

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:

Etapa 1. Construcción del modelo físico.

Etapa 2. Seguridad y normas del uso de láseres.

Etapa 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.

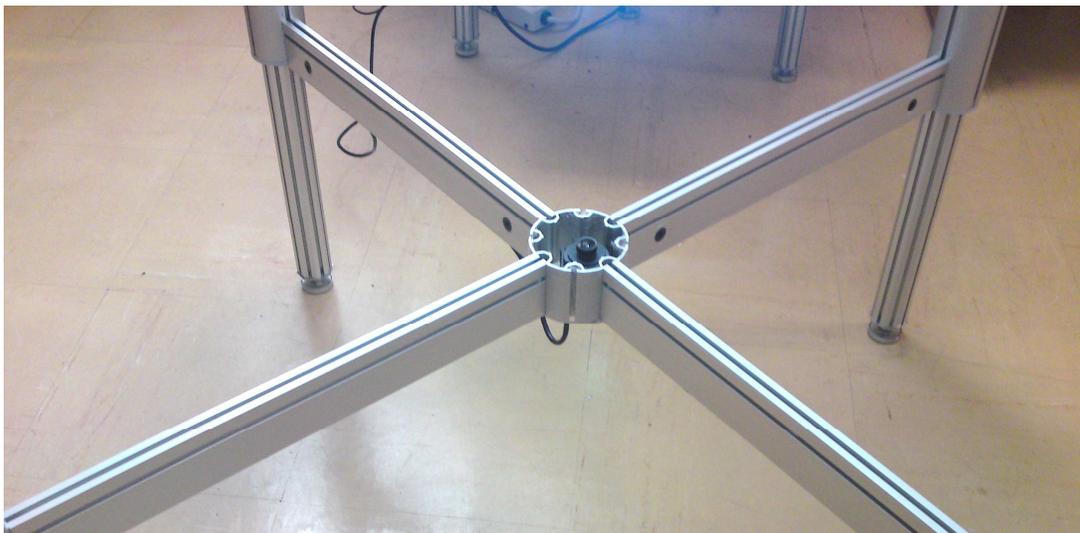


Figura 3.3. Montaje de la cámara.



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.

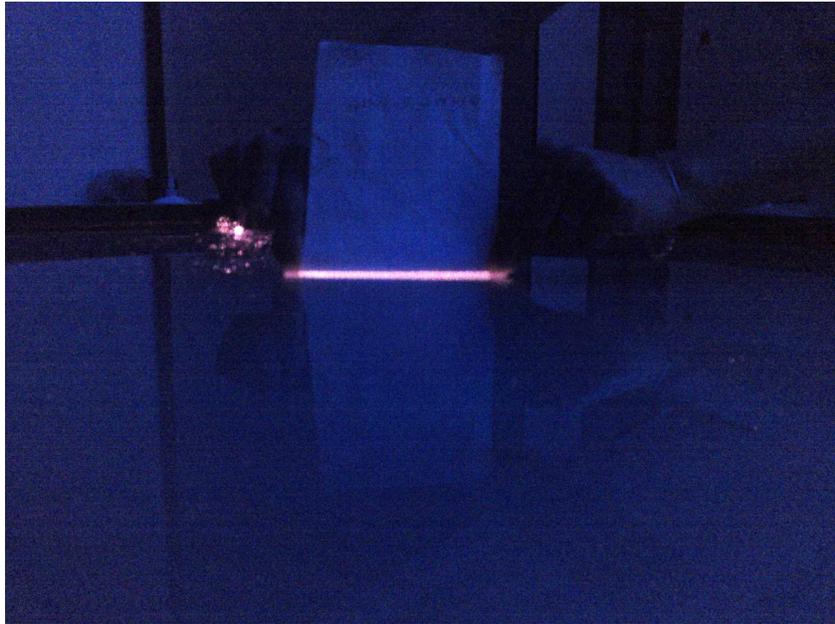


Figura 3.10. Plano de luz.

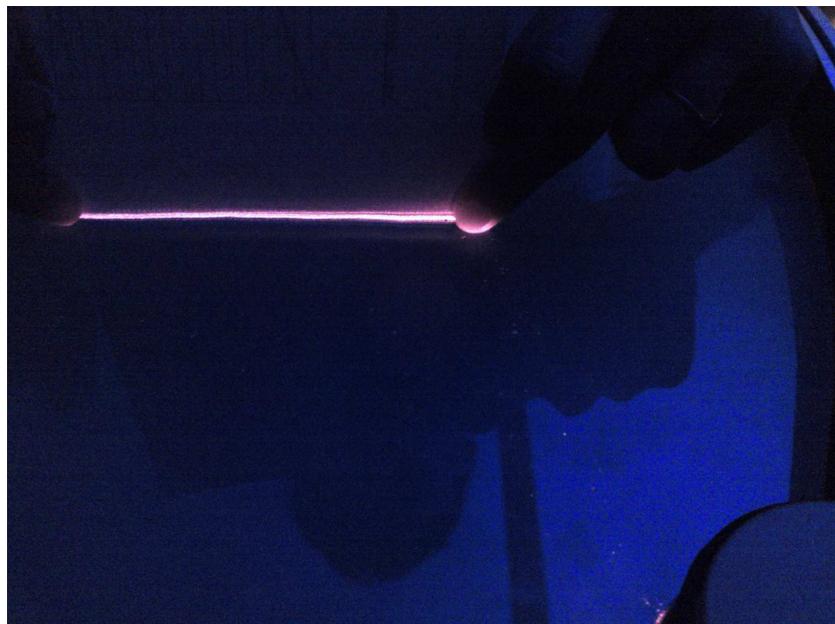


Figura 3.11. Continuidad y grosor del plano.



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).

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

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

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

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.