COMPLEMENTOS DE MATEMATICA 3 - Segundo cuatrimestre de 2007

Práctica 6 - Forma de Jordan

Ejercicio 1. Hallar la forma y una base de Jordan de la matriz $A \in \mathbb{C}^{9\times 9}$:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Ejercicio 2. Hallar la forma y una base de Jordan de la matriz $A = (a_{ij}) \in \mathbb{C}^{5\times 5}$, donde

$$a_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{si } i \le j \\ 1 & \text{si } i > j \end{cases}$$

Ejercicio 3. Dadas las matrices A y A' en $K^{6\times 6}$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \qquad \text{y} \qquad A' = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

i) Probar que ambas son nilpotentes y que A es semejante a A'.

ii) Dar bases B y B' de $\mathbb{R}_5[X]$ tales que la matriz de la derivación en la base B sea A y en la base B' sea A'.

iii) Calcular A^k para cada $k \in \mathbb{N}$.

Ejercicio 4. Sea $A \in \mathbb{C}^{6\times 6}$ una matriz nilpotente tal que $A^5 \neq 0$ y sea $\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$ una base de Jordan para A. Calcular la forma y una base de Jordan para las matrices A^2, A^3, A^4 y A^5.

Ejercicio 5.

i) Sea $A \in \mathbb{C}^{8\times 8}$ nilpotente tal que $\operatorname{rg}(A) = 6$. ¿Cuántos bloques tiene la forma de Jordan de A? ¿Y si $A \in \mathbb{C}^{16\times 16}$ con $\operatorname{rg}(A) = 9$?

ii) Decidir si existe $A \in \mathbb{C}^{8\times 8}$ nilpotente tal que $\operatorname{rg}(A) = 6$, $\operatorname{rg}(A^2) = 4$, $\operatorname{rg}(A^3) = 3$, $\operatorname{rg}(A^4) = 1$ y $\operatorname{rg}(A^5) = 0$ simultáneamente. En caso afirmativo, exhibir una.

iii) Decidir si existe $A \in \mathbb{C}^{16\times 16}$ tal que $\operatorname{rg}(A) = 9$, $\operatorname{rg}(A^2) = 5$, $\operatorname{rg}(A^3) = 3$, $\operatorname{rg}(A^4) = 1$ y $\operatorname{rg}(A^5) = 0$ simultáneamente. En caso afirmativo, exhibir una.

Ejercicio 6. Hallar la forma y una base de Jordan de $A \in \mathbb{C}^{n\times n}$ en cada uno de los siguientes casos:

i) $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ -3 & -3 & 3 \\ -2 & -2 & 2 \end{pmatrix}$ ii) $A = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 8 \\ 3 & -1 & 6 \\ -2 & 0 & -5 \end{pmatrix}$ iii) $A = \begin{pmatrix} -4 & 2 & 10 \\ -4 & 3 & 7 \\ -3 & 1 & 7 \end{pmatrix}$

iv) $A = \begin{pmatrix} -2 & 8 & 6 \\ -4 & 10 & 6 \\ 4 & -8 & -4 \end{pmatrix}$ v) $A = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 4 \\ 6 & 0 & 12 \\ 3 & -1 & 0 \end{pmatrix}$ vi) $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

vii) $A = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 3 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 2 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}$ viii) $A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & -2 \\ 1 & 1 & -1 & 2 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Ejercicio 7. Sea $V \subseteq C^{\infty}(\mathbb{R})$ el subespacio $V = < e^x, x.e^x, x^2.e^x, e^{2x} >$. Sea $t : V \to V$ la transformación lineal definida por $t(f) = f'$. Hallar la forma y una base de Jordan para t.

Ejercicio 8. Sea $A \in \mathbb{R}^{4\times 4}$ la matriz

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 8 & a \\ 3 & -1 & 6 & 0 \\ -2 & 0 & -5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Para cada $a \in \mathbb{R}$, hallar la forma y una base de Jordan de A.

Ejercicio 9. Sea $A \in \mathbb{C}^{15\times 15}$ una matriz con autovalores λ_1, λ_2 y λ_3 y que cumple, simultáneamente:

$$\begin{array}{llll} \mathrm{rg}(A-\lambda_1 I) = 13, & \mathrm{rg}(A-\lambda_1 I)^2 = 11, & \mathrm{rg}(A-\lambda_1 I)^3 = 10, & \mathrm{rg}(A-\lambda_1 I)^4 = 10 \\ \mathrm{rg}(A-\lambda_2 I) = 13, & \mathrm{rg}(A-\lambda_2 I)^2 = 11, & \mathrm{rg}(A-\lambda_2 I)^3 = 10, & \mathrm{rg}(A-\lambda_2 I)^4 = 9, \\ \mathrm{rg}(A-\lambda_3 I) = 13, & \mathrm{rg}(A-\lambda_3 I)^2 = 12, & \mathrm{rg}(A-\lambda_3 I)^3 = 11. & \end{array}$$

Hallar su forma de Jordan.

Ejercicio 10. Sea $A \in \mathbb{C}^{4\times 4}$ la matriz

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ -2 & 1 & 2 & 2 \end{pmatrix}$$

Encontrar subespacios de dimensión 1, 2 y 3 que sean A-invariantes.

Ejercicio 11. Sea $A \in \mathbb{R}^{5\times 5}$ la matriz:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 2 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

i) Hallar la forma y una base de Jordan para A.

ii) Calcular A^n para cada $n \in \mathbb{N}$.

Ejercicio 12. Sean A, $B \in \mathbb{C}^{4\times 4}$ las matrices

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} \quad , \quad B = \begin{pmatrix} 0 & -1 & -1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}$$

Decidir si A y B son semejantes.

Ejercicio 13. Si $\lambda \in \mathbb{C}$, sea $J(\lambda, n) \in \mathbb{C}^{n\times n}$ la matriz

$$J(\lambda, n) = \begin{pmatrix} \lambda & 0 & \dots & 0 \\ 1 & \lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & \lambda \end{pmatrix}$$

i) Calcular $J(\lambda, n)^k$ para todo $k \in \mathbb{N}$. Generalizar para cualquier potencia de una matriz formada por bloques de Jordan. Sugerencia: $J(\lambda, n) = \lambda I_n + J(0, n)$.

ii) Si $\lambda \neq 0$, hallar la forma de Jordan de $J(\lambda, 4)^k$ para cada $k = 2, 3, 4$.

Ejercicio 14. Sean α, $\beta \in \mathbb{R}$. Se define la sucesión $\{a_n\}_{n\in\mathbb{N}_0}$ de la siguiente manera:

$$\begin{cases} a_0 = \alpha, \ a_1 = \beta \\ a_{n+2} = 4.a_{n+1} - 4.a_n \quad \forall \ n \in \mathbb{N}_0 \end{cases}$$

Hallar una fórmula general para el término a_n, $\forall \ n \in \mathbb{N}_0$.
Sugerencia: Ver el Ejercicio 9 de la Práctica 5.

Ejercicio 15. Resolver el sistema de ecuaciones diferenciales

$$\begin{cases} x'(t) = 3x(t) - y(t) \\ y'(t) = x(t) + y(t) \end{cases}$$

con condiciones iniciales $x(0) = 1$, $y(0) = 2$.

Ejercicio 16. Sea $A = \begin{pmatrix} 3 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 3 \end{pmatrix}$.

i) Calcular e^{At} para $t \in \mathbb{R}$.

ii) Resolver el sistema de ecuaciones diferenciales

$$\begin{cases} x'(t) = 3x(t) + y(t) \\ y'(t) = -x(t) + y(t) \\ z'(t) = -x(t) - y(t) + 3z(t) \end{cases}$$

con condiciones iniciales $x(0) = 1$, $y(0) = -1$, $z(0) = 2$.