



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Informe Técnico

ESPEJO DEFORMABLE

Todo es según el cristal con que se mira

AUTORES:

M. en C. Mario González Cardel
Dr. Rufino Díaz Uribe

2014

Tipo de Proyecto: Desarrollo Tecnológico.

Institución Patrocinadora: CCADET-UNAM
Financiamiento: interno

ESPEJO DEFORMABLE.

(Todo es según el cristal con que se mira.)

M. en C. Mario González Cardel y Dr. Rufino Díaz Uribe
Depto de Óptica y Microondas CCADET - UNAM

Resumen.

Se presenta el diseño y las bases del funcionamiento de un espejo deformable que fue diseñado y construido por el grupo de pruebas ópticas del CCADET, para ser expuesto en el Palacio de Minería, durante la *Feria de la Física 2005*, como parte de las celebraciones *del Año Internacional de la Física*, evento organizado por La Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, con la finalidad de acercar a los estudiantes de nivel medio y medio superior, al mundo de esta apasionante ciencia. El espejo deformable es un dispositivo que permite observar los efectos de cambiar la curvatura de un espejo, el espectador puede manipular el espejo a la vez que observa su propia imagen (de cuerpo entero) reflejada en el mismo. Se calcula un intervalo para el radio de curvatura y se hace un análisis cualitativo de las imágenes esperadas, suponiendo que el observador se coloca a una distancia equivalente a la longitud de sus brazos, longitud menor que la distancia focal del espejo

El dispositivo fue construido por personal especializado y con materiales comunes y económicos. Este documento contiene la información necesaria para reproducirlo o adaptarlo para otras exposiciones.

ÍNDICE

Introducción.	3
1. Diseño.	6
1.1. Especificaciones.	8
1.2. Diagramas y planos.	9
1.3. Lista de partes.	10
1.4. Costos.	11
1.5. Recomendaciones especiales.	11
2. Funcionamiento.	12
3. Evaluación.	15
Conclusiones.	15
Agradecimientos.	16
Bibliografía.	16

INTRODUCCIÓN.

Un espejo es una superficie pulida sobre la que usualmente se deposita una película reflectora de un material metálico como aluminio, oro, plata, etc. que refleja las imágenes, obedeciendo las leyes de la reflexión (Hecht 1989).

i) Cuando la luz se refleja en una superficie especular, el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal (perpendicular) a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano.

ii) El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

Los espejos se caracterizan por el tipo de imagen que reflejan, la orientación de esta y su tamaño.

a) Espejo Plano: Espejo que forma una imagen virtual (que no se encuentra del mismo lado del espejo que el objeto), erecta o derecha (con la misma orientación que el objeto), del mismo tamaño que el objeto reflejado, ($y_o = y_i$) y el objeto y la imagen se encuentran a la misma distancia del espejo, ($s_o = s_i$), este espejo se ilustra en la figura 1.

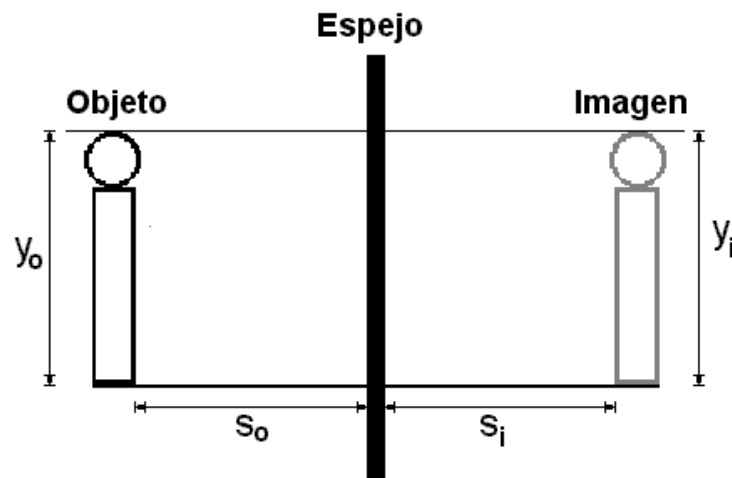


Figura 1. Espejo plano, forma una imagen virtual, directa y de igual tamaño que el objeto reflejado

b) Espejo Cóncavo: Espejo curvo que refleja la luz por la parte interior, es decir que la parte reflectora está del mismo lado que el centro de curvatura, es fácil ubicar gráficamente la imagen, la parte superior se encuentra en la intersección de dos haces, uno inicialmente paralelo al eje y que pasa por el foco (F) después de reflejarse y otro que va derecho a través del centro de curvatura (C) y que se reflejan en la misma dirección pero en sentido inverso. Se dice que las imágenes son reales, si se encuentran del mismo lado que el centro de curvatura, en caso contrario decimos que las imágenes son virtuales.

La formación de las imágenes depende de la posición del objeto reflejado, si el objeto se encuentra entre el foco y el centro de curvatura, como se ve en la figura 2, la imagen es real, invertida y de mayor tamaño que el objeto. (Hecht, 1989).

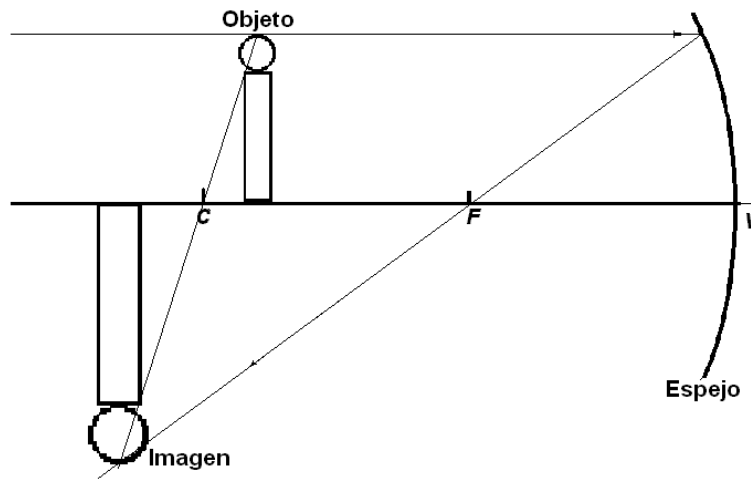


Figura 2. Imagen real, invertida y de mayor tamaño que el objeto

Si el objeto se encuentra entre el foco (F) y el vértice (V), la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto, este tipo de imagen se muestra en la figura 3.

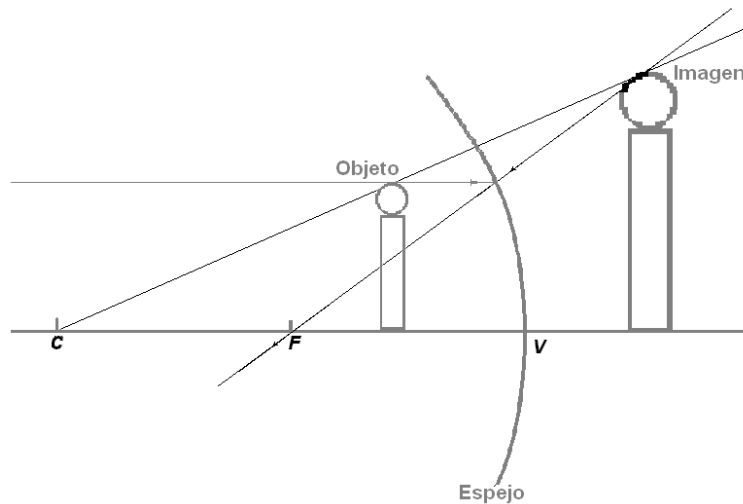


Figura 3. Imagen virtual, directa y de mayor tamaño que el objeto reflejado

Si el objeto se encuentra a la izquierda del centro de curvatura, la imagen será real, invertida y de menor tamaño que el objeto, este efecto puede apreciarse en la figura 4.

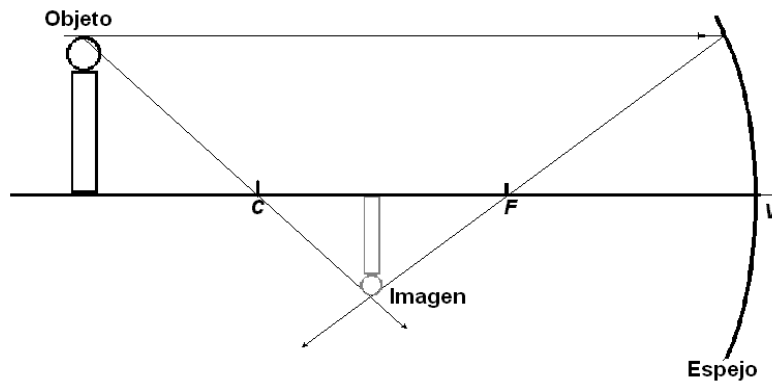


Figura 4. Imagen real, invertida y de menor tamaño que el objeto.

c) Espejo Convexo: Espejo curvo que refleja la luz por la exterior, es decir que la parte reflectora está al lado opuesto contrario que el centro de curvatura. Igual que en el caso de los espejos cóncavos la parte superior de la imagen se encuentra en la intersección de la extensión del rayo reflejado en el espejo que pasa por el foco (F) proveniente de un haz inicialmente paralelo al eje principal y el rayo que toca la parte superior del objeto y pasa por el centro de curvatura (C). Los rayos que, prolongados se dirigirían al centro, se reflejan en la misma dirección. (Malacara, 1989).

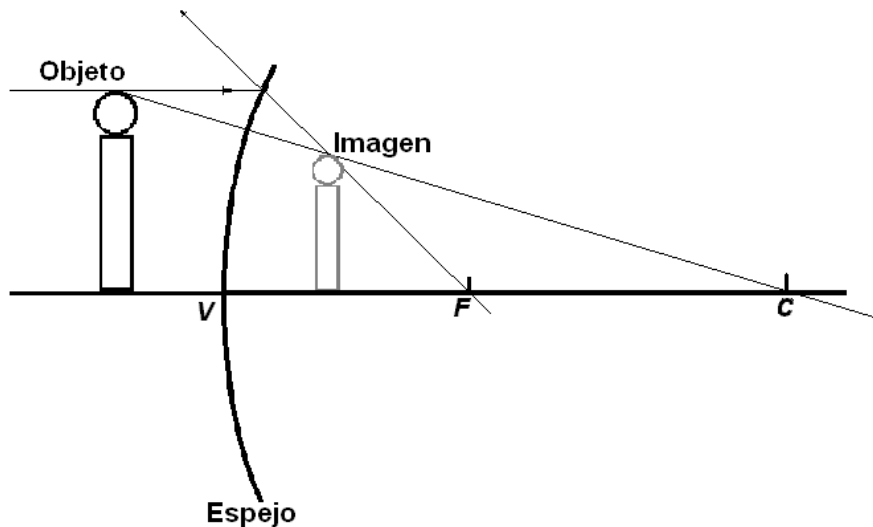


Figura 5. Espejo convexo que genera imágenes virtuales, directas y de menor tamaño que el objeto reflejado.

En este caso, la imagen es siempre virtual, derecha o erecta y de menor tamaño que el objeto reflejado.

1. Diseño.

El elemento principal del dispositivo presentado es una hoja de espejo acrílico, pues se trata de un material que puede ser deformado con relativa facilidad sin riesgo eminente de ruptura. Sus dimensiones de 150×80 cm, se eligieron para permitir al observador ver completa su imagen reflejada, así como la de algún acompañante o de otros objetos de alrededor. Para darle un mejor soporte al espejo, éste se encuentra sujeto a un bastidor de madera, de 156×90 cm. El bastidor esta formado por una hoja de triplay de las dimensiones mencionadas. Para aumentar la rigidez se construyó un marco con tiras del mismo material, y dos cajas del mismo material, una a cada extremo vertical del bastidor de madera, para alojar los extremos del espejo, ver figura 6.



Figura 6. Cajas de madera para alojar los extremos del espejo deformable

En la parte posterior del espejo se fijó una tira de madera con dos asas, una a cada lado del espejo, para tirar de él o empujarlo y así deformarlo. Se quemaron los filos de las asas para evitar heridas a los usuarios, en la figura 7 se muestra un esquema y una fotografía de una de las asas.

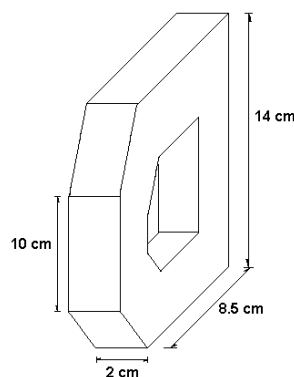


Figura 7. Esquema y fotografía de las asa utilizadas para deformar al espejo.

Con el fin de permitir la deformación del espejo manteniendo su integridad, éste se fijó a las cajas de los extremos con tres tornillos de $\frac{3}{4} \times 1$, de rosca estándar los cuales se hicieron pasar a través de ranuras de 1.5 cm de largo, estos tornillos no se apretaron, para que al tirar del espejo este se deslizara sobre el borde de la madera sin hacer palanca, evitando roturas no deseadas. La figura 8 muestra una fotografía de las ranuras mencionadas.



Figura 8. Tornillo deslizante y ranura que lo alberga.

En la figura 9 se muestra un esquema del sistema del espejo deformable.

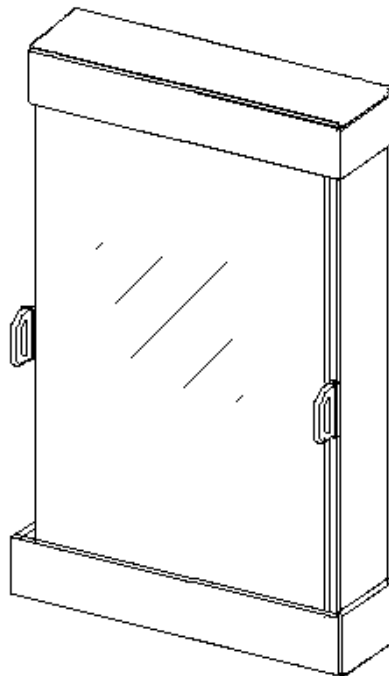


Figura 9. Esquema en el que se muestra el espejo deformable armado



Figura 10. Imagen del espejo deformable

En la figura 10 se puede observar el espejo deformable terminado, y en las figuras 11 y 12 se muestran los planos y las cotas, tanto de cada elemento que conforma el dispositivo presentado, como del dispositivo completo.

1.1. ESPECIFICACIONES:

Dimensiones del dispositivo $1.56 \times 0.90 \times 0.24$ m.

Dimensiones del espejo $1.50 \times 0.80 \times 0.003$ m.

Desplazamiento de las asas 0.12 m.

Radio de curvatura $(-\infty, -471.8 \text{ cm}) \cup (471.8 \text{ cm}, \infty)$

Materiales: Triplay de 6 mm, Acrílico espejo de 3 mm.

1.2. DIAGRAMAS Y PLANOS.

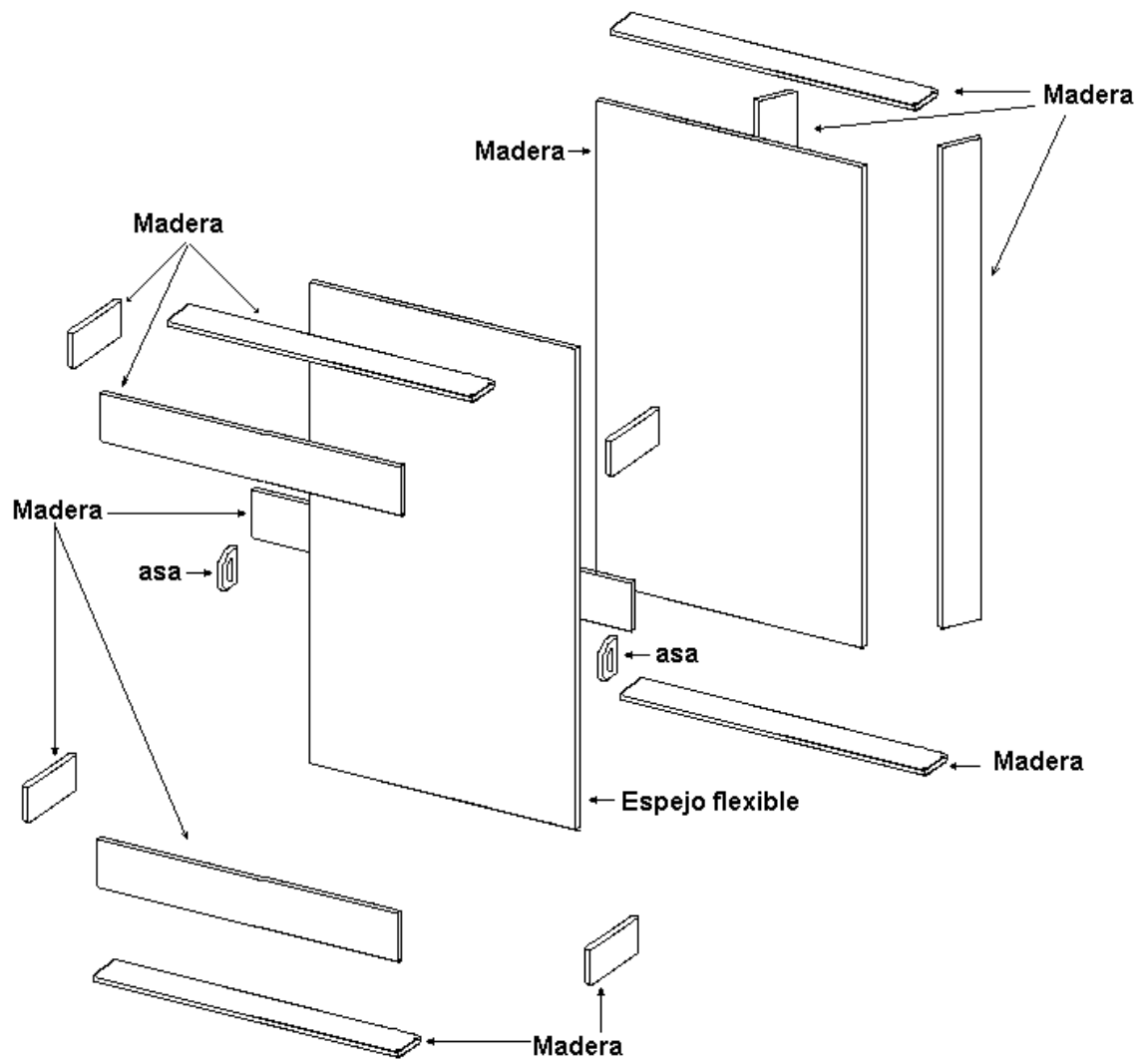


Figura 11. Esquema en el que se muestran todos los elementos utilizados para construir un espejo deformable.

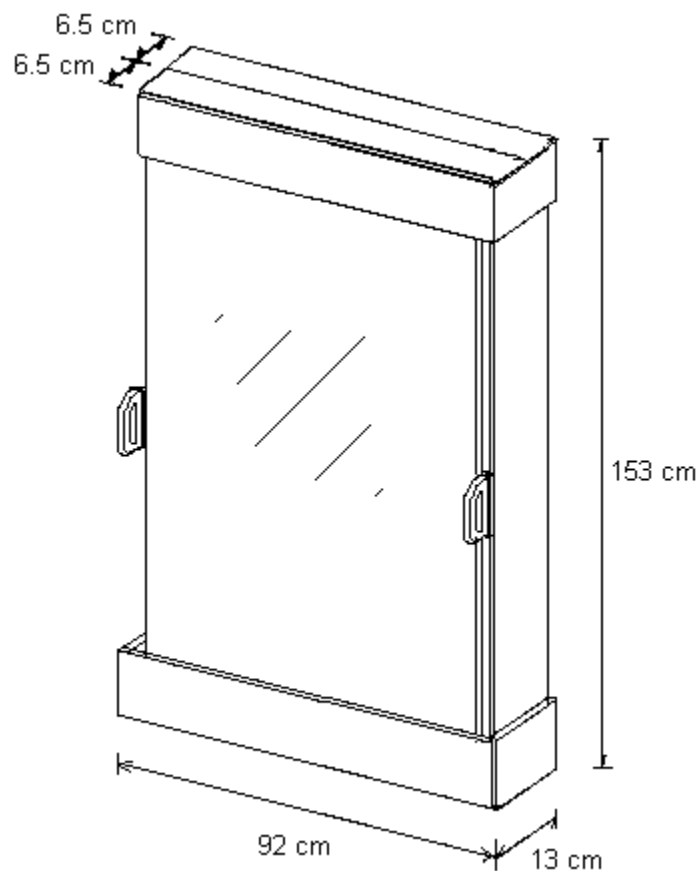


Figura 12. Espejo deformable acotado

1.3. LISTA DE PARTES.

Cantidad	Descripción
1	Espejo de Acrílico
1	Tapa plana de madera 156 × 92 cm
4	Tapa plana de madera 6.5 × 92 cm
4	Tapa plana de madera 11 × 13 cm
2	Tapa plana de madera 6.5 × 156 cm
2	Tapa plana de madera 11 × 92 cm
1	Tapa plana de madera 14 × 94 cm
2	Asas de madera 14 × 10 × 2 cm
30	Clavos para madera
6	Tornillos
12	Tuercas
6	Rondanas

1.4. COSTOS.

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo
1	Espejo de acrílico	1 500.00	1 500.00
1	Tapa plana de madera 156 × 92 cm	445.00	445.00
4	Tapa plana de madera 6.5 × 92 cm	19.00	76.00
4	Tapa plana de madera 11 × 13 cm	5.00	20.00
2	Tapa plana de madera 6.5 × 156 cm	32.00	64.00
2	Tapa plana de madera 11 × 92 cm	32.00	64.00
1	Tapa plana de madera 14 × 94 cm	41.00	41.00
2	Asas de madera 14 × 10 × 2 cm	9.00	18.00
30	Clavos para madera	0.50	15.00
6	Tornillos	1.50	9.00
36	Horas-hombre	50.00	1 800.00
	Total		4 052.00

El costo aproximado de este primer prototipo de espejo deformable es de \$ 4 052.00, (Cuatro mil cincuenta y dos pesos)

1.5. RECOMENDACIONES ESPECIALES.

Para evitar daño permanente al espejo no se deben jalar las asas más allá de lo permitido por el bastidor de madera.

2. FUNCIONAMIENTO:

El espejo de acrílico se encuentra contenido en un bastidor de madera como se muestra en los esquemas de la figura 13.

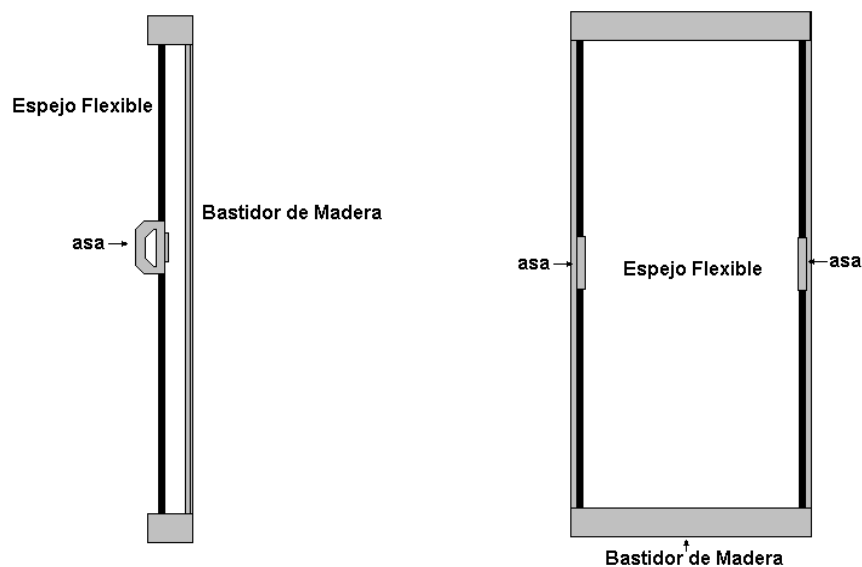


Figura 13. Esquemas de frente y perfil del espejo deformable

El usuario debe colocarse frente al espejo, colocando cada una de sus manos en una de las asas, al empujar hacia delante, el espejo se curvará formando una superficie cóncava, como se muestra en la figura 14, al tirar de las asas la placa de acrílico cambiará su radio de curvatura, formando una superficie convexa, ver figura 14.

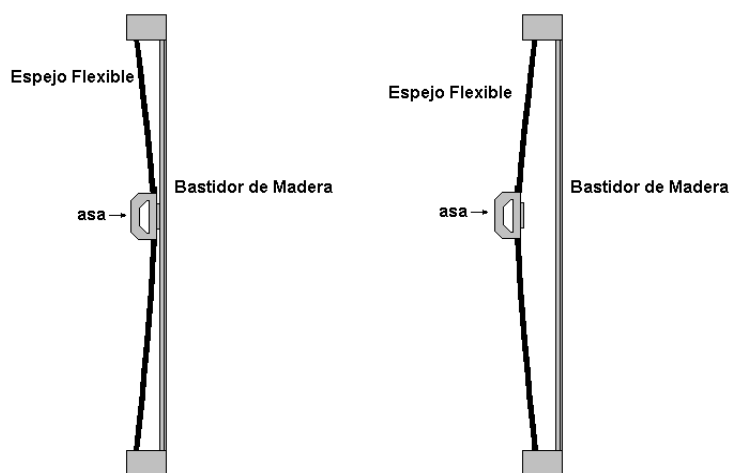


Figura 14. Al tirar o empujar de las asas el espejo se convierte en una superficie cóncava (der.) o convexa (izq.)

Una estimación del radio mínimo de curvatura se obtiene al aproximar al espejo deformable por una superficie cilíndrica, deformado en la curvatura máxima permitida por

el bastidor de madera, y esto se logra al sustituir las dimensiones del espejo en la ecuación de una circunferencia.

De acuerdo a la figura 15, la circunferencia imaginaria que se aproxima al espejo, tiene su centro en el punto $(-R, 0)$, por lo que la ecuación de la circunferencia esta dada por (Lehmann, 1989):

$$(x + R)^2 + y^2 = R^2$$

el punto $(-6, 75)$ debe satisfacer la ecuación de la circunferencia, es decir:

$$(-6 + R)^2 + (-75)^2 = R^2$$

o bien:

$$(36 - 12R + R^2) + 5625 = R^2$$

por lo tanto:

$$5661 - 12R = 0$$

de donde

$$R = \frac{5661}{12} = 471.8 \text{ cm}$$

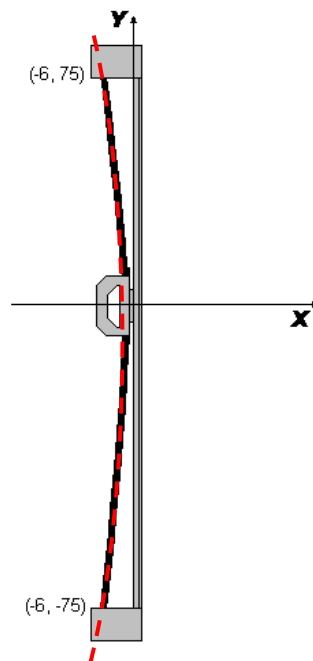


Figura 15. Ejes cartesianos sobre el espejo deformable

Así, una aproximación al radio mínimo de curvatura es:

$$R = 471.8 \text{ cm.}$$

Por lo tanto, el radio de curvatura puede variar desde 471.8 cm, en su máxima deformación, hasta el infinito, cuando se encuentra libre de fuerzas y tiene la forma de un espejo plano.

El centro de curvatura se encuentra del lado del observador cuando la superficie es cóncava y al lado contrario cuando la superficie es convexa. Como se sabe, el foco se encuentra a la mitad del radio de curvatura, (Hecht, Zajac, 1977), por lo que el foco variará de infinito a 235.9 cm.

Para que un observador pueda provocar deformación al espejo deberá colocarse a la distancia que le permitan sujetar las asas con sus manos, es decir a la longitud de sus brazos, la distancia objeto siempre será menor que la distancia focal, por lo que al empujar el espejo hacia el bastidor se tendrá el fenómeno descrito en la figura 3 y la imagen será virtual, derecha y aumentada, pero al tirar de las asas se presentará la situación descrita en la figura 5, en éste caso la imagen se observará virtual, derecha y disminuida.

El dispositivo se presentó en la sede de la Feria de la Física con el siguiente instructivo y explicación impresas, para que los usuarios pudieran manipularlo y divertirse con este dispositivo

Instrucciones.

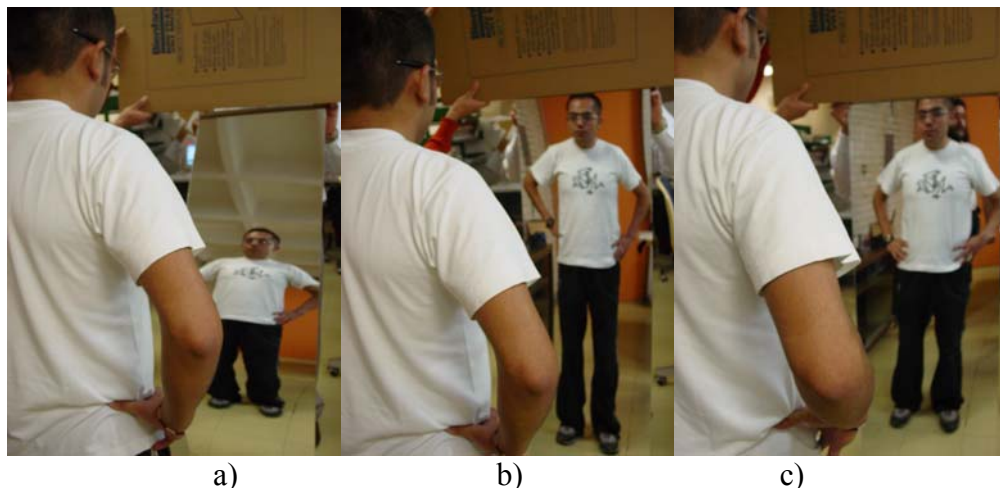
- 1.- Observa tu imagen en el espejo.*
- 2.- Toma las manijas y observa de nuevo la imagen.*
- 3.- Empuja las manijas y observa otra vez.*

¿Divertido?

Así como la siguiente explicación:

Explicación.

La forma de la imagen depende de la forma del espejo. Este espejo permite verte más alto o más bajito dependiendo si empujas o jalas las manijas.



*Figura 16. Imágenes obtenidas con el espejo deformable para diferentes curvaturas:
a) Convexo, b) Cóncavo y c) Plano*

En la figura 16 se muestran diferentes imágenes obtenidas con el espejo deformable para tres diferentes curvaturas.

3. EVALUACIÓN.

El dispositivo descrito en este informe es exclusivamente demostrativo por lo que no se sometió a una evaluación exhaustiva. Se presentó en la feria de física y se explicó a los visitantes que tipo de imágenes es posible observar. La mejor evaluación consistió en observar las caras de sorpresa al ver las imágenes deformadas, y de gusto por el momento de diversión, entretenimiento. La pregunta inmediata de los usuarios fue: “¿por qué sucede esto? ¿Puedo hacerlo en mi casa?”

CONCLUSIONES.

A pesar de requerir personal experimentado en el uso de máquinas herramientas para su construcción, el espejo deformable puede considerarse un dispositivo económico y de manipulación simple, que facilita la exposición del fenómeno de la reflexión por superficies curvas y planas de una manera clara y divertida, permitiendo acercar un concepto básico de la ciencia de la física a niños y adultos poco o nada relacionados con esta disciplina.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen a los técnicos en fabricación Valentín López Cabañas y Enrique Iturbe Morales, por su colaboración en la construcción del espejo deformable.

BIBLIOGRAFÍA.

Hecht E., 1989, **Optics**, 2nd Ed., USA, Addison-Wesley Publishing company, p. 83, 153 – 162.

Hecht E. , Zajac A., 1977, **Óptica**, México, Fondo Educativo Interamericano, S. A., p. 137.

Lehmann C. H., 1989, **Geometría Analítica**, México, Ed. Limusa S. A. de C. V., p. 99 - 110

Malacara D., 1989, **Óptica básica**, México, Fondo de Cultura Económica, p. 91 - 93