

DISEÑO EXPERIMENTAL

REFRACCIÓN DE LA LUZ

FOGANTINI, Paula Natalia

Instituto Jesús en el Huerto de los Olivos, Olivos, Buenos Aires

Profesor guía: SALABARRÍA, Marcela

INTRODUCCIÓN

La luz es radiación electromagnética cuya energía radiante es transportada en fotones a lo largo de un campo de ondas. Todas las ondas electromagnéticas viajan con la misma velocidad c en el vacío. Sin embargo, ¿qué sucede cuando interactúan con el medio en que viajan?

Las variaciones de color, de dirección y de intensidad son manifestaciones que nos permiten verificar que ocurren cambios cuando la luz pasa de un medio a otro. Éstos se deben a las interacciones de las ondas con los átomos que componen el medio, los cuales absorben y emiten radiación y, si el material es transparente, parte de la radiación se transmite a través de él. Este proceso de absorción y emisión lleva un tiempo y hace que la velocidad promedio sea menor en el vacío.

Esta velocidad depende del material, y se relaciona con un número llamado *índice de refracción absoluto* “ n ” *de un medio transparente*¹. Éste es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio. Por ser un cociente de velocidades no tiene unidades.

$$n = \frac{c}{v}$$

n : índice de refracción
 c : velocidad de la luz en el vacío
 v : velocidad de la luz en el medio

Si el índice de refracción de un medio es mayor que el otro, se dice que tiene *mayor refringencia* y *menor refringencia* en caso contrario. Si dos medios tienen la misma refringencia, tienen *continuidad óptica*. Los índices de refracción del aire y del agua son 1,0003 y 1,33, respectivamente.

Cuando la luz se refracta cambia de dirección porque se propaga con distinta velocidad en el nuevo medio. Como la frecuencia de la vibración no varía al pasar de un medio a otro, lo que cambia es la longitud de onda de la luz como consecuencia del cambio de velocidad. Un rayo incidente cambia más o menos de dirección (o no cambia) según el ángulo con que incide y según la relación de los índices de refracción de los medios por los que se mueve.

Se llama ángulo de incidencia al formado por el rayo incidente y la normal y ángulo de refracción al formado por el rayo refractado y la normal. La normal es una recta imaginaria perpendicular a la superficie de separación de los dos medios en el punto de contacto del rayo. Cuando la luz se refracta, existe una relación entre los ángulos formados por los rayos de luz en cada medio. La ley que los relaciona es la **Ley de Snell**.

Mediante la realización de esta experiencia, se buscará observar el fenómeno de refracción de la luz y verificar la Ley de Snell, intentando clarificar los conceptos de refracción de la luz y contribuyendo en el aprendizaje de plantear problemas e hipótesis, experimentar y comunicar de manera precisa y con el lenguaje apropiado.

¹ Un medio transparente es aquel que deja pasar la mayor parte de la luz que incide sobre él.

PLANTEO DEL PROBLEMA

¿Por qué cambia de dirección la luz (cambia su ángulo) al pasar de un medio a otro? ¿Cómo cambia?

¿Cambia el ángulo de refracción con respecto al de incidencia sea cual sea el ángulo de incidencia?

HIPÓTESIS

Si la luz pasa de un medio refringente (agua) a otro menos refringente (aire), el rayo refractado se alejará de la normal (el ángulo de refracción será mayor que el ángulo de incidencia).

Si el ángulo de incidencia es nulo, entonces el ángulo de refracción también lo será.

Si se trata de un fenómeno de refracción de la luz, entonces podremos verificar la Ley de Snell.

MATERIALES²

- Un vaso no transparente.
- Un vaso transparente³.
- Un lápiz/pajita⁴.
- Una moneda⁵.
- Bandeja blanca plástica.
- Cuatro biromes de colores diferentes.
- Regla/ Escuadra.
- Tijera.
- Diez alfileres.
- Transportador.
- Vaso de precipitados.
- Agua.
- Calculadora.

PROCEDIMIENTOS⁶

Para comenzar a indagar en el tema, pueden realizarse dos experiencias muy breves y concretas⁷:

1) Lápiz/pajita/lapicera en un vaso con agua:

- Introducir el lápiz, la pajita o la lapicera en un vaso con agua en forma oblicua y observar.
- ¿Cómo se ve? ¿Por qué?
- Luego, introducirlo verticalmente y observar.
- ¿Se ve diferente o no? ¿Por qué?

2) Moneda en un vaso con agua:

- Colocar una moneda en el fondo de un vaso no transparente.
- Observar lateralmente de manera que no se perciba la moneda.
- Sin cambiar de lugar la vista, agregar agua.
- ¿Qué sucede? ¿Por qué?

3) T sumergible:

² La experiencia de la "T sumergible" se puede hacer en grupos. Para que puedan trabajar varios alumnos con un mismo dispositivo, se atribuirá un color (una birome) por alumno y cada uno deberá realizar el tratamiento de su rayo y su ángulo de incidencia y de refracción. Dependiendo de la cantidad de integrantes, varía la cantidad de materiales. Aquí suponemos que está integrado por cuatro personas, con lo cual son cinco biromes de colores diferentes (una por integrante y una para la normal y la línea de separación entre los medios), 2 alfileres por integrante y 2 alfileres para la normal (10 alfileres). Ver referencia 7.

³ Se puede emplear el mismo vaso de precipitados, pero si se desean hacer las experiencias en simultáneo, es conveniente llevar otro vaso.

⁴ En su lugar, se pueden emplear las mismas lapiceras para la experiencia siguiente si se desea.

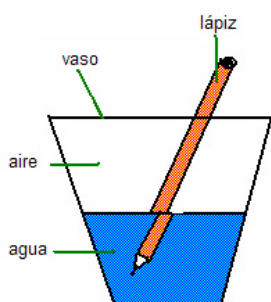
⁵ Es recomendable que sea de las grandes (de 25, 50 centavos o de 1 peso argentinos).

⁶ Ver imágenes en el apéndice.

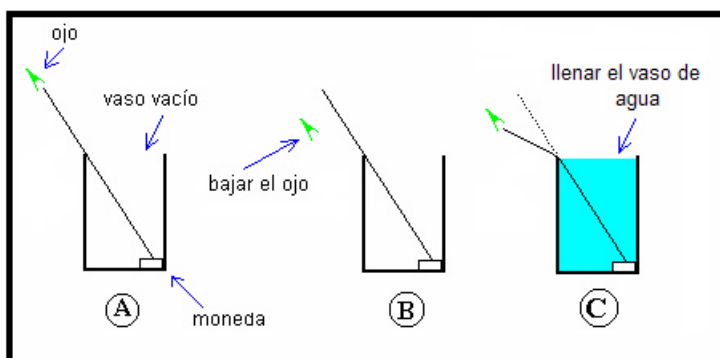
⁷ Estas experiencias sencillas le permitirán al profesor orientar a los alumnos a la comprensión de la refracción de la luz y descubrir las leyes de la refracción. Los alumnos deberán exponer sus ideas de cómo es que sucede este fenómeno. Pueden suprimirse en caso de escasez de tiempo o si se consideran demasiado sencillas.

- Medir el diámetro y la altura del vaso de precipitados y la altura de la línea de los 250 ml.
- Tomando en cuenta los datos obtenidos, cortar el plástico en forma de T.
- Trazar la normal, la línea de separación entre los medios (hasta la altura de los 250 ml aproximadamente) y el punto de incidencia sobre el plástico.
- Clavar un alfiler⁸ por integrante sobre el plástico, fuera de la normal y por debajo de la línea de separación entre los medios.⁹
- Clavar un alfiler sobre la normal (y por debajo de la línea de separación entre los medios).
- Marcar los rayos incidentes (con un color de lapicera diferente para cada uno) trazando una línea que une los puntos de los alfileres con el punto de incidencia.
- Introducir el plástico en el vaso de precipitados, de manera que toque el fondo y que no se mueva.
- Llenarlo con agua hasta la línea de separación entre los medios (aproximadamente 250 ml).
- Observar desde arriba el dispositivo; cuando se vea que el alfiler, el rayo de incidencia y el punto de incidencia están alineados, clavar un alfiler sobre el plástico. Realizar este paso con cada rayo.
- Retirar el plástico y marcar y nombrar los rayos y ángulos, tanto incidentes como refractados.
- Medir todos los ángulos.
- Tabular los datos.

ESQUEMA DEL DISPOSITIVO



Experiencia 1



Experiencia 2

RESULTADOS¹⁰

Primeras experiencias:

- 1) El objeto se ve quebrado cuando se lo introduce de manera oblicua. Da la impresión de que la parte que está dentro del agua está torcida. Cuando se lo introduce perpendicularmente al vaso, no se aprecia este “quiebre”.
- 2) Al bajar la vista, no se ve la moneda. Al agregar agua, ésta “aparece”; se la ve en una posición “más arriba” de la que estaba.

⁸ No es indispensable, pero si se desea mayor precisión, pueden colocar dos alfileres que estén alineados con el punto de incidencia, en lugar de uno. Ídem para los alfileres de los rayos refractados. En tal caso, habrá que duplicar la cantidad de alfileres.

⁹ Lo único a destacar aquí, es procurar que el ángulo que se vaya a formar no supere los 48°. De lo contrario, el fenómeno no se podrá apreciar. (porque se producirá la reflexión total interna).

¹⁰ Se ha optado por redondear los senos al centésimo. Sin embargo, el cálculo del cociente entre ellos se realizará con la calculadora, contemplando todos los decimales.

“T sumergible”:

Rayo ¹¹	a (°)	g (°)	sen a	sen g	sen a / sen g	n ₂ / n ₁
Normal	0	0	-	-	-	0,7521052 63
Rojo	6	8	0,1	0,14	0,7510680 04	
Celeste	20	28	0,34	0,47	0,7285215 34	
Violeta	24	32	0,41	0,53	0,7675445 49	
Verde	47	78	0,73	0,97	0,7505913 08	

α : ángulo de incidencia

γ : ángulo de refracción

n₁ : índice de refracción absoluto del medio de incidencia (agua)

n₂ : índice de refracción absoluto del medio de refracción (aire)

Cálculos auxiliares:

$$n_2 / n_1 = 1,0003 / 1,33$$

$$n_2 / n_1 = 0,752105263$$

CONCLUSIONES

Todos los experimentos hemos podido observar el fenómeno de refracción de la luz. En todos ellos, hemos trabajado con dos medios: agua y aire.

En las primeras experiencias, lo que sucede es que la luz que va desde el objeto hasta el ojo del observador se desvía. El sistema cerebro-ojo interpreta que el objeto está sobre la recta del rayo que llega al ojo. En la situación inicial, el vaso impide que los rayos de luz reflejados en la moneda lleguen al ojo. Al agregar agua dentro del vaso, estos rayos cambian de dirección al pasar al aire y pueden llegar al ojo. El sistema cerebro-ojo forma la imagen en la intersección entre la propagación de los rayos que llegan al ojo y la vertical sobre la moneda y así la ve en una posición “más arriba”, llamada *altura aparente*.

A partir de la tercera experiencia, hemos podido verificar, dentro de los mínimos errores experimentales, la ley de Snell:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \gamma} = \frac{n_2}{n_1}$$

En todos los casos, excepto en aquel en que el rayo incidiera perpendicularmente (donde el ángulo incidente y el refractado miden 0°), los rayos refractados se alejan de la normal (cambian su dirección de propagación) porque la luz pasa de un medio de mayor índice de refracción (agua) a uno de menor índice de refracción (aire).

Para generalizar, podemos afirmar que:

1° *Ley de refracción*: El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación de los medios son coplanares¹².

2° *Ley de refracción*: Para cada par de medios y para cada luz monocromática incidente que se refracta se cumple la ley de Snell, que puede expresarse: $n_1 \cdot \text{sen } \alpha = n_2 \cdot \text{sen } \gamma$

Siendo n₁ el índice de refracción absoluto del medio de incidencia y n₂ el del medio de refracción:

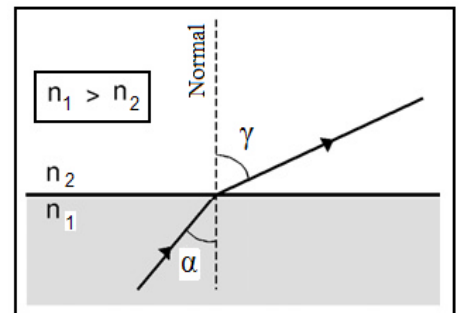
¹¹ Aquí, en lugar de los colores, se colocarán los nombres de cada alumno (y, al lado de cada fila, se trazará una línea del color correspondiente al alumno).

¹² Dos o más puntos son *coplanares* solamente si yacen en el mismo plano.

1) Si $n_2 > n_1$; $\text{sen } \gamma < \text{sen } \alpha$ o sea $\gamma < \alpha$, entonces cuando un rayo de luz pasa de un medio menos refringente a otro más refringente, se acerca a la normal.

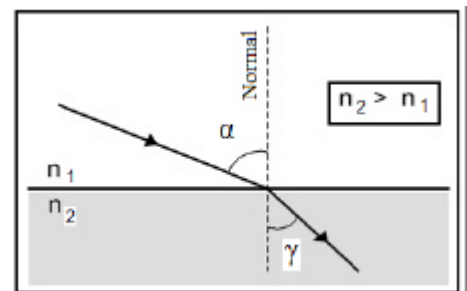
2) Si $n_2 < n_1$; $\text{sen } \gamma > \text{sen } \alpha$ o sea $\gamma > \alpha$, entonces cuando un rayo de luz pasa de un medio refringente a otro menos refringente, se aleja de la normal.

3) Si el ángulo de incidencia es nulo (0°), entonces el ángulo de refracción también lo será.



A partir de la refracción de la luz, podemos entender varios fenómenos cotidianos¹³:

- Las piscinas parecen menos profundas de lo que son en realidad porque la luz se desvía al entrar en el agua. Por la misma razón, nuestras piernas parecen más cortas y gruesas dentro del agua.
- En el ocaso, el Sol se sigue viendo durante varios minutos aún después de haber desaparecido. En realidad, la refringencia del aire no es exactamente igual a la del vacío (la del aire es 1,0003 y la del vacío es 1) y el ángulo con que los rayos solares se desvían al pasar del vacío a la atmósfera es pequeño, menos de 2° , pero considerablemente mayor que el ángulo con que se abarca al Sol. Así, el sol aparece más arriba que en la realidad.
- En la atmósfera hay masas de aire en movimiento de distintas temperaturas y densidades. Por eso la luz estelar no sólo se desvía sino que, como las masas de aire están en movimiento, hacen que la luz centellee.
- El arco iris se forma por la refracción de los rayos solares en las gotas de agua de manera similar a lo que sucede sobre un prisma triangular. Al pasar la luz (que está compuesta por muchos colores) por el agua, cada color es refractado de manera diferente, entonces aparecen como colores separados. La condición para que aparezca un arco iris es que el Sol brille en una parte del cielo y que esté lloviendo en la parte opuesta. Cuando el observador se coloca de espaldas al Sol, ve el espectro de colores formando un arco.
- Cuando hace calor, puede haber una capa de aire muy caliente en contacto con el suelo. Como las moléculas de aire caliente están más separadas, los rayos de luz sufren una desviación en esta capa que en la capa a menor temperatura. Esto hace que los rayos se curven gradualmente, produciendo la imagen de un objeto por debajo del suelo. Un conductor experimenta una situación análoga cuando viaja sobre una carretera caliente y ve agua frente a sí. El cielo parece reflejarse sobre una superficie mojada, pero en realidad la luz del cielo se está refractando a través de una capa de aire caliente. Cuando se observan imágenes temblorosas en el aire sobre un pavimento o una estufa caliente, lo que se ve es el efecto de la refracción atmosférica. Esto mismo puede aplicarse para el caso de los espejismos en el desierto.



Cabe destacar también que, aunque hoy sabemos que la materia curva la luz, el concepto de rayo y su forma de propagarse dieron lugar al nacimiento de la óptica y la idea fundamental sobre la que se construye la óptica geométrica es la de que los rayos de luz viajan en línea recta. Sabemos, por ejemplo, que El aire no tiene una densidad óptica uniforme. Ésta va aumentando gradualmente

¹³ Se puede pedir a los alumnos que, para ampliar la conclusión, busquen ejemplos de fenómenos en los cuales se aprecie la refracción de la luz. También se puede interrelacionar este tema con informática, desarrollando un programa simple que permita ir modificando el ángulo de incidencia y los índices de refracción de ambos medios y ver cómo se modifica el ángulo de refracción. Para ver un ejemplo, entrar a a http://www.walter-fendt.de/ph11s/refraction_s.htm. Este diseño es muy sencillo de realizar y no requiere un ámbito específico. Sí es importante sea un lugar donde haya suficiente luz.. La propuesta de comenzar con unas experiencias sencillas es ideal para que el docente formule preguntas respecto del tema (o de óptica en general) y alumno pueda intentar darle una explicación.

con la proximidad a la Tierra. Como consecuencia, al recorrer la atmósfera la luz no lo hace en línea recta sino ligeramente curva.

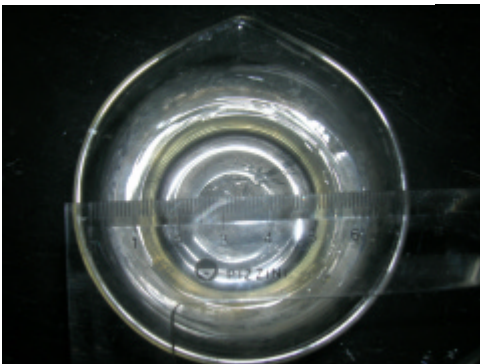
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA:

- Alvareng, M., *Física General*. Editorial Harla, México, 1981.
- Calderón, S., Corner, G. y otros. *Física activa*. Editorial Puerto de Palos, Bs. As., Argentina, 2001.
- Castiglioni, R. E., Perazzo, O., Rela, A., *Física 2*. Editorial Troquel, Arentina, 1984.
- <http://ciencianet.com/moneda.html>
- <http://sci-toys.com/index.html>
- http://www.jpimentel.com/ciencias_experimentales/pagwebciencias/pagweb/la_ciencia_a_tu_alcance/Experiencias_fisica_refracci%F3n_de_la_luz.htm
- http://www.ua.es/personal/jsb/Asignaturas/Transp_WEB/Resumen_Tema_Optica.pdf
- <http://www.unex.es/%7Eoptica/libro/Bloque%205.pdf>
- http://www.virtual.chapingo.mx/fisica/SISTEMAS/Snell_II.pdf

Apéndice



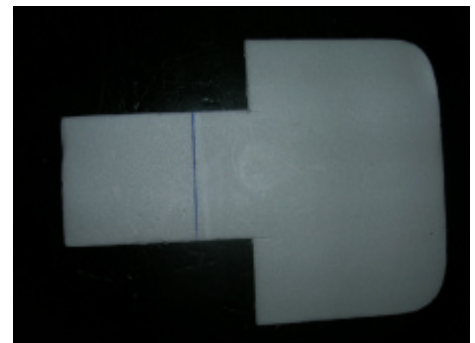
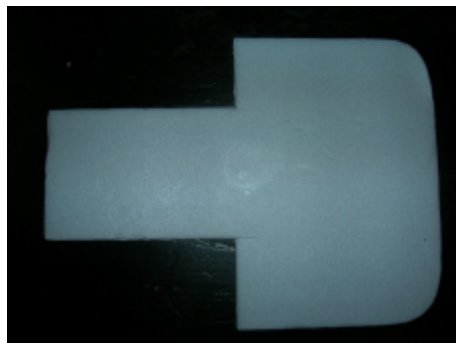
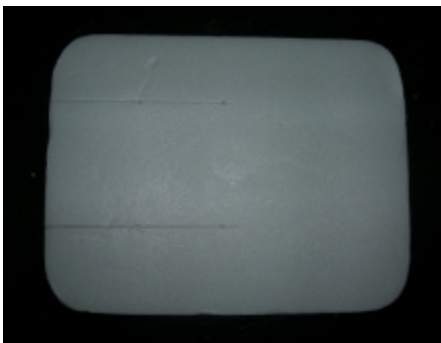
Procedimientos



Medir el diámetro y la altura del vaso de precipitados.

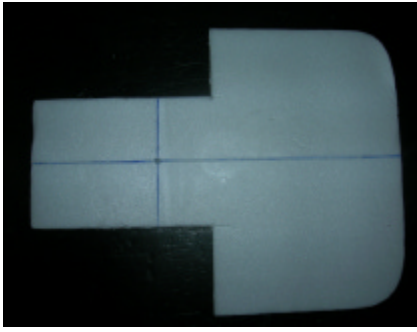


Tomar la bandeja de plástico.

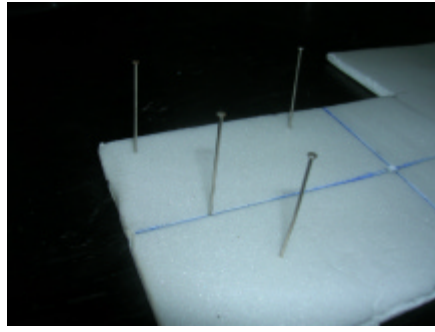


Cortar la bandeja teniendo en cuenta las medidas tomadas. Debe sobresalir una superficie amplia por encima del vaso.

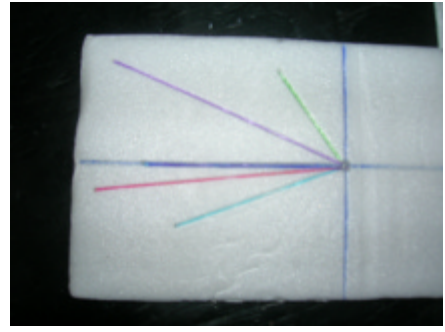
Marcar la línea de separación entre los medios.



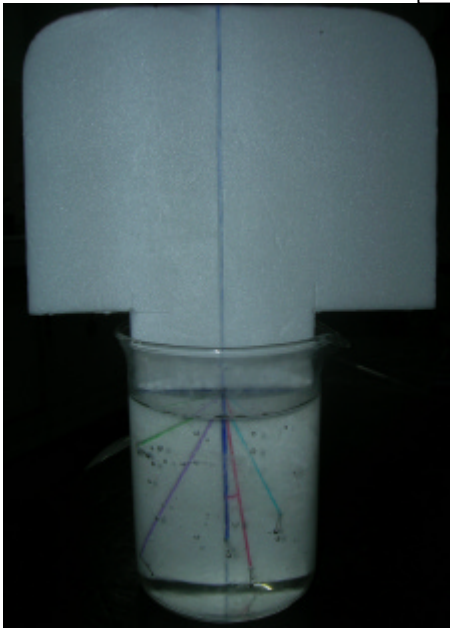
Marcar la normal y el punto de incidencia.



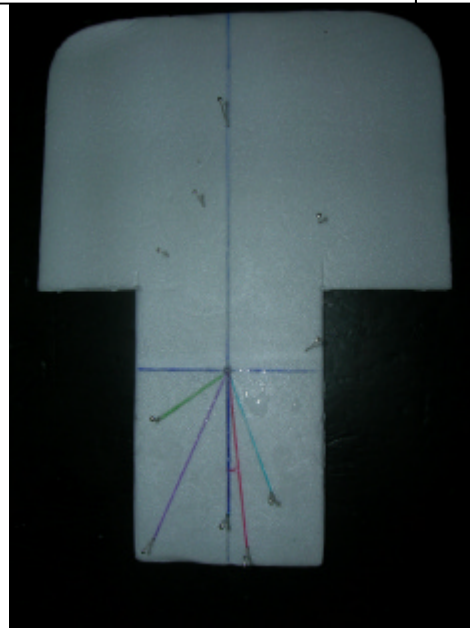
Clavar los alfileres (por debajo de la línea de separación entre los medios)



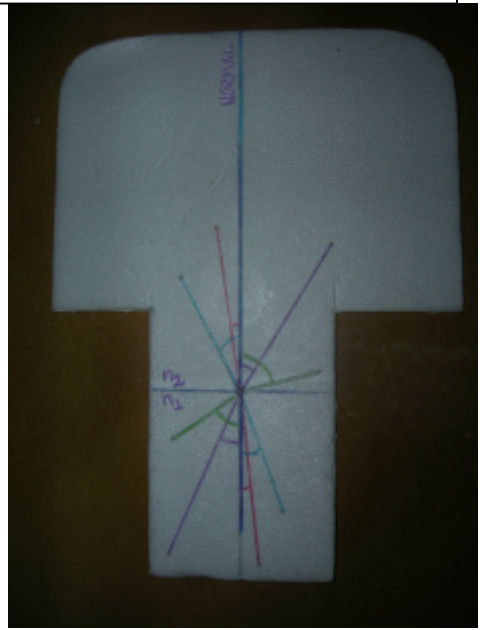
Retirar los alfileres y unir cada punto con el punto de incidencia (con un color diferente para cada uno).



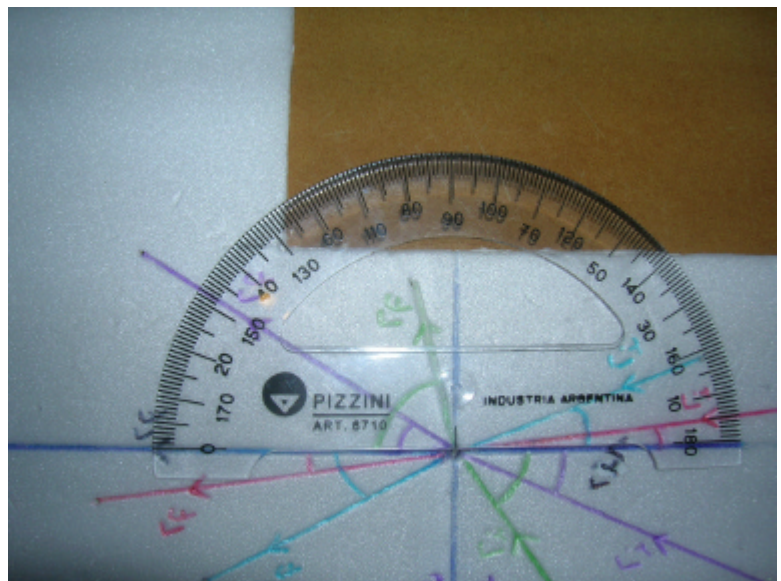
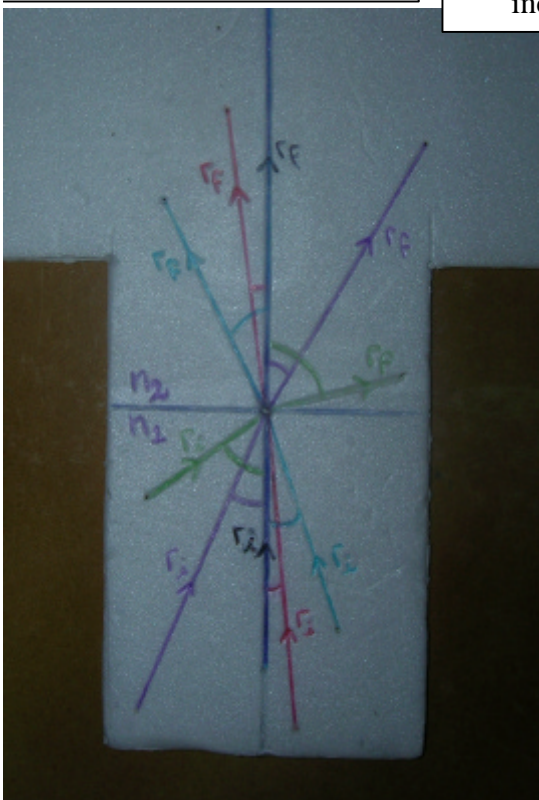
Introducir la bandeja al vaso y colocar agua hasta la altura de los 250 ml.



Observar desde arriba y clavar un alfiler cuando el alfiler sumergido, la línea y el punto de incidencia estén alineados.



Retirar la bandeja y unir los puntos de los alfileres con el punto de incidencia (respetando los respectivos colores).



- Marcar los ángulos y colocar las referencias (Normal, n_1 , n_2 , r_i , r_r y color y nombre de cada integrante).
- Medir los ángulos y tabular los resultados.