necesitamos capturar y utilizar la luz del IR. En algunas cámaras web es posible quitar el filtro del IR. Este filtro se coloca detrás de la lente y tiene a menudo un color rojo. Si no es posible quitar el filtro del IR, la lente tiene que ser sustituida por otra. En cámaras web el montaje M12 es el más usado. Las cámaras profesionales de la serie IEEE 1394 vienen a menudo sin una lente. Dependiendo del tipo de cámara es posible utilizar un montaje M12, C o CS para sujetar la lente.

Elegir la lente adecuada puede ser una tarea difícil, muchas fábricas afortunadamente proporcionan una calculadora en línea de la lente. La calculadora calcula la longitud focal

requerida basada en dos parámetros de entrada, que son la distancia entre la lente y el objeto (superficie del tacto) y la anchura o altura de la superficie táctil. Es necesario comprobar que la calculadora elija una lente apropiada. Las lentes con una longitud focal baja sufren a menudo de distorsión de imagen severa (distorsión de barril/ojo de pescado), que puede complicar la calibración del software de rastreo [1].

1.4. LASER LIGHT PLANE (LLP)

La luz infrarroja de los láseres brilla justo sobre la superficie. El plano de luz láser debe ser aproximadamente de 1 mm de grosor y estar situado encima de la superficie, cuando el dedo toque la superficie se registrará como un punto de toque [1] (figura 1.4.).

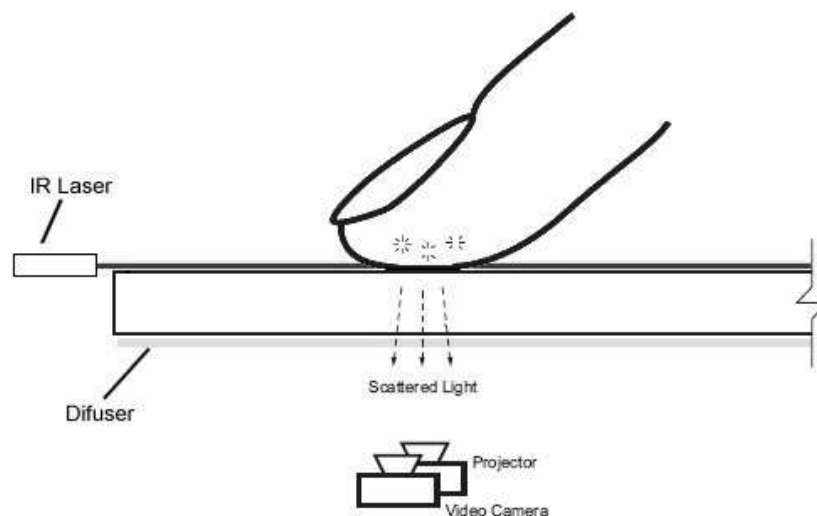


Figura 1.4. Funcionamiento de la técnica LLP

Los láseres infrarrojos son una forma fácil y por lo general económica de crear una configuración multitouch utilizando el método LLP. La mayoría de las configuraciones usan de 2 a 4 láseres, colocados en las esquinas de la superficie. El rango de potencia de láser (mW, W) está relacionado con su brillantez, así a mayor potencia, más brillantez del plano IR.

Las longitudes de onda de luz infrarroja comúnmente usadas son de 780nm y 940nm. Los módulos láser necesitan tener lentes generadores de línea para crear el plano de luz. Las lentes generadoras de línea de 120 grados son las más comúnmente usadas para reducir el número necesario de láseres que cubren la totalidad de la superficie de toque.

Las lentes generadoras de línea son usadas para expandir el haz de luz del láser de una dimensión lineal a un plano de 2 dimensiones. Estas lentes generadoras de línea reducen la intensidad del láser, pero el riesgo aún está presente. Es imperativo que los lentes de protección para la luz láser correspondan a la longitud de onda del láser usado y deben ser empleados durante la configuración del dispositivo LLP.

Ningún objeto que pueda refractar la luz indiscriminadamente debe ser colocado durante la configuración, por ejemplo, el fondo de un vaso cilíndrico de vino puede causar que la luz láser sea reflejada sobre otra área peligrosamente. Una barrera debe ser colocada alrededor de la frontera de la configuración para encapsular los haces de los láseres de manera que ningún láser debe poder ser observado directamente.

Existe una gran variedad de lentes de protección. Los anteojos son clasificados por su densidad óptica (OD), que es el logaritmo base 10 del factor de atenuación por el cual el filtro óptico reduce la energía del haz. Por ejemplo, anteojos con OD 3 reducirán la energía del haz en la gama de longitud de onda especificada por un factor de 1000 y una protección OD 5 reducirá la potencia del haz 100 veces más que un lente OD 3. Una protección de densidad óptica puede proteger los ojos contra la luz láser reflejada o dispersada, así como de la exposición directa a un rayo láser.

Resulta atinado realizar la configuración de un sistema con láser rojo visible de baja potencia para alineamiento básico debido a que estos son más seguros y ópticamente se comportan similarmente. Cuando se cambia a IR, existen tarjetas de detección que permiten observar la potencia de los láseres IR por absorción de la luz y remitiendo la luz visible, al igual que una tarjeta índice para verificar un haz visible, esta es una manera útil de verificar el alineamiento del láser IR usando lentes de protección.

Reiteramos las precauciones de seguridad más importantes mencionadas anteriormente: siempre utilizar lentes de seguridad durante la configuración, y nunca apuntar un láser directamente al ojo.

Si se emplean precauciones extremas y estas reglas no son rotas, la configuración de dispositivos LLP es segura. Sin embargo cualquier violación de cualquiera de estas guías de seguridad puede resultar en severas lesiones y daño permanente a la retina [1].

1.4.1. Ventajas y desventajas

Ventajas

- Pueden usarse materiales transparentes como el vidrio (no solamente acrílico).
- No requiere marco de LED.
- Configuración sencilla.
- Puede ser un poco más económica que otras técnicas.
- No se ve afectada por la luz de día.
- Es llamada también técnica de cero esfuerzo (como se explica en la página 29).

Desventajas

- No puede rastrear objetos tradicionales y fiduciaros (ver glosario).
- La intensidad de la luz detectada por la cámara no cambia con las variaciones de presión.
- Puede causar oclusión (ver glosario) si se emplean solamente 1 o 2 láseres.
- Es muy sensible a los puntos de toque de los usuarios, la superficie responderá aún a contactos accidentales.
- Los láseres son potencialmente peligrosos para los ojos y la piel.
- Disponibilidad de láseres infrarrojos [1].

1.5. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (TIC)

Hoy en día, en todas las áreas de la vida cotidiana la tecnología es una herramienta excelente que nos ayuda a facilitar aquellas tareas complicadas. Las tecnologías de la información y la comunicación son el conjunto de tecnologías que permiten la adquisición, producción, almacenamiento, tratamiento, comunicación, registro y presentación de informaciones, en forma de voz, imágenes y datos contenidos en señales de naturaleza acústica, óptica o electromagnética. Las TIC incluyen la electrónica como tecnología base que soporta el desarrollo de las telecomunicaciones, la informática y la parte audiovisual.

Entre las características de las TIC se encuentran la inmaterialidad, la instantaneidad y las aplicaciones multimedia. La primera se refiere a la digitalización de la información, ya que es posible almacenar grandes cantidades de información en dispositivos físicos pequeños. La instantaneidad se refiere a que se puede transmitir la información instantáneamente a lugares muy lejanos. La última característica mencionada hace alusión a las aplicaciones o programas multimedia que han sido desarrollados como una interfaz para facilitar el acceso a las TIC a todos los usuarios, esto se refiere a la interactividad, ya que a diferencia de las tecnologías clásicas que permiten una interacción unidireccional, de un emisor a una masa de espectadores pasivos, las TIC proporcionan una comunicación bidireccional.

La instrumentación tecnológica es una prioridad en la comunicación de hoy en día, ya que las tecnologías de la comunicación son la diferencia entre una civilización desarrollada y otra en vías de. Éstas poseen la característica de ayudar a comunicarnos porque se desaparecen las distancias geográficas y el tiempo [7].

1.5.1. TIC enfocadas a la educación

En los últimos años las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) están sufriendo un desarrollo vertiginoso, esto está afectando a prácticamente todos los campos de nuestra sociedad, y la educación no es una excepción. Esas tecnologías se presentan cada vez más como una necesidad en el contexto de sociedad donde los rápidos cambios, el aumento de los conocimientos y las demandas de una educación de alto nivel

constantemente actualizada se convierten en una exigencia permanente. Este tipo de tecnologías tiene aplicaciones en muchas áreas, como son la educación, la industria, etc.

Limitaciones

- Elevado costo de equipamiento e infraestructura.
- Limitados recursos económicos de los educadores para la adquisición de equipos.
- Falta de capacitación a los educadores para que puedan aplicar de manera adecuada en la práctica docente los cambios que implica la tecnología en los medios educativos y los recursos a los que los estudiantes tienen acceso.
- Falta de motivación de los educadores por su propia formación y actualización, ya que esta no le representa incentivos y/o oportunidades adicionales.

Necesidades metodológicas

- Capacitar, sensibilizar y actualizar a los docentes en el uso adecuado de las TIC en el ejercicio docente.
- Propiciar la adquisición y uso en la práctica docente de paquetes didácticos elaborados en base a las TIC.
- Desarrollar contenidos locales, regionales y nacionales en línea y formato digital como una manera de optimizar los recursos disponibles y de fortalecer la red.

Retos tecnológicos para la educación

1. La construcción de la infraestructura tecnológica en todos los centros educativos.
2. Integración de la tecnología en la instrucción.
3. Capacitación de todos los docentes de las distintas áreas para integrar la tecnología en la enseñanza.
4. Proveer soporte adecuado de usuario.

En la actualidad se busca integrar nuevas metodologías didácticas en las aulas, con el fin de mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje y avanzar en una progresiva innovación metodológica [7].

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SUPERFICIE INTERACTIVA

Anteriormente se mencionaron las diversas técnicas que existen para el desarrollo de superficies multitouch, sin embargo, la técnica de plano de luz láser (LLP) tiene ciertas características como son: su sencilla configuración, bajo costo, sensibilidad (cero esfuerzo) y eficiencia, por lo cual, es una técnica bastante rentable y que promete mucho en un futuro cercano.

Cabe señalar que inicialmente se probó como fuente de luz infrarroja unas tiras de leds infrarrojos (técnica FTIR) y el resultado fue que no trabajaba bien en ambientes iluminados, es decir, se veía afectada por la luz natural; ésta fue una razón más por la que se decidió emplear la técnica LLP.

2.1. DISEÑO GENERAL

Principio de funcionamiento

La técnica multitouch LLP (Plano de luz láser) es muy sencilla, usando 4 láseres infrarrojos de manera que la luz del proyector no interfiera con estos, se coloca una lente generadora de línea de 89° a cada láser, que permite abrir o generar un plano de luz infrarroja sobre una superficie, se coloca una cámara con un filtro que únicamente permita el paso de luz infrarroja. Cuando un objeto tiene contacto con la superficie la luz infrarroja ilumina el objeto, esto es lo que la cámara detecta como puntos de toque. A diferencia de la técnica FTIR (Reflexión interna total frustrada), no es necesario tocar la superficie con fuerza, por eso es llamada “superficie cero esfuerzo”, quiere decir que el resplandor es el criterio que se utiliza para rastrear y no depende de la presión de toque.

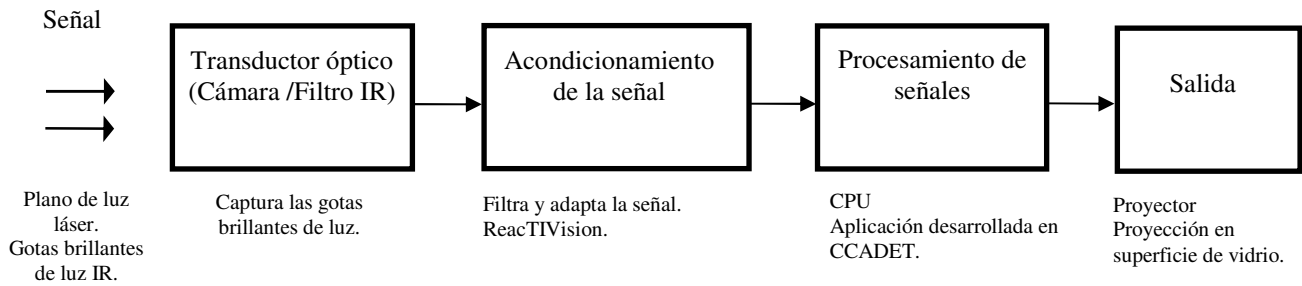


Figura 2.1. Diagrama a bloques del sistema.

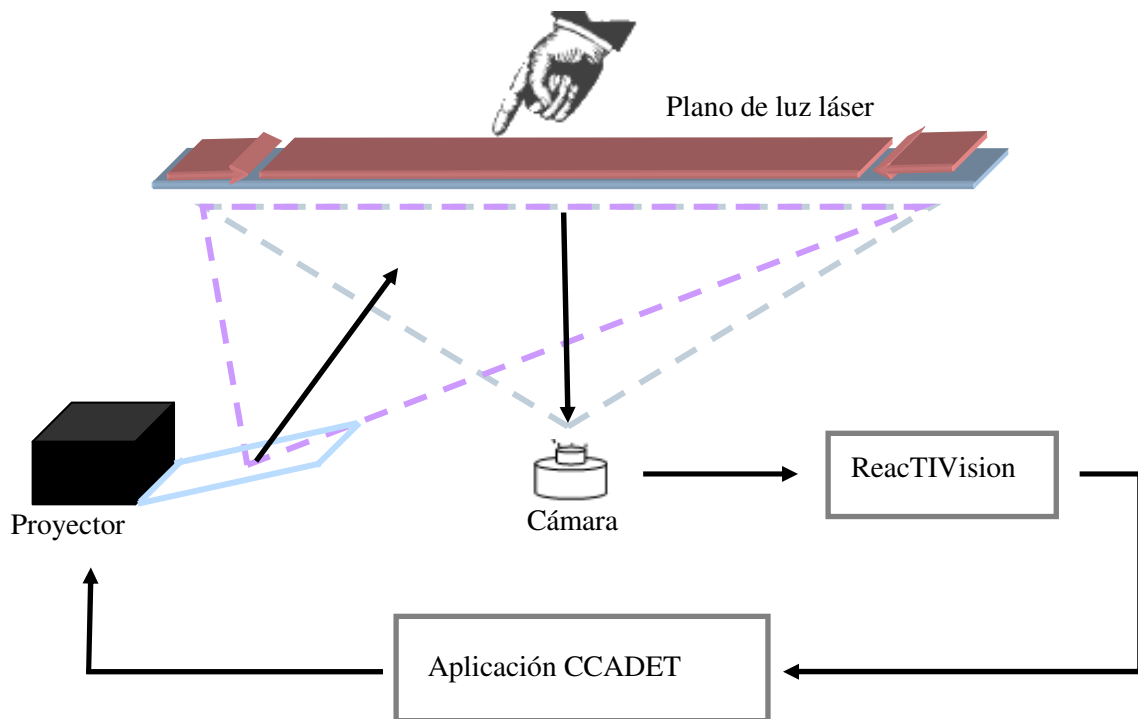


Figura 2.2. Esquema del sistema.

Nota: El número de láseres depende del tamaño de la superficie y del diseño e implementación de la técnica. El ángulo de apertura de las lentes puede variar según convenga.

2.2. COMPONENTES

Láseres infrarrojos

Es importante seleccionar un láser según su aplicación. En nuestro caso existen 4 principales características que debemos tomar en cuenta para su configuración:

- El ángulo de abertura de las lentes generadoras de línea.
- El número de láseres que serán utilizados.
- La potencia de salida de los láseres (miliWatts).
- La longitud de onda de la luz que será emitida por los láseres.

Las lentes generadoras de línea generan un plano x-y de luz, el cual será visualizado por la cámara y ésta nos permitirá sensar los puntos de toque, el ángulo de abertura de dichas lentes definirá la forma y dimensión del plano.

El número de láseres es importante para evitar un problema de oclusión, ésta es una de las principales desventajas de esta técnica, ya que cuando se ocupa solamente un láser, el toque más cercano a dicho láser podría causar una oclusión total y cualquier otro objeto que toque la superficie posteriormente no tendrá luz, por lo cual, no será detectado por la cámara.

El determinar la potencia de los láseres que se ocuparán, depende del tamaño de la superficie, una superficie pequeña necesita menos potencia que una superficie más grande. Las potencias más comunes son 5mW, 10mW y 25mW.

La única restricción de la longitud de onda de los láseres es que se encuentre en el intervalo de luz infrarroja 780 y 900nm. Cualquier longitud de onda dentro de este intervalo trabajará de la misma manera, es decir, no presentará una mejora significativa. El ancho de banda del filtro de la cámara debe coincidir con la longitud de onda del láser.

Debido al diseño de la estructura se usaron 4 láseres (uno en cada perfil), lo que disminuye la probabilidad de un problema de oclusión. La superficie de contacto es un círculo de 100 cm de diámetro, por lo que se eligió que la potencia de salida de los láseres fuera de 25mW,

con el objeto de que el brillo del plano de luz infrarroja rasante a la superficie sea suficiente; las lentes generadoras de línea que se le colocaron a los láseres disminuyen la potencia óptica de éstos al hacer divergir el haz de luz en un plano, con ángulo de abertura de 89°.

Especificaciones del módulo de láseres

Modelo no.	HLM-1230-B
Longitud de onda	780 nm
Potencia de salida	25 mW
Voltaje de operación	3.2 V
Corriente de operación	70 mA
Temperatura de operación	-10 - 50 °C
Patrón	Punto
Clase	IIIb

Tabla 2.1. Características de los láseres.

Dimensiones

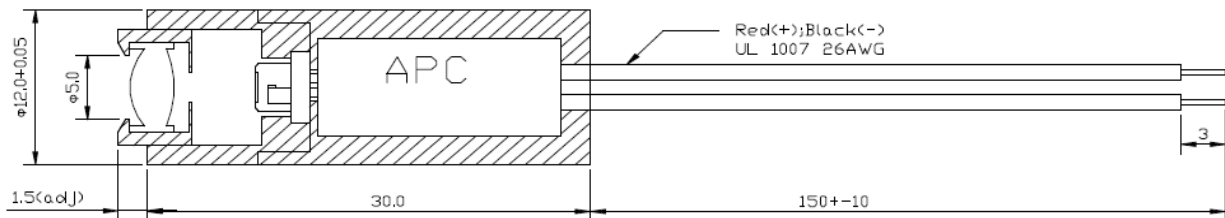


Figura 2.3. Dimensiones de los láseres.

Tarjeta sensor infrarrojo

Newport modelo F-IRC4 Infrared Sensor Card (0.70-1.60um).

Este sensor puede ser usado para identificar y localizar radiación infrarroja emitida por un led o alguna fuente láser.



Figura 2.4. Tarjeta sensor infrarrojo F-IRC4

Superficie

Para la selección de la superficie se debe tomar en cuenta que permita el paso de la luz IR a través de ella y que sea rígida; se eligió el vidrio porque cumple perfectamente con los requisitos anteriores. El inconveniente de usar acrílico es que este material, al ser una placa de 1m de diámetro, tiende a pandearse.

Se utilizaron dos superficies de vidrio con las siguientes características:

Superficie	Tinte	Grosor	Diámetro
Superior	Verde	6mm	90cm
Inferior	Ultra White	6mm	90cm

Tabla 2.2. Características superficies de vidrio.

El vidrio superior está esmerilado en una de sus caras para mejorar la dispersión de la luz del proyector y poder visualizar la imagen proyectada.

Estructura de aluminio

La estructura de la superficie dependerá de la aplicación de ésta. Se debe tomar en cuenta que el contorno de la superficie debe tener una cerca no reflectiva, o un marco alrededor del área de toque, es suficiente con unos cuantos milímetros de altura, esto previene que la luz IR escape, manteniéndola confinada dentro del área de toque.

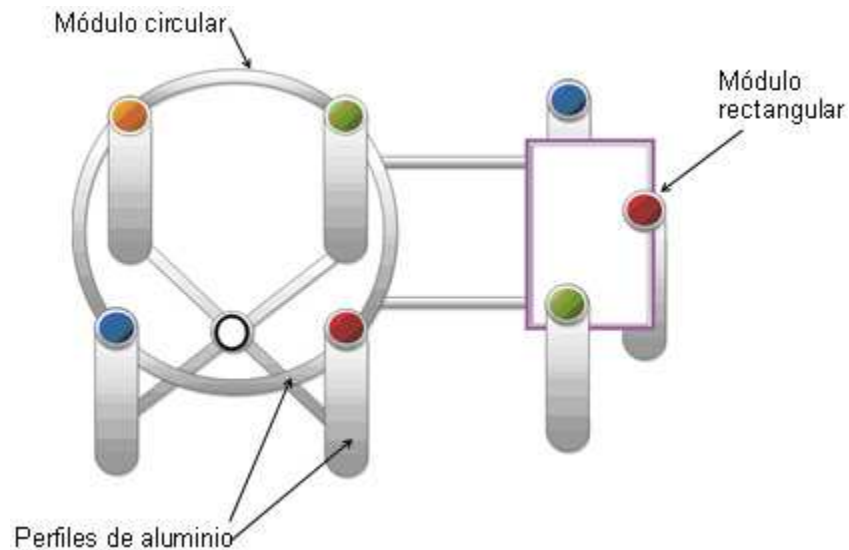


Figura 2.5. Diseño de la estructura.

La estructura la superficie es un módulo desmontable de tecnología europea llamada OCTANORM. Consta de dos módulos: uno circular que sostiene a la superficie de vidrio y un módulo rectangular que servirá de base para el CPU y el proyector. Toda la estructura es completamente desmontable, de tal manera que se compone de cuatro perfiles rectangulares curvos de aluminio que se unen con cuatro perfiles redondos para sostener la superficie de vidrio. El diseño circular de la estructura de la superficie interactiva promueve la participación en equipo, asimismo, es un diseño cómodo y divertido para niños.

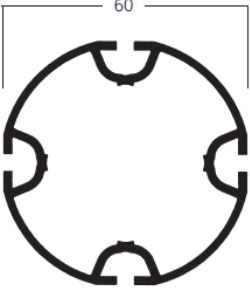
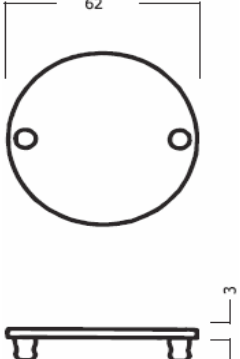
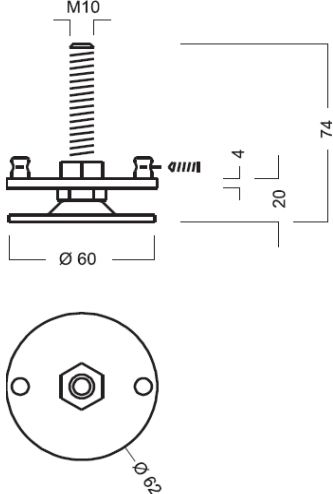
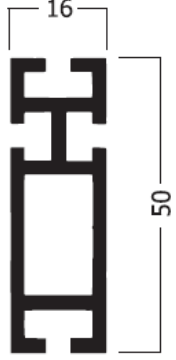
Dimensiones de la estructura completa

Ancho: 100 cm

Largo: 2 m

Alto: 63 cm

La siguiente tabla muestra los perfiles, mecanismos y accesorios de la tecnología OCTANORM utilizados para la construcción de la estructura, así como las características de cada uno [16].

Nombre	Características	Imagen (unidades en mm)
Perfil redondo Modelo M 1210 No. pzas. 7	Perfil redondo de 60mm con 4 ranuras @ 5000 mm Aluminio. Masa del perfil completo (5000mm de largo): 6,755 kg	
Tapa metálica Modelo M 1231 No. pzas. 7	Tapa metálica para extrusiones redondas de 60 mm Acero para perfil redondo de Ø 60 mm Masa: 0,073 kg	
Pie ajustable Modelo M 1232 No. pzas. 7	Pie ajustable para extrusiones redondas de 60 mm Acero para perfil redondo de Ø 60 mm Masa: 0,207 kg	
Perfil horizontal Modelo Z 460 No. pzas. 8	Perfil horizontal de 50 x 16 mm con 4 ranuras @ 5000 mm Aluminio Profundidad de ranura: 7,5 mm Masa del perfil completo (5000mm de largo): 4,24 kg	

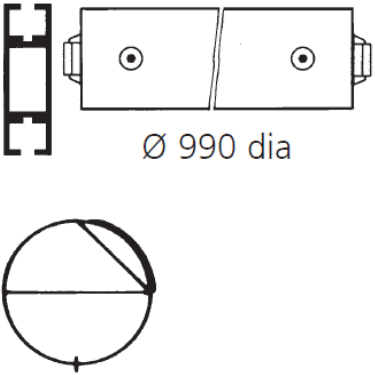
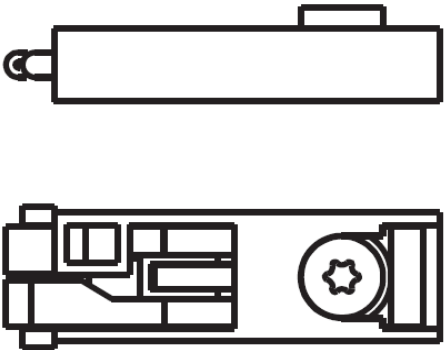
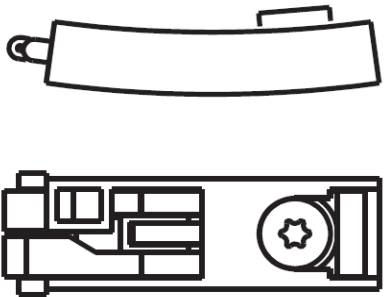
<p>Perfil Curvo Modelo Z 450</p> <p>No. pzas. 4</p>	<p>Perfil curvo 50 mm</p> <p>Aluminio con 2 tensores integrados Z 962/13 Ø 990 mm</p> <p>Masa: 0,722 kg</p>	 <p>Ø 990 dia</p>
<p>Tenso chapa recta Modelo Z 961/13</p> <p>No. pzas. 13</p>	<p>Tenso chapa de 13 mm / acero-zinc</p> <p>Fundición inyectada de cinc/acero para todo tipo de perfiles de marco, con cámara de 21x12 mm para tensor y también en combinación con adaptador Z 161/A para perfiles de marco, con cámara de 39x12 mm para tensor</p> <p>Masa: 0,052 kg</p>	
<p>Tenso chapa curva Modelo Z 962/13</p> <p>No. pzas. 8</p>	<p>Tenso chapa de 13 mm para curva / acero-zinc</p> <p>Fundición inyectada de cinc/acero para todos los marcos curvados dotados de cámara de 21x12 mm para tensor, y también en combinación con el adaptador Z 161/A para todos los marcos curvados de perfiles de marco, con cámara de 39x12 mm para tensor</p> <p>Masa: 0,052 kg</p>	

Tabla 2.3. Elementos de la estructura OCTANORM.

Cámara Optitrack SLIM V100

La cámara es uno de los dispositivos más importantes en este tipo de técnicas, es el sensor óptico que nos permite rastrear los puntos de toque. Las características más importantes de la cámara para esta aplicación son:

La resolución. Nos da la calidad en los puntos de toque, es decir, cuanto mayor sea la capacidad del objetivo de mantener como individualizados en la imagen los detalles sutiles del objeto, mayor será el poder de resolución. Una mayor resolución supone más detalles. Más detalles significan mejores posibilidades de identificación. Ejemplo: si tenemos un teclado en la superficie y la resolución es baja, la precisión del dispositivo será mala y cuando toques una tecla se registrará más de una.

Velocidad de cuadros por segundo. Nos permite rastrear u obtener mayor información de los puntos de toque. Acopla los rápidos movimientos a una respuesta rápida del sistema. Para nuestra aplicación, mientras mas FPS (Cuadros por segundo) tenga la cámara, el intervalo de tiempo que se presenta entre la entrada (un toque) y la salida (la acción que se realiza al detectar el toque) será menor.

Características [13]

Frame Rate	100 Hz
Resolución	640x480
Modo de imagen	Pre-procesado, en escala de grises, con tratamiento previo de objetos
Interfaz	USB 2.0 de alta velocidad, mini USB tipo B
Montaje	Caja opcional con trípode estándar 20 hilos
Latencia	10 ms
Precisión	2D sub milímetro, en función de marcador de tamaño y la distancia a la cámara
Rango de operación	15 cm – 6 metros, en función de marcador de tamaño y la lente.
Montaje de lente	M12
Corriente de consumo	150 mA

Tabla 2.4. Características de la cámara.

Lente 3.5mm con montaje M12, sin filtro, baja distorsión, campo de visión 57.5°.



Figura 2.6. Cámara Optitrack SLIM V100.

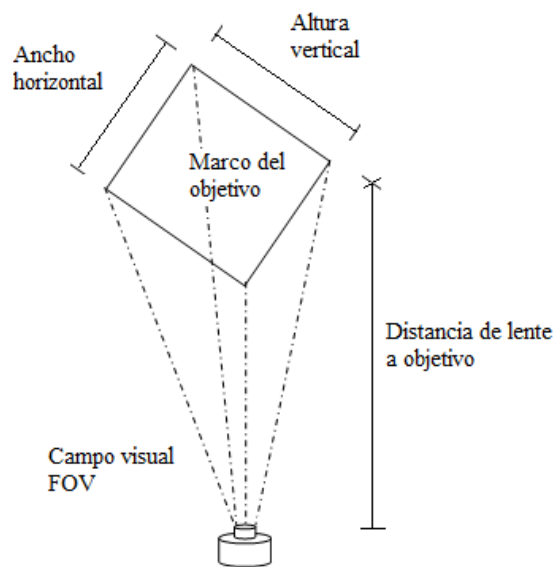


Figura 2.7. Campo visual de la cámara.

Proyector NEC modelo WT610

El proyector es el dispositivo que retroalimenta la superficie con imágenes que provienen del CPU, lo que permite la interacción entre el sujeto y la superficie interactiva.

Para nuestra aplicación el proyector necesita tener ciertas características como son: proyección de tiro corto porque la distancia entre el proyector y la superficie es pequeña y a la salida tener un espejo que nos permita reflejar y dar dirección a la proyección.

El WT610 es un equipo capaz de proyectar imágenes de 40 pulgadas a una distancia de sólo 5.5cm, conseguido gracias a un innovador y altamente complejo sistema de espejos patentado por NEC. Este innovador método de proyección se basa en utilizar 4 espejos esféricos que funcionan como la lente de un proyector del tipo convencional que utiliza una lente. Los rayos de luz se reflejan sucesivamente en los espejos, con lo que se amplía la imagen proyectada.



Figura 2.8. Proyector.

Proyector NEC WT610 [12]	
Diagonal de imagen máxima	254 cm (máx 100 pulgadas)
Contraste	3500:1
Dimensiones (An x Al x Prof)	380 x 313 x 313 mm (en funcionamiento)
Peso	6.4 kg
Funciones especiales	Proyección ultra corta (5.5cm = 40" de imagen), 3D Reform, compatible con HDCP, corrección de color de pared, corrección Keystone vertical, LAN (con o sin cables), sRGB, visor PC card, almacenamiento USB, seguridad, ratón USB, función de control de PC, función ayuda, plug and play.

Tabla 2.5. Características del proyector.

Fuente de alimentación de DC

En el diseño o elección de la fuente es importante considerar el voltaje de alimentación de los láseres para no dañarlos y que operen adecuadamente. La fuente debe ser capaz de proveer la corriente suficiente para todos los láseres, es recomendable que la fuente suministre más corriente que la requerida para no forzarla.

La fuente proporciona un voltaje de 1.2 a 12 V y un máximo de corriente de 1A. Los láseres operan en su voltaje nominal o típico (3.2V) y cada láser requiere o consume 70mA, el consumo mínimo total de corriente son 280mA. La corriente es limitada dependiendo de la intensidad que queremos que tenga el plano de luz. En el apéndice A se presenta el diseño de la fuente que alimenta a los láseres.



Figura 2.9. Fuente de alimentación

Los conectores

Las características de los conectores utilizados para conectar los láseres se describen a continuación:

Conector de audio hembra (jack) de 3.5 mm, estéreo. Fabricado en plástico color negro.

Conector de audio macho (plug) de 3.5 mm, estéreo. Fabricado en plástico color negro.



Figura 2.10. Conectores plug (a) y jack (b)

El CPU

El CPU empleado es de la marca DELL, modelo 530S, Pentium D 2.8, disco duro de 160 G, 1 G en memoria RAMM, lector de tarjetas SD, 2 Puertos USB frontales.



Figura 2.11. CPU DELL.

Equipo adicional para realizar las pruebas de medición de potencia

Fotómetro Ultima LabMaster

Este instrumento es un medidor de potencia y energía de doble canal.

Características:

- Sistema de potencia láser y análisis de energía.
- Radiómetro de dos canales.
- Mediciones de potencia de onda continua (CW) de 10nW-5kW.
- Mediciones de energía de pulsos de 100uJ-95J.
- Mediciones de relación radio/diferencia, ruido RMS y la posición del haz.

El Ultima LabMaster™ es un sistema de medición de potencia y energía para CW, de un pulso único y pulso de repetición [17].



Figura 2.12. Fotómetro Ultima LabMaster.

Visor de infrarrojos

El ElectroViewer 7215 es un visor de infrarrojos de mano de alto rendimiento, diseñado para satisfacer las necesidades de visualización de longitudes de onda en el IR cercano. El ElectroViewer ofrece una imagen que es muy brillante; tiene capacidad de enfoque a una distancia de 3 pulgadas.

Características:

- Acepta lentes de montaje C
- Brillo y contraste de imagen de alto
- Convierte 0.4-1.5 micras a visible
- Se enfoca a una distancia mínima de 3 pulgadas [18]



Figura 2.13. Visor ElectroViewer 7215

2.3. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Seguridad y medidas preventivas

En el capítulo anterior se mencionó tanto la clasificación de los láseres como el riesgo que existe al manejar cada una de ellas. Los láseres empleados pertenecen a la clase IIIB, lo que implica un peligro notable para el ojo humano si el haz incide puntualmente en él. Antes de describir el proceso de construcción del prototipo, es necesario hacer mención de las medidas de seguridad que tomamos en cuenta al trabajar con láseres.

Al realizar los procesos de caracterización, ajuste, enfoque y alineamiento de los láseres fue fundamental utilizar lentes de seguridad para evitar cualquier tipo de daño, sobre todo al momento de girar el anillo de montaje, ya que en ese momento el plano giraba 360°; esta medida fue suficiente porque, al no ser un haz de luz infrarroja puntual, sino un plano generado por las lentes que les colocamos, no hay peligro alguno para la piel.

Una vez terminados los procesos mencionados los láseres quedaron totalmente fijos, por lo que ya no fue necesario el uso de los lentes de seguridad al realizar las pruebas de funcionamiento el sistema completo, es decir, al trabajar en conjunto hardware (láseres y cámara) y software (reactIVision) para la detección de los puntos de toque, ya que como se describirá más adelante, la potencia que se irradia al ambiente no representa peligro alguno para la salud de los usuarios.

Ensamblado de las lentes generadoras de línea

El módulo láser está constituido por tres partes: las lentes generadoras de línea, el montaje para éstas y el propio láser. El proceso de ensamblado se describe a continuación:



Figura 2.14. Anillo de montaje, lente generadora de línea y lente colimadora.

1. Se desatornilló la lente de colimación del cuerpo del láser. La lente tiene dos lados. El lado más estrecho (del punto) de la lente se inserta siempre hacia el diodo láser en la caja o cuerpo del módulo.



Figura 2.15. Lente colimadora y modulo láser.

2. La lente generadora de línea tiene dos lados, uno áspero y otro liso. El lado áspero debe apuntar hacia el diodo láser, el lado liso es la abertura o la salida del láser, si se coloca al revés, la línea del plano de luz infrarroja proyectado por los láseres será ondulada e irregular.



Figura 2.16. Ensamble de elementos.

3. Al montar la lente generadora de línea en el anillo de montaje, el lado liso se debe insertar primero. Cuando se atornilló la lente de colimación, la abertura ancha se colocó hacia la lente generadora de línea en el montaje de la lente o anillo de montaje.



Figura 2.17. Módulo láser.

4. La parte final consistió en accionar el láser y ajustar la lente para hallar el mejor punto del foco de la colimación.



Figura 2.18. Enfoque de los láseres con tarjeta sensor infrarrojo F-IRC4.

Pruebas con los láseres

Ya accionado el láser, se ajustó la lente para hallar el mejor punto del foco de la colimación a una distancia de 1m y después de observar el plano que proyectan los láseres para determinar su comportamiento con las lentes generadoras de línea, se estableció que las ranuras de las lentes generadoras de línea deben colocarse de forma vertical y ser perpendiculares a la superficie, para que el plano de luz infrarroja que proyecten sea horizontal, es decir, paralelo a la superficie, de esta manera obtuvimos el plano de luz IR como lo requerimos.

Ensamblado de la estructura

Una vez que contamos con todo el material de OCTANORM necesario, procedimos al ensamble de la estructura. Colocamos los pies ajustables en los perfiles redondos como se muestra en la figura 2.19. Estos pies ajustables nos sirven para variar la altura de los perfiles redondos de 0 a 8cm.

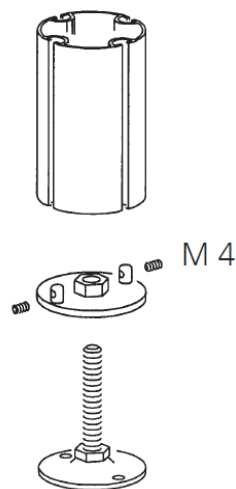


Figura 2.19. Pie ajustable OCTANORM.

Se realizó el ensamble de las tenso chapas en los perfiles horizontales rectos (en los horizontales curvos ya vienen integradas), este proceso se muestra en la figura 2.20.

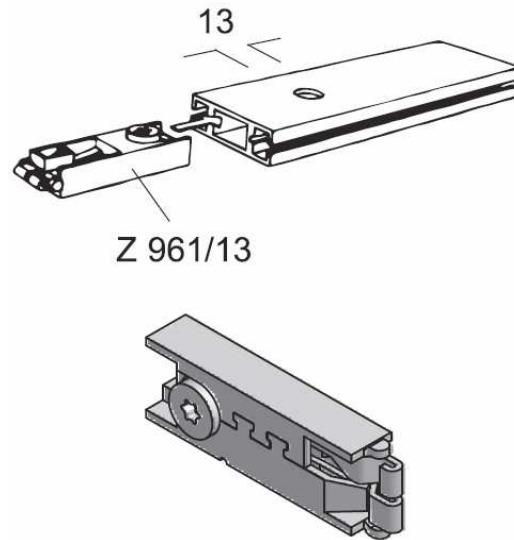


Figura 2.20. Colocación de las tenso chapas en los perfiles horizontales rectos.

Mediante el uso de las tenso chapas se ensamblaron cuatro perfiles horizontales curvos con cuatro perfiles redondos para formar el primer módulo de la estructura. De igual forma se ensamblaron los perfiles horizontales rectos con tres perfiles redondos para formar el módulo de soporte para el CPU y el proyector (figura 2.21.).

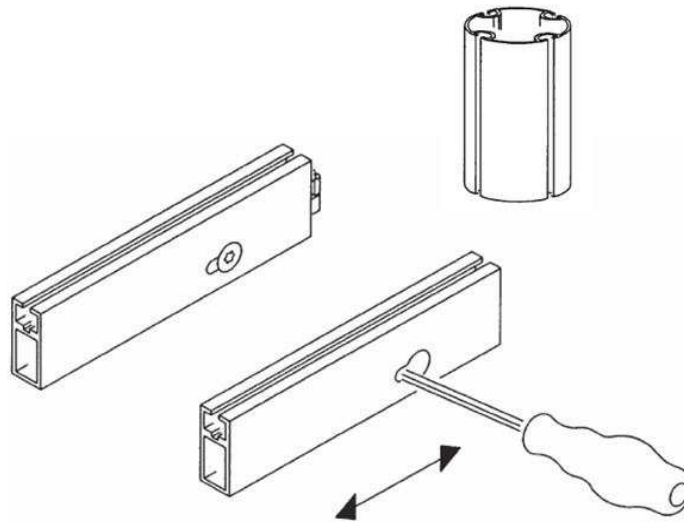


Figura 2.21. Ensamble de los perfiles a través de las tenso chapas

Para finalizar el ensamble se colocaron las tapas metálicas en cada uno de los perfiles redondos como se aprecia en la figura 2.22.

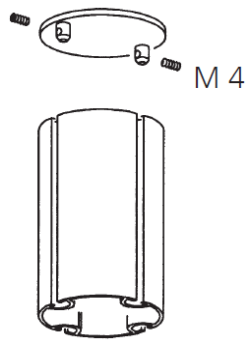


Figura 2.22. Colocación de la tapa OCTANORM en el perfil redondo.

Montaje láseres

Procedimos a la colocación de los láseres.

La estructura de la superficie tiene 4 perfiles redondos huecos, cada perfil tiene un orificio de 1.3cm de diámetro ligeramente mayor al de los láseres a una altura de 60cm. Dentro del perfil se colocó un soporte rectangular de tal manera que el módulo del láser descansa sobre este. Esto permite dar mayor estabilidad a cada láser, el colocarlos internamente evita que puedan ser manipulados por cualquier persona. Los láseres fueron colocados en los orificios mencionados con la orientación de las lentes adecuada.

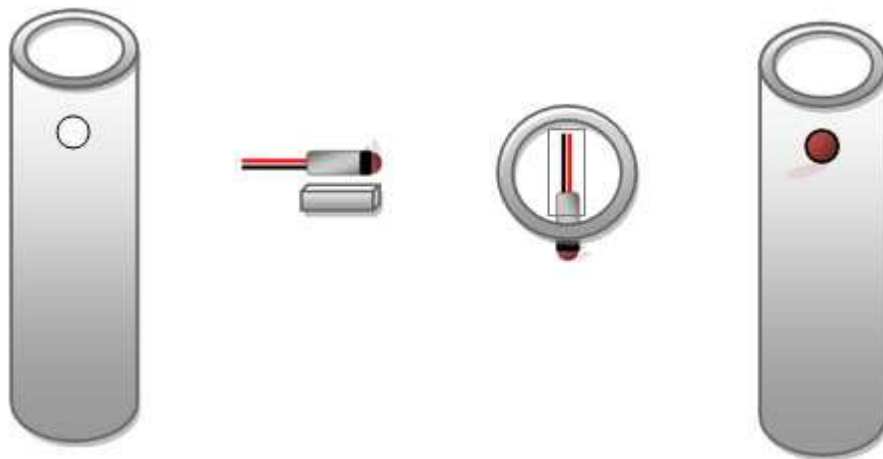


Figura 2.23. Esquema de montaje de láseres.

Conexión de los láseres

Los circuitos conectados en paralelo tienen múltiples ramas a través de las cuales fluye corriente, de modo que la resistencia del circuito en general es menor que si hubiera una

sola rama. La resistencia más baja significa que la corriente será mayor y los láseres podrán brillar más que si estuvieran configurados en un circuito serie.

Las ramas de los circuitos paralelos son independientes entre sí, pues cada una está conectada directamente a la fuente de alimentación, recibiendo su carga total. Por lo tanto, si una rama está abierta o falla, las otras ramas continuarán trabajando.

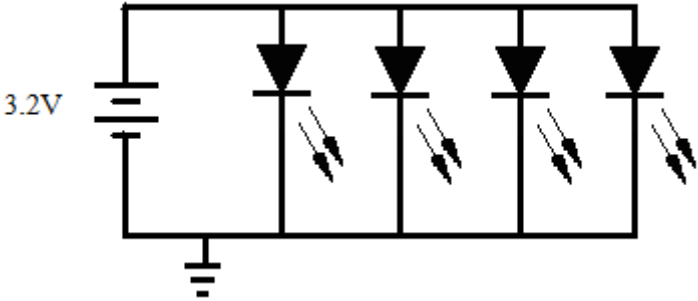


Figura 2.24. Configuración de conexión en paralelo de los láseres.

Los láseres están conectados con una configuración en paralelo mediante conectores plugs y jacks de audio que nos permiten desconectarlos y poder desarmar completamente la estructura, permitiendo que sea una superficie flexible y de fácil manejo

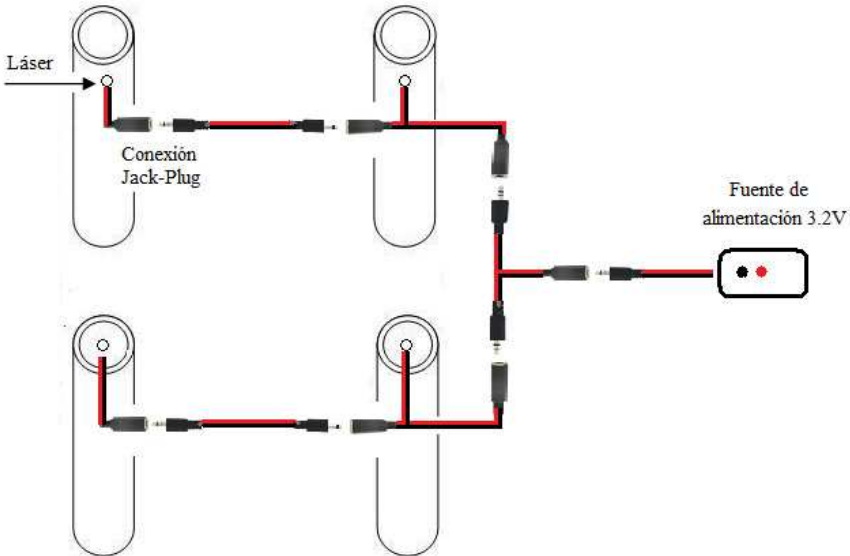


Figura 2.25. Esquema de conexiones.

El alambrado de los láseres se encuentra oculto dentro de los perfiles. En los perfiles redondos se encuentra la conexión entre láser y conector jack, en los perfiles horizontales curvos se encuentra el cable de la conexión plug-plug que nos permite conectar los láseres con la fuente de alimentación y a su vez, conectar los láseres entre sí.

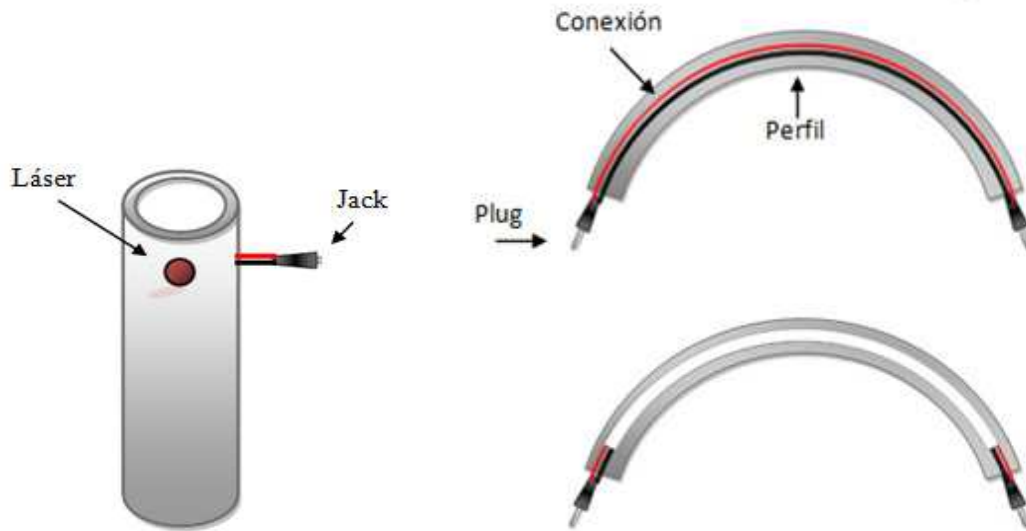


Figura 2.26. Conexión de los láseres.

Los láseres se conectaron en paralelo, consideramos este tipo de conexión adecuada para nuestra aplicación porque si un módulo láser llegara a dañarse, los otros tres seguirían operando.

Montaje de las superficies de vidrio

Los vidrios empleados como superficie descansan sobre unos soportes de metal cubiertos por un empaque de plástico, estos soportes están sujetos a la ranura interna del perfil horizontal curvo, es por esta razón que los vidrios se desmontan fácilmente cuando es requerido.

Ajuste y alineamiento de la superficie y del plano de luz IR.

Se verificó con un nivel que la superficie de vidrio estuviera completamente horizontal, así como que todos los láseres estuvieran a la misma altura, es fundamental que el plano de luz

infrarroja generado se encuentre completamente horizontal a la superficie y los láseres estén bien alineados.

La parte más importante de esta técnica es el plano de luz infrarroja ya que su buen funcionamiento depende de éste, si el plano de luz infrarroja llegara a estar muy por encima de la superficie, aún sin que ésta fuera tocada se detectarían puntos de toque o contacto.

Si algún láser estuviera ligeramente inclinado incidiría sobre la superficie produciendo una reflexión, y aunque es mínima la potencia del haz reflejado, esta situación perjudicaría el funcionamiento del sistema.

Para comprobar que el plano proyectado por los láseres pasa apenas por encima de la superficie se utilizó una tarjeta infrarroja (infrared sensor card 0.70-1.60um) y se realizó un recorrido con ella a través de toda la superficie; utilizando un flexómetro medimos la altura a la que se encontraba el plano de luz, si había zonas donde su altura no era uniforme, significaba que debíamos modificar la posición vertical del módulo láser desajustado subiendo o bajando el soporte sobre el cual descansa. Lograr que el plano que proyecta cada uno de los cuatro láseres tuviera la misma altura con respecto a la superficie fue una parte bastante delicada.

Mediante este proceso pudimos observar que la altura a la cual se encuentra el plano de luz IR es aproximadamente 1 mm por encima de la superficie, además, el plano de luz es constante, sin irregularidades y con una distorsión mínima de 1 mm, lo que significa que los láseres están colocados, alineados y enfocados adecuadamente.

El perfil horizontal curvo utilizado en el borde de la estructura tiene una altura de 1.5cm por encima de la superficie, lo que permite utilizarlo como una valla no reflectiva; como la estructura es de aluminio, se colocó alrededor de ésta un marco de fomi que impide que la luz IR se propague fuera de la superficie.



Figura 2.27. Marco de fomi colocado alrededor de la superficie.

No es necesario aplicar fuerza para que los dedos sean detectados, con un simple contacto es suficiente. Se utilizó un visor de luz infrarroja para confirmar que no hubiera fugas de haces por reflexión alrededor de la superficie.



Figura 2.28. Plano de luz láser.

Se observó que la intensidad de la luz infrarroja disminuye un poco en los bordes de la superficie, comprobaremos posteriormente que esta situación no afecta el reconocimiento de los puntos de toque por parte de la cámara.

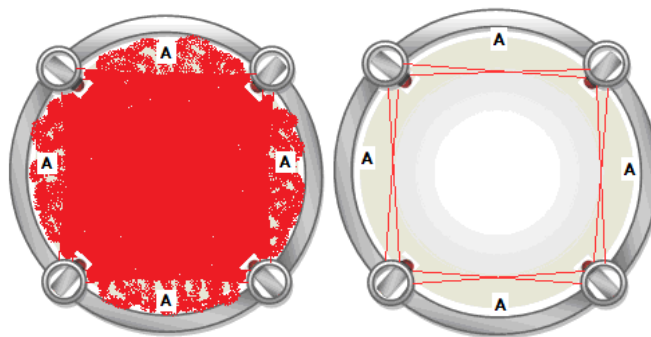


Figura 2.29. En las zonas marcadas con A la intensidad de la luz disminuye.

Posteriormente, el CPU fue puesto en el lugar de la estructura que se destinó para ello. Se colocó el proyector de tal forma que su espejo reflejara sobre la superficie la imagen proveniente del CPU, sirviendo la superficie como monitor.

Se hicieron pruebas para obtener la distancia adecuada entre el proyector y la superficie, con el objeto de evitar la distorsión de las imágenes.

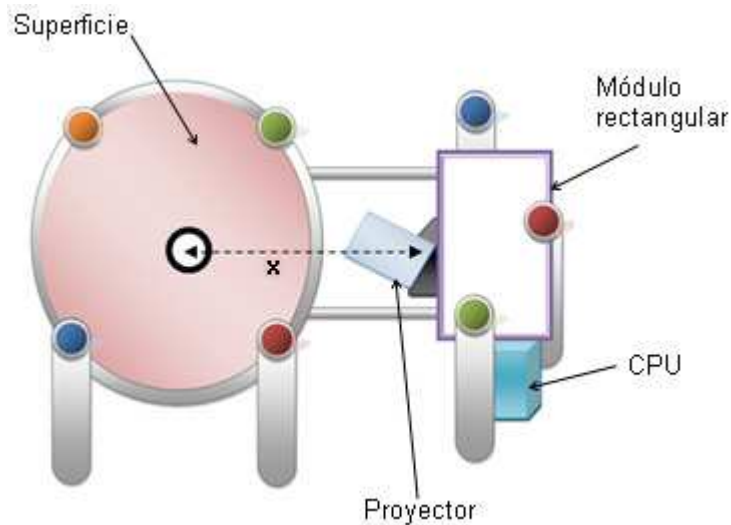


Figura 2.30. Distancia del centro de la superficie al proyector (x).

Justamente debajo del centro de la superficie se coloca la cámara con filtro infrarrojo y previamente ajustada con un gran angular o lente ojo de pez, que permite capturar toda la superficie a una distancia muy pequeña; ya que con una lente convencional, mientras menor sea la distancia entre la lente y el objetivo el campo visual (FOV) es menor.

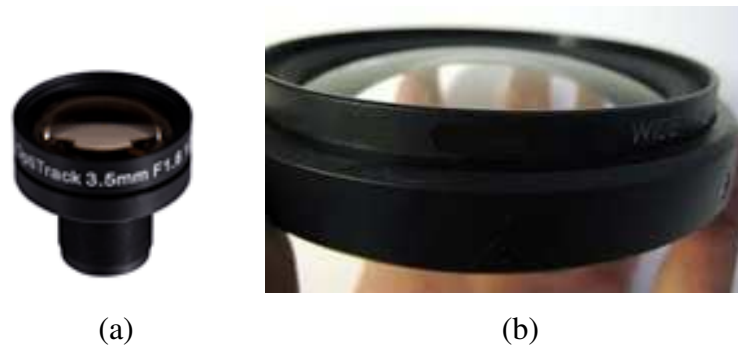


Figura 2.31. (a) Lente convencional. (b) Lente ojo de pez

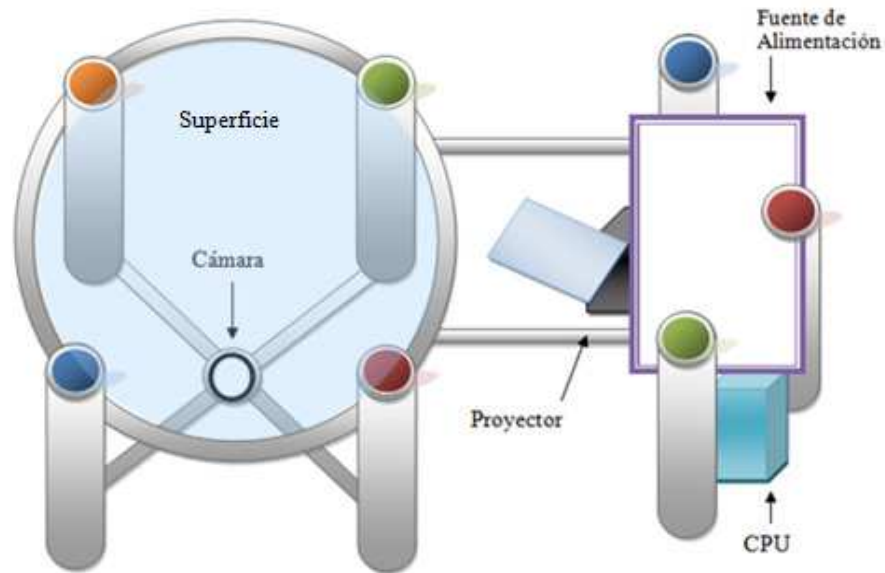


Figura 2.32. Diseño del sistema.

Todos los elementos utilizados en el proyecto se pueden transportar de manera individual: los perfiles de aluminio, la cámara, el CPU, la fuente de alimentación y el proyector (en la base donde fue montado).

2.4. ETAPA DE PRUEBAS

Para comprobar la seguridad y operación del hardware se realizaron diferentes tipos de pruebas.

Medición de la potencia óptica y pérdidas de radiación infrarroja

Con el objeto de tener seguridad en que no hay riesgo alguno para los usuarios de la superficie interactiva hicimos mediciones tanto de la potencia óptica de los láseres como las pérdidas de radiación infrarroja en los bordes del área de trabajo, para valorar el riesgo que se tendría si llegase a estar desajustado algún láser.

Para esto empleamos un fotómetro (Ultima LabMaster), que es un instrumento de medición utilizado para medir la intensidad de la luz; en nuestro caso nos permitió cuantificar la

energía por unidad de tiempo presente en el ambiente, que se generó por la puesta en operación de los láseres.

En algunos fenómenos ópticos se presenta una cierta pérdida de luz que no es perceptible al ojo humano. Es por esta razón que medimos las pérdidas de radiación infrarroja que podrían presentarse por encima de los bordes de la superficie.

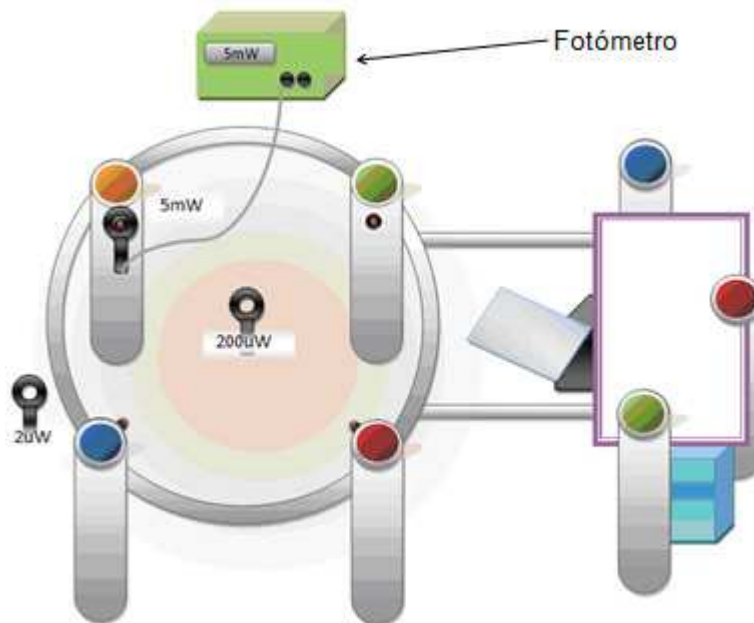


Figura 2.33. Medición de la potencia óptica.

Calibración de la cámara

La cámara utiliza un gran angular o lente ojo de pez con el fin de aumentar la superficie visible a la cámara a una distancia mínima. Estas lentes lamentablemente distorsionan la imagen. Por lo que es necesario mediante algún software (como en este caso reactIVision), corregir esa distorsión y la alineación general de la imagen.

Para calibrar la cámara es necesaria la impresión de una plantilla sobre la superficie, esta plantilla puede ser circular o cuadrada y la empleada se muestra en la figura 2.34; ambas plantillas las podemos obtener de la página electrónica del software [15]. Lo que sigue a continuación es hacer coincidir los puntos de intersección de la plantilla del software con los de la impresa al inicio sobre la superficie.

Para realizar lo mencionado anteriormente, ReactIVision debe estar en “modo calibración”, esto se logra presionando ‘C’ una vez abierta la aplicación. Para movernos por cada punto de la plantilla se utilizan las teclas de navegación, al presionar ‘J’ se restablece la cuadrícula como estaba inicialmente, ‘U’ restaura el punto seleccionado. Este proceso es indispensable para asociar correctamente la posición del punto de toque con la imagen que hará la acción determinada en la aplicación programada.

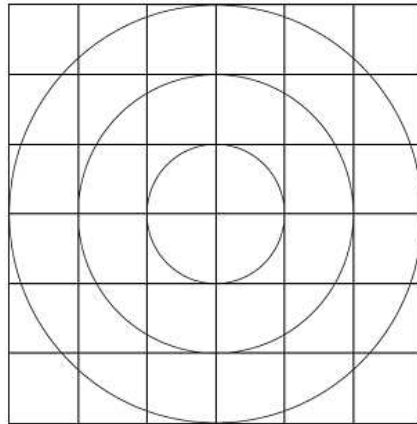


Figura 2.34. Plantilla para calibrar la cámara.

ReactIVision tiene parámetros que deben ser configurados para calibrar adecuadamente la cámara. Dichos parámetros se explican a continuación.

Contraste: es el efecto que permite resaltar el peso visual de uno o más elementos o zonas de una composición mediante la oposición o diferencia apreciable entre ellas.

Valor de umbral: es utilizado en la digitalización, determina los píxeles que serán negros y los que serán blancos.

Brillo: se ocupa de alterar también la gama tonal. La modificación del brillo de una imagen o fotografía digital, actúa de la misma forma que la escala de luminosidad, reducen el contraste de la imagen y la pérdida de detalle, según en el nivel que se aplique.

Velocidad de obturación: mide el tiempo que el obturador permanecerá abierto mientras se toma la foto. Cuanto menor sea la velocidad, mayor será el tiempo de exposición. La

velocidad de obturación junto con la abertura de diafragma, controlan la cantidad total de luz que recibe el sensor.

Ganancia: incremento o disminución del tamaño de gota mínimo/máximo. Cuanta mayor sea la ganancia, mayor tamaño tendrá la imagen obtenida [21].

2.4.1. Funcionamiento del hardware

Proyección de imágenes

Se uso una superficie de vidrio templado y esmerilado para dispersar la luz del proyector y poder observar las imágenes, se obtuvo una muy baja calidad de las imágenes, mala resolución y colores opacos. Más adelante se mencionarán las mejoras realizadas a la superficie, ya que éstos no fueron los resultados esperados.

Funcionamiento del sistema

Cuando el dedo interfiere con la luz del láser, la cámara recoge a continuación el punto brillante y se interpreta a través del algoritmo de procesamiento de imágenes.

Usando la aplicación reactIVision buscamos comprobar el funcionamiento del sistema. ReactIVision es un código abierto, multiplataforma de visión por computadora enfocada para el rastreo rápido y robusto de marcadores fiduciaros conectados en objetos físicos, así como para el rastreo de dedos multitoque.

ReactIVision es un software de reconocimiento de video, por medio de la cámara manda a través de red local en un protocolo propio una serie de datos como: no. del símbolo, coordenadas X-Y y ángulo de rotación del símbolo.

Esta aplicación identifica unas imágenes código mejor conocidas como fiduciaros, sin embargo, debido a la técnica usada no reconoce estos códigos pero es posible utilizarla para el rastreo de dedos o puntos de toque.

El uso de esta aplicación nos permitió verificar la sensibilidad al toque de la mesa y el campo de visión de la cámara, así como el ajuste de las dimensiones de la proyección.

Una alternativa para sustituir a los fiduciaros, sería desarrollar un software con códigos relacionados a contornos de figuras geométricas.

2.5. REDISEÑO Y/O MODIFICACIONES

2.5.1. Mejoras inmediatas

Proyección de la imagen

Para mejorar la calidad de la imagen proyectada se hicieron algunos cambios en la composición de la superficie. La propuesta consistió en utilizar dos superficies de vidrio en lugar de una y adicionar un papel (que por sus propiedades contribuyera a solucionar el problema) entre ambas. La elección de los tintes de los vidrios y del tipo de papel se basó en las múltiples pruebas efectuadas para hallar la combinación que nos entregara una imagen proyectada con mejor calidad. Después de observar las imágenes proyectadas probando las diferentes combinaciones, la superficie se compone ahora de un vidrio tinte ultra white, en medio papel herculene y en la parte superior el vidrio tinte verde utilizado al inicio.

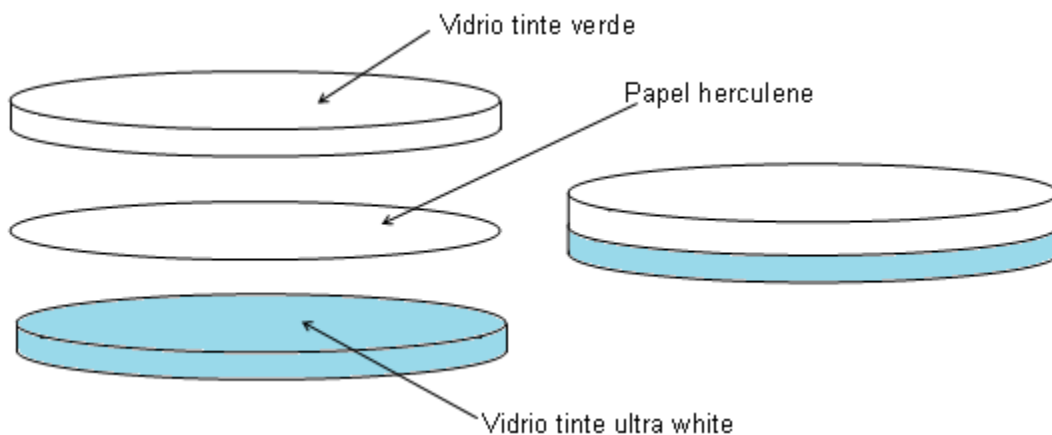


Figura 2.35. Composición de la superficie.

2.5.2. Mejoras a futuro

Eliminación de sombras en la proyección

Al poner en funcionamiento el sistema completo de la superficie interactiva observamos que dos de los postes que sostienen la estructura (los que se encuentran más próximos al proyector), producían sombra en la superficie. La sombra producida, hacía que la proyección no se viera completa en la superficie, lo que ocasionaba que no se pudiera aprovechar al máximo el área de trabajo.

Para solucionar este problema hemos pensado modificar la forma de los postes que producen la sombra; la propuesta es recorrerlos hacia los costados mediante una extensión del perfil, de tal forma que no interfieran con la proyección. El esquema se muestra en las figuras.

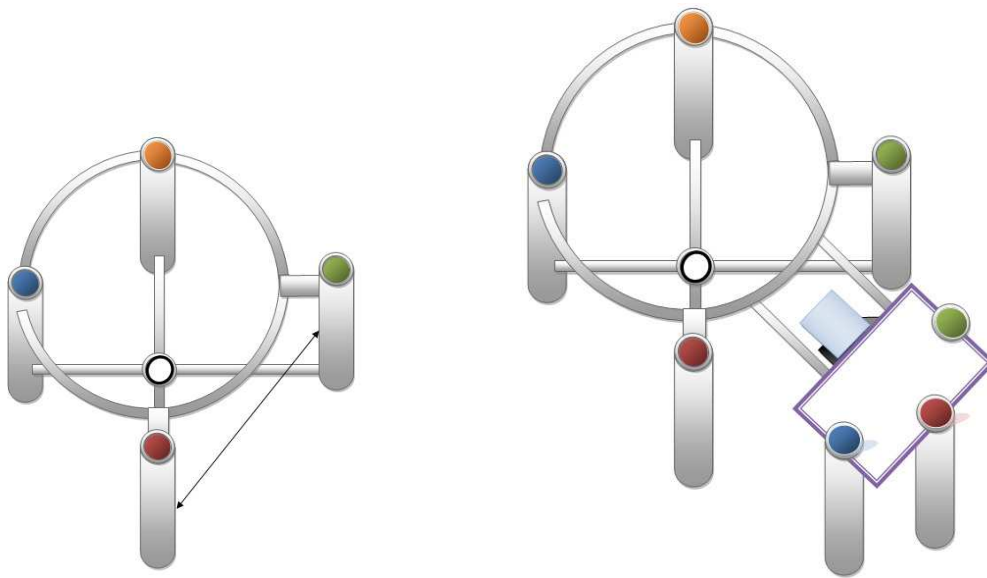


Figura 2.36. Modificación en la abertura de los perfiles redondos.

La estructura metálica no se debilita puesto que aun cuenta con los 4 soportes necesarios para una buena estabilidad, sigue siendo completamente desmontable y por otra parte no se ve afectado el funcionamiento de los láseres y la cámara, por lo que la modificación anterior no perjudica en nada al diseño previo.

Alimentación de los láseres por medio del puerto USB

Otra de las mejoras consideradas es la alimentación de los láseres a través del puerto USB, ya que como sabemos éste nos proporciona un voltaje de 5V y una corriente máxima de 500mA, suficiente para el suministro de energía a cada uno de estos dispositivos. El proveedor de los láseres Aixis en sus hojas de especificaciones nos indica que el intervalo del voltaje de operación es 3.2- 5.0V y una corriente típica de 70mA. En este caso, al alimentar los láseres con un voltaje de 5V proporcionados por el puerto USB, la corriente total demandada es de 280mA. De esta manera no se necesitará una fuente externa para la alimentación de los láseres.

Mecanismo de ajuste para los láseres

Los láseres están sujetos temporalmente con ligas para que se puedan manipular, se fijarían a su soporte mediante cinchos de plástico, de esta forma, ya no se podrían girar, solo existiría el inconveniente de no que se moverían verticalmente. Este tipo de movimientos nos ayudaría a hacer un fino ajuste a la posición horizontal de los láseres.

Para solucionar este problema se presenta la siguiente alternativa. Debido a que los láseres deben permanecer fijos en la posición donde proyectan el plano de luz rasante a la superficie, se pretende implementar en un futuro un mecanismo que sea de fácil manejo para ajustar la posición de los láseres si éstos se llegan a mover durante el traslado de la estructura, de manera que nos permita moverlos verticalmente con o sin ángulo de inclinación.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Debido a las características del proyecto consideramos tres etapas, así, se plantearon ciertos objetivos a cumplir en determinado tiempo hasta llegar a un resultado final y adecuado a las necesidades del usuario. Las etapas mencionadas son las siguientes:

Etapas 1. Construcción del modelo físico.

Etapas 2. Seguridad y normas del uso de láseres.

Etapas 3. Funcionamiento del hardware.

3.1. RESULTADOS POR ETAPA

3.1.1 Etapa 1. Construcción del modelo físico

La estructura cuenta con 20 puntos de ensamble que se pueden manipular fácilmente con una llave angular tipo torx no.30; la estructura en forma de cruz que sirve al centro como soporte de la cámara tiene 8 tenso chapas, 4 de ellas permiten unirla con los 4 perfiles redondos y las otras 4 se unen a un perfil redondo de 8.5cm de diámetro por 10cm de ancho. Dando como resultado buena estabilidad de la estructura y una posición adecuada al soporte de la cámara.



Figura 3.1. Unión entre perfil horizontal y perfil redondo.



Figura 3.2. Soporte de la cámara.

Montaje de la cámara

La cámara está montada en una estructura circular justo por debajo del centro de la superficie de vidrio. La distancia entre lente y objetivo es de 56cm y la cámara está colocada a una altura de 5cm con respecto al piso. Se conecta al CPU a través de la interfaz USB 2.0 de alta velocidad con entrada mini USB tipo B.

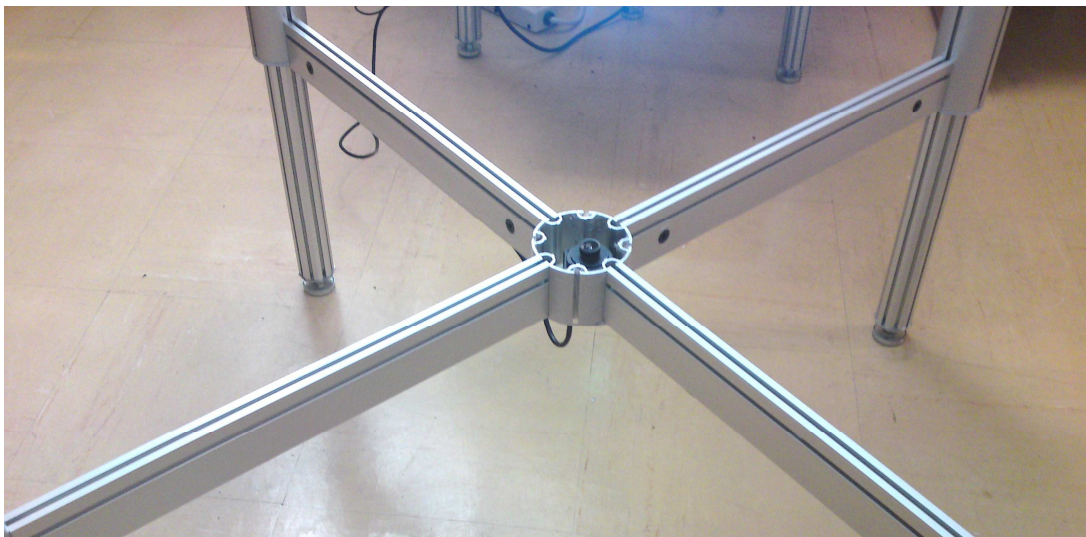


Figura 3.3. Montaje de la cámara.



Figura 3.4. Ensamble entre perfil horizontal curvo y perfil redondo con tenso chapa.

La estructura, como ya se ha mencionado anteriormente, consta de dos módulos: uno circular y un módulo rectangular. Refiriéndonos como módulo circular a la estructura que soporta únicamente la superficie y como módulo rectangular al soporte del CPU, fuente de alimentación y proyector.

El módulo rectangular cuenta con dos perfiles rectos, cada uno con su tenso chapa, lo que nos permite al unirlo con el perfil horizontal curvo el acoplamiento de los dos módulos.



Figuras 3.5. Conexión entre los dos módulos mediante tenso chapas.



Figura 3.6. Estructura completa.

Montaje de los láseres

En el montaje de los láseres, a cada perfil redondo le hicimos dos orificios, uno en cada extremo que nos permitiera hacer la conexión interna y externa de los láseres. Se colocó el soporte de los láseres dentro del perfil redondo para evitar que éstos sean manipulados fácilmente por gente no capacitada. Utilizamos las ranuras de los perfiles curvos para ocultar el cableado. En los extremos de cada láser quedaron soldados conectores jacks, los cuales se conectan a un cable con plugs en los extremos, situación que hizo posible la conexión en paralelo de los láseres. El uso de un conector en cada láser permite que la estructura sea completamente desmontable.

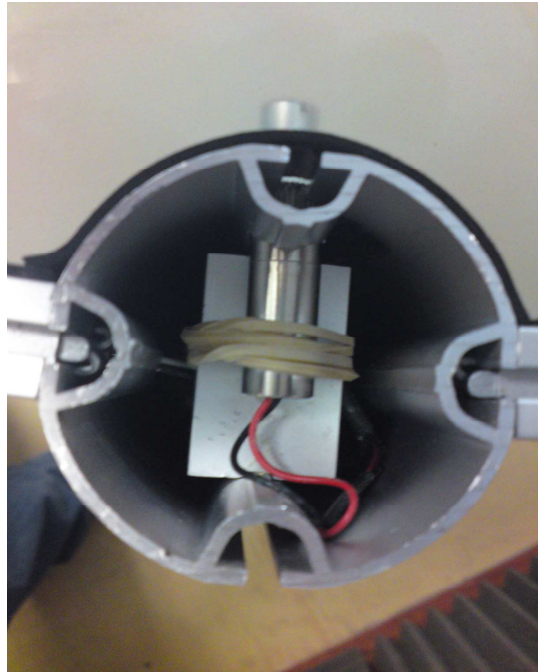


Figura 3.7. Montaje de los láseres.



Figura 3.8. Conexión externa de los láseres.

El proyector es montado en el modulo rectangular a una distancia de 75cm con respecto al soporte de la cámara, de tal manera que la proyección quede con dirección a la superficie de vidrio. El CPU y la fuente van dentro de la caja de acrílico que tiene el modulo rectangular.

Por último se colocó fomi alrededor de los perfiles horizontales curvos y redondos en la zona donde incide el plano de luz infrarroja, con el objeto de evitar algún tipo de reflexión.



Figura 3.9. Hardware de la superficie interactiva multitouch.

Alineación y ajuste del plano de luz infrarroja

El plano únicamente ilumina las huellas de los dedos, el grosor y la altura del plano es de 1mm e invariable en toda la superficie. Por lo que como resultado se concluye que los láseres están bien enfocados y tienen una buena alineación.

Es importante recalcar que para evitar cualquier daño, la manipulación de los láseres siempre se hizo con el uso de lentes de seguridad. En las siguientes imágenes se puede apreciar la continuidad, el grosor y altura del plano de luz IR.

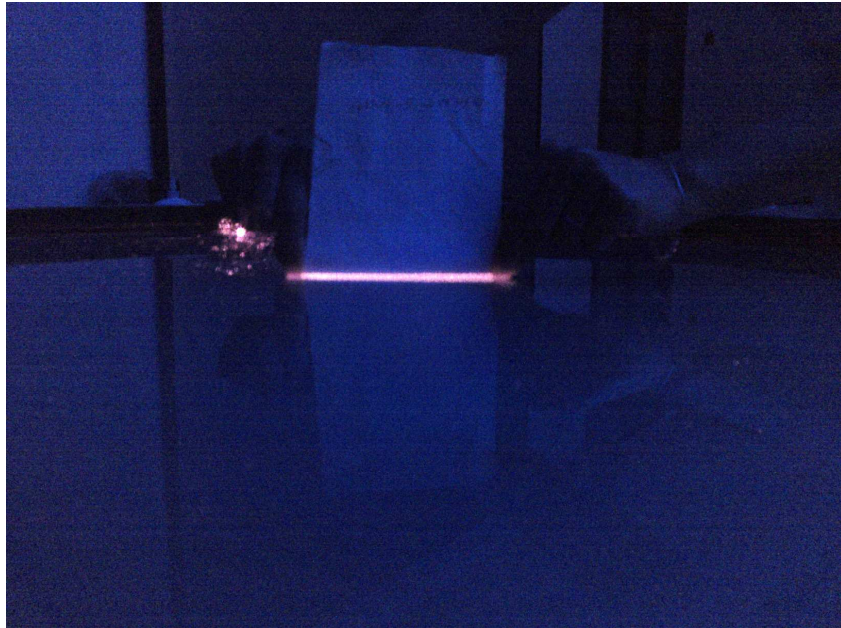


Figura 3.10. Plano de luz.

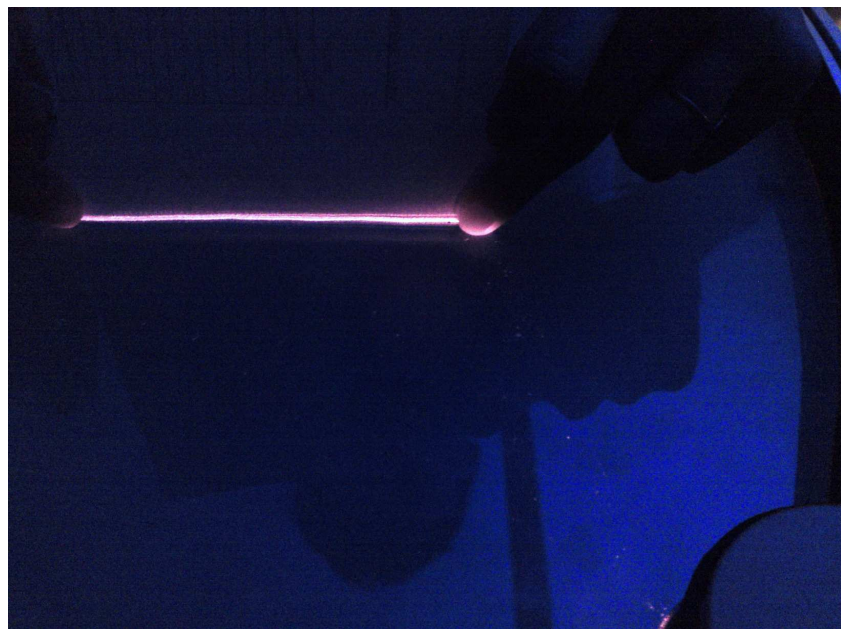


Figura 3.11. Continuidad y grosor del plano.

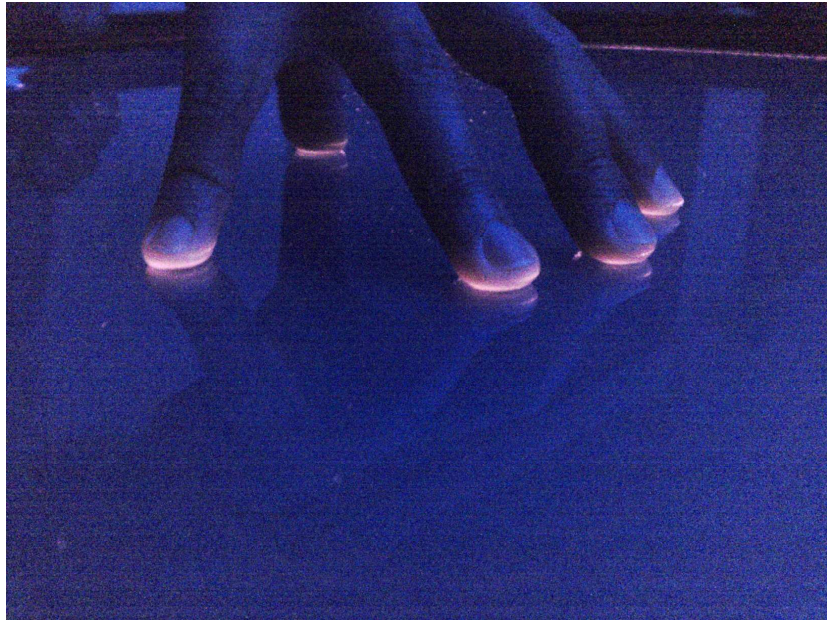


Figura 3.12. Dedos en contacto con la superficie y el plano de luz IR.

3.1.2 ETAPA 2. Seguridad y normas del uso de láseres

De las mediciones de potencia óptica obtenidas en diferentes posiciones de la mesa, se obtuvieron las siguientes lecturas:

Zona de la medición	Potencia
Parte más cercana al láser	5 mW
Centro de la superficie	0.2 mW
Sobre los bordes de la superficie	0.002 mW

Tabla 3.1 Valores de potencia obtenidos con el fotómetro.

A partir de los datos obtenidos podemos mencionar que la potencia óptica de cada láser disminuye aproximadamente 80% cuando el haz pasa a través de las lentes generadoras de línea, pues como se mencionó anteriormente, éstas lentes transforman al haz en un plano de luz. Aunado a esto, hay que tomar en cuenta que esa medición se hizo lo más cercano posible al láser, de tal forma que al ir alejando paulatinamente el fotómetro del láser la potencia fue disminuyendo hasta llegar al orden de 200 uW en el centro de la superficie.



Figura 3.13. Visor de radiación infrarroja.



Figura 3.14. Fotómetro Ultima LabMaster empleado.

A lo largo de la circunferencia de la superficie se obtuvieron $2\mu\text{W}$ de pérdidas de radiación infrarroja y al tomar mediciones subiendo poco a poco el fotómetro y después alejándolo de la superficie, fue disminuyendo la potencia al punto de llegar al orden de nW y posteriormente fue imposible el registro de las lecturas por parte del instrumento de medición.

Calculamos la irradiancia presente en el área de la superficie considerando los valores de potencia obtenidos en los tres puntos mencionados anteriormente. La superficie tiene forma circular, por lo que calculamos su área de la siguiente forma:

$$A = \pi r^2 = \pi (0.5\text{m})^2 = 0.7854 \text{ m}^2$$

Ahora, asociando cada una de las lecturas con el área total, obtenemos la potencia por unidad de área (irradiancia); considerando que esa potencia está presente en toda la superficie obtenemos los valores mínimo y máximo de irradiancia. Realizamos este cálculo mediante el concepto de razones y proporciones.

Para la potencia de 5mW

$$\left(\frac{5\text{mW}}{0.7854\text{m}^2} \right) \left(\frac{1.2732}{1.2732} \right) = \frac{6.366\text{mW}}{1\text{m}^2} \quad \text{Irradiancia} = 6.366 \text{ mW/m}^2 \quad \text{máxima}$$

Para la potencia de 200uW

$$\left(\frac{200\text{uW}}{0.7854\text{m}^2} \right) \left(\frac{1.2732}{1.2732} \right) = \frac{254.64\text{uW}}{1\text{m}^2} \quad \text{Irradiancia} = 254.64 \text{ uW/m}^2$$

Para la potencia de 2uW

$$\left(\frac{2\text{uW}}{0.7854\text{m}^2} \right) \left(\frac{1.2732}{1.2732} \right) = \frac{2.5464\text{uW}}{1\text{m}^2} \quad \text{Irradiancia} = 2.5464 \text{ uW/m}^2 \quad \text{mínima}$$

El valor máximo de irradiancia obtenido se comparará más adelante contra los límites de las normas consultadas. A continuación se presentan la magnitud física, las unidades y la duración de exposición por día de la Norma Oficial Mexicana NOM-013 STPS-1993 [9] y las emitidas por la ICNIRP [10].

Límites de exposición	Magnitud física / unidades	Duración de exposición, t por día
Onda Continua	Irradiancia / mW/cm ²	8hrs

Tabla 3.2 Norma Oficial Mexicana NOM-013 STPS-1993

Límites de exposición	Unidades	Duración de exposición por día	Magnitud física E(t)
Ocular para fuente láser puntual	W/m ²	1ks - 30ks	Irradiancia
Onda continua	mW/cm ²	1ks - 30ks	Irradiancia
Radiación láser para la piel	kW/m ²	10s - 30ks	Irradiancia

Tabla. 3.3. Normas emitidas por la ICNIRP.

3.1.2.1. Cálculo del límite de exposición a radiación infrarroja de las normas publicadas por la ICNIRP

La longitud de onda de los láseres empleados es de 780nm, por lo tanto, entran en el intervalo de 700 a 1400nm de las normas publicadas por la ICNIRP (ver apéndice B).

El tiempo máximo que los láseres permanecerán encendidos será aproximadamente de 8 horas. Este periodo de tiempo está contemplado dentro del intervalo de 1ks a 30ks, para una duración de exposición que se encuentra de acuerdo a las normas de exposición consultadas.

Para obtener el límite de exposición a radiación infrarroja de las tablas consultadas (ver páginas 85, 86 y 87), es necesario obtener los valores de los factores C_A y C_C . Dichos valores los obtenemos de acuerdo a la nota de la tabla B.2 (ver página 85).

$$C_A = 10^{[0.002(\lambda - 700)]} \quad \text{si } \lambda = 700\text{-}1050\text{nm} \quad \text{para } \lambda = 780\text{nm} \text{ tenemos:}$$

$$C_A = 10^{[0.002(780 - 700)]} = 1.4454$$

$$C_C = 1 \text{ si } \lambda < 1150\text{nm}$$

La siguiente tabla presenta una comparación de los límites de exposición a radiación infrarroja de las normas consultadas, contra la radiación generada al poner en funcionamiento la superficie interactiva. La comparación se hace en unidades de irradiancia.

	Límite de exposición permitido E(t)	Valor obtenido E(t)	
Tabla B.1. Radiación infrarroja Norma oficial Mexicana: NOM-013-STPS-1993.	10 mW/cm ² 100 000 mW/m²	Máximo	Mínimo 0.6366 uW/cm² – 255pW/ cm²
Tabla B.2. Límites de exposición ocular para fuente láser puntual	3.2C _A C _C Wm ⁻² 4.625 W/m ² = 4625 mW/m²	6.366 mW/m²	
Tabla B.3. Cambio propuesto a los límites de exposición para onda continua láser.	1.8 C _A C _C T ₂ ^{-0.25} mW/cm ² 0.1977 mW/cm ² = 1977 mW/m²		
Tabla B.5. Límites de exposición de radiación láser para la piel	2C _A kW/m ² 2.891 kW/m ² = 2 891 000 mW/m²		

Tabla 3.4. Comparación de los límites de exposición de irradiancia E(t) establecidos contra el valor experimental obtenido.

De acuerdo a las tablas publicadas por la Norma Oficial Mexicana **NOM-013-STPS-1993**, relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se generan radiaciones electromagnéticas no ionizante y las normas sobre límites de exposición a la radiación láser de longitudes de onda entre 180 nm y 1 um de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (**ICNIRP**):

Podemos afirmar que la superficie interactiva es 100% segura, ya que al comparar los límites de las tablas antes mencionadas contra la irradiancia obtenida experimentalmente, nos encontramos por debajo de dichos límites. Los porcentajes de la irradiancia generada con respecto a los límites de exposición se presentan a continuación.

Tomando como 100% de irradiancia permitida cada límite de exposición de las tablas consultadas:

Radiación infrarroja Norma oficial Mexicana: NOM-013-STPS-1993

$$100000 \frac{mW}{m^2} \Rightarrow 100\% \quad 6.366 \frac{mW}{m^2} \Rightarrow 0.006366\%$$

Límites de exposición ocular para fuente láser puntual

$$4625 \frac{mW}{m^2} \Rightarrow 100\% \quad 6.366 \frac{mW}{m^2} \Rightarrow 0.1376\%$$

Cambio propuesto a los límites de exposición para onda continua láser

$$1977 \frac{mW}{m^2} \Rightarrow 100\% \quad 6.366 \frac{mW}{m^2} \Rightarrow 0.322\%$$

Límites de exposición de radiación láser para la piel

$$2891000 \frac{mW}{m^2} \Rightarrow 100\% \quad 6.366 \frac{mW}{m^2} \Rightarrow 0.00022\%$$

Estos resultados nos indican que del 100% de irradiancia que podría estar presente al operar la superficie interactiva sin afectar la salud de los usuarios, en realidad, solo está presente menos del 1% (para las cuatro tablas consultadas).

3.1.3 ETAPA 3. Funcionamiento del hardware

Mediante la calibración de la cámara con reactIVision, se corrigió la distorsión de la imagen causada por la lente gran angular que le colocamos a la cámara, con el fin de aumentar la superficie visible a ésta a una distancia mínima.

Ajustamos los puntos de la red de la aplicación a la red proyectada en la superficie.



Figura 3.15. Proyección de plantilla para la calibración de la cámara

En sensibilidad y seguimiento los resultados son excelentes, no hay necesidad de aplicar fuerza en la superficie para que los múltiples puntos de contacto sean detectados. Se comprobó en esta etapa que la disminución de intensidad de luz IR en los bordes de la superficie no es un problema para la detección de puntos de toque.



Figura 3.16. Calibración y ajuste de los parámetros de reconocimiento: el contraste, el valor de umbral, el brillo, la velocidad de obturación y la ganancia.

Los láseres están bien enfocados y alineados, por lo que no se presentaron problemas de detección de puntos de toque falsos.

No es sensible a la luz ambiental, por lo que no se presentaron problemas de detección de puntos de toque.

Debido al uso de múltiples láseres no se presentaron problemas de oclusión.

El contraste que se obtiene al hacer "sandwich" entre las dos superficies de vidrio y el papel herculene mejora considerablemente la calidad de la proyección.

3.2. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se describe cómo se desarrolló el hardware de una superficie interactiva multitouch usando la técnica “Laser Ligth Plane”. La implementación de este hardware con su software de aplicación ya como sistema, permitió que todos los integrantes de un grupo de alumnos participaran activa y simultáneamente fomentando la participación colaborativa.

La integración de tecnologías de la información y comunicación TIC en el aula mediante este tipo de tecnología, no solo fomenta el trabajo colaborativo, sino que a su vez ayuda a mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje. La superficie interactiva desarrollada, de acuerdo a los resultados obtenidos, está lista para introducirse satisfactoriamente en las aulas, como una de las diversas TIC que puede revolucionar el sistema pedagógico actual.

A pesar de haber sido desarrollada para niños, el diseño de esta herramienta permite que sea utilizada por personas de cualquier edad, adicionando que el objetivo planteado al principio no es ajeno a otros grupos de personas.

La cantidad de energía por metro cuadrado generada por la operación de los láseres está muy por debajo de los límites de exposición a radiación láser emitidos por las normas consultadas, razón por la cual estamos convencidos que el hardware desarrollado es totalmente seguro para los usuarios.

APÉNDICE A

FUENTE DE CORRIENTE DIRECTA

Introducción

La mayoría de los equipos electrónicos requieren tensiones de CC para su funcionamiento. Estas tensiones pueden ser suministradas por baterías o por fuentes de alimentación internas que convierten la corriente alterna, que puede obtenerse de la red eléctrica que llega a cada vivienda, en tensiones reguladas de CC. El primer elemento de una fuente de alimentación de CC interna es el transformador, que eleva o disminuye la tensión de entrada a un nivel adecuado para el funcionamiento del equipo. La función secundaria del transformador es servir como aislamiento de tierra del dispositivo a fin de reducir posibles peligros de electrocución. A continuación del transformador se sitúa un rectificador, que suele ser un diodo. En el pasado se utilizaban diodos de vacío y una amplia variedad de diferentes materiales (cristales de germanio o sulfato de cadmio) en los rectificadores de baja potencia empleados en los equipos electrónicos. En la actualidad se emplean casi exclusivamente rectificadores de silicio debido a su bajo costo y alta fiabilidad.

Las fluctuaciones y ondulaciones superpuestas a la tensión de CC rectificada (percibidas como un zumbido en los amplificadores de sonido defectuosos) pueden filtrarse mediante un capacitor. Cuanto más grande sea el capacitor, menor será el nivel de fluctuación de la tensión. Es posible alcanzar un control más exacto sobre los niveles y fluctuaciones de tensión mediante un regulador de tensión, que también consigue que las tensiones internas sean independientes de las fluctuaciones que puedan encontrarse en un artefacto eléctrico.

Objetivo

Construir una fuente de corriente continua regulada que entregue un voltaje de salida de 1.2 a 12V y una corriente mínima de 280mA para alimentar 4 módulos láser, los cuales operan con un voltaje nominal de 3.2V (5V como máximo) y una corriente de 70mA por modulo.

Material

Transformador de 127V/12V a 1A

Rectificador o puente de diodos a 2A

1 Capacitor electrolítico de 1000uF a 35V

1 Capacitor electrolítico de 10uF a 35V

1 Capacitor electrolítico de 1uF a 35V

1 Capacitor cerámico de 0.1uF

2 Diodos 1N4002

1 Regulador de voltaje LM317

1 Resistencia de 240Ω

1 Potenciómetro de 5KΩ

Gabinete

2 Jacks banana

Switch

Fusible a 750mA

Desarrollo

Transformador

Utilizamos un transformador, que es un dispositivo que nos convierte por medio de la inducción electromagnética de un voltaje alto a uno bajo (dependiendo del número de espiras); así, el voltaje que va al primario del transformador, es una onda senoidal cuya amplitud dependerá de 120 VAC y en el secundario, el transformador nos da una señal con una amplitud menor a la señal de entrada.

El voltaje de salida que se va a manejar es de 1.2 a 12V, hay que tomar en cuenta la caída de voltaje producida por los componentes del circuito así que se utilizará un transformador con una tensión en el secundario de 12 VAC. Con esta tensión en AC, se obtiene una tensión pico:

$$V_{\text{pico}} = V_{\text{rms}} \times \sqrt{2}$$

$$V_{\text{pico}} = 12 \times \sqrt{2}$$

$$V_{\text{pico}} = 16.9706[\text{v}]$$

Diodos

Los diodos son dispositivos semiconductores cuyo objetivo es rectificar el voltaje AC que suministra el transformador. El diodo se puede polarizar en forma directa, en la cual conduce corriente; mientras que en polarización inversa no conduce. El diodo rectifica la señal, ya sea de media onda u onda completa.

Rectificador (puente de diodos)

Elegimos el del puente de diodos ya que su funcionamiento es mejor, nos permite utilizar todo el voltaje del secundario del transformador; esto en el caso de un transformador sin derivación central, ya que en uno con derivación central, la tensión de salida depende de la mitad de la tensión del secundario. A continuación se describe el funcionamiento del puente de diodos.

Utilizando el circuito de la figura A.1, observamos que el transformador es alimentado por una tensión en corriente alterna. Durante el semiciclo positivo los diodos D1 y D3 (en blanco) son polarizados en directo y los diodos D2 y D4 (en negro) son polarizados en inversa. Es conveniente hacer notar que la corriente atraviesa la resistencia de carga R_L , que en nuestro caso es la carga que se le pone a la salida.

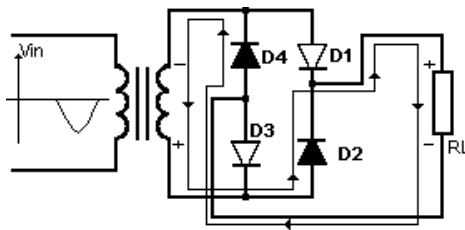


Figura A.1. Rectificador de onda completa, semiciclo positivo.

En la figura A.2 se ilustra la conducción de los diodos en el semiciclo negativo. En este caso, la polaridad del transformador es el inverso al caso anterior y los diodos D1 y D3 (en negro) son polarizados en inversa y D2 y D4 (en blanco) en directa. La corriente pasa por la carga R_L en el mismo sentido que en el semiciclo positivo.

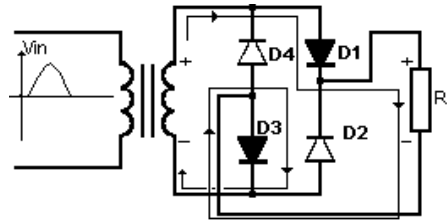


Figura A.2. Rectificador de onda completa, semiciclo negativo.

La salida tiene la forma de una onda rectificada completa. Esta salida es pulsante y para "aplanarla" se coloca un capacitor en paralelo con la carga. Este capacitor se carga a la tensión máxima y se descargará por RL mientras que la tensión de salida del secundario del transformador disminuye a cero volts, y consecutivamente el ciclo se repite.

Por lo tanto, la salida del voltaje sería de onda completa positiva y si le adicionamos un capacitor la caída del voltaje se atenúa, por lo que la gráfica del voltaje de salida sería así:

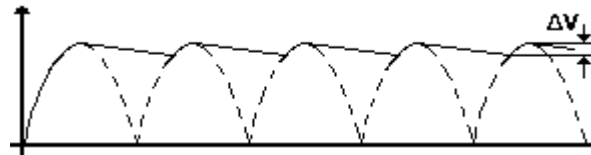


Figura A. 3. Voltaje de rizo.

Ahora ya se tiene esta salida de voltaje pero se necesita que sea regulado y estable, hay varias formas de lograrlo pero la más eficiente es la de usar un regulador de voltaje.

Capacitor

En este circuito funciona como un filtro ya que atenúa la onda de salida de la rectificación y obtenemos un voltaje de CC.

El voltaje de rizo es el voltaje que cae desde el pico máximo hasta donde se empieza a levantar de nuevo, esto debido a la carga almacenada en el capacitor que nos proporciona un voltaje y atenúa la caída de la amplitud máxima del voltaje mientras el periodo senoidal del voltaje de alimentación se completa, entonces esa pequeña diferencia de potencial o caída de voltaje es lo que se llama voltaje de rizo.

Regulador de voltaje

El regulador recibe la señal proveniente de la etapa de rectificado y filtrado y entrega una tensión constante sin importar las variaciones en la carga o del voltaje de alimentación.

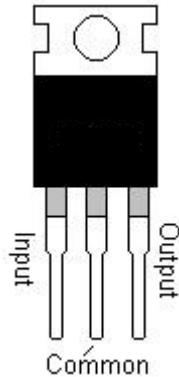


Figura. A.4. Regulador de voltaje LM317 - TO 220.

Este circuito viene con circuitos internos de protección. Su capacidad de entrega de corriente es limitada por lo que el diseñador debe aumentarle transistores externos para aumentar su capacidad. También debe adicionar una resistencia para limitar la corriente a un valor aceptable en caso de que haya un corto circuito en la salida.

El regulador de voltaje positivo LM317 tiene un empaque TO-220. Estos reguladores ofrecen una salida de voltaje regulada con un valor ajustable por el usuario de 1.2 a 37V [8].

Estructura de la fuente.

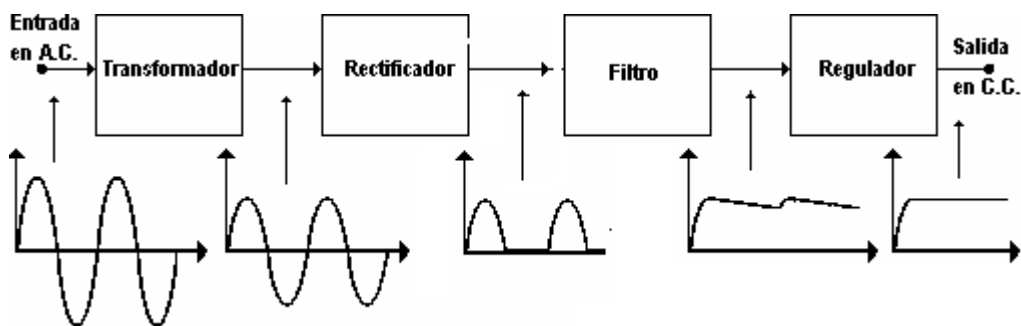


Figura A.5. Diagrama a bloques de la fuente.

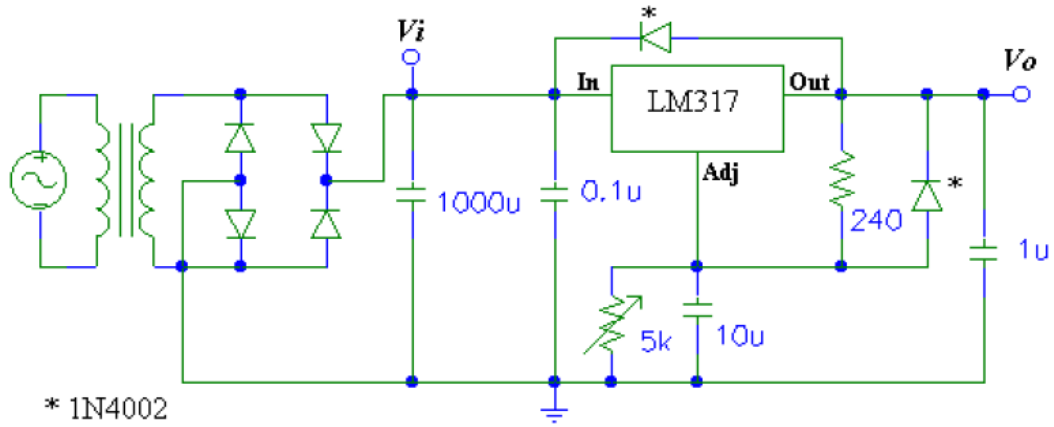


Figura A.6. Diagrama esquemático.

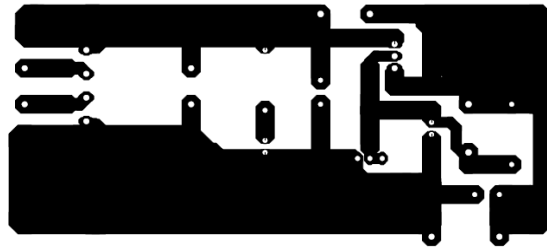


Figura A.7. Circuito impreso (pistas).

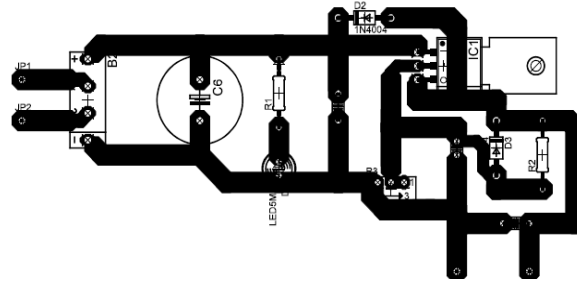


Figura A.8. Componentes.

APÉNDICE B

NORMAS DE EXPOSICIÓN A RADIACIÓN LÁSER

Norma oficial Mexicana: NOM-013-STPS-1993. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se generen radiaciones electromagnéticas no ionizantes [9].

Tabla B.1. Radiación infrarroja.

Longitud de onda en nanómetros (nm)	Tiempo de exposición en horas (h) por día	Nivel máximo en miliWatts por centímetro cuadrado (mW/cm ²)
700 a 1400	8	10

Nota: El nivel máximo de exposición a la radiación infrarroja es el establecido en la tabla y no debe ser rebasado para el tiempo de exposición que se indica.

Normas sobre límites de exposición a radiación láser de longitudes de onda entre 180 nm y 1 μ m.

Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP).

Los láseres son usados en una amplia variedad de aplicaciones, industriales, de consumo, científicas y médicas, incluyendo comunicación por fibra óptica, reproductores de disco compacto, para alinear, soldar, cortar, perforar, tratamiento térmico, medición de distancia, entretenimiento, anuncios, computación óptica y cirugías. En la mayoría de las aplicaciones industriales la radiación láser está totalmente encerrada, incluso encerramientos parciales impiden eficazmente la exposición humana directa.

Efectos adversos para la salud durante la exposición a radiación láser son teóricamente posibles a lo largo del espectro óptico de 180nm en el ultravioleta (UV) hasta 10³ μ m en el infrarrojo lejano (IRC), pero el riesgo de lesión en la retina debido a la radiación en la

región visible e infrarrojo cercano (400-1400nm) es de particular interés. Los límites de exposición varían enormemente a lo largo del espectro óptico debido a variaciones en los efectos biológicos y a las diferentes estructuras del ojo que son expuestas a riesgos; los límites desarrollados para esta región son para duraciones de exposición entre 1 ns y 8 h (30 ks). Los efectos biológicos inducidos por radiación óptica son esencialmente los mismos para fuentes coherentes e incoherentes para una longitud de onda, sitio de exposición y duración dadas. La radiación láser, sin embargo, debe ser tratada como un caso especial porque pocas fuentes ópticas convencionales pueden producir exposición radiante e irradiancia a través de láseres.

Las presentes normas sobre límites de exposición a la radiación láser actualizan y sustituyen a las publicadas anteriormente por la organización predecesora de la Comisión, el IRPA/Comité Internacional de Radiación No Ionizante (IRPA/INIRC). Se han realizado cambios a los límites de exposición recomendados para proporcionar un criterio de peligro más preciso para exposición ocular para fuentes puntuales así como para exposiciones infrarrojas de los ojos y la piel [10].

Factores de seguridad

Consideraciones espectrales: visible e infrarrojo cercano

Los umbrales de daño para la córnea y la retina varían considerablemente con la longitud de onda y por ello es necesario tener en cuenta la precisión requerida para el seguimiento de esta variación. Parece aceptable ajustar los límites de exposición para diferentes longitudes de onda, pero de una manera más sencilla que la que los datos biológicos podrían indicar. Los límites de exposición para longitudes de onda entre 700 y 1050 nm se incrementan con un factor C_A ; C_A aumenta de 1 a 5 mientras la longitud de onda aumenta de 700 a 1050 nm. Entre 1050 y 1400 nm, los límites de exposición para ojos y piel incluyen un factor de corrección espectral constante C_A de 5 y, para exposición ocular a pulsos ultra cortos un factor adicional de 2.

Como resultado de la reunión de expertos de ICNIRP, ACGIH, IEC, y ANSI en Aberdeen, Maryland en 1992, se alcanzó un consenso para introducir un nuevo factor de corrección

C_C para los límites infrarrojos. Esto fue basado en una revisión de la apropiada literatura científica y la comprensión de los principales factores de seguridad existentes para los límites de exposición en esta región espectral. Así, un nuevo factor de corrección C_C , es introducido en esta revisión con valores en el rango de 1 a 8. C_C resulta del aumento de absorción de energía en el medio ocular; este nuevo factor aplica para longitudes de onda de 701 a 1400nm [10]. En la tabla B.2. se muestran los límites de exposición ocular para las regiones del espectro visible e infrarrojo cercano en diferentes intervalos de tiempo.

Tabla B.2. Límites de exposición ocular para fuente láser puntual [10]

Longitud de onda, λ (nm)	Duración de exposición, t	Límite de exposición	Restricciones
Visible e IRA			
400 – 700	1 ns a 18 μ s	0.005 Jm^{-2}	
400 – 700	18 μ s a 10 s	$18t^{3/4} \text{ Jm}^{-2}$	
400 – 550	10 s a 10 ks	100 Jm^{-2}	
550 – 700	10 s a T_1	$18t^{3/4} \text{ Jm}^{-2}$	Todos los límites de exposición para $\lambda < 315 \text{ nm}$ debe ser $\leq 5.6 \times 10^3 t^{1/4} \text{ Jm}^{-2}$ para $t < 10 \text{ s}$
550 – 700	T_1 a 10 ks	$100C_B \text{ Jm}^{-2}$	
400 – 700	10 ks a 30 ks	$0.01C_B \text{ Wm}^{-2}$	
700 – 1050	1 ns a 18 μ s	$0.005C_A \text{ Jm}^{-2}$	
700 – 1050	18 μ s a 1 ks	$18C_A t^{3/4} \text{ Jm}^{-2}$	
1051 – 1400	1 ns a 50 μ s	$0.05C_C \text{ Jm}^{-2}$	
1051 – 1400	50 μ s a 1 ks	$90C_C t^{3/4} \text{ Jm}^{-2}$	
701 – 1400	1 ks a 30 ks	$3.2C_A C_C \text{ Wm}^{-2}$	

Notas: 1 ks= 1 000s; 30ks= 8h; $C_A= 1$ si $\lambda= 400 - 700\text{nm}$; $C_A= 10^{[0.002(\lambda - 700)]}$ si $\lambda= 700-1050\text{nm}$; $C_A= 5$ si $\lambda= 1051 - 1400\text{nm}$;

$C_B= 1$ si $\lambda < 550\text{nm}$; $C_B= 10^{[0.015(\lambda - 550)]}$ si $\lambda= 550 - 700\text{nm}$;

$T_1= 10 \times 10^{[0.02(\lambda - 550)]}$ s si $\lambda= 550 - 700\text{nm}$; y

$C_C= 1$ si $\lambda < 1150$; $C_C= 10^{[0.0181(\lambda - 1150)]}$ si $1150 < \lambda < 1200$; $C_C= 8$ si $1200 < \lambda < 1400$

Límite de exposición para onda continua.

Dado que el riesgo de lesiones en la retina por ver una luz de onda continua o de fuentes de infrarrojo cercano depende de tres variables (tiempo, longitud de onda y angular subtendido) y el ángulo no es constante para todas las longitudes de onda y duración de la exposición, la Comisión concluyó que un límite de exposición único para varias longitudes

de onda no era posible. La Comisión concluyó que los límites de exposición para tiempos mayores a 1s requieren un enfoque doble tanto para la luz de longitud de onda corta como para los límites de exposición para radiación óptica incoherente [11]. La siguiente tabla presenta los cambios propuestos a los límites de exposición para onda continua láser incluidos en la “Revisión de las normas sobre límites de exposición a la radiación láser de longitudes de onda entre 400 nm y 1.4um” publicada por la ICNIRP [11].

Tabla B.3. Cambio propuesto a los límites de exposición para onda continua láser.

Intervalo longitud de onda (nm)	Duración de exposición	Límite de exposición (EL) ^a	Comentarios
400-1,400 nm	1 ns < t < 1 s	No cambian los valores límites, excepto para eliminar el incremento del valor de α_{\min} para $t < 0.7$ s, ^b	Límites originales bien establecidos como mecanismo de daño térmico. Sin embargo, la investigación del movimiento del ojo Requiere un cambio. ^b
400-600 nm	1 s < t < 100 s	H=10 C _B mJ/cm ² donde FOV $\gamma = 11$ mrad, (i.e., $\Omega = 10^{-4}$ sr), y equivalente para: L=100 C _B J/(cm ² sr) donde FOV $\gamma = 11$ mrad	Fotoquímica: asume y FOV $\gamma = 11$ mrad, es demasiado conservadora representan para t > 100s, por lo tanto, una nueva propuesta para mediciones. FOV $\gamma = 1.1 \sqrt{t}$ mrad para t > 100 ($\Omega = t$ usr).
	100 s < t < 10 ⁴ s	E=0.1 C _B mW/cm ² , i.e., L=100 C _B J/(cm ² sr) para mediciones FOV $\gamma = 1.1 \sqrt{t}$ (mrad, Importante cuando $\alpha > 11$ mrad).	Primer límite doble a la protección contra la lesión fotoquímica.
400-600 nm	1 s < t < T ₂ s T ₂ s < t < 30 ks	H=1.8 t ^{0.75} C _E mJ/cm ² E=1.8 C _E T ₂ ^{-0.25} mW/cm ² para $\alpha > 1.5$ mrad	Basándose solamente en los efectos térmicos, se duplica en segundo lugar el límite a proteger contra lesión termal retiniana.
600-1,400nm	1 s < t < T ₂	H=1.8 C _A C _E C _C t ^{0.75} mJ/cm ² E= 1.0 C _A C _C mW/cm ² para	Los límites originales exageraron mecanismos de daño térmico y los movimientos del ojo tratados no adecuadamente para la exposición de CW (onda continua).

$$E = 1.8 C_A C_E C_C T_2^{-0.25} \text{ mW/cm}^2$$

$\alpha < 1.5 \text{ mrad}$
Para $\alpha > 1.5 \text{ mrad}$

^a $C_B = 1$ para $\lambda < 450\text{nm}$; $C_B = 10^{0.02(\lambda-450)}$; and $T_2 = 10[10^{(\alpha-1.5)98.5}]$ límite para $T_2 = 10\text{s}$ para $\alpha < 1.5 \text{ mrad}$ y 100s si $\alpha > 100 \text{ mrad}$; $C_A = 1.0$ para $\lambda < 700\text{nm}$; $C_A = 10^{0.002(\lambda-700)}$ para $700\text{nm} < \lambda < 1,050\text{nm}$; $C_A = 5.0$ para $1,050\text{nm} < \lambda < 1,400\text{nm}$; y $C_C = 1.0$ para $\lambda < 1,050\text{nm}$; $C_C = 10^{0.018(\lambda-1,050)}$ para $1,050 < \lambda < 1,200\text{nm}$; $C_C = 8.0$ para $1,200\text{nm} < \lambda < 1,400\text{nm}$; $C_E = \alpha / \alpha_{\text{mín}}$ donde λ es expresada en nanómetros (nm) y α es expresada en miliradianes (mrad).

^b $\alpha_{\text{mín}}$ ahora es 1.5mrad para todos los límites de exposición de peligro térmico en la retina

Límites de exposición

Los límites de exposición para el ojo y la piel se proporcionan en las tablas B.2, B.3 y B.4. Por otra parte, los límites de exposición para el ojo son siempre especificados en el plano tangencial a la córnea, en el punto del eje óptico del ojo; para la piel, los límites de exposición son especificados en la superficie de la misma. Los factores de corrección espectral C_A , C_B y C_C , ya están incluidos en dichas tablas.

Tabla B.4. Límites de exposición de radiación láser para la piel [10].

Longitud de onda, λ (nm)	Duración de exposición, t	Límite de exposición	Restricciones
Ultravioleta			
180 – 400	1 ns a 30 ks	$5.6t^{1/4} \text{ kJm}^{-2}$	
Visible e IRA			
400 – 1400	1 ns a 100 ns	$200C_A \text{ Jm}^{-2}$	3.5 mm apertura límite
400 – 1400	100 ns a 10 s	$11C_A t^{1/4} \text{ kJm}^{-2}$	
400 – 1400	10 s a 30 ks	$2C_A \text{ kWm}^{-2}$	
Infrarrojo lejano			
1401 – 10^6	1 ns a 30 ks	^a	3.5 mm apertura límite

^a Para exposiciones de la piel en áreas mayores que 0.1 m^2 , los límites de exposición son reducidos a 100 Wm^{-2} . Para áreas de exposición entre 0.01 y 0.1 m^2 , el límite de exposición es inversamente proporcional al área de exposición.

Nota: 1 ks= 1 000s; 30ks= 8h; y

$C_A = 1$ si $\lambda = 400 - 700\text{nm}$; $C_A = 10^{(0.002(\lambda - 700))}$ si $\lambda = 700-1050\text{nm}$; $C_A = 5$ si $\lambda = 1051 - 1400\text{nm}$.

GLOSARIO

Densidad óptica (OD)

Es la absorción de un elemento óptico por unidad de distancia, para una longitud de onda dada [19]. Medida de protección que un lente provee contra diversas longitudes de onda [1].

Exposición radiante (H)

Energía total por unidad de área que incide sobre una superficie dada. Se utiliza para expresar la exposición a la radiación de un láser pulsado en unidades de J cm^{-2} . La integral con respecto al tiempo de la irradiancia.

Fiduciario

Un marcador fiduciario o fiducial es un objeto que se utiliza en el campo de visión de un sistema de imagen, aparece en la imagen producida para su uso como un punto de referencia o una medida.

Irradiancia o densidad de potencia E(t)

La potencia radiante por unidad de área que incide sobre una superficie, expresada en general en watts por metro cuadrado [W m^{-2}]. Los valores E(t), proceden de mediciones o puede facilitarlos el fabricante del equipo.

Latencia

En informática, es el tiempo necesario para que un paquete de información se transfiera de un lugar a otro.

Lentes generadoras de línea

Estas lentes Maddox Rod son un conjunto de pequeños semicírculos alineados, cuando un haz puntual de luz pasa a través de ellas, lo convierte en un plano. La potencia del haz incidente disminuye al pasar a través de ellas.

Oclusión

Este fenómeno se presenta cuando se utiliza solamente uno o dos láseres. De tal forma que cuando un objeto hace contacto con la superficie, bloquea la luz del láser ocasionando que los objetos que tocan la superficie posteriormente no sean alcanzados por la luz del láser; al ocurrir esto, los objetos que tocan la superficie en segundo término, podrían no ser visibles a la cámara.

Radiancia (L)

Se define como el total de energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido de medida. Se mide en watts por metro cuadrado y estereorradián [$\text{W m}^{-2}\text{sr}^{-1}$].

Radiancia integrada (LP)

La integral de la radiancia con respecto a un tiempo de exposición determinado, expresada como energía radiante por unidad de área de la superficie radiante y por unidad de ángulo sólido de emisión, en joules por metro cuadrado por estereorradián [$\text{J m}^{-2}\text{sr}^{-1}$].

Refracción.

La refracción se presenta cuando un rayo de luz atraviesa un material, al ocurrir esto, su dirección de propagación se desvía un cierto ángulo, que depende del tipo de material atravesado.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] Grupo NUI. 2009. Multi-Touch Technologies. 1^a edición [Comunidad de prensa], en:
<http://nuicode.com/projects/wiki-book/files>

(Diciembre 2009)

[2] Oficina Internacional del Trabajo (OIT). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, en:

<http://www.facmed.unam.mx/deptos/salud/censenanza/spivst/spiv/indexoit.htm>

(Enero 2010)

[3] Natera, A. 2006. Usos del rayo láser en odontología restauradora. Primera parte: Aspectos generales, clasificación, interrelación con los tejidos vivos y precauciones en el uso, en:

<http://www.ecuaodontologos.com/revistaaorybg/vol4num3/usosdellasera.html>

(Enero 2010)

[4] González, E. El láser. Principios básicos. Universidad de Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Electrónica. Colombia. 2003.

[5] Casalderrey, M. Láseres, emisores de luz especial. Celeste Ediciones. España. 1995.

[6] Obando, G. Sociedad del Conocimiento IV: TIC y Aprendizaje, en:

<http://blog.pucp.edu.pe/item/45023>

(Diciembre 2009)

[7] Rosario, J. 2005. La Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC). Su uso como Herramienta para el Fortalecimiento y el Desarrollo de la Educación Virtual, en:

<http://www.cibersociedad.net/archivo/articulo.php?art=218>

(Diciembre 2009)

[8] Hernández, J.M. Diseño de fuentes de corriente directa. Facultad de ingeniería. UNAM. (Febrero 2010)

[9] STPS. 1993. Norma Oficial Mexicana: NOM-013-STPS-1993. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se generen radiaciones electromagnéticas no ionizantes, en:

<http://www.ucol.mx/dgrh/index.php?id=31>

(Enero 2010)

[10] Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP). 2000. Guidelines on Limits of Exposure to Laser radiation of wavelengths between 180nm and 1um, en:

<http://www.icnirp.de/PubOptical.htm>

(Enero 2010)

[11] Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP). Revision of the Guidelines on Limits of Exposure to Laser radiation of wavelengths between 400nm and 1.4um, en:

<http://www.icnirp.de/PubOptical.htm>

(Enero 2010)

[12] NEC. Método de proyección de espejos WT610/WT615, en:

<http://www.nec-pj.com/spanish/products/wt/index610.html>

(Febrero 2010)

[13] Optitrack. Cámara Optitrack SLIM:V100, en:

<http://www.naturalpoint.com/optitrack/products/slim-v100/features.html>

(Febrero 2010)

[14] The Center for Occupational Research and Development. Introduction to lasers. Laser/electro-optics technology series. Volume 1. Second Edition. USA. 1988.

(Diciembre 2009)

[15] ReactIVision 1.4 A toolkit for tangible multi-touch surfaces, en <http://reactivision.sourceforge.net/>

(Febrero 2010)

[16] Octanorm. Products. Maximum Light, en

<http://www.octanorm.com/Pages/Products/DepartmentProducts.aspx?Department=VMS>

(Diciembre 2009)

[17] Coherent Inc. Ultima LabMaster. Power and Energy Dual Channel Meter, en

<http://www.coherent.com/lasers/index.cfm?fuseaction=show.page&ID=256&loc=830&ShowMe=More>

(Marzo 2010)

[18] Electrophysics Corp (2010). ElectroViewer 7215, en

http://www.electrophysics.com/Browse/Brw_ProductLineCategory.asp?CategoryId=13&Area=IS

(Marzo 2010)

[19] Davies, A. (2005). La proyección de imagen focal A-Z de Digital. Prensa focal. ISBN 0240519809.

[20] Grupo Isastur. Riesgos higiénicos. Radiaciones no ionizantes, en:

http://grupoisastur.com/manual_isastur/data/es/1/1_8_3_5.htm

(Diciembre 2009)

[21] Digitalfotored (2005). Glosario, en

http://www.digitalfotored.com/glosario/glosario_g.htm

(Febrero 2010)