

# Geometría Analítica II

## LECTURA 8

Ayudante: Guilmer González

Día 24 de marzo, 2012

El día de hoy veremos:

1. Recta tangente a una cónica.

## 1 Recta tangente a una cónica

En clase hemos visto que una cuadrática de la forma

$$c(x, y) = \alpha x^2 + \beta y^2 + \gamma xy + \alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3$$

la podemos representar de manera única en forma matricial como

$$c(\mathbf{p}) = \mathbf{p}^t A \mathbf{p} + 2b^t \mathbf{p} + \gamma \quad (1)$$

donde  $A$  es una matriz simétrica  $A = A^t$ .

**Problema:** El problema que nos compete es encontrar una representación simpática para la recta tangente a la cónica.

### 1.1 Caso numérico

Muestre que la recta tangente a

$$x^2 + y^2 = r^2$$

se puede escribir como

$$x \cdot x_0 + y \cdot y_0 - r^2 = 0$$

Consideremos la recta en su forma  $y = mx + b$  (en realidad debemos generalizar). Para determinar la recta, debemos encontrar  $m$  y  $b$  de manera que pasen por el punto y sea tangente al círculo. Otra forma de escribir la recta, es

$$(y - y_0) = m(x - x_0)$$

esa recta pasa por el punto  $p_0 = (x_0, y_0)$ . Debemos ver que es tangente. Una forma de hacer esto es suponer que algún otro punto de la recta está en la circunferencia y ver que al imponer que solamente se tenga uno, nos conduce a un valor específico de  $m$ .

Despejemos para  $y$ ,

$$y = m(x - x_0) + y_0$$

y sustituyamos en la circunferencia

$$x^2 + [m(x - x_0) + y_0]^2 - r^2 = 0$$

hagamos las operaciones

$$\begin{aligned} x^2 + m^2(x - x_0)^2 + 2m(x - x_0)y_0 + y_0^2 - r^2 &= 0 \\ (1 + m^2)x^2 + (2m - 2m^2x_0)x + m^2x_0^2 - 2mx_0y_0 + y_0^2 - r^2 &= 0 \end{aligned}$$

La cual es una cuadrática para  $x$ . Para que solo haya una solución, debe satisfacerse que el discriminante de la ecuación  $\Delta = 0$ , esto es:

$$(2m - 2m^2x_0)^2 - 4(1 + m^2)(m^2x_0^2 - 2mx_0y_0 + y_0^2 - r^2) = 0$$

es decir

$$\begin{aligned} 4m^2 - 8m^3x_0 + 4m^4x_0^2 - 4m^4x_0^2 + 8m^3x_0y_0 - 4m^2y_0^2 + 4m^2r^2 - 4m^2x_0^2 + 8mx_0y_0 - 4y_0^2 + 4r^2 &= 0 \\ 4m^2 - 8m^3x_0 + 8m^3x_0y_0 - 4m^2y_0^2 + 4m^2r^2 - 4m^2x_0^2 + 8mx_0y_0 - 4y_0^2 + 4r^2 &= 0 \\ 4m^2 - 8m^3x_0 + 8m^3x_0y_0 - 4m^2(y_0^2 - 4m^2r^2 + 4m^2x_0^2) + 8mx_0y_0 - 4y_0^2 + 4r^2 &= 0 \\ 4m^2 - 8m^3x_0 + 8m^3x_0y_0 + 8mx_0y_0 - 4y_0^2 + 4r^2 &= 0 \\ m^2 - 4m^3x_0 + 4m^3x_0y_0 + 4mx_0y_0 - y_0^2 + r^2 &= 0 \\ m^2 - 4m^3x_0 + 4m^3x_0y_0 + 4mx_0y_0 - x_0^2 &= 0 \end{aligned}$$

Bueno ya me cansé.... si siguen y juegan un poco... llegarán al resultado (siempre y cuando no se equivoquen en las cuentas).

Consideremos una cónica en su forma matricial

$$\mathbf{p}^t A \mathbf{p} + \gamma = 0 \quad (2)$$

si  $p_0 = (x_0, y_0)$  es un punto de la cónica, se satisface que

$$\mathbf{p}_0^t A \mathbf{p}_0 + \gamma = 0$$

Ahora bien, cualquier recta que pase por el punto  $p_0 = (x_0, y_0)$  lo podemos expresar en su forma parametrizada por

$$\mathcal{L} = \{p = (x, y) \mid p = p_0 + td\} \quad (3)$$

donde  $d$  es un vector dirección de la recta.

Con esto, el problema es determinar el vector dirección  $d$  para el cual la recta  $\mathcal{L}$  es tangente a la cónica.

Consideremos los puntos  $p$  de la recta  $\mathcal{L}$  sobre la cónica, esto es

$$\begin{aligned} \mathbf{p}^t A \mathbf{p} + \gamma &= 0 \\ (p_0 + td)^t A (p_0 + td) + \gamma &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

haciendo las cuentas, esta ecuación es cuadrática en  $t$ , tenemos

$$\begin{aligned}(p_0 + td)^t A(p_0 + td) + \gamma &= 0 \\ p_0^t A p_0 + 2t p_0^t A d + t^2 d^t A d + \gamma &= 0\end{aligned}$$

agrupando términos

$$t^2 d^t A d + 2t p_0^t A d + p_0^t A p_0 + \gamma = 0$$

pero  $p_0$  está sobre la cuadrática, luego el término independiente que aquí aparece es cero:

$$p_0^t A p_0 + \gamma = 0$$

por lo que lo anterior se reduce a resolver un sistema lineal de una sola variable:

$$t d^t A d + 2 p_0^t A d = 0$$

pero como nos interesa buscar la línea tangente, esta recta solo corta al eje  $x$  en  $t = 0$ , por consiguiente,

$$p_0^t A d = 0 \tag{5}$$

que representa la condición que debe satisfacer el vector dirección  $d$ . Ahora bien, tenemos que

$$td = (p - p_0)$$

sustituyendo esto en la ecuación anterior, tenemos

$$\begin{aligned}p_0^t A d &= 0 \\ p_0^t A (p - p_0) &= 0 \\ p_0^t A p - p_0^t A p_0 &= 0 \\ p_0^t A p + \gamma &= 0\end{aligned}$$

es decir, la ecuación de la recta tangente a la cónica en  $p_0$  en su forma matricial

$$p_0^t A p + \gamma = 0$$

**Ejercicio:** (por puro deporte). Verifique que para la cónica

$$p^t A p + 2b^t p + \gamma = 0$$

la ecuación de la recta tangente a ella en  $p_0$  se puede escribir como

$$p^t A p_0 + b^t p_0 + b^t p + \gamma = 0$$