

# Elipse

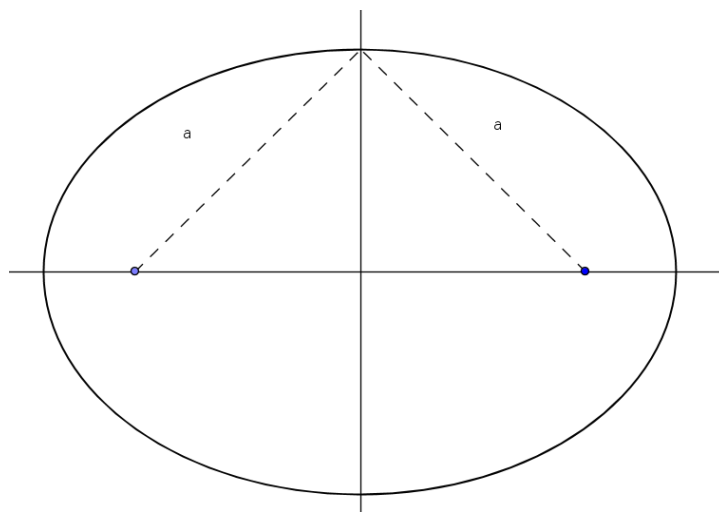
Sergio Padilla López      Marina Estévez Almenzar  
Ignacio Cordon Castillo

22 de noviembre de 2016

## 1. Definición

Dados dos puntos  $F_1, F_2, a > 0$  definimos una elipse como

$$E = \{p \in \mathbb{R}^2 : d(p, F_1) + d(p, F_2) = 2a\}$$



## 2. Elipse con un foco en el 0

Como  $d(x, y) = |x - y|$ , y un foco está en el 0, y el otro en  $A \in \mathbb{R}^2$ :

$$|x| + |A - x| = c \Leftrightarrow$$

$$|A - x| = c - |x| \Leftrightarrow$$

$$|A - x|^2 = (c - |x|)^2 \Leftrightarrow$$

$$|A|^2 + |x|^2 - 2 \langle A, x \rangle = c^2 + |x|^2 - 2c|x|$$

Dividiendo por  $2c > 0$  en ambos lados:

$$|x| + \left\langle -\frac{1}{c}A, x \right\rangle = \frac{c^2 - |A|^2}{2c} \quad (*)$$

Llamando:

$$e := -\frac{1}{c}A, \quad k := \frac{c^2 - |A|^2}{2c} \quad (**)$$

Por la desigualdad triangular,  $|A| < |x| + |A - x| = c$ , y deducimos que

$$|e| < 1, \quad k > 0,$$

y  $(*)$  se reescribe como:

$$|x| + \langle e, x \rangle = k$$

Nótese que  $|A| < |x| + |A - x| = c$  por la desigualdad triangular, en una elipse de la forma  $|x| + |x - A| = c$ , y si mantenemos esta condición en las implicaciones del comienzo, tenemos dobles implicaciones, ya que el único paso delicado es:

$$|x - A|^2 = (c - |x|)^2 \Rightarrow |x - A| = c - |x|$$

Pero no puede tenerse  $|x - A| = |x| - c$  ya que en dicho caso:

$$|x| - c < |x| - |A| \leq |x - A| = |x| - c$$

que es contradicción.

■

Vamos a ver ahora que:

$$|x| + \langle e, x \rangle = k, \quad e \in \mathbb{R}^2, |e| < 1, \quad k > 0$$

representa una elipse, con un foco centrado en el  $(0, 0)$ .

Es decir, veamos que  $\exists A \in \mathbb{R}^2, c > 0$  verificando  $d(x, 0) + d(x, A) = c$ . En el proceso inverso teníamos  $(**)$ . Intentamos buscar  $A \in \mathbb{R}^2$  y  $c > 0$  que verifiquen:

$$\begin{aligned} A &= -ce \\ c^2 - 2ck - |A|^2 &= 0 \end{aligned}$$

Suponiendo que existiera dicho  $c$ , de la primera ecuación podemos deducir que  $|A| = c|e| < c$ .

Sustituyendo el valor de  $A$  en la segunda ecuación deducimos que:

$$c^2 - 2ck - c^2|e|^2 = 0 \Leftrightarrow$$

$$c \cdot [c(1 - |e|^2) - 2k] = 0 \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} c = 0 \\ \text{ó} \\ c = \frac{2k}{1 - |e|^2} \end{cases}$$

El valor  $c = 0$  no nos vale, ya que en este caso no se trataría de una elipse. Por tanto nos quedamos con  $c = \frac{2k}{1 - |e|^2}$ . Además podemos asegurar que, en este caso,  $c = \frac{2k}{1 - |e|^2} > 0$ , ya que  $k > 0$ . Por tanto podemos expresar:

$$\begin{aligned} e &= \frac{-1}{c} A \\ k &= \frac{c^2 - |A|^2}{2c} \end{aligned}$$

Sustituimos estas expresiones en nuestra ecuación inicial  $|x| + \langle x, e \rangle = k$ , que queda expresada en función de los  $A$  y  $c$  que podemos despejar del paso anterior:

$$|x| + \langle -\frac{1}{c}A, x \rangle = \frac{c^2 - |A|^2}{2c} \Leftrightarrow$$

$$2c|x| - 2 \langle A, x \rangle = c^2 - |A|^2 \Leftrightarrow$$

$$2c|x| - 2 \langle A, x \rangle + |x|^2 = c^2 - |A|^2 + |x|^2 \Leftrightarrow$$

$$|x|^2 - 2 \langle A, x \rangle + |A|^2 = c^2 - 2cx + |x|^2 \Leftrightarrow$$

$$|A - x|^2 = (c - |x|)^2 \Leftrightarrow$$

$$|A - x| = \begin{cases} c - |x| \\ \text{ó} \\ |x| - c \end{cases}$$

Descartamos que  $|A - x| = |x| - c$  ya que, en dicho caso:

$$|x| - c < x - |A| \leq |x - A| = |x| - c$$

Lo cual es una contradicción. Luego:

$$|A - x| = c - |x| \Leftrightarrow |x| + |A - x| = c \Leftrightarrow d(x, 0) + d(x, A) = c$$

donde

$$A = \frac{2k}{|e|^2 - 1} e$$

$$c = \frac{2k}{1 - |e|^2}$$

■

## 2.1. Casos particulares

### 2.1.1. Caso $e = 0$

En este caso tendríamos que  $|x| + \langle x, e \rangle = k \Leftrightarrow |x| = k$  con  $k > 0$ . Luego resultaría una circunferencia centrada en el origen.

### 2.1.2. Caso gravitacional

Llamando  $m = x \wedge \dot{x}$ , sabemos que  $m$ , momento angular, es constante. Si  $m \neq 0$ , tenemos que  $|x| + \langle x, e \rangle = \frac{|m|^2}{\mu}$  describe las órbitas del cuerpo, con  $\mu$  constante positiva. El eje de excentricidad toma el valor

$$e = \frac{1}{\mu} \dot{x} \wedge m - \frac{x}{|x|}$$

Si  $|e| < 1$  tendríamos una elipse.

Un foco sería  $(0, 0)$  y el otro

$$A = \frac{2|m|^2}{\mu \left( 1 - \left| \frac{1}{\mu} \dot{x} \wedge m - \frac{x}{|x|} \right|^2 \right)}$$

Nótese que para calcular  $e$  o  $A$  sólo necesitamos los valores de  $x$  y  $\dot{x}$  en un punto (el mismo para ambas).