

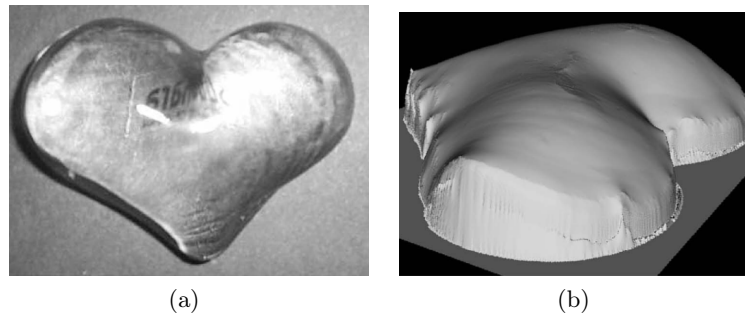
cional es elevado en comparación a la solución propuesta. En algunos casos es necesario una serie de dispositivos, como arreglos de cámaras y lámparas polarizadas, que aumentan el costo del sistema de captura y los hace menos asequible para posteriores aplicaciones. En otros casos el costo es computacional, ya que la solución requiere de una serie de algoritmos que consumen una gran cantidad de memoria.

### 3.1.2 Objetos Transparentes y Translúcidos

Se consideran objetos transparentes aquellos que permiten ver a través de él y dejan pasar fácilmente la luz tales como el agua y el vidrio; por otra parte los objetos translúcidos tienen la propiedad de dejar pasar la luz pero no se puede ver a través de él, las formas y colores se distorsionan, este es el caso del hielo, fibra de vidrio y algunos plásticos. Los objetos transparentes y translúcidos son difíciles de adquirir con las técnicas tradicionales de escaneo, debido a que la mayor parte de la luz que llega a su superficie se refracta, y solo una pequeña porción es reflejada. Para la adquisición de objetos transparentes existen métodos basados en polarización [35], en detección de siluetas [36], detección de movimiento [37], [38] y basados en proyección de patrones de luz [39].

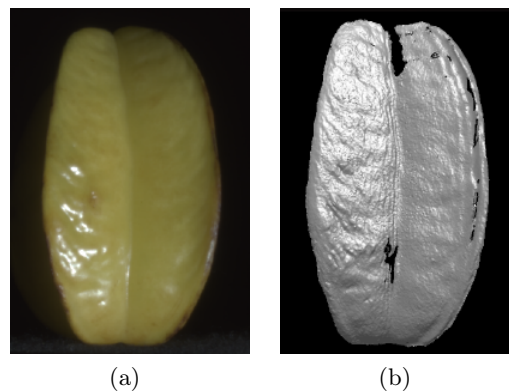
Generalmente la luz que refleja un objeto es parcialmente polarizada Miyazaki *et al.* [35], proponen un método para medir este tipo de superficies usando una cámara equipada con un filtro polarizado. Con este sistema ellos obtienen las normales de la superficie del objeto a partir del grado de polarización de cada punto de la superficie, ya que el grado de polarización depende del ángulo de incidencia de la luz, que a su vez depende de la normal de la superficie. Para obtener la correspondencia entre el grado de polarización y la normal de la superficie, se comparan los resultados de polarización en dos posiciones, una primera posición normal y para la segunda el objeto es inclinado en un ángulo pequeño. Uno de los resultados obtenidos aplicando este método se puede observar en la Figura 3.4.

Chen *et al.* [40] presentan una técnica con luz estructurada que explora directamente la superficie de objetos translúcidos. Empleando un acercamiento basado en una combinación de polarización y cambio de fase de la luz estructurada medida, muestran que el cambio de fase



**Figura 3.4:** (a) Fotografía objeto transparente (b) Reconstrucción con el método de [35]

de los patrones de luz a alta frecuencia permiten la separación de las componentes de reflexión difusa y especular. Ya que la luz no es polarizada ellos usan una fuente de luz y una cámara polarizada. Observando dos imágenes ortogonalmente polarizadas, los efectos de múltiples dispersiones pueden ser removidas y así la geometría del objeto es mejorada. En la Figura 3.5 se muestra una superficie translúcida adquirida con esta técnica.



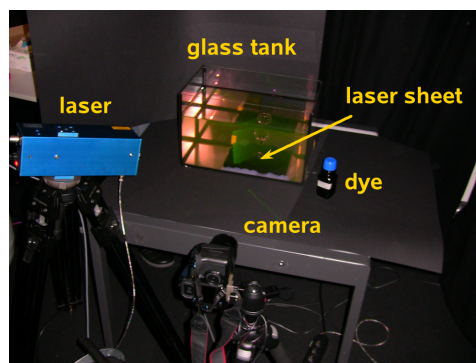
**Figura 3.5:** Objeto translúcido reconstruido con el método de Chen et al. [40]

El sistema propuesto por Matusik *et al.* [36] consiste en un conjunto de cámaras y luces, un monitor que proyecta fondos de colores. Los objetos son colocados sobre una tornamesa. Con este sistema adquieren y modelan objetos especulares, transparentes y translúcidos, creando un ambiente mate en el cual capturan los campos de reflectancia de la superficie en alta y baja resolución.

Yamazaki *et al.* [41] proponen un método para adquirir la superficie de objetos transparentes

usando una pantalla con dos cambios de fase y dos cámaras para hacer adquisición estéreo. En los objetos transparentes, el alto índice de refracción hace que la luz incidente, la luz transmitida y la normal de la superficie siempre sean coplanares, así un rayo proveniente de la cámara y un rayo de la pantalla se intersectarán en un punto al frente y atrás de la superficie del objeto; de esta forma se obtiene la forma de los objetos transparentes.

Hullin *et al.* [42] proponen un método para la adquisición de piezas transparentes sumergiéndolas en un líquido fluorescente, como se observa en el montaje de la Figura 3.6. Una vez se encuentra el objeto dentro del agua se proyecta sobre él un rayo láser que se hará visible para la cámara CCD. De esta forma se analizan los rayos de luz que se hacen visibles debido a la fluorescencia y no las reflexiones de la superficie, así se pueden encontrar los puntos de intersección entre el rayo del láser y la superficie del objeto para una gran variedad de materiales incluyendo objetos oscuros, translúcidos y transparentes (ver Figura 3.6).



(a) Montaje para adquisición



(b) Objeto reconstruido

**Figura 3.6:** Objeto transparente reconstruido con el método de Hullin et al. [42]

Al igual que en el caso de los objetos especulares, algunas de las técnicas planteadas para la adquisición de objetos transparentes y translúcidos se caracterizan por un alto costo computa-

cional. Además de la desventaja anterior, algunos sistemas de captura requieren de técnicas invasivas, como inmersión en líquidos, para solucionar el problema. La técnica propuesta resuelve el problema de adquisición sin incurrir en ninguna de estas dos situaciones, lo que la convierte en una eficaz alternativa para la reconstrucción de objetos transparentes y translúcidos.

## 3.2 Propiedades Ópticas de los Materiales

Las propiedades ópticas de la superficie a digitalizar determinan significativamente el funcionamiento del dispositivo de captura. La luz reflejada por una superficie es función del tipo de superficie, su orientación, la posición de los focos de luz y el punto de vista [43].

Dado una fuente luminosa, una superficie y un observador, el modelo de reflectancia describe la intensidad y la composición espectral de la luz reflejada que alcanza al observador. La intensidad de la luz reflejada está determinada por la intensidad y tamaño de la fuente luminosa, y por las propiedades de la superficie del material [44]. El porcentaje de luz reflejada (Ecuación 3.1) es determinado por la longitud de onda de la fuente luminosa y el comportamiento de la superficie ante esa longitud de onda.

$$R = \frac{I_R}{I_0} = \frac{(n - 1)^2 + k^2}{(n + 1)^2 + k^2} \quad (3.1)$$

Donde  $R$  es la reflectividad,  $I_R$  es la intensidad reflejada,  $I_0$  es la intensidad incidente,  $n$  es el índice de refracción y  $k$  es la constante de absorción. En los metales  $n$  depende de la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la luz incidente (Ecuación 3.2):

$$n = n(\lambda, i) \quad (3.2)$$

La reflectividad de una superficie es la propiedad que determina la fracción de luz incidente que es reflejada en una dirección particular. En general, es una función de las direcciones específicas de la reflexión y la iluminación relativa a la superficie; en adición a la dependencia de las direcciones de iluminación y vista, la reflectancia también depende de un factor de escala, llamado el albedo de la superficie. Según estas propiedades físicas las superficies pueden ser

clasificadas en superficies lambertianas o difusas y en superficies no lambertianas o especulares.

### Superficie Lambertiana

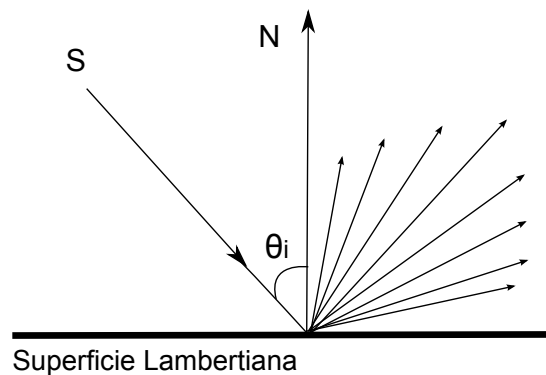
Es una superficie que tiene sólo reflectancia difusa, es decir, una superficie que refleja luz en todas las direcciones; tiene la propiedad de que su radiancia depende solamente de la iluminación y no de la dirección de vista o dirección con la que se observe. La intensidad luminosa reflejada, manifiesta características de brillo proporcionales a la cantidad de energía de la luz incidente, la absorción de luminosidad y el área de superficie del elemento visto desde la fuente de luz (área reducida) [45].

La superficie lambertiana puede ser modelada como el producto de la intensidad de la luz  $A$ , con el factor de albedo de la superficie  $\rho$  y la posición de la fuente de luz  $S$ , así (Ecuación 3.3):

$$I_L = R = A\rho \cos \theta_i \quad (3.3)$$

donde  $I_L$  es el brillo lambertiano que es igual a  $R$  (reflectancia) y  $\theta_i$  es el ángulo entre la normal a la superficie  $\vec{N} = (n_x, n_y, n_z)$  y la dirección de la fuente de luz  $\vec{S} = (s_x, s_y, s_z)$  (Figura 3.7). Así la Ecuación 3.3 se puede reescribir (Ecuación 3.4):

$$I_L = A\rho \vec{N} \cdot \vec{S} \quad (3.4)$$



**Figura 3.7:** Geometría de la reflexión lambertiana

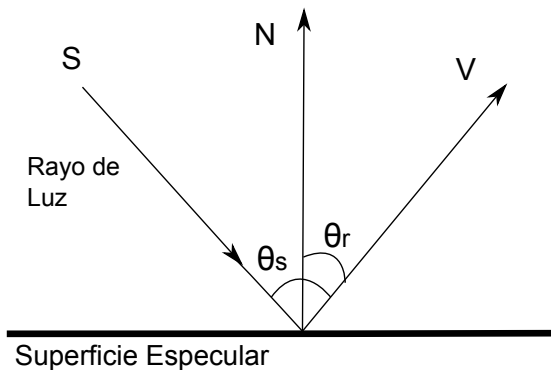
### Superficie Especular

La componente de reflexión especular tiene la propiedad que la luz incidente y reflejada forman el mismo ángulo respecto a la normal de la superficie del objeto. Al contrario que la reflexión difusa, esta depende del punto de visión. De acuerdo con la *Ley de Snell*, la luz que impacta sobre una superficie especular se verá reflejada con un ángulo igual al ángulo de luz incidente, lo cual hace que el ángulo de visión cobre mucha importancia.

El modelo más simple para la reflexión especular está descrito por la siguiente función delta (Ecuación 3.5):

$$I_s = B\delta(\theta_s - 2\theta_r) \quad (3.5)$$

donde  $I_s$  es el brillo especular,  $B$  es la intensidad de la componente especular,  $\theta_s$  es el ángulo entre la dirección de la fuente de luz y la dirección del eje de visión,  $\theta_r$  es el ángulo entre la normal y la dirección del eje de visión (Figura 3.8). Para superficies rugosas estas zonas son muy pequeñas, lo que causa la desaparición del efecto especular [45].



**Figura 3.8:** Geometría de la reflexión especular

En la superficie de un objeto brillante como los metales, la reflexión de luz tiende a ser especular. Cuando se proyecta la luz sobre estas superficies se generan puntos máximos de luz, área donde la intensidad de luz es mayor. Estos puntos máximos de luz saturan el sensor de la cámara haciendo que el proceso de adquisición sea más complejo que el realizado para superficies lambertianas.

### 3.2.1 Propiedades de los Objetos Metálicos y Cerámicas

Las propiedades ópticas corresponden a la interrelación entre un material y las radiaciones electromagnéticas en forma de ondas o partículas de energía, conocidas como fotones. Esta interacción produce una diversidad de efectos, como absorción, transmisión, reflexión y refracción [46]. El concepto de onda suele emplearse para explicar la propagación de la luz y algunos de los fenómenos de formación de imágenes. En las ondas de luz existen campos eléctricos y magnéticos en cada punto del espacio, que fluctúan con rapidez. La longitud de onda es la distancia a lo largo de la dirección de propagación entre dos puntos con la misma fase, es decir, puntos que ocupan posiciones equivalentes en la onda.

En el espectro visible, las diferencias en longitud de onda se manifiestan como diferencias de color; el rango visible va desde 350 nm (violeta) hasta 750 nm (rojo), la luz blanca es una mezcla de todas las longitudes de onda visibles. La radiación ultravioleta va desde los 10 nm hasta los 350 nm y los rayos infrarrojos abarcan las longitudes de onda situadas aproximadamente entre 750 nm y 1 mm [47]. En la Tabla 3.1 se observa la distribución espectral de la luz infrarroja, la luz visible y la luz ultravioleta.

Tipo de Radiación	$\lambda$ (nm)
Ultravioleta Onda Corta (UVC)	10 - 280
Ultravioleta Onda Media (UVB)	280 - 315
Ultravioleta Onda Larga (UVA)	315 - 380
Violeta	380 - 450
Azul	450 - 495
Verde	495 - 570
Amarillo	570 - 590
Naranja	590 - 620
Rojo	620 - 750
Infrarrojo	> 750

**Tabla 3.1:** Distribución Espectral

Al interactuar con la estructura electrónica de un material, los fotones de una fuente externa crean varios fenómenos ópticos:

- Los fotones ceden energía al material, en cuyo caso hay absorción.

- Los fotones aportan energía, de inmediato el material emite electrones de energía idéntica, de forma que se produce reflexión.
- Los fotones no interactúan con la estructura electrónica del material, en ese caso ocurre la transmisión.

En cualquiera de estos tres casos la velocidad de los fotones cambia, propiciando la refracción.

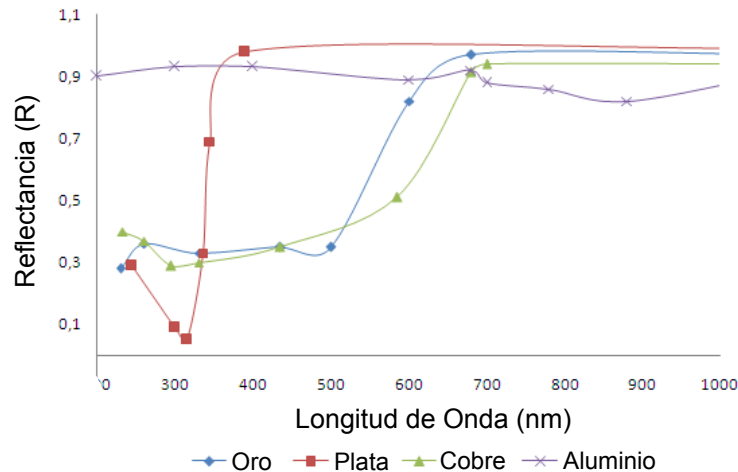
La visión de los objetos se lleva a cabo gracias al fenómeno de la reflexión. Un objeto cualquiera, a menos que no sea una fuente en sí mismo, permanecerá invisible en tanto no sea iluminado. Los rayos luminosos que provienen de la fuente se reflejan en la superficie del objeto y revelan al observador los detalles de su forma y su tamaño. Cuando un haz de fotones golpea un material, éstos interactúan con los electrones de valencia y ceden su energía. Si las bandas de valencia no están totalmente ocupadas, cualquier radiación, de casi cualquier longitud de onda, excita a los electrones hacia niveles superiores de energía. Como se había mencionado la reflexión se produce cuando fotones de longitud casi idéntica vuelven a ser emitidos. Dado que la totalidad del espectro visible se refleja, los materiales con esta propiedad tienen un color blanco o plateado (en los metales) [48].

Las particularidades de la reflexión de la luz de la superficie de los metales, se deben a la presencia de un gran número de electrones enlazados tan débilmente con sus propios átomos, que para muchos fenómenos, tales electrones pueden considerarse libres. Puesto que la densidad de los electrones libres es alta, incluso las capas muy finas del metal reflejan la mayor parte de la luz incidente y son, por regla general, prácticamente opacas.

Con la luz visible y ultravioleta, las propiedades ópticas de los metales dependen principalmente del comportamiento de los electrones ligados, que se caracterizan por su propia frecuencia ubicada en la zona de longitudes de ondas más cortas. La participación de estos electrones determina las llamadas propiedades ópticas no metálicas. Por ejemplo, la plata que en la zona visible se caracteriza por un factor de reflexión muy elevado, en la zona de luz ultravioleta posee un intervalo de reflexión más bajo. En la Figura 3.9 se observa el comportamiento de la reflectancia de cuatro tipos de metales (plata (Ag), oro (Au), cobre (Cu) y aluminio (Al)) ante



la presencia de un rayo con longitudes de onda en un rango de 200 a 1100 nm.



**Figura 3.9:** Reflectancia vs. Longitud de Onda para Au, Ag, Cu y Al

Todas las frecuencias propias de la luz visible se absorben en los metales debido a que siempre existen estados vacíos que permiten las transiciones electrónicas. De hecho los metales son opacos a toda radiofrecuencia hasta aproximadamente la mitad de las ondas ultravioletas, pasando por el infrarrojo y el visible. Como los metales son opacos y tienen alta reflectancia, el color percibido está determinado por la distribución de longitudes de onda de la radiación reflejada y no absorbida. Una apariencia de blanco plateada indica que el metal es muy reflector en todo el espectro de luz visible. En otras palabras, la frecuencia y el número de fotones emitidos en el rayo reflejado son aproximadamente iguales a los del rayo incidente [49].

Como se observa en la Figura 3.9, el comportamiento de estas superficies en el rango de los rayos UV-A (315 nm - 380 nm), tiene los coeficientes de reflexión más bajos. Esto significa que en este rango de longitud de onda, se controlan las propiedades ópticas adversas de la superficie. Por esta razón la técnica propuesta para adquisición de piezas metálicas y cerámicas utiliza este tipo de iluminación. El comportamiento de algunos metales a una longitud de onda  $\lambda = 350$  nm (UV-A) y  $\lambda = 750$  nm (láser infrarrojo) se resumen en la Tabla 3.2.

Material	R(%) $\lambda = 350 \text{ nm}$	R(%) $\lambda = 750 \text{ nm}$
Oro (Au)	34.3	82.5
Plata (Ag)	67.2	98.9
Cobre (Cu)	31.6	64.6
Aluminio (Al)	90.3	94.3

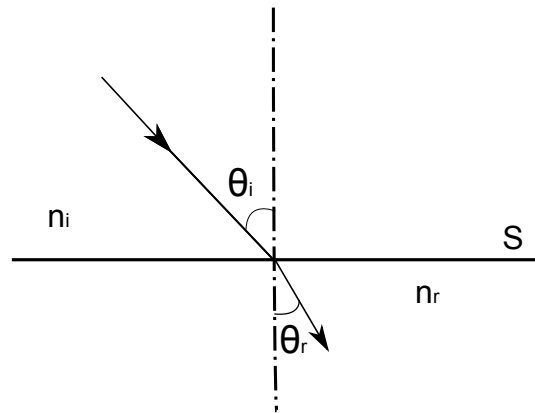
**Tabla 3.2:** Reflectancia de metales con  $\lambda = 350 \text{ nm}$  y  $\lambda = 750 \text{ nm}$

### 3.2.2 Propiedades de los Objetos Transparentes y Translúcidos

Como se mencionó en el Capítulo 2, según el comportamiento ante la luz, los materiales pueden clasificarse como: materiales transparentes, los cuales dejan pasar la luz a través de ellos sin ninguna dificultad, materiales translúcidos, donde la luz pasa a través de él pero transmiten una imagen difusa, y materiales opacos, que no permiten la transmisión de la luz.

#### Índice de Refracción

Cuando un haz de luz pasa de un medio a otro, o sea que atraviesa un segundo medio, pierde algo de su energía y en consecuencia, cambia su velocidad y por ello, cambia de dirección.



**Figura 3.10:** Geometría de la refracción

La velocidad relativa de la luz que pasa a través de un medio se expresa por medio de una propiedad óptica llamada índice de refracción ( $n$ ). El valor del índice de refracción se define como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío,  $c$ , y la velocidad de la luz en el medio considerado,  $v$  (ver Figura 3.10). Los índices de refracción para la luz que pasa de un medio

con índice  $n_i$  a otro con índice  $n_r$  están relacionados con los ángulos de incidencia y refracción según la ley de Snell (Ecuación 3.6):

$$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r \quad (3.6)$$

Nótese que si la luz pasa de un medio de mayor índice de refracción a uno de menor índice de refracción, el ángulo de refracción se hace más pequeño. Cuando la luz pasa de un medio a otro con índice de refracción más bajo, existe un ángulo crítico de incidencia  $\theta_c$ , que si aumenta, da lugar a una reflexión interna total. Este ángulo crítico, corresponde a un ángulo de refracción  $\theta_r = 90^\circ$ . La apariencia del material es una consecuencia de la magnitud del índice de refracción,  $n$ . El destello característico asociado a ciertas piezas de vidrio es el resultado de un elevado valor de  $n$ , lo cual permite que se produzcan múltiples reflexiones internas de la luz.

El fenómeno de la refracción generalmente está acompañado de una reflexión débil producida en la superficie que limita los dos medios transparentes. El haz, al llegar a esa superficie límite, en parte se refleja y en parte se refracta, lo cual implica que el haz reflejado y el refractado tendrán menos intensidad luminosa que el rayo incidente. Dicho reparto de intensidad se produce en una proporción que depende de las características de los medios en contacto y del ángulo de incidencia respecto de la superficie. La refringencia de un medio transparente viene medida por su índice de refracción. Los medios más refringentes son aquellos en los que la luz se propaga a menor velocidad; se dice también que tienen una mayor densidad óptica. Por regla general, la refringencia de un medio va ligada a su densidad de materia, pues la luz encontrará más dificultades para propagarse cuanta mayor cantidad de materia haya de atravesar para una misma distancia. Así pues, a mayor densidad, menor velocidad y mayor índice de refracción o grado de refringencia.

## Transparencia

El vidrio es uno de los materiales transparentes más comúnmente usados y tiene diferentes aplicaciones en la industria, como es el caso de la industria automotriz y la construcción. Debido a las características de este material, la mayoría de las técnicas de adquisición que usan los actuales sistemas comerciales, solo tienen resultados satisfactorios, cuando están acompañados

de técnicas invasivas como sumergir la pieza en algún líquido o pintarla con un polvo especial. En esta sección del documento se hace una discusión acerca de las propiedad de transparencia de los materiales transparentes.

La transparencia es una propiedad de los materiales relativa a la transmisión óptica definida por la ley de *Beer Lamberts* (Ecuación 3.7):

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha x} \quad (3.7)$$

donde  $I_0$  es la intensidad del rayo que entra al volumen del material con una profundidad  $x$ ,  $I$  es la intensidad del rayo emergente, y  $\alpha$  es el coeficiente de absorción, que está definido por (Ecuación 3.8):

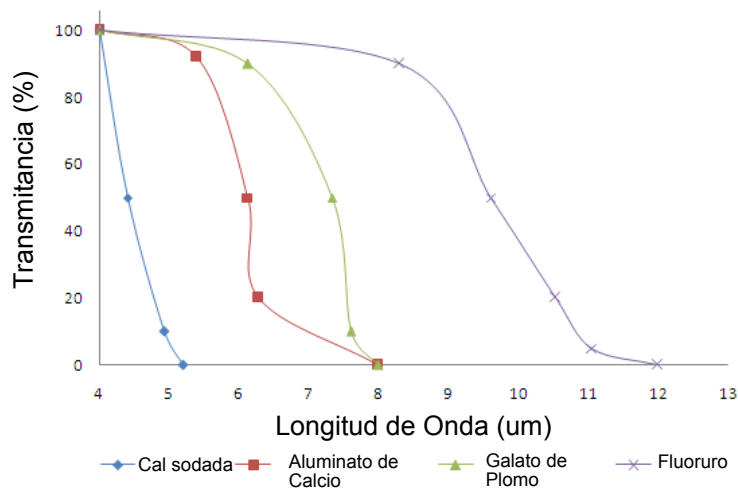
$$\alpha = \frac{4\pi}{\lambda} K(\lambda) \quad (3.8)$$

donde  $K(\lambda)$  es el índice de absorción, que depende de la longitud de onda  $\lambda$  [50].

La Figura 3.11 ilustra el comportamiento de la propiedad de transmisión de los principales compuestos del vidrio, en el rango de longitudes de onda de la luz infrarroja. Se observa como para cada uno de estos compuestos existe un valor de longitud de onda donde la transmisión es 0%. A longitudes de onda superiores a 10  $\mu\text{m}$  el objeto de este tipo de material puede considerarse opaco. Por esta razón la técnica propuesta para la adquisición de materiales transparentes y translúcidos emplea este tipo de iluminación, ya que de esta forma se puede solucionar el problema de la total transmiación de la luz presente en condiciones de iluminación normales.

### 3.3 Resultados Experimentales

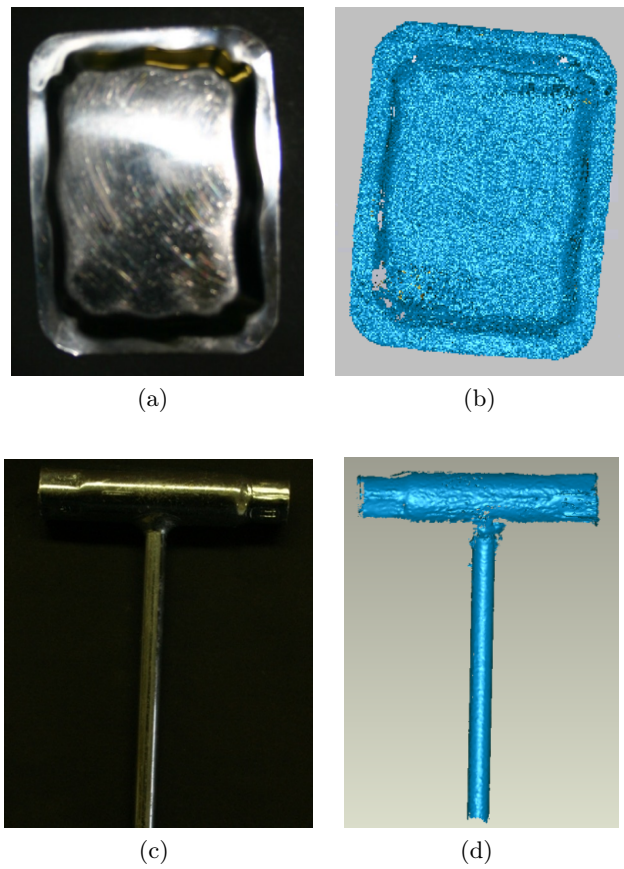
De acuerdo a las características de los materiales y su comportamiento ante los diferentes rangos del espectro de luz, se determinó que el problema de adquisición de este tipo de objetos podía ser solucionado controlando las condiciones de iluminación de la escena en la cual se adquiere el objeto. Según la teoría, las propiedades ópticas de los materiales sugieren que para los materiales



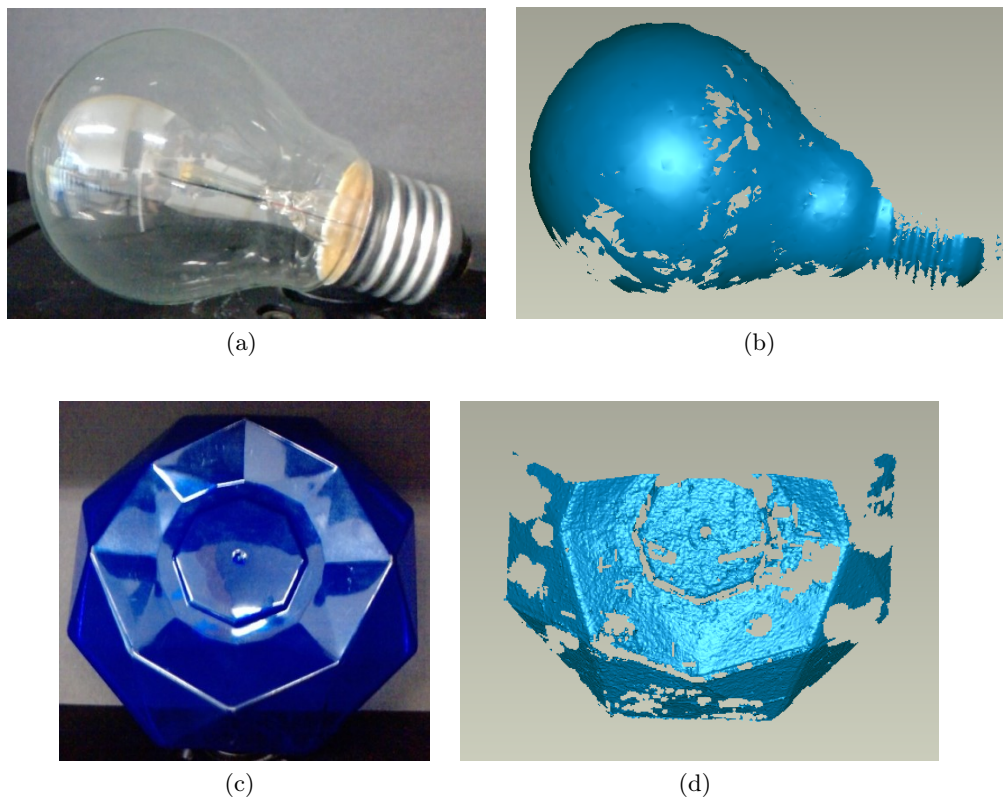
**Figura 3.11:** Transmitancia vs. Longitud de Onda en el dominio de ondas IR

especulares, como metales y cerámicas, el mejor tipo de iluminación es la luz ultravioleta. Los objetos especulares al ser iluminados en el rango de longitudes de onda ultravioleta (315 - 380 nm), presentan un valor de reflexión menor. Al disminuir el porcentaje de reflexión propio de estos materiales, el sensor de captura detecta la superficie del objeto como si se tratara de una superficie opaca. El resultado experimental de la adquisición de una de las vistas que conforman los objetos de las Figuras 3.12a y 3.12c con este tipo de iluminación se observan en las Figura 3.12b y 3.12d respectivamente, para obtener este resultado el objeto se expuso a radiación ultravioleta a través de una lámpara ultravioleta de onda larga (UV-A).

Los materiales transparentes y translúcidos presentan un comportamiento opuesto a los especulares. El porcentaje de reflexión en el espectro de luz visible de los materiales especulares es casi del 100%, en cambio los transparentes y translúcidos responden a este rango de luz de manera contraria, es decir, que el porcentaje de reflexión es muy cercano al 0%, ya que la mayor parte de la luz es transmitida a través de la superficie del objeto. El problema es solucionado experimentalmente iluminando la pieza con radiación infrarroja. El resultado obtenido con este tipo de iluminación se observa en la Figuras 3.13b y 3.13d, estos resultados corresponden a una de las vistas que conforman la geometría de los objetos de las Figuras 3.13a y 3.13c.



**Figura 3.12:** (a), (c) Objeto especular (b), (d) Una vista adquirida iluminando el objeto (a) y (c) con luz UV-A



**Figura 3.13:** (a) Objeto transparente (c) Objeto translúcido (b),(d) Una vista adquirida iluminando el objeto (a) y (c) con luz IR

En esta sección se describen los procedimientos para generar un modelo 3D adecuado, de objetos especulares, transparentes y translúcidos. Para los dos tipos de materiales se realizaron tres experimentos, el factor que diferencia a cada experimento es el tipo de iluminación utilizada para la captura de información con cámara fotográfica (2D) y el sensado con escáner de rango (3D). El primer experimento consiste en adquirir la pieza con luz blanca, el segundo usando iluminación UV-A para el caso de superficies especulares e iluminación IR para superficies transparentes y translúcidas, por último se realiza un experimento para evaluar el desempeño de la técnica de adquisición propuesta pintando la pieza e iluminándola con luz blanca.

## 4.1 Montaje Experimental

En el montaje experimental se detallan los requerimientos de hardware y la disposición de estos en el espacio de captura. La geometría de adquisición es determinada mediante pruebas experimentales, partiendo de los fundamentos físicos acerca del comportamiento de los rayos de luz que golpean los tipos de superficies de interés en este documento. El experimento I (luz blanca) y el III (ground truth) es el mismo para las dos clases de materiales. La diferencia en el segundo experimento radica, además del tipo de iluminación, en la disposición de los objetos.

### 4.1.1 Experimento I: Adquisición sin condiciones de iluminación controlada

En este primer experimento se realiza la adquisición de las piezas, sin realizar ningún tipo de control en las condiciones ambientales de iluminación, es decir, con la misma disposición empleada para la captura de objetos homogéneos. La captura de información 3D se realiza con



un método tradicional de adquisición, empleando un escáner de rango, y en complemento se adquiere información 2D con una cámara fotográfica.

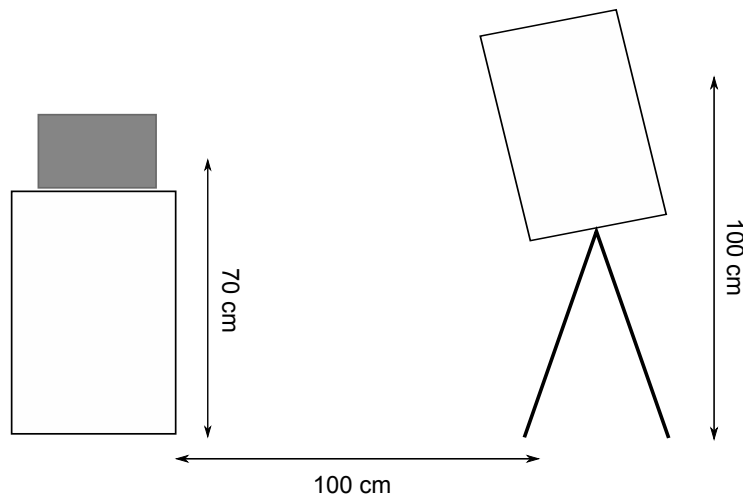
Antes de iniciar el proceso de adquisición es necesario encontrar las especificaciones técnicas que garanticen obtener resultados satisfactorios en la fase de pre procesamiento y análisis de las imágenes de rango adquiridas. La adquisición de una imagen de calidad está ligada a parámetros como: iluminación ambiental, propiedades ópticas de la superficie y características del sensor empleado para la captura. Implementar el experimento I, requiere de una cámara fotográfica para la información 2D, un escáner de rango para los datos 3D y una tornamesa. Todos los dispositivos, junto al objeto a adquirir, se encuentran ubicados en una sala iluminada uniformemente con luz blanca.

### Geometría de Adquisición

Partiendo de las especificaciones físicas se describen los pasos a seguir y la ubicación de estos elementos en el espacio de captura para obtener, junto a el software especializado Polyworks® v.10, las imágenes de rango necesarias para la reconstrucción 3D de los objetos adquiridos. La geometría de adquisición usando luz blanca para piezas especulares, transparentes y translúcidas se detalla a continuación:

1. La sala donde se realizan las capturas es aislada de luz solar, cubriendo las ventanas con cortinas negras. Se utiliza como fuente de iluminación lámparas fluorescentes de luz blanca ubicadas en el techo. La distribución lumínica lineal dada por cada tubo fluorescente, permite que la iluminación general de la sala sea uniforme.
2. El escáner de rango se dispuso sobre un trípode a 100 cm del suelo (ver Figura 4.1), la base se inclina hacia delante para darle cobertura total al modelo con la cámara y el láser del escáner, y así poder adquirir la totalidad del objeto con la menor cantidad de vistas y la mayor calidad de información en cada toma.
3. La pieza se ubica sobre una tornamesa, que se encuentra a 70 cm de altura. Todas las superficies que rodean la pieza son negras con el fin de disminuir las perturbaciones ópticas que afectan el proceso de adquisición.

4. La distancia entre el escáner y la pieza es de 100 cm. La relación de distancia entre el objeto y el escáner, fue estipulado por las especificaciones del lente y el tamaño del objeto, recomendaciones dadas por el fabricante del escáner.



**Figura 4.1:** Montaje de adquisición

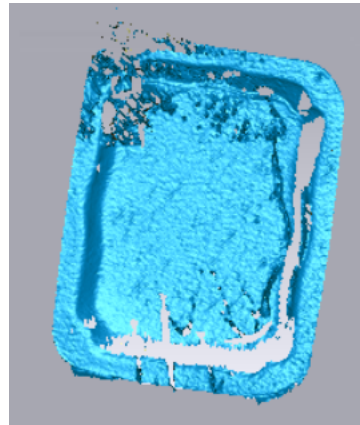
En la Figura 4.2 se encuentran los resultados en 2D y 3D, de la adquisición de una vista para un objeto especular y uno transparente, utilizando la disposición anteriormente descrita. En el caso de la superficie especular, los resultados con este tipo de iluminación muestran una alto componente de brillo en la adquisición 2D (ver Figura 4.2a) lo que se traduce en ausencia de información y aporte de información falsa en los resultados 3D como se observa en la Figura 4.2b. Las superficies transparentes y translúcidas no son vistas por el sensor CCD del escáner (ver Figura 4.2d), cuando se utiliza iluminación blanca. En la Figura 4.2f se aprecia como la única parte que alcanza a ser detectada por el escáner es la que no es de material transparente.

### 4.1.2 Experimento II: Adquisición con condiciones de iluminación controlada

El segundo experimento explica el procedimiento realizado para la técnica de adquisición propuesta en este trabajo. En este caso la variación respecto al experimento anterior está relacionado con las condiciones lumínicas a las que se expone la pieza en el momento de la adquisi-



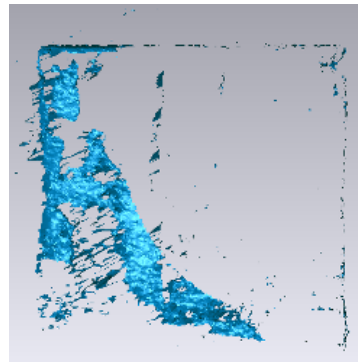
(a) Pieza especular (2D)



(b) Pieza especular (3D)



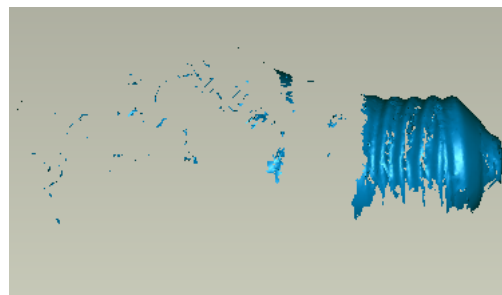
(c) Pieza translúcida (2D)



(d) Pieza translúcida (3D)



(e) Pieza transparente (2D)



(f) Pieza transparente (3D)

**Figura 4.2:** Resultados de adquisición implementando el Experimento I