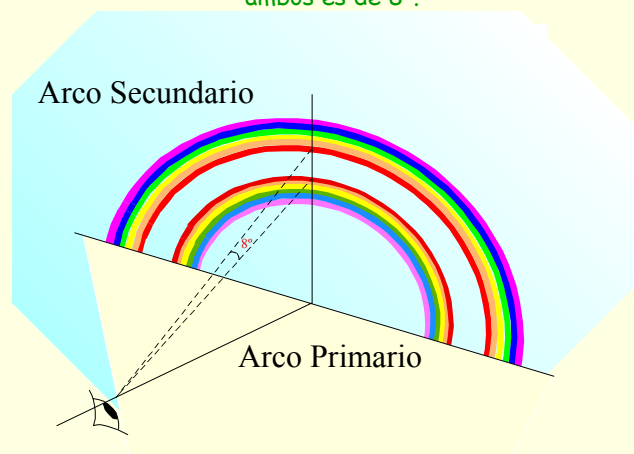


EL ARCO IRIS

...cuando cubriere yo de nubes la tierra
aparecerá el arco... (Génesis)

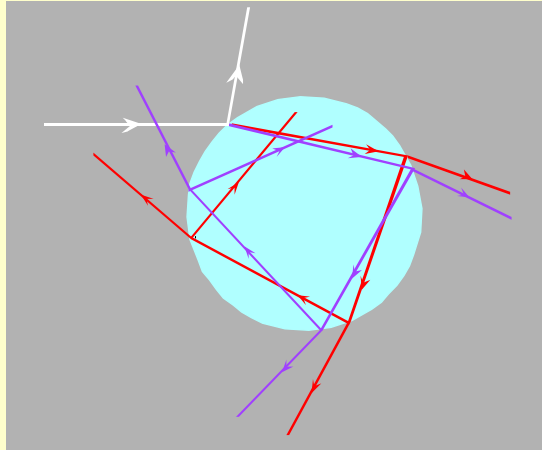


Frecuentemente, además del arco primario, se puede observar un arco secundario exterior, de menor intensidad, y con los colores invertidos respecto del primario. Para un observador, la distancia angular entre ambos es de 8° .

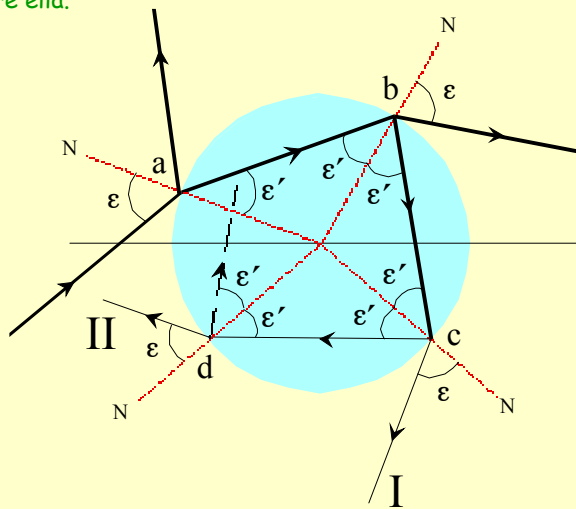


Cuando un rayo de luz solar incide sobre una gota de agua una parte se refleja y otra se refracta sufriendo dispersión, siendo la luz violeta la que más se desvía.

Luego, los rayos sufren sucesivas refracciones y reflexiones internas, debilitando su intensidad después de cada una de ellas.

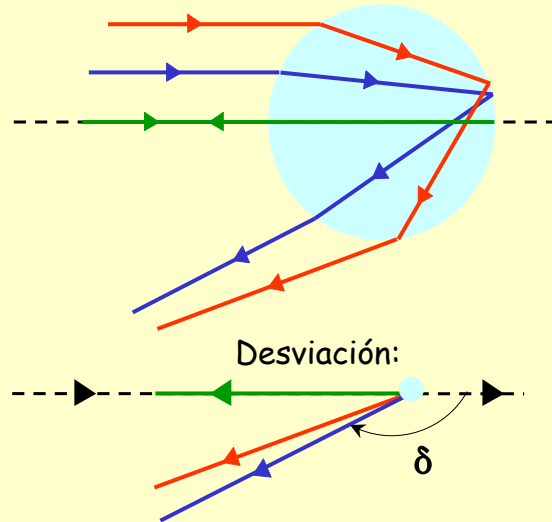


Por la particular geometría de la esfera, en cada reflexión interna los ángulos son iguales al de la primera refracción ϵ' y, según la ley de Snell, el ángulo con que emergen de la gota en cada refracción es igual al ángulo ϵ con el que incidió la luz sobre ella.



Rayos incidentes paralelos no sufren la misma desviación.

(El color de los rayos obedece únicamente a efectos de identificación)

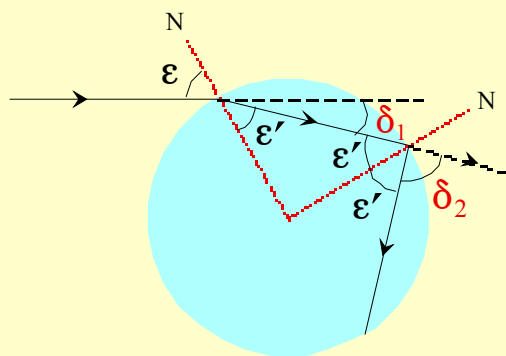


Descartes estudió la relación entre la intensidad de la luz emergente y el ángulo de incidencia y concluyó que la luz que emerge con más intensidad es la que procede del rayo luminoso que sufre desviación mínima y de los rayos próximos a él.

El arco primario es debido a los rayos que emergen de la gota después de una reflexión interna.

El secundario se debe a los rayos que sufren dos reflexiones internas.

Desviación de los rayos que emergen al cabo de k reflexiones internas.



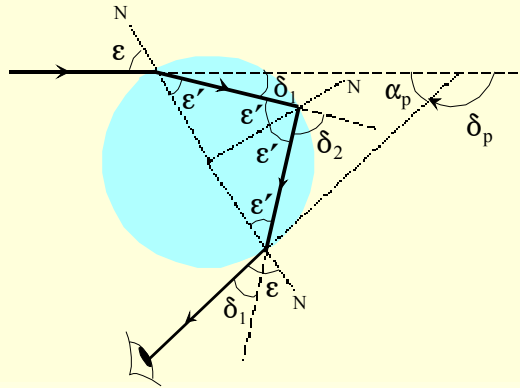
$$\delta_{refracción} = \delta_1 = \varepsilon - \varepsilon'$$

$$\delta_{reflexión} = \delta_2 = 180 - 2\varepsilon'$$

$$\delta_k = 2\delta_1 + k \delta_2$$

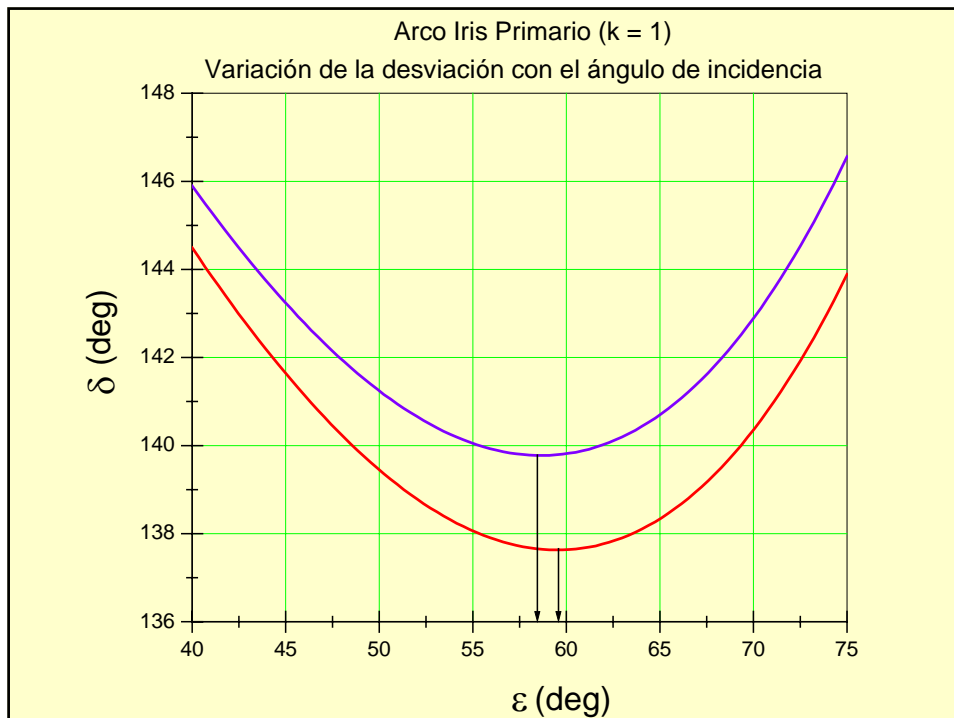
$$\delta_k = 2\varepsilon + 180k - (2 + 2k) \varepsilon'$$

Desviación en arco primario (k = 1)

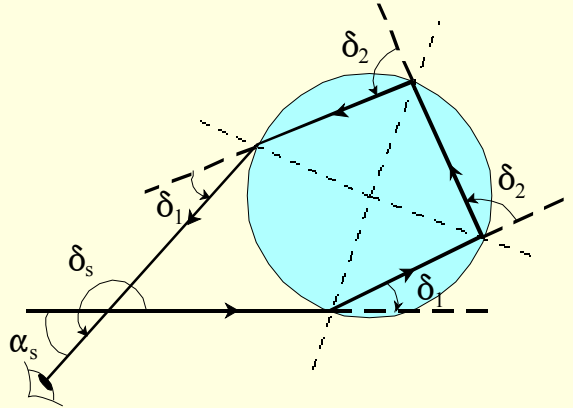


$$\delta_p = 2\delta_1 + \delta_2 = 2\varepsilon + 180 - 4\varepsilon'$$

$$\alpha_p = 180 - \delta_p$$

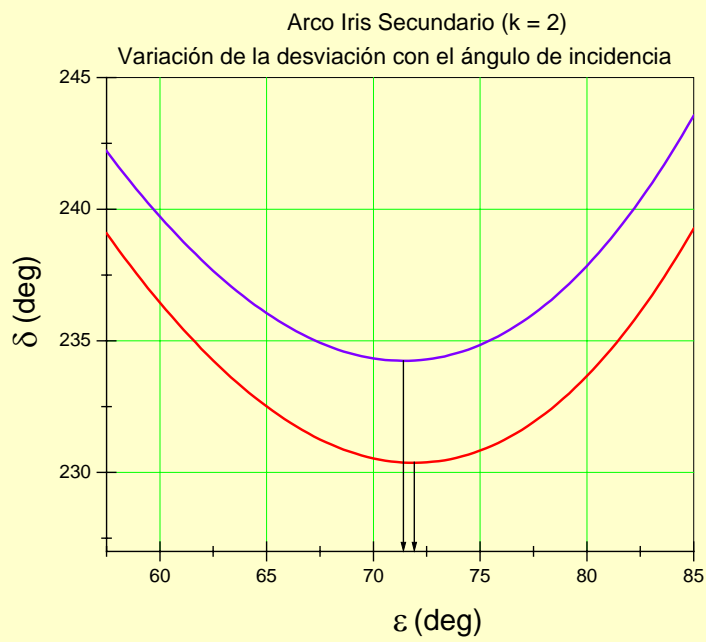


Desviación en arco secundario (k = 2)



$$\delta_s = 2\delta_1 + 2\delta_2 = 2\varepsilon + 360 - 6\varepsilon'$$

$$\alpha_s = \delta_s - 180$$



Cálculo del ángulo de incidencia ε_0 que hace mínima a la desviación.

$$\delta_k = 2\delta_1 + k \delta_2$$

$$\delta_k = 2\varepsilon + 180k - (2 + 2k) \varepsilon'$$

$$\varepsilon' = \text{arc sen} \left(\frac{\text{sen } \varepsilon}{n} \right)$$

$$\delta_k' = 2 - (2 + 2k) \frac{(\cos \varepsilon_0)}{n \sqrt{1 - (\text{sen}^2 \varepsilon_0 / n^2)}} = 0$$

$$\cos \varepsilon_0 = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{k^2 + 2k}}$$

k = n° de reflexiones internas

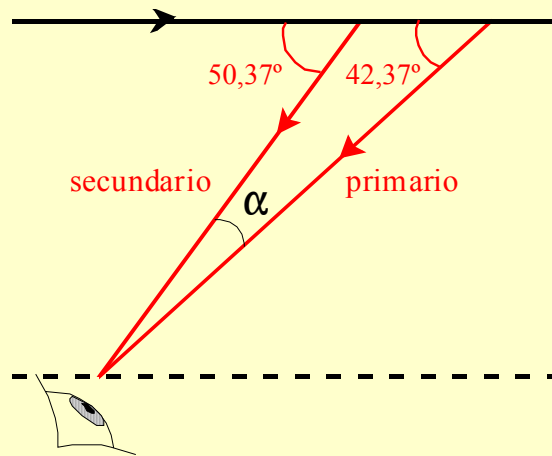
Arco primario: k = 1

Arco secundario: k = 2

VALORES MÍNIMOS DE LA DESVIACIÓN

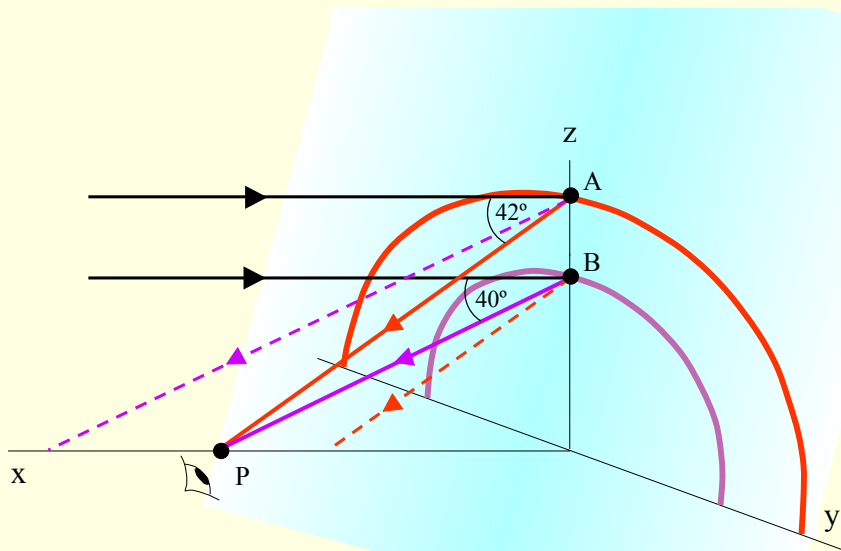
	k	Color	n	ε_0	ε_0'	δ_0	$\alpha_p = 180 - \delta_0$ $\alpha_s = \delta_0 - 180$
Arco Primario	1	Rojo	1.331	59.53	40.35	137.63	42.37
		Violeta	1.346	58.65	39.38	139.77	40.23
Arco Secundario	2	Rojo	1.331	71.91	45.57	230.37	50.37
		Violeta	1.346	71.43	44.77	234.24	54.24

Distancia angular entre el arco primario y el secundario



$$\alpha = 50,37 - 42,37 = 8,00^\circ$$

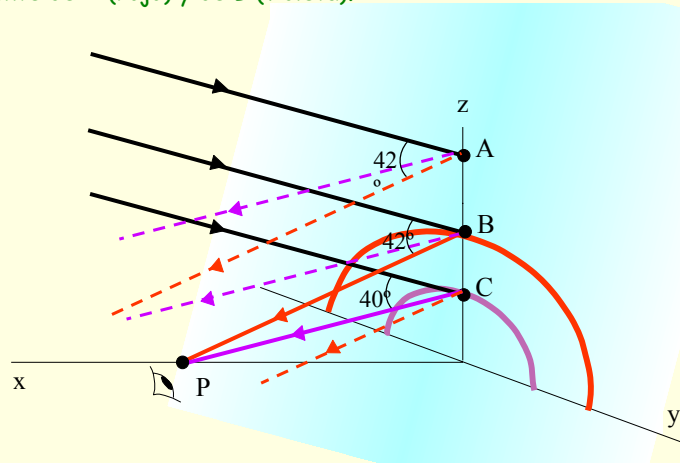
Un observador situado en P no puede ver el violeta procedente de A pero sí el procedente de una gota situada en una posición inferior B.



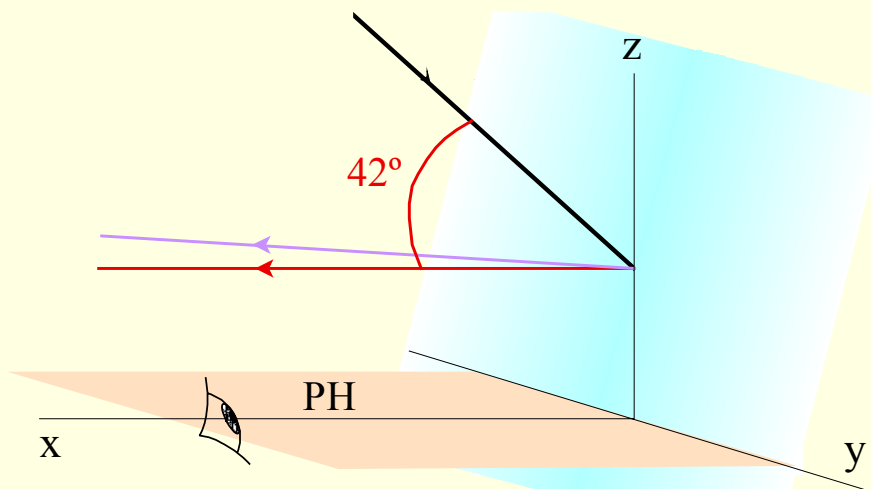
Cuando el sol se eleva sobre el horizonte ningún rayo emergente procedente de los rayos incidentes comprendidos entre las gotas A y B puede alcanzar al observador situado en P...

... pero sí los procedentes de rayos que inciden sobre gotas situadas en posiciones inferiores, lo que determina que el observador vea un arco más pequeño.

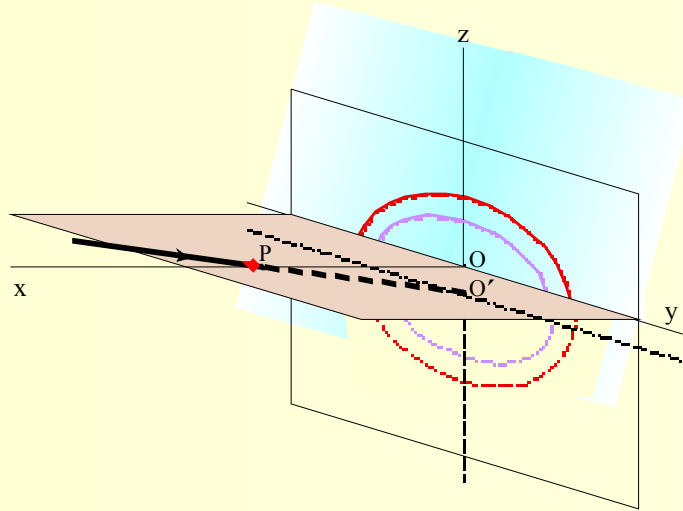
Si el observador se alejara podría observar un arco de mayor tamaño procedente de A (rojo) y de B (violeta).



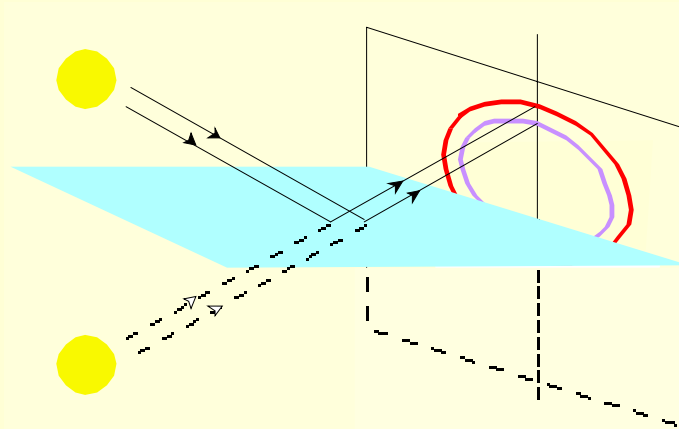
Si la elevación del sol sobre el horizonte es superior a 42° ningún rayo emergente puede alcanzar a un observador situado en ese plano y para poder ver el arco tendría que elevarse sobre el plano PH del horizonte, lo cual sucede cuando el observador está en una montaña o en un avión.



Todo sucede como si al girar el rayo PO' en torno al punto P en el sentido horario, el arco *se enterrara* en el horizonte mientras que *emergería* de él si ese rayo girara en el sentido antihorario.



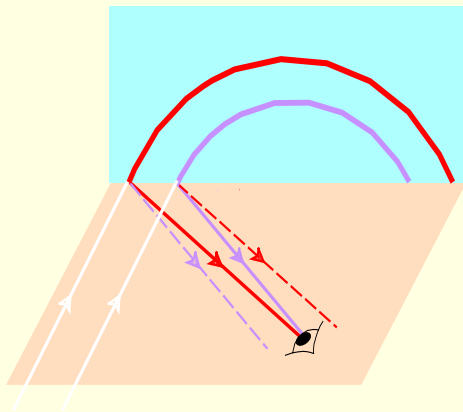
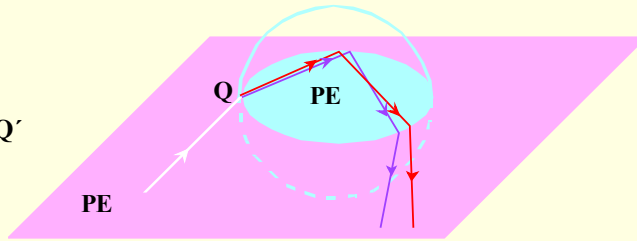
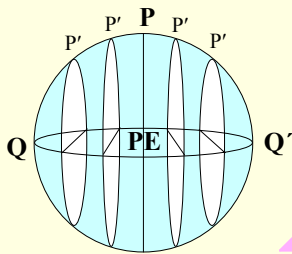
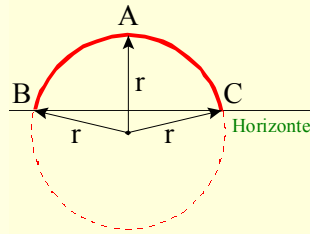
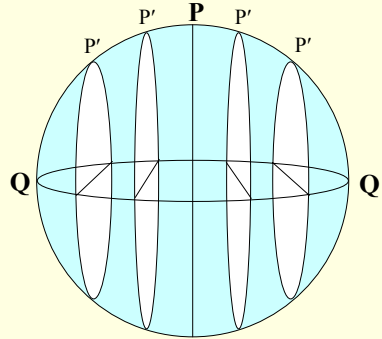
En las proximidades de grandes superficies de agua en calma (lagos, pantanos,...) es posible observar el arco iris a unas horas en las que la elevación del sol es superior a 42° debido a que todo sucede como si la luz procediera del interior del agua.



¿A QUÉ SE DEBE LA FORMA DE ARCO?

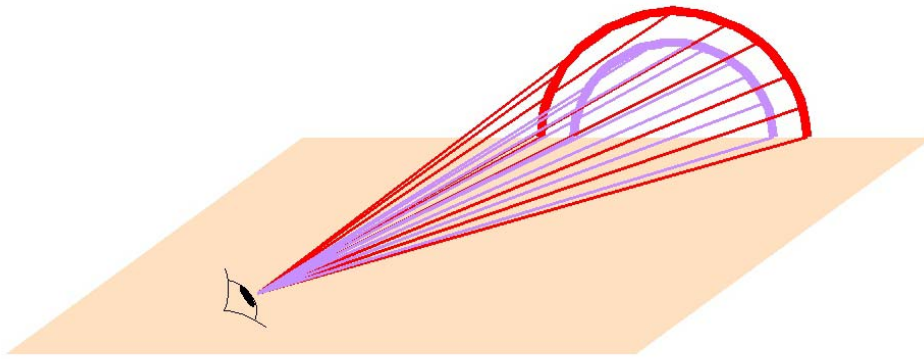
La forma circular del arco iris es debida a los rayos que inciden sobre planos P' paralelos al plano vertical de simetría P de las gotas situadas en un círculo de radio r .

Los rayos que inciden sobre el cuadrante superior izquierdo PQ de las gotas situadas en un arco de circunferencia AB de la *cortina de agua* dan lugar al cuadrante izquierdo del arco iris y los que inciden sobre el cuadrante superior derecho PQ' de las gotas situadas en el arco AC de la *cortina de agua* originan el cuadrante derecho del arco iris.



Los rayos originados por la refracción, dispersión y reflexión de un rayo que incidiera sobre un plano P' infinitamente próximo al punto Q del plano ecuatorial PE de la gota, emergerían desplazándose en el propio plano PE y permitirían a un observador ver la *base* de un arco semicircular.

Los rayos emergentes delimitan una superficie cónica, una para cada color, con vértice en el ojo del observador.



Lo celebraré si has apreciado
en este trabajo
una calidad didáctica
muy superior
a su escasa calidad técnica.

Julio V. Santos Benito
jsb@ua.es

Departamento de Física Aplicada
Universidad de Alicante

Abril/2004

FIN