

Leyes de la Óptica Geométrica



Alejandro Pérez Romero, Yael Iván Ríos Basurto, Héctor Caudillo Borja

Grupo 8185 - Laboratorio de Óptica
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México, México

Fecha de realización: 14 de agosto de 2025

Fecha de entrega: 20 de agosto de 2025

Datos y código: github.com/alejandr688/laboratorio-optica

Resumen: Verificamos experimentalmente la ley de la reflexión y la ley de Snell en una interfaz aire–acrílico utilizando un semidisco de acrílico. Se midieron ángulos de incidencia, reflexión y transmisión en configuraciones externa (aire→acrílico) e interna (acrílico→aire), con incertidumbre de lectura $\pm 0.5^\circ$. A partir de las series angulares se evaluaron residuos de la reflexión (centrados en 0° , con atípicos en ángulos grandes) y se estimó el índice de refracción n mediante ajustes lineales forzados al origen en variables seno. En externa se obtuvo $m = 1.314$ (IC95 %: [1.295, 1.333], $R^2 = 0.99$), mientras que en interna (régimen pre-crítico) $m = 1.608$ (IC95 %: [1.53, 1.69], $R^2 = 0.99$), reflejando sesgos sistemáticos opuestos. De manera independiente, la identificación del ángulo crítico en la transición a reflexión interna total ($\theta_c \simeq 40^\circ\text{--}43^\circ$) arrojó $n \simeq 1.47\text{--}1.56$. La triangulación de los tres métodos es consistente con $n \approx 1.49$ para el acrílico en el visible. Se observó mayor dispersión en la configuración interna cercana a θ_c , evidenciando su mayor sensibilidad a desalineaciones y a errores de lectura.

1. Introducción

La óptica geométrica describe la propagación de la luz mediante rayos y permite predecir cómo cambia su dirección al encontrarse con la interfase entre dos medios. En ese marco, la reflexión y la refracción se formulan mediante la ley del plano de incidencia y la ley de Snell, que vinculan los ángulos de incidencia, reflexión y transmisión con los índices de refracción de los medios [1, 2]. Estas relaciones, además, anticipan fenómenos límite como el *ángulo crítico* y la *reflexión interna total* cuando la luz pasa de un medio ópticamente más denso a uno menos denso [2].

En esta práctica se estudian experimentalmente las leyes de la reflexión y la refracción utilizando un láser colimado, una mesa giratoria con escala angular y un semidisco de acrílico. La geometría del semidisco minimiza la refracción en la cara curva, de modo que la única desviación relevante ocurre en la cara plana, lo que simplifica la medición de los ángulos y el contraste con la teoría [1, 3]. Se realizarán series de medidas tanto para *incidencia externa* (aire→acrílico) como para *incidencia interna* (acrílico→aire), registrando cuantitativamente los ángulos correspondientes a los

haces reflejados y transmitidos respecto a la normal.

El objetivo central es verificar que los datos experimentales obedecen las leyes de la óptica geométrica: (i) comprobar que el ángulo de reflexión coincide con el de incidencia; (ii) evaluar la relación entre $\sin \theta_i$ y $\sin \theta_t$ para estimar el índice de refracción del acrílico; y (iii) identificar el ángulo crítico y la condición de reflexión interna total en incidencia interna. De forma complementaria, se considerarán fuentes de incertidumbre asociadas al alineamiento, nivelación y lectura angular del sistema, a fin de discutir la concordancia entre mediciones y predicciones teóricas [1, 3].

2. Teoría

2.1. Índice de refracción y plano de incidencia

En óptica geométrica, la luz se modela mediante rayos que se propagan en líneas rectas en medios homogéneos e isótropos. El índice de refracción n caracteriza la rapidez de propagación v de

la luz en un medio:

$$n \equiv \frac{c}{v}, \quad (1)$$

donde c es la rapidez de la luz en el vacío [1, 2]. Los ángulos se miden respecto de la *normal* a la interfase y todos los rayos relevantes (incidente, reflejado y transmitido) y la normal yacen en el mismo plano, llamado *plano de incidencia* [1, 3].

2.2. Leyes de la reflexión y de la refracción

La ley de la reflexión establece la igualdad entre los ángulos de incidencia y reflexión:

$$\theta_r = \theta_i. \quad (2)$$

La refracción está gobernada por la ley de Snell:

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t, \quad (3)$$

donde los subíndices i y t denotan los medios de incidencia y transmisión, respectivamente [1, 2].

2.3. Ángulo crítico y reflexión interna total

Cuando la luz pasa de un medio más denso a uno menos denso ($n_i > n_t$), existe un *ángulo crítico* θ_c tal que para $\theta_i \geq \theta_c$ no hay transmisión y ocurre *reflexión interna total*:

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_t}{n_i}\right), \quad (4)$$

definido únicamente si $n_i > n_t$ [1, 2]. En el caso acrílico→aire ($n_t \approx 1$), esta relación permite estimar n_i a partir de θ_c :

$$n_i \approx \frac{1}{\sin \theta_c}. \quad (5)$$

2.4. Linealizaciones útiles para el análisis

Para extraer n con un ajuste lineal, es conveniente reescribir la ley de Snell según la configuración:

Incidencia externa (aire→acrílico).

$$\sin \theta_i = \frac{n_t}{n_i} \sin \theta_t \xrightarrow{n_t \approx 1} \sin \theta_i = n_{\text{acr}} \sin \theta_t. \quad (6)$$

Si se grafica $y = \sin \theta_i$ vs. $x = \sin \theta_t$, la pendiente m entrega directamente n_{acr} .

Incidencia interna (acrílico→aire).

$$\sin \theta_t = \frac{n_i}{n_t} \sin \theta_i \xrightarrow{n_t \approx 1} \sin \theta_t = n_{\text{acr}} \sin \theta_i. \quad (7)$$

Ahora, al graficar $y = \sin \theta_t$ vs. $x = \sin \theta_i$, la pendiente vuelve a ser n_{acr} .

Estas expresiones permiten:

- (I) verificar $\theta_r = \theta_i$ (Equation 2);
- (II) comprobar la relación de Snell (Equation 3);
- (III) estimar n_{acr} por ajuste lineal (Equation 6–Equation 7);
- (IV) corroborarlo de forma independiente con θ_c usando Equation 5.

Con ello se cubren los fenómenos observados en ambas configuraciones y el régimen de reflexión interna total.

3. Método experimental

3.1. Fecha de realización

14 de agosto de 2025.

3.2. Sistema experimental

El experimento se montó como en la Fig. 1.

1. Se empleó un **láser** apoyado sobre una mesa de altura variable para dar estabilidad y ajustar la altura del haz.
2. Se instaló una mesa giratoria y una pantalla opaca sobre carros para riel óptico
3. Sobre la mesa giratoria se colocó un **semidisco de acrílico**, cuidando que el *centro de la superficie cilíndrica* coincidiera con el centro de la mesa giratoria.
4. Con un **nivel de gota** se verificó la **nivelación** tanto del laser como del disco de acrílico sobre la mesa giratoria.
5. Finalmente, se encendió el láser y **se alineó** el haz para que pasara por el centro del semidisco, de modo que los ángulos se midieran respecto a la normal a la interfase.

3.3. Medición de ángulos en incidencia externa (aire→acrílico)

Se orientó el semidisco para que el láser incidiera sobre su **cara plana** (interfase aire–acrílico). Se variaron ángulos de incidencia θ_i de 5° a 60° en pasos de 5° . Para cada θ_i , cada integrante del equipo registró θ_r (reflexión) y θ_t (transmisión) **respecto a la normal** usando la escala de la mesa. Los **datos brutos** de las tres personas se presentan en el Apéndice A.

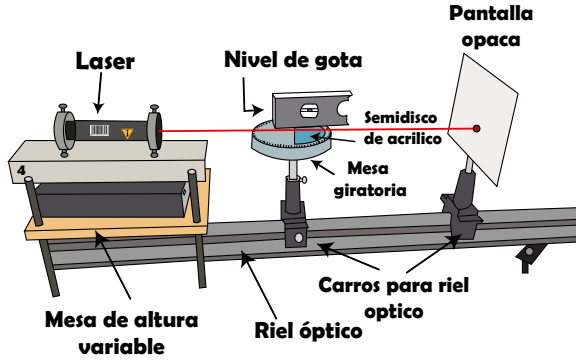


Figura 1: Arreglo experimental con láser, mesa giratoria y semidisco de acrílico para medir θ_i , θ_r y θ_t en incidencia externa e interna.

3.4. Medición de ángulos en incidencia interna (acrílico→aire)

Se giró el semidisco de forma que el haz **entra por la cara curva y saliera por la cara plana** (interfase acrílico-aire). Se tomaron mediciones de 5° a 50° en pasos de 5° . Al igual que en externa, cada integrante midió θ_i , θ_r y θ_t respecto a la normal. Los **datos brutos** correspondientes se incluyen en el Apéndice A.

3.5. Procesamiento y graficación

A partir de los datos brutos del Apéndice A se elaboraron las siguientes gráficas con fines de verificación y estimación:

- **Reflexión.** Se graficó θ_r vs. θ_i para *incidencia externa* (2) y *incidencia interna* (3) para contrastar la ley de la reflexión $\theta_r = \theta_i$ (Equation 2).
- **Residuos de reflexión.** Se calcularon residuos $\Delta\theta = \theta_r - \theta_i$ y se graficaron contra θ_i para externa (4) e interna (5) con el fin de identificar sesgos y dispersión respecto de Equation 2.
- **Ley de Snell.**
 - En *incidencia externa* se representó $\sin \theta_i$ vs. $\sin \theta_t$ y se ajustó una recta por el origen (6) de acuerdo con la linealización de Equation 6 basada en Equation 3; la **pendiente** proporciona una estimación de n_{acr} .
 - En *incidencia interna* (régimen *pre-crítico*) se graficó $\sin \theta_t$ vs. $\sin \theta_i$ con ajuste por el origen (7) según Equation 7 para obtener una **segunda estimación** de n_{acr} .
- **Dispersión por participante.** Se construyeron diagramas de caja de n_{est} por persona: externa

(11, con $n_{est} = \sin \theta_i / \sin \theta_t$, cf. Equation 6) e interna pre-crítico (10, con $n_{est} = \sin \theta_t / \sin \theta_i$, cf. Equation 7).

- **Ángulo crítico.** Se observó la reflexión interna total cuando llegamos al ángulo crítico (12)
- **Resumen.** Finalmente Se generó una **tabla comparativa** (1) con las estimaciones de n_{acr} obtenidas por los dos métodos anteriores.

4. Resultados

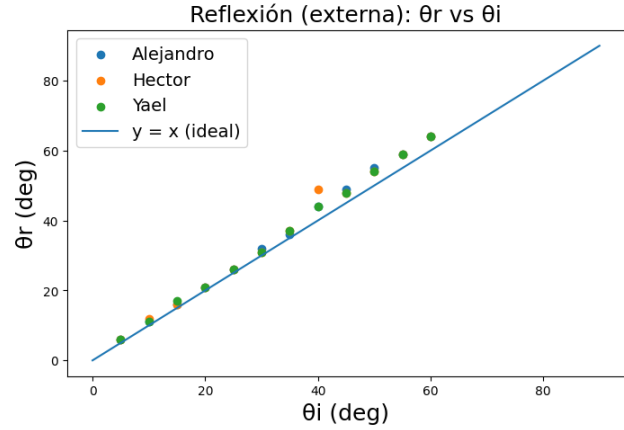


Figura 2: Reflexión (incidencia externa). Gráfica de θ_r vs. θ_i para los tres conjuntos (Alejandro, Héctor y Yael). La línea $y = x$ es la predicción teórica de la ley de la reflexión, Equation 2.

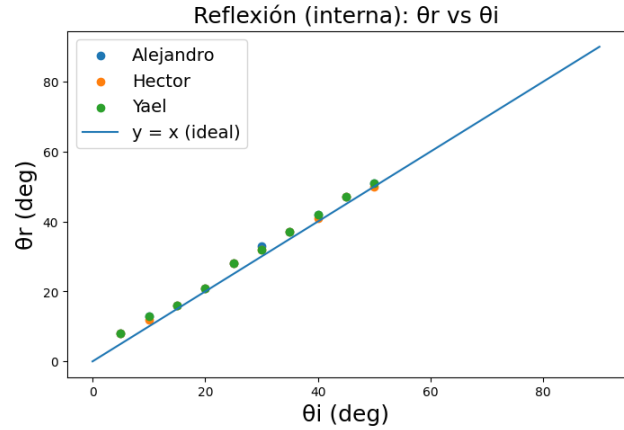


Figura 3: Reflexión (incidencia interna). Relación θ_r vs. θ_i para los tres conjuntos. La línea $y = x$ representa la predicción ideal de Equation 2.

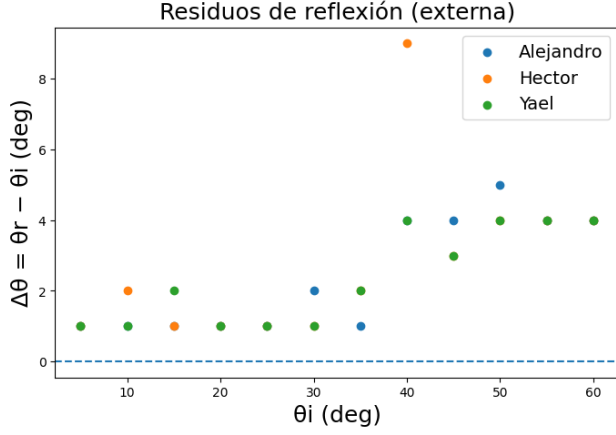


Figura 4: Residuos de la ley de la reflexión en **incidencia externa**. Se grafica $\Delta\theta = \theta_r - \theta_i$ contra θ_i para cada participante. La línea discontinua en 0° es la predicción exacta de Equation 2.

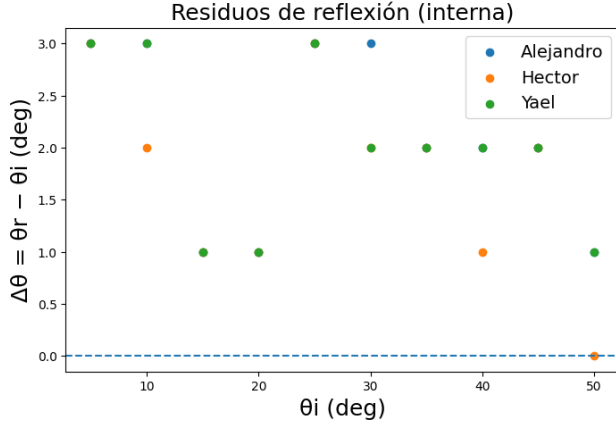


Figura 5: Residuos de la ley de la reflexión en **incidencia interna** (acrílico→aire). Se muestra $\Delta\theta = \theta_r - \theta_i$ frente a θ_i . La línea discontinua en 0° corresponde a Equation 2.

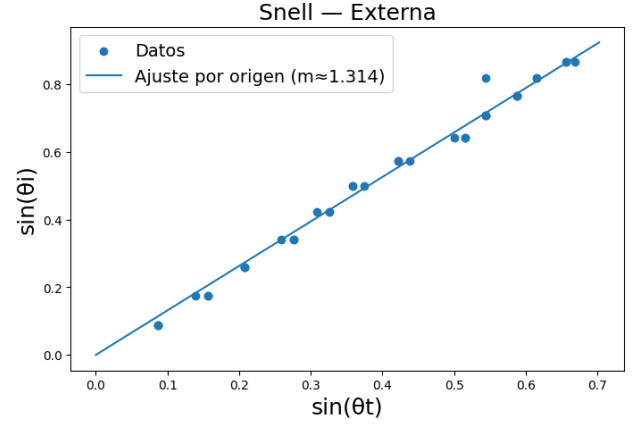


Figura 6: Ley de Snell en **incidencia externa** (aire→acrílico). Se grafica $\sin\theta_i$ vs. $\sin\theta_t$ y se ajusta una recta *forzada al origen*, como predice Equation 3. La pendiente del ajuste es $m \simeq 1.314$, que según Equation 6 corresponde a una estimación de n_{acr} .

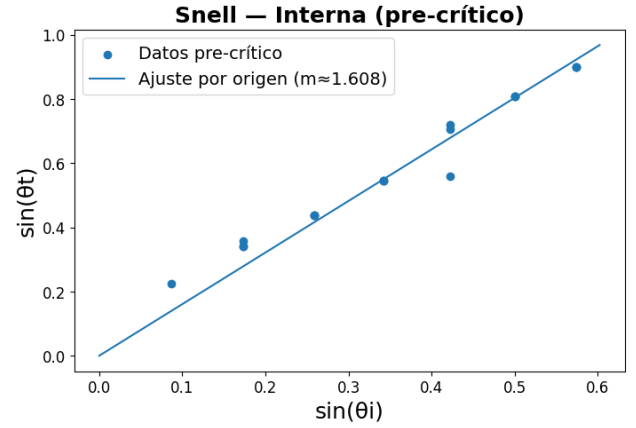


Figura 7: Ley de Snell en **incidencia interna** (acrílico→aire), usando sólo datos *pre-crítico*. Se grafica $\sin\theta_t$ vs. $\sin\theta_i$ con ajuste por el origen. La pendiente obtenida es $m \simeq 1.608$, que según Equation 7 entrega otra estimación de n_{acr} .

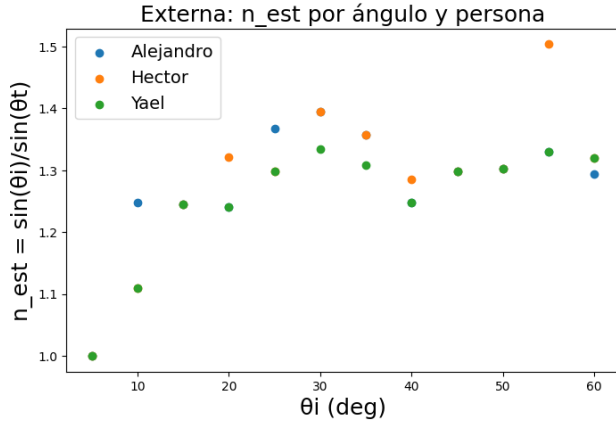


Figura 8: Incidencia **externa** (aire→acrílico). Estimación puntual del índice de refracción por medición y participante, definida como $n_{\text{est}} = \sin \theta_i / \sin \theta_t$ (véase Equation 3 y Equation 6).

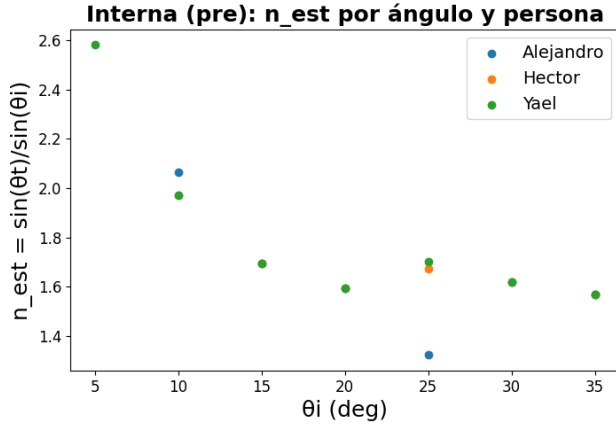


Figura 9: Incidencia **interna** (acrílico→aire), sólo datos *pre-crítico*. Estimación por medición y participante usando $n_{\text{est}} = \sin \theta_t / \sin \theta_i$ (cf. Equation 7 y condición previa a Equation 4).

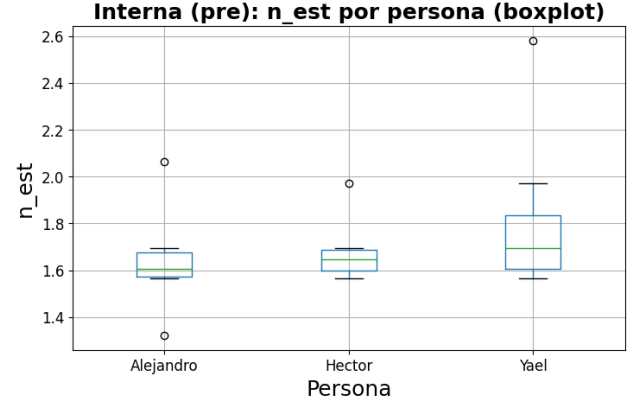


Figura 10: Incidencia **interna** (acrílico→aire), sólo datos *pre-crítico*. Distribución de $n_{\text{est}} = \sin \theta_t / \sin \theta_i$ por participante (c.f. Equation 7). Las cajas muestran el rango intercuartílico (IQR), la línea central la mediana y los bigotes la extensión típica; los puntos fuera de los bigotes son valores atípicos.

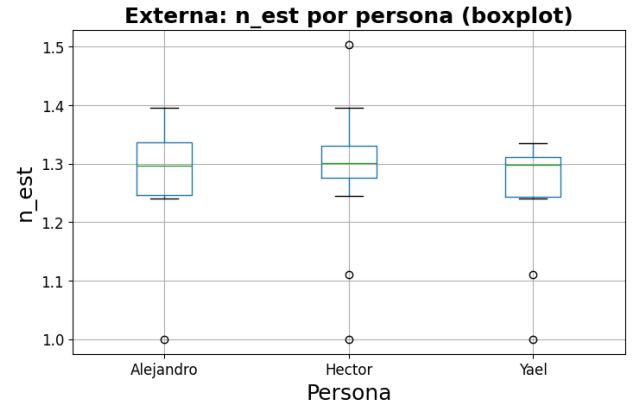


Figura 11: Incidencia **externa** (aire→acrílico). Distribución de $n_{\text{est}} = \sin \theta_i / \sin \theta_t$ por participante (véase Equation 6).

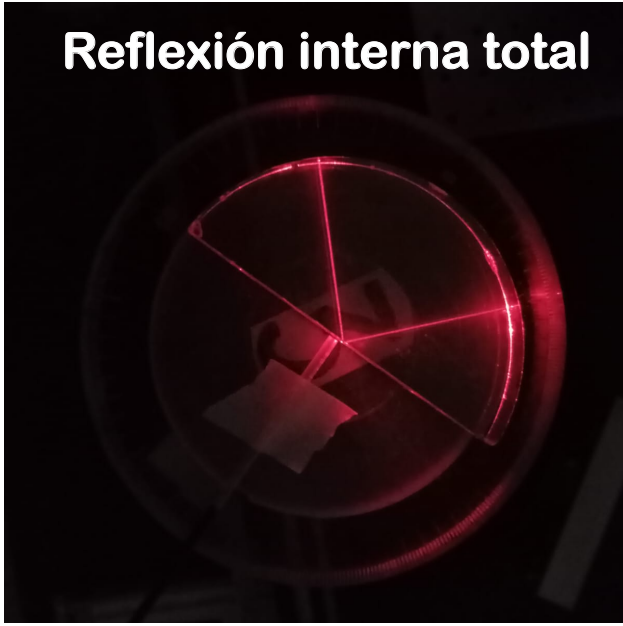


Figura 12: Reflexión interna total en incidencia interna (acrílico→aire). Se identifica el ángulo crítico θ_c , a partir del cual el haz transmitido deja de observarse; esto permite estimar n_i mediante Equation 5.

Tabla 1: Resumen de estimaciones de n (Snell).

Caso	m	IC95 %	R^2	$ \Delta $ vs. 1.49
Externa	1.314	[1.295, 1.333]	0.99	0.176
Interna (pre)	1.608	[1.53, 1.69]	0.99	0.118

5. Discusión de resultados

Ley de la reflexión y residuos. En las Figuras 2 y 3 se observa que los datos de θ_r siguen, en primera aproximación, la relación ideal $\theta_r = \theta_i$ (cf. Equation 2). La mayor parte de los puntos se alinean en torno a la recta $y = x$, lo cual indica que la geometría experimental y el criterio de medición de ángulos respecto de la normal fueron consistentes en ambas configuraciones (externa e interna). El análisis fino mediante los residuos $\Delta\theta = \theta_r - \theta_i$ en las Figuras 4 y 5 muestra que el sesgo promedio está próximo a cero (como exige la teoría), pero aparecen dispersiones y algunos valores atípicos que crecen con el ángulo. En particular, como ejemplos atípicos: (externa) Héctor en $\theta_i \approx 40^\circ$ con $\Delta\theta \approx +9^\circ$; (interna) Alejandro en $\theta_i \approx 30^\circ$ con $\Delta\theta \approx +3^\circ$. Esto último es esperable: a ángulos grandes, pequeños errores de alineación, parallax al leer la escala y desajustes de la normal se traducen en variaciones angulares más notorias. En conjunto, estas cuatro figuras validan la ley de la reflexión dentro de las incertidumbres

instrumentales (lectura $\pm 0.5^\circ$) y de montaje.

Ley de Snell: estimación de n por ajuste lineal. En la Figura 6 (incidencia externa, aire→acrílico) se graficó $\sin \theta_i$ vs. $\sin \theta_t$ y se ajustó una recta forzada al origen conforme a Equation 6. La pendiente obtenida fue $m \simeq 1.314$ con $R^2 = 0.99$, lo que apunta a un comportamiento cuasiideal y a la validez de Equation 3. Sin embargo, el valor de m subestima el índice nominal del acrílico reportado en la literatura ($n \approx 1.49$ a longitudes de onda visibles típicas [1, 3]). Una causa plausible es la *sobreestimación sistemática* de θ_t (por ejemplo, por lectura en la escala o por no atravesar exactamente el centro del semidisco), que aumenta $\sin \theta_t$ y, por ende, reduce la pendiente m .

En la Figura 7 (incidencia interna, acrílico→aire, datos pre-críticos), el ajuste de $\sin \theta_t$ vs. $\sin \theta_i$ según Equation 7 entrega $m \simeq 1.608$ con $R^2 = 0.99$. Aquí m sobrestima n , patrón compatible con *subestimar* sistemáticamente θ_t en el régimen próximo al ángulo crítico, donde pequeñas variaciones angulares se traducen en grandes cambios en el seno y la sensibilidad a errores de lectura crece rápidamente. También influye el hecho de forzar el ajuste por el origen: si existe un pequeño corrimiento angular (cero no calibrado), absorberlo en la pendiente sesga m .

Dispersión por participante y robustez. Las Figuras 8 y 9 muestran las estimaciones puntuales n_{est} por medición y por persona (definidas vía Equation 3 y sus linealizaciones). Consistentemente con lo anterior, en externa los n_{est} tienden a agruparse por debajo de 1.49, mientras que en interna (pre-crítico) lo hacen por encima. Los diagramas de caja 11 y 10 sintetizan esta diferencia: el caso interno exhibe una mayor dispersión (IQR más ancho) y presencia de valores atípicos, en especial cerca del régimen crítico, evidenciando que esta configuración es más sensible a desalineaciones y a errores de lectura (*trade-off* entre sensibilidad y estabilidad).

¿Quién tuvo más atípicos y mejor precisión? Entendiendo *precisión* como menor dispersión (IQR más estrecho):

- **Interna (pre-crítico), Fig. 10.** Yael presenta los atípicos de mayor magnitud (p. ej., ~ 2.58 y ~ 1.98), mientras que Alejandro muestra atípicos en ambos extremos (~ 1.32 y ~ 2.06)

y Héctor sólo uno alto (~ 1.97). En precisión, **Héctor** exhibe el IQR más estrecho (mejor), seguido de **Alejandro**; **Yael** muestra la mayor dispersión (peor).

- **Externa, Fig. 11.** Héctor concentra *más* atípicos (dos bajos ~ 1.00 , 1.11 y uno alto ~ 1.51). Alejandro tiene un atípico bajo cercano a ~ 1.00 , y Yael dos bajos (~ 1.00 , 1.11). En precisión, **Yael** muestra el IQR ligeramente más estrecho (mejor), **Alejandro** queda intermedio y **Héctor** similar en IQR pero con más atípicos.

Ángulo crítico y reflexión interna total. La Figura 12 documenta la transición a reflexión interna total al superar el ángulo crítico θ_c en la interfaz acrílico→aire. Identificar *experimentalmente* el umbral a partir de la desaparición del haz transmitido permite estimar el índice del acrílico con

$$n_i \simeq \frac{1}{\sin \theta_c},$$

cf. Equation 5. Dado que la apreciación visual del umbral introduce una banda de incertidumbre, es apropiado reportar un *rango*: por ejemplo, si el corte se ubica en $\theta_c \simeq 40^\circ\text{--}43^\circ$, se obtiene $n_i \simeq 1.56\text{--}1.47$, consistente con el valor de referencia $n \approx 1.49$ y, notablemente, intermedio entre las estimaciones por Snell externa (~ 1.31) e interna (~ 1.61). Este método, aunque menos fino, es *robusto* frente a sesgos lineales de calibración angular, porque depende de un rasgo cualitativo (presencia/ausencia del haz transmitido).

Resumen cuantitativo y consistencia global.

La Tabla 1 resume los ajustes lineales: en externa $m = 1.314$ [IC95 %: 1.295, 1.333], y en interna (pre-crítico) $m = 1.608$ [IC95 %: 1.53, 1.69], ambos con $R^2 = 0.99$. Ningún intervalo incluye 1.49, y las desviaciones absolutas reportadas ($|\Delta| = 0.176$ y 0.118) muestran que el ajuste interno *se acerca más* al valor tabulado, pero todavía presenta un sesgo apreciable. La alta linealidad (R^2) confirma la pertinencia de Equation 3; la discrepancia en m apunta a *errores sistemáticos*, no a fallas del modelo.

Fuentes probables de sesgo y mejoras. Entre las causas plausibles de los sesgos se encuentran: (i) cero angular no calibrado (corrimiento constante), (ii) el haz no pasando exactamente por el centro del semidisco (refracción en la cara curva), (iii) lectura con parallax en la escala, (iv) cercanía

al régimen crítico (alta sensibilidad), (v) forzar los ajustes por el origen cuando hay offset real, y (vi) redondeo de ángulos a 1° con incertidumbre de $\pm 0.5^\circ$ (propagada vía funciones seno). Para mitigar: (a) calibrar el cero con *back-reflection* (ajustar hasta que el haz reflejado regrese al emisor y definir $\theta_i = 0$), (b) recentrar el semidisco iterando la traslación hasta minimizar desviaciones en la ley de la reflexión, (c) repetir varias lecturas por ángulo y promediar, (d) excluir del ajuste puntos demasiado cercanos a θ_c , y (e) repetir los ajustes permitiendo intercepto libre para absorber offsets.

Síntesis. Considerando (1) la excelente linealidad de ambos ajustes, (2) la naturaleza y dirección de los sesgos, y (3) la evidencia independiente de 12, la imagen global es consistente con un índice del acrílico en el entorno de $n \approx 1.49$ reportado en la bibliografía [1, 3]. Para las *Conclusiones*, recomendamos fundamentar el valor final en la triangulación entre: (i) θ_c (robusto), (ii) Snell externa (estable, pero subestimada), y (iii) Snell interna pre-crítico (sensible, sobreestimada), discutiendo explícitamente la contribución de la incertidumbre de lectura y los posibles offsets.

6. Conclusiones

1. **Ley de la reflexión.** Los datos de 2 y 3 verifican $\theta_r = \theta_i$ dentro de la incertidumbre de lectura ($\pm 0.5^\circ$). Los residuos en 4 y 5 se centran en 0° y sólo presentan atípicos en ángulos grandes (p. ej., externa: Héctor a $\theta_i \approx 40^\circ$, $\Delta\theta \approx +9^\circ$; interna: Alejandro a $\theta_i \approx 30^\circ$, $\Delta\theta \approx +3^\circ$).
2. **Ley de Snell (ajustes lineales).** Los ajustes forzados al origen muestran alta linealidad ($R^2 = 0.99$) y sesgos opuestos: en externa 6 se obtiene $m = 1.314$ (subestima n), mientras que en interna (pre-crítico) 7 se obtiene $m = 1.608$ (sobreestima n), conforme resume la Tabla 1.
3. **Ángulo crítico.** La observación del umbral en 12 entrega n_i en el rango $1.47\text{--}1.56$, consistente con el valor de referencia para acrílico (~ 1.49) y *coherente* con el patrón de sesgos de los ajustes de Snell (externa por debajo, interna por encima).
4. **Estimación final de n .** Al triangular la evidencia (Snell externa, Snell interna pre-críti-

co y θ_c), el índice de refracción del acrílico queda **consistente con** $n \approx 1.49$.

5. **Precisión y atípicos por participante.** En interna (pre-crítico), **Héctor** mostró la mejor precisión (IQR más estrecho) y **Yael** los atípicos de mayor magnitud; en externa, **Yael** presentó la mejor precisión relativa y **Héctor** concentró más atípicos (véanse 10 y 11).
6. **Sensibilidad por configuración.** La configuración interna (pre-crítico) fue más dispersa que la externa, confirmando que el régimen cercano a θ_c es más sensible a pequeñas desalineaciones y errores de lectura.

Referencias

- [1] Hecht, E., Optics, 5th ed.; Pearson: Malaysia, **2017**, 104–116.
- [2] Resnick, R.; Halliday, D.; Krane, K. S. In 5th ed., Ondas de luz: espectro electromagnético, luz visible, velocidad de la luz, reflexión y refracción, y reflexión interna total; Wiley: Ciudad de México, **2004**; Chapter 39, secciones 39-1 a 39-5, 883–898.
- [3] Malacara, D., Óptica Básica, 2nd ed.; Fondo de Cultura Económica: México, **2004**, 32–36.

A. Datos Brutos

Tabla 2: Incidencia externa — Alejandro

$\theta_i(^{\circ})$	$\theta_r(^{\circ})$	$\theta_t(^{\circ})$
Incertidumbre $\pm 0.5^{\circ}$		
5	6	5
10	11	8
15	16	12
20	21	16
25	26	18
30	32	21
35	36	25
40	44	31
45	49	33
50	55	36
55	59	38
60	64	42

Tabla 3: Incidencia externa — Yael

$\theta_i(^{\circ})$	$\theta_r(^{\circ})$	$\theta_t(^{\circ})$
Incertidumbre $\pm 0.5^{\circ}$		
5	6	5
10	11	9
15	17	12
20	21	16
25	26	19
30	31	22
35	37	26
40	44	31
45	48	33
50	54	36
55	59	38
60	64	41

Tabla 4: Incidencia externa — Héctor

$\theta_i(^{\circ})$	$\theta_r(^{\circ})$	$\theta_t(^{\circ})$
Incertidumbre $\pm 0.5^{\circ}$		
5	6	5
10	12	9
15	16	12
20	21	15
25	26	19
30	31	21
35	37	25
40	49	30
45	48	33
50	54	36
55	59	33
60	64	41

Tabla 5: Incidencia interna — Alejandro

$\theta_i(^{\circ})$	$\theta_r(^{\circ})$	$\theta_t(^{\circ})$
Incertidumbre $\pm 0.5^{\circ}$		
5	8	8
10	13	21
15	16	26
20	21	33
25	28	34
30	33	54
35	37	64
40	42	83
45	47	47
50	51	51

Tabla 6: Incidencia interna — Yael

$\theta_i(^{\circ})$	$\theta_r(^{\circ})$	$\theta_t(^{\circ})$
Incertidumbre $\pm 0.5^{\circ}$		
5	8	13
10	13	20
15	16	26
20	21	33
25	28	46
30	32	54
35	37	64
40	42	82
45	47	47
50	51	51

Tabla 7: Incidencia interna — Héctor

$\theta_i(^{\circ})$	$\theta_r(^{\circ})$	$\theta_t(^{\circ})$
Incertidumbre $\pm 0.5^{\circ}$		
5	8	8
10	12	20
15	16	26
20	21	33
25	28	45
30	32	54
35	37	64
40	41	82
45	47	47
50	50	50