

## **ÓPTICA XEOMÉTRICA. DIOPTRIOS E ESPELLOS**

### **1. CONCEPTOS BÁSICOS**

### **2. DIOPTRIOS**

#### **2.1 Dioptrio esférico**

#### **2.1 Dioptrio plano**

### **3. ESPELLOS**

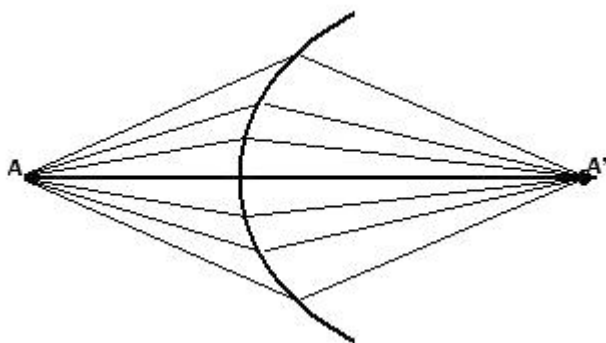
#### **3.1 Espello plano**

#### **3.2 Espello esférico**

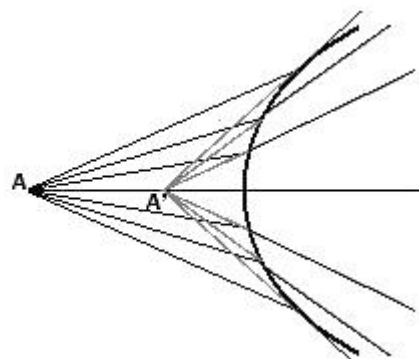
## 1. CONCEPTOS BÁSICOS

Empezaremos por definir algúns termos:

- **Dioptrio:** É o conxunto formado por dous medios transparentes, con índices de refracción diferentes separados por unha superficie. Se a superficie de separación é plana trátase dun *dioptrio plano* e se é esférica dun *dioptrio esférico*.
- **Centro de curvatura:** É o centro da superficie esférica á que pertence o dioptrio esférico. O radio desa superficie esférica é o *radio de curvatura* do dioptrio.
- **Sistema óptico:** Conxunto de varios dioptrios.
- **Eixo óptico:** Eixo común a todos os dioptrios dun sistema óptico.
- **Imaxe real:** É a formada pola converxencia dos raios procedentes dun punto luminoso A que tras atravesar un sistema óptico, converxen nun punto A'.
- **Imaxe virtual:** É a formada polas prolongacións dos raios que tras atravesar un sistema óptico, saen diverxentes.



A' é a imaxe real de A



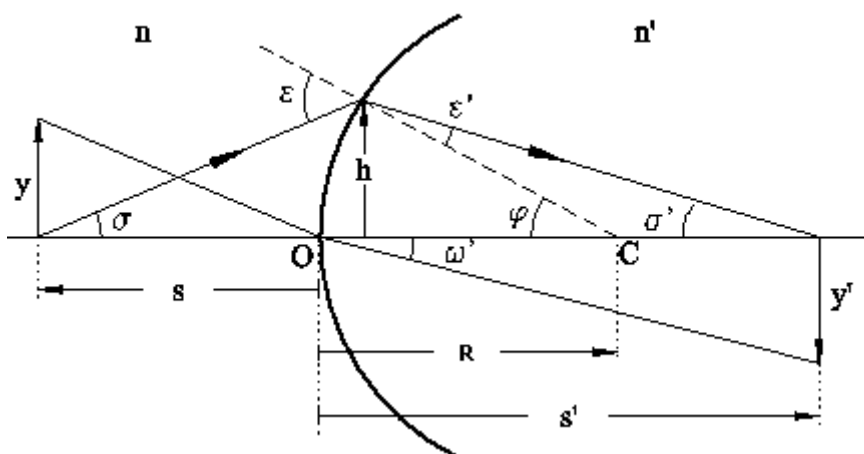
A' é a imaxe virtual de A

As imaxes reais non se ven a simple vista, pero poden verse sobre unha pantalla; as imaxes virtuais non existen realmente pero poden verse a simple vista.

No estudio da óptica xeométrica adoptaremos o criterio de signos proposto polas normas DIN, e que se recolle nos seguintes puntos:

1. Os puntos represéntanse con letras maiúsculas, as distancias con minúsculas e os ángulos con letras gregas.
2. Os elementos dunha imaxe levan as mesmas letras que as do obxecto pero engadíndolles un apóstrofe ( ' ).
3. As figuras débúxanse de forma tal que a luz incidente procede da esquerda e propágase cara a dereita.
4. As magnitudes lineais considéranse negativas cara a esquerda do vértice do dioptrio (punto O) e positivas cara a dereita.

5. As distancias ao eixo óptico cóntanse a partir del e son positivas se están por riba e negativas se están por debaixo.
6. Os ángulos considéranse positivos cando ao levar o raio a coincidir co eixo polo camiño máis curto o xiro realizado ten sentido contrario ás agullas do reloxo.

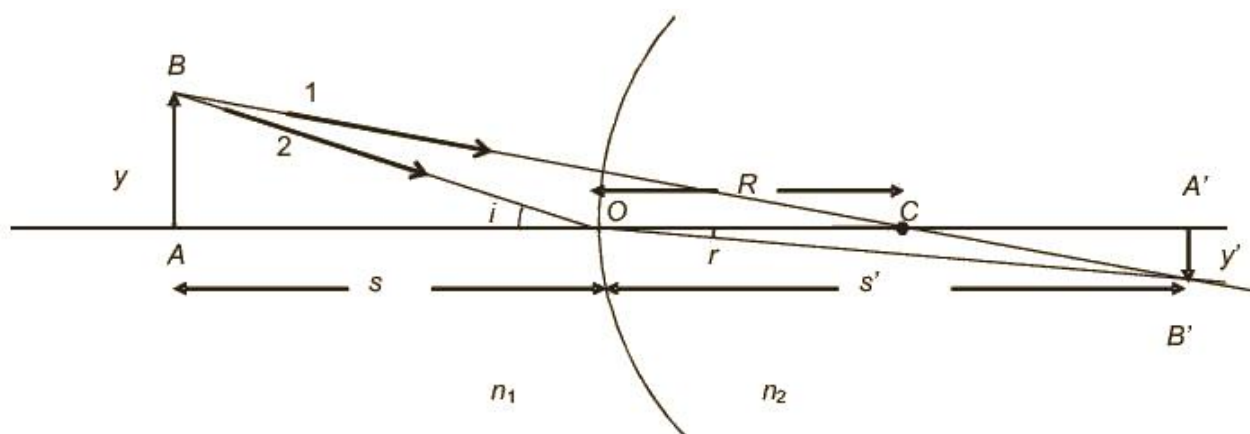


## 2. DIOPTRIOS

### 2.1. Dioptrio esférico

Se a superficie de separación entre os medios é esférica poderemos describir a formación de imaxes pensando nun sistema óptico coma o que aparece na figura seguinte, onde C é o centro de curvatura, y o tamaño do obxecto de extremos A e B e  $n_1$  e  $n_2$  os índices de refracción dos medios.

Sexan s e s' as distancias do obxecto e da imaxe ó dioptrio e y' o tamaño da imaxe de extremos A' e B'. Consideremos  $n_1 < n_2$  tal e como se representa na imaxe:



O raio 1 non se desvía porque é perpendicular á superficie de separación (vemos que pasa polo punto C dado que ten a dirección do radio da esfera).

O raio 2 refráctase seguindo a *Lei de Snell*:  $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$

Facendo unha aproximación paraxial (admitimos que os ángulos dos raios co eixe óptico son pequenos) podemos considerar que  $\operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha$  co cal  $\sin i = \operatorname{tg} i = \frac{y}{-s}$  e  $\sin r = \operatorname{tg} r = \frac{-y'}{s'}$ .

Substituíndo na lei de Snell:

$$n_1 \left( \frac{y}{-s} \right) = n_2 \left( \frac{-y'}{s'} \right) \Rightarrow n_1 \frac{y}{s} = n_2 \frac{y'}{s'} \Rightarrow \frac{y'}{y} = \frac{n_1 s'}{n_2 s},$$

Xa que os triángulos ABC e A'B'C son semellantes  $\frac{y'}{y} = \frac{s'-R}{s-R}$ , que combinado coa anterior:

$$\frac{n_1 s'}{n_2 s} = \frac{s'-R}{s-R} \Rightarrow n_2 s (s'-R) = n_1 s' (s-R) \Rightarrow n_2 s s' - n_2 s R = n_1 s' s - n_1 s' R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_1 s' R - n_2 s R = n_2 s' s - n_1 s s'$$

Dividindo agora ambos termos entre R e ordenando chegamos á **ecuación fundamental do dioptrio esférico**:

$$\frac{n_2}{s'} - \frac{n_1}{s} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Utilizaremos esta expresión para describir algunhas características dun sistema óptico.

O **foco imaxe** é aquel punto F' tal que os raios que incidan paralelos ao eixe óptico (equivale a considerar que o obxecto está a unha distancia infinita do dioptrio) se crucen nel.

O **foco obxecto** é aquel punto F tal que os raios que parten del e se refractan ao chegar ao dioptrio emerxen paralelos ao eixe óptico.

Da ecuación fundamental podemos deducir as distancias focais imaxe e obxecto:

- $s = -\infty \Rightarrow s' = f'$  co cal  $f' = R \frac{n_2}{n_2 - n_1}$
- $s' = +\infty \Rightarrow s = f$  entón  $f = -R \frac{n_1}{n_2 - n_1}$

O **aumento lateral** ( $\beta$ ) defínese coma o cociente do tamaño da imaxe entre a do obxecto e será:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n_1 s'}{n_2 s}$$

## 2.1. Dioptrio plano

É un caso particular de dioptrio esférico no que o raio de curvatura é infinito, co cal a ecuación fundamental quedaría na seguinte forma:

$$\frac{n_2}{s'} - \frac{n_1}{s} = 0$$

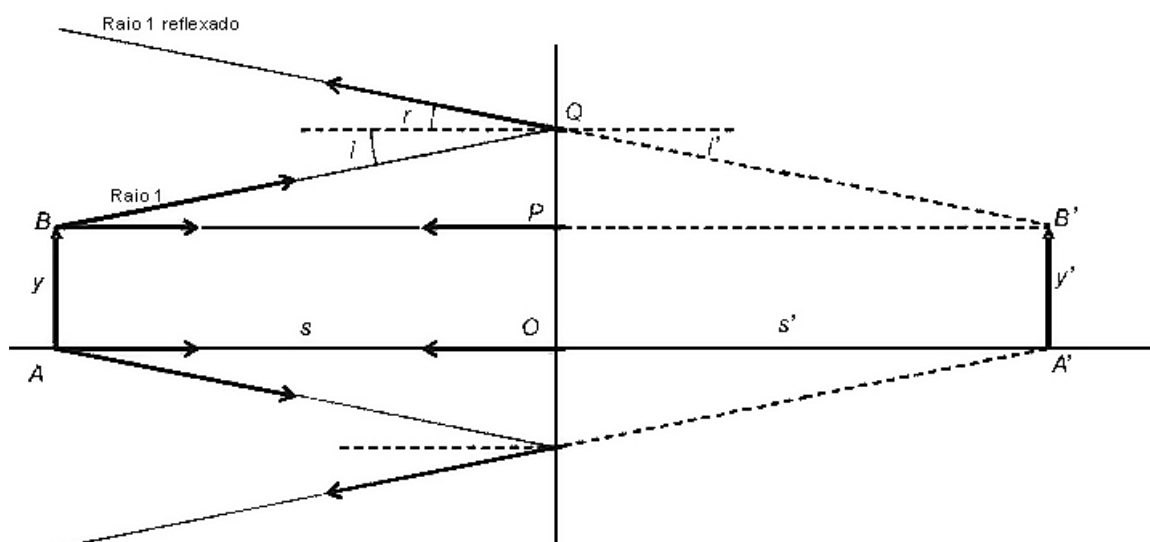
O aumento lateral é  $\beta = 1$  co cal o tamaño da imaxe é igual o do obxecto.

## 3. ESPELLOS

Os espellos son superficies pulidas que reflicten os raios de luz que inciden sobre elas. Segundo sexa a forma da superficie falaremos de espellos planos e espellos esféricos.

### 3.1. Espello plano

Cando vemos un obxecto reflectido nun espello plano vemos que a imaxe aparece detrás do espello, de forma que se aproximamos o obxecto tamén se aproxima a imaxe ao plano do espello.



Veremos como se forman as imaxes seguindo as leis da reflexión. Dende o punto B o raio 1 incide no espello no punto Q de forma que (seguindo as leis da reflexión) os ángulos incidente (i) e reflectido (r) son iguais; o raio incidente en P chega perpendicular á superficie do espello de forma que sofre un cambio de sentido.

Se facemos o mesmo razoamento para os raios procedentes do punto A o resultado é a formación da imaxe entre os puntos A' e B'.

Observemos que a imaxe non está formada polo cruce dos raios senón das súas prolongacións polo que é unha imaxe virtual.

As distancias  $s$  e  $s'$  son iguais pero de signo contrario e o tamaño da imaxe é, tamén, igual a do obxecto.

De todo o anterior podemos dicir que as características da imaxe son: igual tamaño, dereita e virtual.

A ecuación do espello plano pode deducirse da do dioptrio plano,  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{s}{s'}$ , considerando que  $n_1=n$  e que  $n_2=-n$  xa que o raio volve ao mesmo medio pero en sentido contrario, desta forma teremos:  $\frac{n}{-n} = \frac{s}{s'} \Rightarrow s = -s'$

### 3.1. Espello esférico

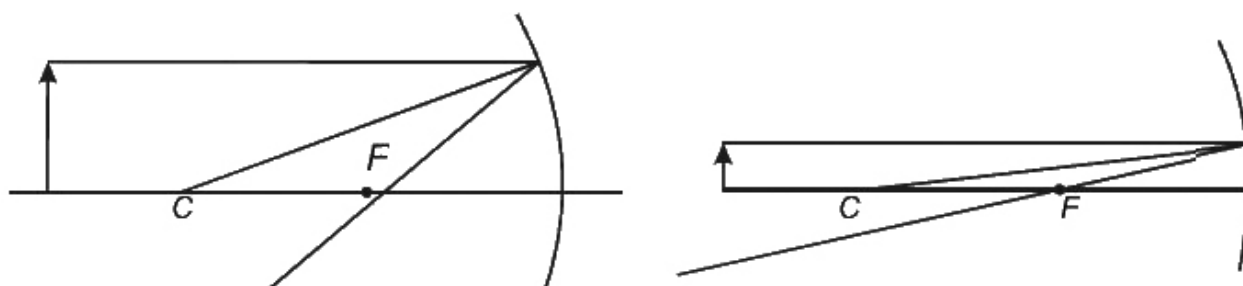
Falaremos de dous tipos de espellos esféricos, segundo o signo do radio de curvatura:

- positivo  $\rightarrow$  *convexo*  $\rightarrow$  (
- negativo  $\rightarrow$  *cóncavo*  $\rightarrow$  )

Os elementos característicos dos espellos esféricos son:

- **Centro de curvatura:** é o centro da esfera á que pertence o espello, represéntase pola letra  $C$ .
- **Centro do espello:** é o punto central da superficie do espello onde colocamos a orixe de coordenadas.
- **Radio de curvatura:** é a distancia entre o centro do espello e o centro de curvatura; representámolo por  $r$ .
- **Eixo principal:** é a recta que une o centro do espello co centro de curvatura.
- **Foco:** é o punto do eixo principal na que se cortan os raios que inciden paralelos ao eixo principal unha vez que son reflectidos polo espello. Os raios que pasan polo foco antes de reflectirse, reflíctense paralelos ao eixo principal. Represéntase por  $F$ .
- **Distancia focal:** é a distancia dende o centro do espello ao foco, represéntase por  $f$ .

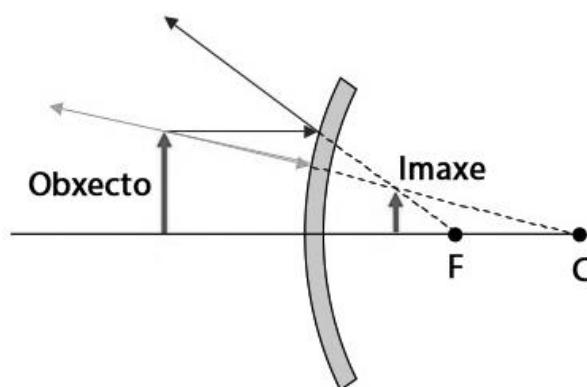
Como podemos ver na seguinte figura a distancia focal é a metade do radio de curvatura, sempre e cando o ángulo de incidencia sexa pequeno e o radio de curvatura grande (en relación ó tamaño da imaxe).



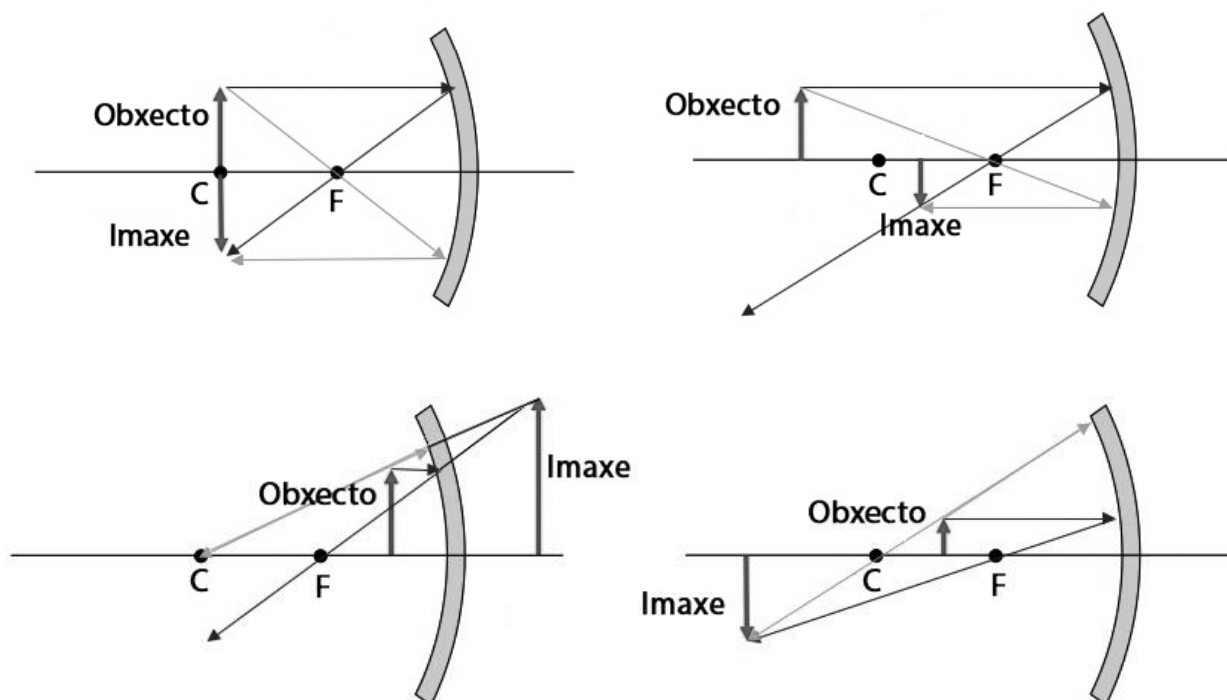
Para debuxar o esquema da formación dunha imaxe nun espello esférico hai que seguir as seguintes normas:

- O raio que incide no espello paralelo ao eixo principal reflectirase pasando polo foco.
- O raio que incide no espello pasando polo centro de curvatura reflíctese sen experimentar desviación.
- O raio que incide sobre o espello pasando polo foco (F) reflíctese seguindo unha dirección paralela ao eixo principal.

Nun espello convexo a imaxe formada é sempre virtual dereita e de menor tamaño.



No caso de espello cóncavos poden darse diferentes casos segundo a posición do obxecto, tal e como se aprecia nas seguintes figuras.



Tamén podemos deducir as ecuacións do espello esférico a partires da **ecuación fundamental do dioptrio esférico**:

$$\frac{n_2}{s'} - \frac{n_1}{s} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Considerando que  $n_1 = n$  e  $n_2 = -n$ , pois o raio volve ao mesmo medio pero en sentido oposto, teremos que:

$$\frac{-n}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{-n - n}{R} \Rightarrow \frac{-n}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{-2n}{R}$$

Se agora dividimos os dous termos entre  $-n$  obtemos:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R}$$

Para o cálculo das distancias focais faremos o mesmo que no caso do dioptrio esférico:

$$s = -\infty \Rightarrow s' = f' \quad \text{co cal} \quad f' = \frac{R}{2}.$$

Así poderemos escribir a ecuación do espello como:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$$

Para calcular o aumento lateral:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n_1 s'}{n_2 s}, \quad \text{como} \quad n_1 = n \quad \text{e} \quad n_2 = -n \Rightarrow \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$