Apunte Único: Álgebra I - Práctica 7

Por alumnos de Álgebra I
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
UBA

última actualización 25/08/25 @ 22:29

Choose your destiny:

(dobleclick en los ejercicio para saltar)

- Notas teóricas
- Ejercicios de la guía:

1.	**6.**	**11.**	**16.**	**21.**	**26.**	**31.**	**36.**
2.	**7.**	**12.**	**17.**	**22.**	**27.**	**32.**	**37.**
3.	**8.**	**13.**	**18.**	**23.**	**28.**	**33.**	**38.**
4.	**9.**	**14.**	**19.**	**24.**	**29.**	**34.**	**39.**
5.	**10.**	**15.**	**20.**	**25.**	**30.**	**35.**	**40.**

- Ejercicios de Parciales

🔥**1.**	🔥**4.**	🔥**7.**	🔥**10.**	🔥**13.**	🔥**16.**
🔥**2.**	🔥**5.**	🔥**8.**	🔥**11.**	🔥**14.**	🔥**17.**
🔥**3.**	🔥**6.**	🔥**9.**	🔥**12.**	🔥**15.**	

Disclaimer:
Dirigido para aquél que esté listo para leerlo, o no tanto. Va con onda.

¡Recomendación para sacarle jugo al apunte!

Estudiar con resueltos puede ser un arma de doble filo. Si estás trabado, antes de saltar a la solución que hizo otra persona:

1. Mirar la solución ni bien te trabás, te *condicionas pavlovianamente* a **no** pensar. Necesitás darle tiempo al cerebro para llegar a la solución.
2. Intentá un ejercicio similar, pero **más fácil**.
3. ¿No sale el fácil? Intentá uno **aún más fácil**.
4. Fijate si tenés un ejercicio similar hecho en clase. Y mirá ese, así no quemás el ejercicio de la guía.
5. Tomate 2 minutos para formular una pregunta que realmente sea lo que **no** entendés. Decir *'no me sale'* $\nexists+$. Escribí esa pregunta, vas a dormir mejor.

Ahora sí mirá la solución.

Si no te salen los ejercicios fáciles sin ayuda, no te van a salir los ejercicios más difíciles: Sentido común.

¡Los más fáciles van a salir! Son el alimento de nuestra confiaza.

Si mirás miles de soluciones a parciales en el afán de tener un ejemplo hecho de todas las variantes, estás apelando demasiado a la suerte de que te toque uno igual, *pero no estás aprendiendo nada.* Hacer un parcial bien lleva entre 3 y 4 horas. Así que si vos en 4 horas "hiciste" 3 o 4 parciales, *algo raro debe haber.* A los parciales se va a **pensar** y eso hay que practicarlo desde el primer día.

Mirá los videos de las teóricas:
de Teresa que son buenísimos.

Videos de prácticas de pandemia, complemento extra:
Prácticas Pandemia.

Los ejercicios que se dan en clase suelen ser similares a los parciales, a veces más difíciles, repasalos siempre Just Do IT!

Eh, loco, fatalista, distópico, relajá un toque te vas a quedar (más) pelado... *va a salir todo bien!*

Esta Guía 7 que tenés se actualizó por última vez:
25/08/25 @ 22:29

Escaneá el QR para bajarte (quizás) una versión más nueva:

Guía 7

El resto de las guías repo en github para descargar las guías con los últimos updates.

Si querés mandar un ejercicio o avisar de algún error, lo más fácil es por Telegram .

Notas teóricas:

- *Operaciones:*

  $+:$ Sean $f, g \in \mathbb{K}[X]$ con $f = \sum_{i=0}^{n} a_i X^i$ y $g = \sum_{i=0}^{n} b_i X^i$

  $$\implies f + g = \sum_{i=0}^{n} (a_i + b_i) X^i \in \mathbb{K}[X]$$

  $\cdot:$ Sean $f, g \in \mathbb{K}[X]$ con $f = \sum_{i=0}^{n} a_i X^i$ y $g = \sum_{j=0}^{m} b_j X^j$

  $\implies f \cdot g = \sum_{k=0}^{n+m} (\sum_{i+j=k} a_i \cdot b_j) X^k \in \mathbb{K}[X]$

- *Algoritmo de división*:

  $f, g \in \mathbb{K}[X]$ no nulos, existen únicos q y $R \in \mathbb{K}[X]$ tal que

  $$f = q \cdot g + R$$

  con $\mathrm{gr}(R) < \mathrm{gr}(f)$ o $R = 0$.

- *Raíz de un Polinomio:*

  $$\alpha \text{ es raíz de } f \iff X - \alpha \,\big|\, f \iff f = q \cdot (X - \alpha)$$

- *Máximo común divisor:*

  Polinomio, $(f : g) \in \mathbb{K}[X]$, *mónico* de mayor grado que divide a ambos polinomios en $\mathbb{K}[X]$ y vale el algoritmo de Euclides.

  - $(f : g) \,\big|\, f \quad$ y $\quad (f : g) \,\big|\, g$
  - $f = (f : g) \cdot k_f \quad$ y $\quad g = (f : g) \cdot k_g \quad$ con $\quad k_f \quad$ y $\quad k_g$ en $\mathbb{K}[X]$
  - Dos polinomios son coprimos si $(f : g) = 1 \iff f \neq g$

- *Raíces múltiples:*

  Sea $f \in \mathbb{K}[x]$ no nulo, y sea $\alpha \in \mathbb{K}$. Se dice que:

  - Cuando f tiene una raíz múltiple:

    $$\alpha \text{ es raíz } \textit{múltiple} \text{ de } f \iff f = (X - \alpha)^2 q$$
    $$f = (X - \alpha) \cdot q, \quad \text{con } q \in \mathbb{K}[X] \quad \text{y} \quad q(\alpha) = 0.$$

  - Cuando la raíz *no* es múltiple, es *simple* cuando:

    $$\alpha \text{ es raíz } \textit{simple} \text{ de } f \iff (X - \alpha) \,\big|\, f \quad \text{y} \quad (X - \alpha)^2 \overset{!!}{\nmid} f$$
    $$f = (X - \alpha) \cdot q, \quad \text{con } q \in \mathbb{K}[X] \quad \text{y} \quad q(\alpha) \neq 0.$$

    Prestale atención a los ! porque sino la vas a cagar.

  - Sea $m \in \mathbb{N}_0$. Se dice que α es raíz de multiplicidad (exactamente) m de f, y se nota:

    $$\mathrm{mult}(\alpha; f) = m \iff (X - \alpha)^m \,\big|\, f,$$

    y también

    $$(X - \alpha)^{m+1} \nmid f.$$

    O equivalentemente,

    $$f = (X - \alpha)^m q \quad \text{con} \quad q \in \mathbb{K}[X], \quad \text{y} \quad q(\alpha) \neq 0.$$

- *Raíces y MCD:*
  Sean f, $g \in \mathbb{K}[X]$ no ambos nulos, y $\alpha \in \mathbb{K}$: Esta se usa bastante.
  $$\implies f(\alpha) = g(\alpha) = 0 \Leftrightarrow (f : g)(\alpha) = 0$$
- α es raíz múltiple de f si y solo si:
  $$f(\alpha) = 0 \quad \text{y} \quad f'(\alpha) = 0 \iff \alpha \text{ es raíz de } (f : f') \iff X - \alpha \mid (f : f')$$
- La multiplicidad m de una raíz, será $m - 1$ en la derivada:
  $$\text{mult}(\alpha, f) = m \iff f(\alpha) = 0 \quad \text{y} \quad \text{mult}(\alpha; f') = m - 1$$
- Relación entre la multiplicidad de una raíz de f y sus derivadas:
  $$\text{mult}(\alpha; f) = m \iff \begin{cases} \text{mult}(\alpha; f) \geq m & \left.\right\} \begin{matrix} f(\alpha) = 0 \\ \vdots \\ f^{(m-1)}(\alpha) = 0 \end{matrix} \\ \\ \text{mult}(\alpha; f) = m & \left.\right\} f^{(m)}(\alpha) \neq 0 \text{ la } m\text{-ésima derivada no se anula.} \end{cases}$$
  Todo ese quilombo de cosas lo que dice es por ejemplo, que si tenés una raíz α de f **triple** entonces la **tercera derivada** NO PUEDE SER 0, $f'''(\alpha) \overset{!!}{\neq} 0$.
  Pero tanto la función, su primera y segunda derivada DEBEN SER 0, $f(\alpha) \overset{!!}{=} f'(\alpha) \overset{!!}{=} f''(\alpha) \overset{!!}{=} 0$
- *Lema de Gauss:*
  Sea $f = a_n X^n + \cdots + a_0 \in \mathbb{Z}[X]$ con $a_0 \neq 0$. Si $\frac{\alpha}{\beta} \in \mathbb{Q}[X]$ es una raíz racional de f, con α y $\beta \in \mathbb{Z}$ coprimos, entonces $\alpha \mid a_0$ y $\beta \mid a_n$.
  El *Lema de Gauss* implica que en el conjunto de fracciones irreducibles $\frac{\alpha}{\beta}$ están todas las raíces racionales de f.

- Polinomios irreducibles:
  Sea $f \in K[X]$
  - Se dice que f es *irreducible* en $K[X]$ cuando $f \notin K$ y los únicos divisores de f son de la forma $g = c$ o $g = cf$ para algún $c \in K^{\times}$. O sea f tiene únicamente dos divisores mónicos (distintos), que son 1 y $\frac{f}{\text{cp}(f)}$
  - Se dice que f es *reducible* en $K[X]$ cuando $f \notin K$ y f tiene algún divisor $g \in K[X]$ con $g \neq c$ y $g \neq cf$, $\forall c \in K^{\times}$, es decir f tiene algún divisor $g \in K[X]$ (no nulo por definición) con $0 < \text{gr}(g) < \text{gr}(f)$.

Ejercicios de la guía:

---

1. Calcular el grado y el coeficiente principal de los siguientes polinomios en $\mathbb{Q}[X]$:

i) $(4X^6 - 2X^5 + 3X^2 - 2X + 7)^{77}$,

ii) $(-3X^7 + 5X^3 + X^2 - X + 5)^4 - (6X^4 + 2X^3 + X - 2)^7$,

iii) $(-3X^5 + X^4 - X + 5)^4 - 81X^{20} + 19X^{19}$,

---

i) *coeficiente principal:* 4^{77}

grado: $6 \cdot 77$

ii) *coeficiente principal:* $(-3)^4 - 6^7 = -279.855$

grado: 28

iii) *coeficiente principal:* $\underbrace{(-3X^5 + X^4 - X + 5)^4}_{f} + \underbrace{-81X^{20} + 19X^{19}}_{g}$

Cuando sumo me queda:

$$\text{cp}(f^4) - \text{cp}(g) = (-3)^4 - 81 = 0,$$

esto quiere decir que no sé cual es el coeficiente principal, porque el 0 está matando al término X^{20}. Tengo entonces $\text{gr}(f^4 + g) < 20$

Calculo el $\text{cp}(f^4 + g)$ con $\text{gr}(f^4 + g) = 19$.

Laburo a f:

$$f^4 = (-3X^5 + X^4 - X + 5)^4 = (-3X^5 + 1X^4 - X + 5)^2 \cdot (-3X^5 + X^4 - X + 5)^2$$

$$f^2 \cdot f^2 = \sum_{k=0}^{20} \left(\sum_{i+j=k} a_i \cdot b_j \right) X^k \text{ con } a_i \text{ y } b_j \text{ los coeficientes de } f^2 \text{ y el otro } f^2 \text{ respectivamente} \quad \bigstar^2$$

$$\sum_{k=0}^{20} \left(\sum_{i+j=k} a_i \cdot b_j \right) X^k$$

En esa sumatoria fea, solo me interesa el término con $k = 19$

$$\sum_{i+j=19} a_i b_j X^{19} \underset{!}{\overset{\bigstar^1}{=}} (a_9 \cdot b_{10} + a_{10} \cdot b_9) X^{19} \overset{\bigstar^2}{=} 2 \cdot a_9 \cdot b_{10} X^{19}$$

Hay que resolver esas ecuaciones. Primero a *ojímetro saco* b_{10}:

$$b_{10} = (-3)^2 = 9$$

a_9 no es tan fácil. Hay que volver a usar $\sum f \cdot g$ en $k = 9$:

$$f \cdot f = \sum_{k=0}^{10} \left(\sum_{i+j=k} c_i \cdot d_j \right) X^k \xrightarrow[\text{término } k=9]{\text{quiero el}} \sum_{i+j=9} c_i \cdot d_j X^9 \overset{\bigstar^3}{=} (c_4 \cdot d_5 + c_5 \cdot d_4) X^9 \overset{\bigstar^2}{=} (2 \cdot c_4 \cdot d_5) X^9$$

Parecido a antes primero calculo d_5 y c_4 a *ojímetro*:

$$d_5 = -3 \quad \text{y} \quad c_4 = 1$$

Vuelvo el foco a a_9:

$$a_9 = 2 \cdot 1 \cdot -3 = -6$$

Los coeficientes principales:

$$\begin{cases} \text{cp}(f^4) = 2 \cdot (-6) \cdot 9 = -108 \\ \text{cp}(g) = 19 \end{cases} \to \boxed{\text{cp}(f^4 + g) = -89} \quad \checkmark$$

★[1]: Sabemos que el $\text{gr}(f^4) = 20 \implies \text{gr}(f^2) = 10$. Viendo las posibles combinaciones al multiplicar 2 polinomios de manera tal que los exponentes de las X sumen 19, es decir $X^i \cdot X^j = X^{19}$ con $i, j \leq 10$ solo puede ocurrir *cuando los exponentes* $\left\{\begin{array}{c} i = 10,\ j = 9 \\ \\ i = 9,\ j = 10 \end{array}\right\}$

★[2]: Porque estoy multiplicando el mismo polinomio, $a_i = b_i$. Pero lo dejo distinto para hacerlos *visualmente* más genérico.

★[3]: Idem ★[1] para el polinomio f

grado: 19

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz

---

2. Calcular el coeficiente de X^{20} de los siguientes polinomios

i) $(X^{18} + X^{16} + 1)(X^5 + X^4 + X^3 + X^2 + X + 1)$ en $\mathbb{Q}[X]$ y en $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})[X]$

ii) $(X - 3i)^{133}$ en $\mathbb{C}[X]$

iii) $(X - 1)^4(X + 5)^{19} + X^{33} - 5X^{20} + 7$ en $\mathbb{Q}[X]$

iv) $X^{10}(X^5 + 4)^7$ en $(\mathbb{Z}/5\mathbb{Z})[X]$

---

i) Expandimos el polinomio y nos fijamos:

$$(X^{18} + X^{16} + 1)(X^5 + X^4 + X^3 + X^2 + X + 1) =$$

$$= X^{23} + X^{22} + 2X^{21} + 2X^{20} + 2X^{19} + 3X^{18} + X^{17} + X^{16} + X^5 + X^4 + X^3 + X^2 + X + 1$$

Para $\mathbb{Q}[X]$ el coeficiente es 2 y para $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})[X]$ es 0 pues $2 \equiv 0\ (2)$

ii) Consideramos el binomio de newton:

$$(a + b)^n = \sum_{k=0}^{n} \binom{n}{k} a^k \cdot b^{n-k}$$

Aplicamos el binomio a el ejercicio:

$$(X + (-3i))^{133} = \sum_{k=0}^{133} \binom{133}{k} X^k \cdot (-3i)^{133-k}$$

Ahora queremos ver el coeficiente de X^20, es decir cuando en la sumatoria $k = 20$, se ve que el coeficiente que acompaña a la X es $\boxed{\binom{133}{20} \cdot (-3)^{113} \cdot i}$

iii) Consideremos el binomio de newton para los primeros dos terminos:

$$(X - 1)^4(X + 5)^{19} = \sum_{k=0}^{4} \binom{4}{k} X^k \cdot (-1)^{4-k} \cdot \sum_{j=0}^{19} \binom{19}{j} X^j \cdot 5^{19-j}$$

Nos interesa cuando el coeficiente de la X sea 20, es decir las combinaciones de k y j tal que $k+j=20$ Esas posibles combinaciones son $(j,k)=(19,1),(18,2),(17,3),(16,4)$.

Caso $(19,1)$: $\binom{19}{19}X^{19}\cdot 5^{19-19}\cdot\binom{4}{1}X^1\cdot(-1)^{4-1}=-4X^{20}$

Caso $(18,2)$: $\binom{19}{18}X^{18}\cdot 5^{19-18}\cdot\binom{4}{2}X^2\cdot(-1)^{4-2}=570X^{20}$

Caso $(17,3)$: $\binom{19}{17}X^{17}\cdot 5^{19-17}\cdot\binom{4}{3}X^3\cdot(-1)^{4-3}=-17100X^{20}$

Caso $(16,4)$: $\binom{19}{16}X^{16}\cdot 5^{19-16}\cdot\binom{4}{4}X^4\cdot(-1)^{4-4}=121125X^{20}$

Luego comparando el resto de coeficientes de X^{20} del polinomio tenemos que los coeficientes suman a: $-4+570-17100+121125-5=\boxed{104586}$

iv) Del polinomio nos interesa solo la parte de la derecha cuando el coeficiente de X sea 10, asi al multiplicarse por el X^{10} el grado se hace 20. Hacemos la expansion binomial:

$$(X^5+4)^7=\sum_{k=0}^{7}\binom{7}{k}(X^5)^k\cdot 4^{7-k}$$

Queremos $k=2$, ahi el coeficiente de X^{10} seria $\binom{7}{2}\cdot 4^5=21\cdot 1024=21504\equiv\boxed{4}\ (5)$

Finalmente ese coeficiente que acompaña a X^{10} se multiplica por el otro X^{10}, siendo el coeficiente de X^{20}

Dale las gracias y un poco de amor ❤ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
sigfripro

---

3. Hallar, cuando existan, todos los $f\in\mathbb{C}[X]$ tales que:

i) $f^2=Xf+X+1$,

ii) $f^2-Xf=-X^2+1$,

iii) $(X+1)f^2=X^6+Xf$,

iv) $f\neq 0$ y $f^3=\text{gr}(f)\cdot X^2 f$.

---

i) La ecuación se tiene que cumplir para todo valor de X, así que no es cuestión de buscar algún valor para el que la igualdad se cumpla. Acomodo la ecuación:

$$f^2=Xf+X+1\overset{!}{\Leftrightarrow}(f-1)\cdot(f+1)=X\cdot(f+1)\overset{!}{\Leftrightarrow}(f+1)\cdot(f-(X+1))=\underset{g}{\underset{\downarrow}{0}}$$

Eso último es una igualación de polinomios, donde el polinomio del miembro derecho es $g=0$. Entonces, para que se cumpla esa igualdad para todo valor de X, el miembro izquierdo también tiene que ser 0 para todo valor de X. Eso ocurre cuando:

$$f=-1 \quad \text{o} \quad f=X+1$$

ii) Mirando la ecuación se puede calcular el grado que debería tener f:

1) ¿Puede ser $\text{gr}(f)=0$?

$$f=k\implies k^2-X\cdot k=-X^2+1,$$

No cierra el tema del grado. Para que un polinomio sea igual a otro, estos deben tener igual grado.

2) ¿Puede ser $\text{gr}(f)=1$?

$$f=bX+c\implies b^2X+2bcX+c^2-bX^2+Xc=-X^2+1,$$

en el miembro izquierdo se cancelan los términos cuadráticos, por lo que nuevamente no voy a poder tener un polinomios iguales en ambos miembros de la ecuación.

3) ¿Puede ser $\text{gr}(f) = 2$?

$$f = aX^2 + bX + c \overset{!}{\Rightarrow} (aX^2 + b^2X + c)^2 - X(aX^2 + bX + c) = -X^2 + 1,$$

Acá nos queda el miembro izquierdo con $\text{gr}(4)$ y el izquierdo con $\text{gr}(2)$, así que no hay f, *bla, bla, bla.*

4) ¿Puede ser $\text{gr}(f) \geq 3$?. Diría que no por razones muy interesantes.

iii) En este caso se puede ver que el miembro izquierdo va a tener siempre grado impar. Para que el miembro derecho tenga grado impar, necesito que f sea algo que cancele el X^6

$$\text{gr}((X+1)\cdot f^2) = \text{gr}(X \cdot (X^5 + f)) \Leftrightarrow \text{gr}(X+1) + \text{gr}(f^2) = \text{gr}(X)\cdot \text{gr}(X^5+f) \overset{!}{\Leftrightarrow} \underbrace{2\cdot \text{gr}(f)}_{\text{par}} \overset{\star^1}{=} \text{gr}(X^5+f)$$

Analizamos la última ecuación para distintos grados:

$$\begin{array}{llll} \text{si} & \text{gr}(f) < 5 & \Longrightarrow & \text{gr}(X^5+f) = 5 \quad \star^2 \\ \text{si} & \text{gr}(f) = 5 & \Longrightarrow & \text{gr}(X^5+f) \leq 5 \quad \star^3 \\ \text{si} & \text{gr}(f) > 5 & \Longrightarrow & \text{gr}(X^5+f) = \text{gr}(f) \quad \star^4 \end{array}$$

Entonces no tenemos un valor para el grado de f en el que haya un balance en la ecuación $\star^1$, porque:

$\star^2$ El miembro derecho de $\star^1$ tendría un valor par así que descartado.

$\star^3$ El miembro derecho de $\star^1$ tendría un grado igual a 10 así que descartado.

$\star^4$ El miembro derecho de $\star^1$ tendría un grado del doble que el polinomio del miembro izquierdo.

iv) Si $f \neq 0$:

$$f^3 = \text{gr}(f)\cdot X^2 f \overset{!}{\Leftrightarrow} f\cdot(f^2 - \text{gr}(f)X^2) = 0$$

Como por enunciado $f \neq 0$, para que el miembro izquierdo sea 0, necesitamos que:

$$(f^2 - \text{gr}(f)X^2) = 0 \Leftrightarrow \text{gr}(f^2) = \text{gr}\left(\text{gr}(f)\cdot X^2\right) = 2 \Leftrightarrow 2\,\text{gr}(f) = 2 \Leftrightarrow \text{gr}(f) = 1$$

Entonces $\text{gr}(f) = 1 \implies f = aX$, evalúo en la ecuación del enunciado para averiguar el valor de a:

$$a^3\cdot X^3 = 1\cdot X^2\cdot aX = aX^3 \Leftrightarrow a\cdot(a^2-1)X^3 = 0 \xLeftrightarrow[\Longrightarrow\ a\neq 0]{\text{si } f\neq 0} \begin{cases} a = 1 \\ \quad \text{y} \\ a = -1 \end{cases}$$

Por lo tanto los polinomios f que cumplen son:

$$f = -X \quad \text{y} \quad f = X$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz Ramiro E.

---

4. Hallar el cociente y el resto de la división de f por g en los casos

i) $f = 5X^4 + 2X^3 - X + 4$ y $g = X^2 + 2$ en $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$, $\mathbb{C}[X]$,

ii) $f = 4X^4 + X^3 - 4$ y $g = 2X^2 + 1$ en $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$, $\mathbb{C}[X]$ y $(\mathbb{Z}/7\mathbb{Z})[X]$,

iii) $f = X^n - 1$ y $g = X - 1$ en $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$, $\mathbb{C}[X]$ y $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})[X]$

i)

$$
\begin{array}{rrrr|l}
5X^4 + 2X^3 & & -X & +4 & X^2+2 \\ \cline{5-5}
-5X^4 \qquad & -10X^2 & & & 5X^2+2X-10 \\ \cline{1-2}
2X^3 & -10X^2 & -X & & \\
-2X^3 & & -4X & & \\ \cline{1-3}
 & -10X^2 & -5X & +4 & \\
 & 10X^2 & & +20 & \\ \cline{2-4}
 & & -5X & +24 &
\end{array}
$$

Resultado válido para $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$, $\mathbb{C}[X]$

ii)

$$
\begin{array}{rrrr|l}
4X^4 + X^3 & & & -4 & 2X^2+1 \\ \cline{5-5}
-4X^4 \qquad & -2X^2 & & & 2X^2+\frac{1}{2}X-1 \\ \cline{1-2}
X^3 & -2X^2 & & & \\
-X^3 & & -\frac{1}{2}X & & \\ \cline{1-3}
 & -2X^2 & -\frac{1}{2}X & -4 & \\
 & 2X^2 & & +1 & \\ \cline{2-4}
 & & -\frac{1}{2}X & -3 &
\end{array}
$$

Resultado válido para $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$, $\mathbb{C}[X]$

En $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z} \ \to 4X^4 + X^3 - 4 = (2X^2+1)\cdot \underbrace{(2X^2+4X+6)}_{q[X]} + \underbrace{(3X+4)}_{r[X]}$

iii) Después de hacer un par iteraciones en la división asoma la idea de que:

$$X^n - 1 = (X-1)\cdot \underbrace{\sum_{j=0}^{n-1} X^j}_{q[X]} + \underbrace{0}_{r[X]}, \qquad \text{(que es la geométrica con } X \neq 1)$$

Inducción: Quiero probar que:

$$p(n) : X^n - 1 = (X-1)\cdot \sum_{j=0}^{n-1} X^j \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : X^1 - 1 = (X-1) \underbrace{\sum_{j=0}^{1-1} X^j}_{X^0=1} \implies p(1)$$

Entonce, $p(1)$ es Verdadero

Paso inductivo.

Asumo que:

$$\underbrace{p(k) : X^k - 1 = (X-1)\cdot \sum_{j=0}^{k-1} X^j}_{\text{hipótesis inductiva}} \text{ es Verdadera.}$$

Entonces quiero probar que:

$$p(k+1) : X^{k+1} - 1 = (X-1)\cdot \sum_{j=0}^{k} X^j$$

también lo sea. Arranco las cuentulis:

$$(X-1)\cdot \sum_{j=0}^{k} X^j = (X-1)\cdot (\sum_{j=0}^{k-1} X^j + X^k) = (X-1)\cdot \sum_{j=0}^{k-1} X^j + (X-1)\cdot X^k \overset{\text{HI}}{=} X^k - 1 + X^{k+1} - X^k = X^{k+1} - 1$$

Dado que $p(1)$, $p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron verdaderas por el principio de inducción también será verdadera $p(n)\ \forall n \in \mathbb{N}$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz

---

5. Determinar todos los $a \in \mathbb{C}$ tales que

i) $X^3 + 2X^2 + 2X + 1$ sea divisible por $X^2 + aX + 1$,

ii) $X^4 - aX^3 + 2X^2 + X + 1$ sea divisible por $X^2 + X + 1$,

iii) El resto de la división de $X^5 - 3x^3 - x^2 - 2X + 1$ por $X^2 + aX + 1$ sea $-8X + 4$.

---

i) Haciendo la division de $X^3 + 2X^2 + 2X + 1$ por $X^2 + aX + 1$, se tiene que:

$$X^3 + 2X^2 + 2X + 1 = (X - a + 2)(X^2 + aX + 1) + \underbrace{(a^2 - 2a + 1)X + a - 1}_{\text{resto}}$$

Así, para que $X^3 + 2X^2 + 2X + 1$ sea divisible por $X^2 + aX + 1$ tiene que ocurrir que el resto sea 0. O sea,

$$\begin{aligned} X^2 + aX + 1 \,\big|\, X^3 + 2X^2 + 2X + 1 &\iff (a^2 - 2a + 1)X + a - 1 = 0 \\ &\iff \begin{cases} a^2 - 2a + 1 = 0 \\ a - 1 = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

Analizo las ecuaciones:

- $a - 1 = 0 \iff a = 1$
- $a^2 - 2a + 1 = 0 \xrightarrow{a=1} 1^2 - 2 \cdot 1 + 1 = 1 - 2 + 1 = 0$

Luego, el valor de $a \in \mathbb{C}$ tal que $X^3 + 2X^2 + 2X + 1$ es divisible por $X^2 + aX + 1$ es $\boxed{a = 1}$.

ii) ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LaTeX→ una *pull request* al .

iii) Haciendo la division de:

$$X^5 - 3X^3 - X^2 - 2X + 1 \text{ por } X^2 + aX + 1,$$

se tiene que:

$$X^5 - 3X^3 - X^2 - 2X + 1 = q \cdot (X^2 + aX + 1) + \overset{\text{resto}}{\overset{\uparrow}{r}}$$
$$\text{con} \begin{cases} q &= (X^3 - aX^2 + (a^2 - 4)X - a^3 + 5a - 1) \\ r &= (a^4 - 6a^2 + a + 2)X + a^3 - 5a + 2. \end{cases}$$

Ahora viene la igualación de polinomios para encontrar ese valor de a:

$$\begin{aligned} r = -8X + 4 &\iff (a^4 - 6a^2 + a + 2)X + a^3 - 5a + 2 = -8X + 4 \\ &\iff \begin{cases} a^4 - 6a^2 + a + 2 = -8 \\ a^3 - 5a + 2 = 4 \end{cases} \\ &\iff \begin{cases} a^4 - 6a^2 + a + 10 &= 0 \ \star^1 \\ a^3 - 5a - 2 &= 0 \ \star^2 \end{cases} \end{aligned}$$

Analizo las ecuaciones:

★[2] $a^3 - 5a - 2 = 0 \Leftrightarrow a(a^2-5) - 2 = 0$
Veo que $a = -2$ es solución, por lo que divido $a^3 - 5a - 2$ por $a + 2$ con Ruffini:

$$\begin{array}{c|cccc} & 1 & 0 & -5 & -2 \\ -2 & & -2 & 4 & 2 \\ \hline & 1 & -2 & -1 & \boxed{0} \end{array}$$

Por lo que:

$$a^3 - 5a - 2 = (a+2)(a^2 - 2a - 1).$$

Busco las raíces de $a^2 - 2a - 1$ con la fórmula resolvente:

$$\begin{aligned} a_{+,-} &= \frac{2 \pm \sqrt{(-2)^2 - 4 \cdot (-1)}}{2} \\ &= \frac{2 \pm \sqrt{8}}{2} \\ &= 1 \pm \sqrt{2} \end{aligned}$$

Por lo que:

$$a^3 - 5a - 2 = (a+2)(a - 1 + \sqrt{2})(a - 1 - \sqrt{2}) = 0 \iff \begin{cases} a = -2 \\ a = 1 + \sqrt{2} \\ a = 1 - \sqrt{2} \end{cases}$$

★[1] $a^4 - 6a^2 + a + 10 = 0$. Me fijo que valores de a obtenidos antes verifican:

- Si $a = -2 \implies (-2)^4 - 6(-2)^2 - 2 + 10 = 16 - 24 - 2 + 10 = 0 \quad \checkmark$
- Si $a = 1 + \sqrt{2} \implies (1+\sqrt{2})^4 - 6(1+\sqrt{2})^2 + 1 + \sqrt{2} + 10 = 10 + \sqrt{2} \neq 0$
- Si $a = 1 - \sqrt{2} \implies (1-\sqrt{2})^4 - 6(1-\sqrt{2})^2 + 1 - \sqrt{2} + 10 = 10 - \sqrt{2} \neq 0$

Luego, el único valor de $a \in \mathbb{C}$ tal que el resto de dividir a $X^5 - 3x^3 - x^2 - 2X + 1$ por $X^2 + aX + 1$ sea $-8X + 4$ es $\boxed{a = -2}$

`Dale las gracias y un poco de amor ♥ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:`
`Autor original` `naD GarRaz`

---

6. *Definición:* Sea K un cuerpo y sea $h \in K[X]$ un polinomio no nulo. Dados $f, g \in K[X]$, se dice que f es congruente a g módulo h si $h \mid f - g$. En tal caso se escribe $f \equiv g\ (h)$.

i) Probar que $\equiv\ (h)$ es una relación de equivalencia en $K[X]$.

ii) Probar que si $f_1 \equiv g_1\ (h)$ y $f_2 \equiv g_2\ (h)$ entonces $f_1 + f_2 \equiv g_1 + g_2\ (h)$ $f_1 \cdot f_2 \equiv g_1 \cdot g_2\ (h)$.

iii) Probar que si $f \equiv g\ (h)$ entonces $f^n \equiv g^n\ (h)$ para todo $n \in \mathbb{N}$.

iv) Probar que r es el resto de la división de f por h si y solo si $f \equiv r\ (h)$ y $r = 0$ o $\text{gr}(r) < \text{gr}(h)$.

---

i) uff... Para probar que esto es una relación de equivalencia pruebo que sea *reflexiva*, *simétrica* y *transitiva*,

- *reflexiva*: ¿Es f congruente a f módulo h?

$$f \equiv f\ (h) \iff h \mid f - f = 0 \iff h \mid 0$$

La relación es *reflexiva*, porque todo polinomio divide al 0.

- *simétrica*: Si $f \equiv g\ (h) \overset{?}{\iff} g \equiv f\ (h)$

$$f \equiv g\ (h) \iff h \,\big|\, f-g \iff h \,\big|\, -(g-f) \iff h \,\big|\, g-f \iff g \equiv f\ (h)$$

La relación es *simétrica*.

- *transitiva*: Si

$$\begin{cases} f \equiv g\ (h) \\ g \equiv p\ (h) \end{cases} \overset{?}{\iff} f \equiv p\ (h).$$

$$\begin{cases} h \,\big|\, f-g \\ h \,\big|\, g-p \end{cases} \xrightarrow[\to F_2]{F_1+F_2} \begin{cases} h \,\big|\, f-g \\ h \,\big|\, f-p \end{cases} \to f \equiv p\ (h)$$

También resultó ser *transitiva*.

Cumple condiciones para ser una relación de equivalencias en $K[X]$

ii) Si

$$\begin{cases} f_1 \equiv g_1\ (h) \\ f_2 \equiv g_2\ (h)\bigstar^1 \end{cases},$$

entonces

$$f_1 \equiv g_1\ (h) \iff h \,\big|\, f_1-g_1 \overset{!}{\Rightarrow} h \,\big|\, f_2\cdot(f_1-g_1) \iff f_1\cdot f_2 \equiv g_1\cdot f_2\ (h) \overset{\bigstar^1}{\iff} f_1\cdot f_2 \equiv g_1\cdot g_2\ (h).$$

Y así queda demostrado.

iii) *Inducción:* Quiero probar que:

$$p(n): \text{ Si } f \equiv g\ (h) \implies f^n \equiv g^n\ (h)\ \forall n \in \mathbb{N}.$$

Caso base:

$$p(1): f^1 \equiv g^1\ (h) \quad \bigstar^2$$

Por lo tanto $p(1)$ resultó verdadera.

Paso inductivo:

Asumo que para algún $k \in \mathbb{N}$:

$$p(k): \underbrace{f^k \equiv g^k\ (h)}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera, entonces quiero probar que para $k+1$:

$$p(k+1): f^{k+1} \equiv g^{k+1}\ (h)$$

también lo sea.

$$f^k \equiv g^k\ (h) \iff h \,\big|\, f^k-g^k \implies h \,\big|\, f\cdot(f^k-g^k) \iff f^{k+1} \equiv f\cdot g^k\ (h) \overset{\bigstar^2}{\iff} f^{k+1} \equiv g^{k+1}\ (h)$$

De esta manera $p(k+1)$ también es verdadera.

Finalmente $p(1), p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron verdaderas y por el principio de inducción $p(n)$ es verdadera $\forall n \in \mathbb{N}$

iv) Quiero probar que:

$$f = d\cdot h + r \Leftrightarrow f \equiv r\ (h) \wedge (r = 0 \vee \text{gr}(r) < \text{gr}(h))$$

($\Rightarrow$)

$$f = d\cdot h + r \overset{\text{def}}{\iff} f \equiv r\ (h)$$

Por hipótesis r es el resto de la división, por condición de resto se va a tener que cumplir que:

$$r = 0 \quad \text{o} \quad \text{gr}(r) < \text{gr}(h)$$

($\Leftarrow$) Tenemos dos casos que ver: $f \equiv r\ (h) \wedge r = 0$ y $f \equiv r\ (h) \wedge \text{gr}(r) < \text{gr}(h)$.
Notar que el caso en el que el $\vee$ incluya las dos condiciones ya esta tomado en cuenta cuando $r = 0$ pues si eso ocurre automaticamente $\text{gr}(r) < \text{gr}(h)$.

$$f \equiv r\ (h) \wedge r = 0 \implies f = d \cdot h + r$$

Cuando $r = 0$, la congruencia va a ser $f \equiv 0\ (h)$, luego por definicion de la congruencia se llega a que $f = d \cdot h + 0$

$$f \equiv r\ (h) \wedge \text{gr}(r) < \text{gr}(h) \implies f = d \cdot h + r$$

Por definicion de la congruencia llegamos a que $f = d \cdot h + r$, luego sabemos que $\text{gr}(r) < \text{gr}(h)$ es la condicion que tiene que tener el resto (por definicion), luego r es el resto, como se queria ver.

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz sigfripro

---

7. Hallar el resto de la división de f por g para:

i) $f = X^{353} - X - 1$ y $g = X^{31} - 2$ en $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$, $\mathbb{C}[X]$,

ii) $f = X^{1000} + X^{40} + X^{20} + 1$ y $g = X^6 + 1$ en $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$, $\mathbb{C}[X]$ y $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})[X]$

iii) $f = X^{200} - 3X^{101} + 2$, y $g = X^{100} - X + 1$ en $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$, $\mathbb{C}[X]$,

iv) $f = X^{3016} + 2X^{1833} - X^{174} + X^{137} + 2X^4 - X^3 + 1$, y $g = X^4 + X^3 + X^2 + X + 1$ en $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$, $\mathbb{C}[X]$ (Sugerencia ver 4. iii)).

---

i) $g \mid g \iff X^{31} - 2 \equiv 0\ (X^{31} - 2) \iff X^{31} \equiv 2\ (g)$

$f = X^{353} - X - 1 = (\underbrace{X^{31}}_{\overset{(g)}{\equiv} 2})^{11} X^{12} - X - 1 \overset{(g)}{\equiv} 2^{11} X^{12} - X - 1 \to \boxed{r_g(f) = 2^{11} X^{12} - 1}$

ii) $g \mid g \iff X^6 + 1 \equiv 0\ (X^6 + 1) \iff X^6 \equiv -1\ (g)$

$f = X^{1000} + X^{40} + X^{20} + 1 = (X^6)^{166} X^4 + (X^6)^6 X^4 + (X^6)^3 X^2 + 1 \overset{(g)}{\equiv} X^4 + X^4 - X^2 + 1 = 2X^4 - X^2 + 1$
$\to \boxed{r_g(f) = 2X^4 - X^2 + 1}$

¿Qué onda en $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$? $\to \begin{cases} \text{si } p = 2 \to \boxed{X^2 + 1} \\ \text{si } p > 2 \to \boxed{2X^4 + (p-1)X^2 + 1} \end{cases}$

iii) $g \mid g \iff X^{100} - X + 1 \equiv 0\ (X^{100} - X + 1) \iff X^{100} \equiv X - 1\ (g)$

$f = X^{200} - 3X^{101} + 2 = (X^{100})^2 - 3X^{100}X + 2 \overset{(g)}{\equiv} (X-1)^2 - 3(X-1)X + 2$
$\to \boxed{r_g(f) = (X-1)^2 - 3(X-1)X + 2}$

iv) *Usando la sugerencia*: Del ejercicio 4.iii) sale que:

$$X^n - 1 = (X - 1) \cdot \sum_{k=0}^{n-1} X^k$$

Con $n = 5$:

$$X^5 - 1 = (X-1)\underbrace{(X^4 + X^3 + X^2 + X + 1)}_{g} \overset{!}{\Leftrightarrow} X^5 \equiv \underbrace{1}_{r_g(X^5)}\ (g)\bigstar^1$$

Usando ese resultado de congruencia, reescribo f:

$$f = (X^5)^{603}X + 2(X^5)^{366}X^3 - (X^5)^{34}X^4 + (X^5)^{27}X^2 + 2X^4 - X^3 + 1 \overset{\star 1}{\iff} f \equiv \underbrace{X + 2X^3 - X^4 + X^2 + 2X^4 - X^3 + 1}_{=X^4+X^3+X^2+X+1=g} \ (g)$$

$$\iff \boxed{f \equiv 0 \ (g)}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz

---

8. Sea $\mathbb{K}$ un cuerpo. Sean $n \in \mathbb{N}$ y $a \in \mathbb{K}$.

i) Probar que $X - a \mid X^n - a^n$ en $K[X]$.

ii) Probar que si n es impar entonces $X + a \mid X^n + a^n$ en $\mathbb{K}[X]$.

iii) Probar que si n es par entonces $X + a \mid X^n - a^n$ en $\mathbb{K}[X]$.

Calcular los cocientes en cada caso.

---

i) Pruebo por inducción:

$$p(n) : X - a \mid X^n - a^n \quad \text{en } \mathbb{K}[X] \ \ \forall n \in \mathbb{N}\,.$$

Caso base:

$$p(1) : X - a \mid X^1 - a^1$$

El caso $p(1)$ es verdadero.

Paso inductivo: Asumo que

$$p(k) : \underbrace{X - a \mid X^k - a^k}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadero. Entonces quiero probar que

$$p(k+1) : X - a \mid X^{k+1} - a^{k+1}$$

también lo sea.

Arranco haciendo a mano la división a mano del caso $k+1$ en la primera iteración tengo que:

$$\begin{array}{rcl} X^{k+1} - a^{k+1} & = & X^k \cdot (X - a) + aX^k - a^{k+1} \\ & = & X^k \cdot (X - a) + a \cdot (X^k - a^k) \end{array} \xrightarrow[\div \text{ MAM } (X-a)]{\text{HI}} \frac{X^{k+1} - a^{k+1}}{X - a} = \frac{X^k \cdot \cancel{(X-a)}}{\cancel{X-a}} + \frac{a \cdot \cancel{(X^k - a^k)}}{\cancel{X-a}}$$

Ese último paso muestra que $X - a \mid X^{k+1} - a^{k+1}$ entonces $p(k+1)$ también es verdadera.

Dado que $p(1), p(k) \quad$ y $\quad p(k+1)$ resultaron verdaderas por criterio de inducción $p(n)$ también lo es $\ \forall n \in \mathbb{N}$.

ii) Por induccion nuevamente:

$$p(n) : X + a \mid X^{2k+1} + a^{2k+1} \quad \text{en } \mathbb{K}[X] \ \ \forall k \in \mathbb{N}_0$$

Caso base:

$$p(0) : X + a \mid X^1 + a^1$$

El caso $p(0)$ es verdadero.

Paso inductivo: Asumo que

$$p(k) : \underbrace{X + a \mid X^{2k+1} + a^{2k+1}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadero. Luego quiero probar que

$$p(k+1) : X + a \,|\, X^{2(k+1)+1} + a^{2(k+1)+1} = X^{2k+3} + a^{2k+3}$$

sea verdadero tambien.

Acá la idea es similar al ítem anterior, hacemos una división a mano y luego agrupamos y aplicamos la hipótesis inductiva, para la cual necesitamos de exponente $2k+1$ pero tenemos $2k+3$, entonces en vez de dividir por $X+a$, dividimos por $X^2 - a^2$.

$$\begin{array}{rcl} X^{2k+3} + a^{2k+3} & = & X^{2k+1} \cdot (X^2 - a^2) + a^{2k+3} + X^{2k+1} \cdot a^2 \\ & = & X^{2k+1} \cdot (X+a)(X-a) + a^2 \cdot (X^{2k+1} + a^{2k+1}) \end{array}$$

Aplicando la hipótesis inductiva se ve que el caso $p(k+1)$ es verdadero. Luego $p(k)$ es verdadera $\forall k \in \mathbb{N}_0$, como se quería probar.

iii) Procedimiento igual a los anteriores:

$$p(n) : X + a \,|\, X^{2k} - a^{2k} \quad \text{en } \mathbb{K}[X] \ \forall k \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : X + a \,|\, X^2 - a^2 = (X-a)(X+a)$$

El caso $p(1)$ es verdadero. Asumo que

$$p(k) : \underbrace{X + a \,|\, X^{2k} - a^{2k}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadero. Luego quiero probar que

$$p(k+1) : X + a \,|\, X^{2k+2} - a^{2k+2}$$

$$\begin{array}{rcl} X^{2k} - a^{2k} & = & X^{2k} \cdot (X^2 - a^2) - a^{2k+2} + a^2 \cdot X^{2k} \\ & = & X^{2k} \cdot (X-a)(X+a) + a^2 \cdot (X^{2k} - a^{2k}) \end{array}$$

Aplicando la hipótesis inductiva se ve que el caso $p(k+1)$ es verdadero. Luego $p(k)$ es verdadera $\forall k \in \mathbb{N}$, como se quería probar.

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz sigfripro

---

9. Calcular el máximo común divisor entre f y g en $\mathbb{Q}[X]$ y escribirlo como combinación polinomial de f y g siendo:

i) $f = X^5 + X^3 - 6X^2 + 2X + 2$, $g = X^4 - X^3 - X^2 + 1$,

ii) $f = X^6 + X^4 + X^2 + 1$, $g = X^3 + X$,

iii) $f = 2X^6 - 4X^5 + X^4 + 4X^3 - 6X^2 + 4X + 1$, $g = X^5 - 2X^4 + 2X^2 - 3X + 1$,

---

i) Hacemos la división hermosa de polinomios:

$$\begin{array}{rrrrrr|l} X^5 & & +X^3 & -6X^2 & +2X & +2 & X^4 - X^3 - X^2 + 1 \\ \cline{7-7} -X^5 & +X^4 & +X^3 & & -X & & X + 1 \\ \cline{1-5} & X^4 & +2X^3 & -6X^2 & +X & +2 & \\ & -X^4 & +X^3 & +X^2 & & -1 & \\ \cline{2-6} & & 3X^3 & -5X^2 & +X & +1 & \end{array}$$

Todo muy lindo. Según Euclides:

$$(f : g) = (\underbrace{X^4 - X^3 - X^2 + 1}_{g} : 3X^3 - 55X^2 + X + 1)$$

Escribo a f en función de g:

$$f = (X + 1) \cdot (X^4 - X^3 - X^2 + 1) + 3X^3 - 55X^2 + X + 1$$

Otra vez:

$$\begin{array}{r|l}
X^4 \quad - X^3 \quad - X^2 \qquad\quad + 1 & 3X^3 - 5X^2 + X + 1 \\ \hline
-X^4 + \frac{5}{3}X^3 - \frac{1}{3}X^2 - \frac{1}{3}X \quad & \frac{1}{3}X + \frac{2}{9} \\
\frac{2}{3}X^3 - \frac{4}{3}X^2 - \frac{1}{3}X + 1 & \\
-\frac{2}{3}X^3 + \frac{10}{9}X^2 - \frac{2}{9}X - \frac{2}{9} & \\ \hline
-\frac{2}{9}X^2 - \frac{5}{9}X + \frac{7}{9} &
\end{array}$$

y otra vez... ?:

$$\begin{array}{r|l}
3X^3 \quad - 5X^2 \quad + X \quad + 1 & -\frac{2}{9}X^2 - \frac{5}{9}X + \frac{7}{9} \\ \hline
-3X^3 - \frac{15}{2}X^2 + \frac{21}{2}X \quad & -\frac{27}{2}X + \frac{225}{4} \\
-\frac{25}{2}X^2 + \frac{23}{2}X + 1 & \\
\frac{25}{2}X^2 + \frac{125}{4}X - \frac{175}{4} & \\ \hline
\frac{171}{4}X - \frac{171}{4} &
\end{array}$$

...da fuck is this?

$$\begin{array}{r|l}
-\frac{2}{9}X^2 - \frac{5}{9}X + \frac{7}{9} & \frac{171}{4}X - \frac{171}{4} \\ \hline
\frac{2}{9}X^2 - \frac{2}{9}X \quad & -\frac{8}{1539}X - \frac{28}{1539} \\
-\frac{7}{9}X + \frac{7}{9} & \\
\frac{7}{9}X - \frac{7}{9} & \\ \hline
0 &
\end{array}$$

Todo lindo:

$$\begin{aligned}
X^5 + X^3 - 6X^2 + 2X + 2 &= \big(X^4 - X^3 - X^2 + 1\big) \cdot \big(X + 1\big) + \big(3X^3 - 5X^2 + X + 1\big) \\
X^4 - X^3 - X^2 + 1 &= \big(3X^3 - 5X^2 + X + 1\big) \cdot \big(\tfrac{1}{3}X + \tfrac{2}{9}\big) + \big(-\tfrac{2}{9}X^2 - \tfrac{5}{9}X + \tfrac{7}{9}\big) \\
3X^3 - 5X^2 + X + 1 &= \big(-\tfrac{2}{9}X^2 - \tfrac{5}{9}X + \tfrac{7}{9}\big) \cdot \big(-\tfrac{27}{2}X + \tfrac{225}{4}\big) + \big(\tfrac{171}{4}X - \tfrac{171}{4}\big) \\
-\tfrac{2}{9}X^2 - \tfrac{5}{9}X + \tfrac{7}{9} &= \big(\tfrac{171}{4}X - \tfrac{171}{4}\big) \cdot \big(-\tfrac{8}{1539}X - \tfrac{28}{1539}\big) + 0
\end{aligned}$$

El MCD será el *último resto no nulo y mónico*:

$$\boxed{(f : g) = X - 1}$$

ii) Este es más humano:

$$\begin{aligned}
X^6 + X^4 + X^2 + 1 &= \big(X^3 + X\big) \cdot X^3 + \big(X^2 + 1\big) \\
X^3 + X &= \big(X^2 + 1\big) \cdot X + 0
\end{aligned}$$

El MCD será el último resto no nulo y mónico:

$$\boxed{(f : g) = X^2 + 1}$$

El MCD escrito como combinación polinomial de f y g:

$$\boxed{X^2 + 1 = f \cdot 1 + g \cdot (-X^3)}$$

iii) Euclides nuevamente:

$$\begin{array}{rcccccc}
2X^6-4X^5+X^4+4X^3-6X^2+4X+1 = & \left(X^5-2X^4+2X^2-3X+1\right)\cdot 2X+\left(X^4+2X+1\right) \\
X^5-2X^4+2X^2-3X+1 = & \left(X^4+2X+1\right) \quad \cdot \quad (X-2) \quad +3 \\
X^4+2X+1 = & 3 \quad \cdot \quad \left(\frac{1}{3}X^4+\frac{2}{3}X+\frac{1}{3}\right) \quad +0
\end{array}$$

El MCD será el último resto no nulo y *mónico*:

$$\boxed{(f:g)=1}$$

El MCD escrito como combinación polinomial de f y g:

$$\boxed{1=\frac{1}{3}g\cdot(2X^2-4X+1)-\frac{1}{3}f\cdot(X-2)}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz

---

10. Sea $f\in\mathbb{Q}[X]$ tal que $f(1)=-2, f(2)=1$ y $f(-1)=0$. Hallar el resto de la división de f por X^3-2X^2-X+2.

En general $P\in\mathbb{K}[X] \implies$ *el resto de dividir a* P *por* $X-a$ *es* $P(a)$, es decir:

$$P=Q\cdot(X-a)+\underbrace{r}_{P(a)} \quad \text{con} \quad Q\in\mathbb{K}[X]$$

A ver con lo que nos dieron en el enunciado:

$$f(X)=q(X)\cdot\underbrace{X^3-2X^2-X+2}_{g(X)}+r(X) \quad \text{con} \quad g(X)=\underbrace{(X-2)\cdot(X-1)\cdot(X+1)}_{!!!} \quad \text{y} \quad r(X)=a^2+bX+c,$$

hay que notar que $r(X)$ cumple condición de resto, ya que el $\text{gr}(r)<\text{gr}(g)$. Y ese g nos queda hermoso para los valores del enunciado como habrás (o no) notado.

$$\left\{\begin{array}{rcccc}
f(1) & = & q(1)\cdot\cancelto{0}{g(1)}+r(1) & = & -2 \\
f(2) & = & q(2)\cdot\cancelto{0}{g(2)}+r(2) & = & 1 \\
f(-1) & = & q(-1)\cdot\cancelto{0}{g(-1)}+r(-1) & = & 0
\end{array}\right. \Leftrightarrow \left\{\begin{array}{l}
r(1)=a+b+c=-2 \\
r(2)=4a+2b+c=1 \\
r(-1)=a-b+c=0
\end{array}\right.$$

Sistema de 3 ecuaciones y 3 incógnitas. Resuelvo con matriz, porque pinta, pero es innecesario:

$$\left(\begin{array}{ccc|c}
1 & 1 & 1 & -2 \\
4 & 2 & 1 & 1 \\
1 & -1 & 1 & 0
\end{array}\right) \to \left(\begin{array}{ccc|c}
1 & 0 & 0 & \frac{4}{3} \\
0 & 1 & 0 & -1 \\
0 & 0 & 1 & -\frac{7}{3}
\end{array}\right)$$

Por lo tanto el resto pedido es:

$$\boxed{r(X)=\frac{4}{3}X^2-X-\frac{7}{3}}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz

---

11. Sea $n\in\mathbb{N}$, $n\geq 3$. Hallar el resto de la división de $X^{2n}+3X^{n+1}+3X^n-5X^2+2X+1$ por X^3-X en $\mathbb{Q}[X]$.

Es parecido al ejercicio 10? Creo que sí:

$$\begin{cases} f(X) = X^{2n} + 3X^{n+1} + 3X^n - 5X^2 + 2X + 1 \\ g(X) \overset{!!}{=} X \cdot (X-1) \cdot (X+1) \end{cases} \implies f = q(X) \cdot g(X) + r(X) \text{ con } \operatorname{gr}(\underbrace{aX^2 + bX + c}_{r(X)}) \overset{!}{\leq} 2$$

Evalúo para armar un sistema:

$$\begin{cases} f(0) = q(0) \cdot \underbrace{g(0)}_{=0} + r(0) = 1 \\ f(1) = q(1) \cdot \underbrace{g(1)}_{=0} + r(1) = 5 \\ f(-1) = q(-1) \cdot \underbrace{g(-1)}_{=0} + r(-1) = 1 + 3(-1)^{n+1} + 3(-1)^n - 5 - 2 + 1 \overset{!}{=} -5 \end{cases}$$

Habemos sistemus de ecuaciunus para encontrar a $r(X)$:

$$\begin{cases} r(0) = c = 1 \\ r(1) = a + b + 1 = 5 \Leftrightarrow a + b = 4 \\ r(-1) = a - b + 1 = -5 \Leftrightarrow a - b = -6 \end{cases}$$

Nuevamente el uso de matrices es totalmente opcional. Entonces resuelvo para a y b, porque ya tengo c:

$$\left(\begin{array}{cc|c} 1 & 1 & 4 \\ 1 & -1 & -6 \end{array}\right) \Leftrightarrow \left(\begin{array}{cc|c} 1 & 1 & 4 \\ 0 & -2 & -10 \end{array}\right) \Leftrightarrow \left(\begin{array}{cc|c} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 5 \end{array}\right) \to \boxed{r(X) = -X^2 + 5X + 1}$$

Dale las gracias y un poco de amor ♥ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz · Olivia Portero · Ramiro E.

---

12. Hallar la forma binomial de cada una de las raíces complejas del polinomio $f(X) = X^6 + X^3 - 2$.

Primera raíz a *ojímetro*:

$$f(\alpha_1 = 1) = 0 \iff f(X) = q(X) \cdot (X-1) \iff (X-1) \mid f \iff r_{(X-1)}(f) = 0$$

Busco $q(X)$ con algoritmo de división.

$$\begin{array}{l|l} X^6 \qquad\qquad + X^3 \qquad\qquad - 2 & X - 1 \\ \hline -X^6 + X^5 & X^5 + X^4 + X^3 + 2X^2 + 2X + 2 \\ \quad X^5 & \\ \quad -X^5 + X^4 & \\ \qquad X^4 + X^3 & \\ \qquad -X^4 + X^3 & \\ \qquad\quad 2X^3 & \\ \qquad\quad -2X^3 + 2X^2 & \\ \qquad\qquad 2X^2 & \\ \qquad\qquad -2X^2 + 2X & \\ \qquad\qquad\quad 2X - 2 & \\ \qquad\qquad\quad -2X + 2 & \\ \qquad\qquad\qquad 0 & \end{array}$$

El cociente $q(X)$ se puede factorizar en grupos como:

$$q(X) = X^5 + X^4 + X^3 + 2X^2 + 2X + 2 \overset{!}{=} (X^2 + X + 1) \cdot (X^3 + 2).$$

Entonces las 5 raíces que me faltan para tener las 6 que debe tener $f \in \mathbb{C}[X]$ salen de esos dos polinomios. Salen fácil las del polinomio de grado 2:

$$X^2 + X + 1 = 0 \Leftrightarrow \boxed{\begin{array}{l} \alpha_2 = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \alpha_3 = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \end{array}}$$

Resuelvo la ecuación $X^3 + 2 = 0$ usando la notación exponencial del número complejo:

$$X = re^{i\theta}$$

Reemplazo y máquina de hacer chorizos:

$$\left\{ \begin{array}{l} r^3 = 2 \to r = \sqrt[3]{2} \\ 3\theta = \pi + 2k\pi \to \theta = \frac{\pi}{3} + \frac{2k\pi}{3} \text{ con } k = 0,\,1,\,2. \end{array} \right\} \to \boxed{\begin{array}{l} \alpha_4 = \sqrt[3]{2}e^{i\frac{\pi}{3}} = \sqrt[3]{2}(\frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}) \\ \alpha_5 = \sqrt[3]{2}e^{i\pi} = -\sqrt[3]{2} \\ \alpha_6 = \sqrt[3]{2}e^{i\frac{5\pi}{3}} = \sqrt[3]{2}(\frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}) \end{array}}$$

Dale las gracias y un poco de amor ❤ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz

---

13. Sea $w = e^{\frac{2\pi}{7}i}$. Probar que $w + w^2 + w^4$ es raíz del polinomio $X^2 + X + 2$

Voy a usar los resultados para la familias de G_n

$$w \in G_7 \implies \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=0}^{6} w^j = 0 \quad (w \neq 1) \\ w^k = w^{r_7(k)} \end{array} \right.$$

Es cuestión de evaluar y rezar ¿. Tengo que $f(X) = X^2 + X + 2$ y $w + w^2 + w^4$ es raíz de f:

$$f(w+w^2+w^4) = (w+w^2+w^4)^2 + w + w^2 + w^4 + 2 = \underset{=w}{\underset{\downarrow}{w^8}} + 2w^6 + 2w^5 + 2w^4 + 2w^3 + 2w^2 + w + 2 \overset{!}{=} 2 \cdot \sum_{j=0}^{6} w^j = 0$$

Listo efectivamente $w + w^2 + w^4$ es raíz de f.

Dale las gracias y un poco de amor ❤ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz

14.

i) Probar que si $w = e^{\frac{2\pi}{5}i} \in G_5$, entonces $X^2 + X - 1 = [X - (w + w^{-1})] \cdot [X - (w^2 + w^{-2})]$.

ii) Calcula, justificando cuidadosamente, el valor exacto de $\cos(\frac{2\pi}{5})$.

---

i) Voy a usar que si $w \in G_5 \implies \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=0}^{4} w^j = 0 \quad (w \neq 1)\bigstar^2 \\ w^k = w^{r_5(k)}\bigstar^1 \end{array} \right.$

$$X^2 + X - 1 = [X - (w + w^{-1})] \cdot [X - (w^2 + w^{-2})] =$$
$$X^2 - (w^2 + w^{-2})X - (w + w^{-1})X + \underbrace{(w + w^{-1})(w^2 + w^{-2})}_{\bigstar^1} =$$
$$= X^2 - X(\underbrace{w^2 + w^{-2} + w + w^{-1}}_{\bigstar^1}) + \underbrace{w + w^2 + w^3 + w^4}_{\bigstar^2} =$$
$$= X^2 - X(\underbrace{w + w^2 + w^3 + w^4}_{\bigstar^2}) + -1 + \underbrace{1 + w + w^2 + w^3 + w^4}_{=0} = X^2 - X(-1 + \underbrace{1 + w + w^2 + w^3 + w^4}_{=0}) - 1 =$$
$$= X^2 + X - 1 \quad \checkmark$$

ii) Calculando las raíces a mano de

$$X^2 + X - 1 \to \begin{cases} \frac{-1+\sqrt{5}}{2} \\ \text{y} \\ \frac{-1-\sqrt{5}}{2} \end{cases}$$

Pero del resultado del inciso i) tengo que :

$w = e^{i\frac{2\pi}{5}} \xrightarrow[\text{la factorización es}]{\text{sé que una raíz dada}} w + w^{-1} = w + \overline{w} = 2\,\mathrm{Re}(w) = 2 \cdot \underbrace{\cos(\frac{2\pi}{5})}_{\cos\theta \geq 0,\, \theta \in [0,2\pi]} = \frac{-1+\sqrt{5}}{2}$

$\to \boxed{\cos(\frac{2\pi}{5}) = \frac{-1+\sqrt{5}}{4}}$ ✓

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz

15.

i) Sean $f, g \in \mathbb{C}[X]$ y sea $a \in \mathbb{C}$. Probar que a es raíz de f y g si y sólo sí a es raíz de $(f : g)$.

ii) Hallar todas las raíces complejas de $X^4 + 3X - 2$ sabiendo que tiene una raíz en común con $X^4 + 3X^3 - 3X + 1$.

---

i) Hay que probar la doble implicación:

$(\Rightarrow)$

Si a es raíz de f y $g \implies \begin{cases} (X-a)|f \\ (X-a)|g \end{cases} \implies (X-a)$ es una raíz común $\implies (X-a) \,\big|\, (f : g)$

$(\Leftarrow)$ El máximo común divisor tiene los monomios de las factorizaciones comunes elevados al menor exponente. Así que por definición:

$$(f : g) = (X-a)^m$$

entonces $X - a$ está en la factorización de f y g.

No sé siento que la demo esa es muy circular. Salió pedorra.

ii) Usando lo que se demuestra en el ítem anterior, si dos polinomios f y g tienen raíces en común, entonces esas raíces tienen que ser raíces del $(f : g)$:

Si

$$f = X^4 + 3X - 2 \quad \text{y} \quad g = X^4 + 3X^3 - 3X + 1,$$

busco el $(f : g)$:

$$\begin{aligned} X^4 + 3X - 2 &= \big(X^4 + 3X^3 - 3X + 1\big) \cdot 1 + \big(-3X^3 + 6X - 3\big) \\ X^4 + 3X^3 - 3X + 1 &= \big(-3X^3 + 6X - 3\big) \cdot \big(-\tfrac{1}{3}X - 1\big) + \big(2X^2 + 2X - 2\big) \\ -3X^3 + 6X - 3 &= \big(2X^2 + 2X - 2\big) \cdot \big(-\tfrac{3}{2}X + \tfrac{3}{2}\big) + 0 \end{aligned}$$

Obtuve que:

$$(f : g) = X^2 + X - 1$$

Las raíces:

$$\boxed{\begin{cases} \alpha_1 = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \\ \alpha_2 = \frac{1-\sqrt{5}}{2} \end{cases}}$$

Por lo tanto esas raíces son comunes a f y a g.

Luego puedo escribir

$$X^4 + 3X - 2 = (X^2 + X - 1) \cdot (X^2 - X + 2)$$

Y las raíces de $X^2 - X + 2$:

$$\boxed{\begin{cases} \alpha_3 = \frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{7}}{2} \\ \alpha_4 = \frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{7}}{2} \end{cases}}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz

---

16. Determinar la multiplicidad de a como raíz de f en los casos

i) $f = X^5 - 2X^3 + X, \quad a = 1,$

ii) $f = X^6 - 3X^4 + 4, \quad a = i,$

iii) $f = (X-2)^2(X^2-4) + (X-2)^3(X-1), \quad a = 2,$

iv) $f = (X-2)^2(X^2-4) - 4(X-2)^3, \quad a = 2.$

---

i) $f = X^5 - 2X^3 + X, \quad a = 1,$
Todos casos de factoreo:
$f = X^5 - 2X^3 + X = X(X^4 - 2X^2 + 1) = X(X^2-1)^2 = X(X-1)^2(X+1)^2 =$
$\boxed{\text{La multiplicidad de } a = 1 \text{ como raíz es 2.}}$

ii) $f = X^6 - 3X^4 + 4, \quad a = i,$
Si $a = i$ es raíz, entonces $-i$ también lo es en un polinomio $\mathbb{R}[X]$

$$\begin{array}{rl|l}
X^6 - 3X^4 & \quad + 4 & X^2 + 1 \\ \cline{3-3}
-X^6 \ - X^4 & & X^4 - 4X^2 + 4 \\ \cline{1-1}
-4X^4 & & \\
4X^4 + 4X^2 & & \\ \cline{1-1}
4X^2 + 4 & & \\
-4X^2 - 4 & & \\ \cline{1-1}
0 & &
\end{array}$$

$f = (X^2+1)(X^4 - 4X^2 + 4) = (X^2+1)(X^2-2)^2 = (X^2+1)(X-\sqrt{2})^2(X+\sqrt{2})^2 =$
$(X-i)^1(X+i)(X-\sqrt{2})^2(X+\sqrt{2})^2 =$
$\boxed{\text{La multiplicidad de } a = i \text{ como raíz de } f \text{ es 1.}}$

iii) $f = (X-2)^2(X^2-4) + (X-2)^3(X-1), \quad a = 2,$
$f = (X-2)^3((X+2) + (X+1)) = (X-2)^3(2X+3)$
$\boxed{\text{La multiplicidad de } a = 2 \text{ como raíz de } f \text{ es 3.}}$

iv) $f = (X-2)^2(X^2-4) - 4(X-2)^3, \quad a = 2,$
$f = (X-2)^2(X^2-4) - 4(X-2)^3 = (X-2)^2(X-2)(X+2) - 4(X-2)^3 =$
$(X-2)^3(X+2-4) = (X-2)^4$
$\boxed{\text{La multiplicidad de } a = 2 \text{ como raíz de } f \text{ es 4.}}$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz

17. Sea $n \in \mathbb{N}$. Determinar todos los $a \in \mathbb{C}$ tales que $f = nX^{n+1} - (n+1)X^n + a$ tiene solo raíces simples en $\mathbb{C}$.

Quiero raíces simples, entonces laburo para que $(f : f') = 1$

$$f = nX^{n+1} - (n+1)X^n + a \quad \text{y} \quad f' = n(n+1)X^n - n(n+1)X^{n-1} = n(n+1)X^{n-1}(X-1)$$

Sea α una raíz de f', es decir:

$$f'(\alpha) = n(n+1)\alpha^{n-1}(\alpha - 1) = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \alpha = 1 \text{ con } n = 1 \star^{1} \\ \alpha \in \{0, 1\} \text{ con } n > 1 \end{cases}$$

Pido entonces:

$$\begin{cases} f(1) = n - (n+1) + a \neq 0 \Leftrightarrow \boxed{a \neq 1} \\ f(0) = a \Leftrightarrow \boxed{a \neq 0} \end{cases}$$

Caso $a = 0,\ n = 1$:

$$f = X \cdot (X - 2) \qquad \text{Tiene solo raíces simples.}$$

Caso $a \neq 0,\ n \in \mathbb{N}_{>1}$:

$$f \qquad \text{Tiene solo raíces simples.}$$

Caso $a \neq 1,\ n \in \mathbb{N}$:

$$f \qquad \text{Tiene solo raíces simples.}$$

Dale las gracias y un poco de amor ♥ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz

---

18. Determinar todos los $a \in \mathbb{R}$ para los cuales $f = X^{2n+1} - (2n+1)X + a$ tiene al menos una raíz múltiple en $\mathbb{C}$.

Si r es raíz múltiple de f debe ocurrir que:

$$\begin{cases} f(r) = 0 \\ f'(r) = 0 \end{cases}$$

Derivo f y acomodo:

$$f' = (2n+1) \cdot (X^{2n} - 1) \xRightarrow[r]{\text{evalúo}} f'(r) = (2n+1) \cdot (r^{2n} - 1) = 0 \Leftrightarrow (r^{2n} - 1) = 0 \quad \star^{1}$$

Volviendo a f, si evalúo en r

$$f(r) = 0 \Leftrightarrow r^{2n+1} - (2n+1)r + a = 0 \quad \Leftrightarrow \quad r \cdot (\overbrace{r^{2n} - 1}^{\overset{\star^1}{=}0} - 2n) + a = 0$$
$$\overset{!}{\Leftrightarrow} \quad a = 2n \cdot r$$

Por lo tanto $r \in \mathbb{R}$ $\star^{2}$.

Volviendo a $\star^{1}$ y con el resultado de que las raíces $r \in \mathbb{R}$:

$$(r^{2n} - 1) = 0 \overset{!}{\Leftrightarrow} (r^n - 1)(r^n + 1) = 0 \overset{\star^2}{\Longleftrightarrow} r = \pm 1$$

Por lo tanto los valores de $a \in \mathbb{R}$ para que el polinomio tenga por lo menos una raíz múltiple:

$$\boxed{a = \pm 2n}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz

19. Sea $f = X^{20} + 8X^{10} + 2a$. Determinar todos los valores de $a \in \mathbb{C}$ para los cuales f admite una raíz múltiple en $\mathbb{C}$. Para cada valor hallado determinar cuántas raíces distintas tiene f y la multiplicidad de cada una de ellas.

Ataco como en el ejercicio anterior. La idea no es calcular todas las raíces.
Si f tiene raíces múltiples r_k:

$$r_k \Leftrightarrow f(r_k) = f'(r_k) = 0,$$

por lo tanto tanto comienzo buscando las raíces de f' para sacarme ese a de en medio.

$$f' = 20X^{19} + 80X^9 = 20X^9(X^{10} + 4)$$

Evaluando en r_k:

$$f'(r_k) = 20(r_k)^9 \cdot ((r_k)^{10} + 4) = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} r_k & = & 0 \\ (r_k)^{10} & = & -4 \ \star^1 \end{cases}$$

Hay de momento 11 raíces de f'. Me interesa saber si son raíces de f,
Cuando $r_k = 0$:

$$f(0) = 2a \implies f(0) = 0 \Leftrightarrow \boxed{a = 0}$$

Acomodo f y después reemplazo por los otros valores que anulan f':

$$f = X^{20} + 8X^{10} + 2a = (X^{10})^2 + 8X^{10} + 2a$$

Cuando $(r_k)^{10} \overset{\star^1}{=} -4$:

$$\begin{array}{rcl} f(r_k) = 0 & \Leftrightarrow & ((r_k)^{10})^2 + 8(r_k)^{10}) + 2a = 0 \\ & \overset{\star^1}{\Longleftrightarrow} & (-4)^2 + 8(-4) + 2a = 0 \\ & \Leftrightarrow & -16 + 2a = 0 \\ & \Leftrightarrow & \boxed{a = 8} \end{array}$$

Ahora tengo que ver cuántas raíces y sus multiplicidades para $a = 0$ y $a = 8$.
Si $a = 0 \implies f = X^{10}(X^{10} + 8)$

$$f(r_k) = 0 \Leftrightarrow (r_k)^{10}((r_k)^{10} + 8) \Leftrightarrow \begin{cases} X & = & 0 \\ & \text{o} & \\ X^{10} & = & -8, \end{cases}$$

donde se ve que con $a = 0$ hay 11 raíces distintas en total, las multiplicidades:

$$\boxed{\text{mult}(0; f) = 10} \quad \text{y} \quad \boxed{\text{mult}(\sqrt[10]{8}e^{i\frac{2k+1}{10}\pi}); f) = 1 \quad k \in \mathbb{Z}_{[0-9]}}.$$

No había necesidad de calcular las raíces, pero dado que la solución, es casi lo mismo que G_{10} ya fue. Pero alcanzaría con decir que es un polinomio complejo de grado 10, entonces hay 10 soluciones y las multiplicidades se ven en los exponentes de los polinomios irreducibles en la factorización.

Si $a = 8 \implies f = (X^{20} + 8X^{10} + 16) \overset{!!}{=} (X^{10} + 4)^2$

$$f(r_k) = 0 \Leftrightarrow \left((r_k)^{10} + 4\right)^2 \Leftrightarrow X^{10} = -4,$$

donde se ve que con $a = 8$ hay un total de 10 raíces distintas, las multiplicidades:

$$\boxed{\text{mult}(\sqrt[5]{2}e^{i\frac{2k+1}{10}\pi}); f) = 2 \quad k \in \mathbb{Z}_{[0-9]}}.$$

Dale las gracias y un poco de amor ❤ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
♉ naD GarRaz

---

20. Sea $f = X^{68} - 17X^4 - 16 \in \mathbb{C}[X]$. Determinar la forma binomial de cada raiz multiple de f en $\mathbb{C}$ y la multiplicidad de cada una de ellas.

Primero determinamos las raices multiples, como no voy a factorizar el polinomio pues tiene un grado muy alto, chequeo las raices de la derivada y veo si coinciden:

$$f'(X) = 68X^{67} - 68X^3 \stackrel{?}{=} 0 \Leftrightarrow X^3 \cdot (X^{64} - 1) = 0 \Leftrightarrow X^3 = 0 \quad \vee \quad X^{64} - 1 = 0$$

Vemos que $X = 0$ no puede ser pues no es raiz en el original, la otra que nos queda son las raices 64-avas de la unidad.
Agarro una raiz arbitraria ω 64-ava de la unidad distinta de 1, es decir $\omega \neq 1$ y la pruebo en el polinomio:

$$f(\omega) = \omega^{68} - 17\omega^4 - 16 = \omega^4 - 17\omega^4 - 16 = -16(\omega^4 + 1) \stackrel{?}{=} 0 \Leftrightarrow \omega^4 + 1 = 0 \Leftrightarrow \omega^4 = -1.$$

Obtenemos que las raices son:

$$\omega = e^{(\frac{\pi + 2k\pi}{4})i} \quad k = 0, 1, 2, 3$$

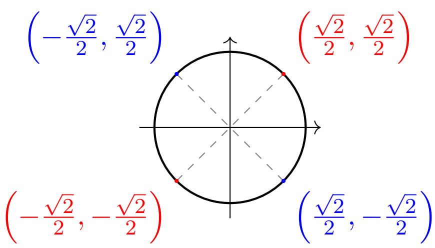
Notar que estas son las raices 8-avas de la unidad pero que no son 4-tas.
Antes de calcular la forma binomial veamos que no hay mas raices de mas multiplicidad. Derivamos la primera derivada:

$$\begin{aligned} f''(X) &= 3X^2 \cdot (X^{64} - 1) + X^3 \cdot (64X^{63}) \\ f''(X) &= 3X^{66} - 3X^2 + 64X^{66} = 67X^{66} - 3X^2 \stackrel{?}{=} 0 \Leftrightarrow 67X^{66} = 3X^2 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow 67X^{64} \stackrel{\star^1}{=} 3 \Leftrightarrow X^{64} = \tfrac{3}{67} \end{aligned}$$

En $\star^1$ se dividió por X^2, tomando en cuenta que $X = 0$ es una solucion, sin embargo 0 no es raiz del polinomio original. Luego ninguna de las raices van a coincidir con las de la primera derivada. Quedando demostrado que solo tenemos raices dobles, procedemos a expresarlas en forma binomial como pide el enunciado.

$$\omega = e^{(\frac{\pi + 2k\pi}{4})i} = cos\left(\frac{\pi + 2k\pi}{4}\right) + isen\left(\frac{\pi + 2k\pi}{4}\right) \quad k = 0, 1, 2, 3$$

Estos son los puntos que forman angulos de 45 grados en el circulo unitario, ver la figura a continuación:



Finalmente, las formas binomiales de las raices dobles son:

$$\boxed{\begin{aligned} X_0 &= \tfrac{\sqrt{2}}{2} + \tfrac{\sqrt{2}}{2}i \\ X_1 &= -\tfrac{\sqrt{2}}{2} + \tfrac{\sqrt{2}}{2}i \\ X_2 &= -\tfrac{\sqrt{2}}{2} - \tfrac{\sqrt{2}}{2}i \\ X_3 &= \tfrac{\sqrt{2}}{2} - \tfrac{\sqrt{2}}{2}i \end{aligned}}$$

Dale las gracias y un poco de amor ❤ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
♉ sigfripro

21.

i) Probar que para todo $a \in \mathbb{C}$, el polinomio $f = X^6 - 2X^5 + (1+a)X^4 - 2aX^3 + (1+a)X^2 - 2X + 1$ es divisible por $(X-1)^2$.

ii) Determinar todos los $a \in \mathbb{C}$ para los cuales f es divisible por $(X-1)^3$.

---

i) $(X-1)^2 \mid f \;\; \forall a \in \mathbb{C} \Leftrightarrow 1$ *es por lo menos raíz doble de* $f \Leftrightarrow f(1) = f'(1) = 0$.

$$\begin{aligned} f &= X^6 - 2X^5 + (1+a)X^4 - 2aX^3 + (1+a)X^2 - 2X + 1 \xrightarrow[X=1]{\text{evalúo}} f(1) = 0 \quad \forall a \in \mathbb{C} \\ f' &= 6X^5 - 10X^4 + 4(1+a)X^3 - 6aX^2 + 2(1+a)X - 2 \xrightarrow[X=1]{\text{evalúo}} f'(1) = 0 \quad \forall a \in \mathbb{C} \end{aligned}$$

Calculando $f(1)$ y $f'(1)$ se comprueba lo pedido.

ii)

$$(X-1)^3 \mid f \Leftrightarrow f''(1) = 0$$

Parecido a antes vuelvo a derivar y evalúo:

$$f'' = 30X^4 - 40X^3 + 12(1+a)X^2 - 12aX + 2(1+a) \xrightarrow[X=1]{\text{evalúo}} f''(1) = 4 + 2a \implies f''(1) = 0 \Leftrightarrow a = -2$$

Por lo tanto:

$$\boxed{(X-1)^3 \mid f \iff a = -2}$$

Observar que si $a \neq -2$, 1 es una raíz *doble* de f de otra forma es una raíz *por lo menos* triple.

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz Olivia Portero

---

22. Determinar todos los $a \in \mathbb{C}$ tales que 1 sea raíz *doble* $X^4 - aX^3 - 3X^2 + (2+3a)X - 2a$.

Si uno es raíz *doble* de $f = X^4 - aX^3 - 3X^2 + (2+3a)X - 2a$ tiene que ocurrir que:

$$f(1) = f'(1) = 0 \quad \text{y} \quad f'' \neq 0$$

Planteamos eso:

$$f(1) = 1^4 - a1^3 - 31^2 + (2+3a)1 - 2a = 0 \Leftrightarrow 1 - a - 3 + (2+3a) - 2a = 0 \Leftrightarrow 0 = 0 \;\; \forall a \in \mathbb{C}$$

Oka, no nos dio mucha info. Ahora con f':

$$f'(1) = 41^3 - 3a1^2 - 61 + (2+3a) = 0 \Leftrightarrow 4 - 3a - 6 + (2+3a) = 0 \Leftrightarrow 0 = 0 \;\; \forall a \in \mathbb{C}$$

Bueh, el ejercicio apunta que no nos olvidemos la última condición con la f'':

$$f''(1) = 121^2 - 6a1 - 6 \neq 0 \Leftrightarrow 12 - 6a - 6 \neq 0 \Leftrightarrow a \neq 1 \;\; \forall a \in \mathbb{C}$$

Por lo tanto si:

$$\boxed{a \neq 1}$$

1 será una raíz *doble* del polinomio $X^4 - aX^3 - 3X^2 + (2+3a)X - 2a$. De otra forma sería *por lo menos una raíz triple*

`Dale las gracias y un poco de amor ♥ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:`
`♉ naD GarRaz`

---

23. Sea $n \in \mathbb{N}$. Probar que $\sum\limits_{k=0}^{n} \frac{X^k}{k!} \in \mathbb{C}[X]$ tiene todas sus raíces complejas simples.

$$P = \sum_{k=0}^{n} \frac{X^k}{k!} = 1 + X + \frac{1}{2!}X^2 + \frac{1}{3!}X^3 + \frac{1}{4!}X^4 + \cdots + \frac{1}{n!}X^n$$

Su derivada primera:

$$P' = \sum_{k=1}^{n} \frac{X^{k-1}}{(k-1)!} = 1 + X + \frac{1}{2!}X^2 + \frac{1}{3!}X^3 + \cdots + \frac{1}{(n-1)!}X^{n-1}$$

Noto que:

$$P' = P - \frac{1}{n!}X^n$$

Entonces si α es una raíz de P:

$$P(\alpha) = 0 \implies P'(\alpha) = \underbrace{P(\alpha)}_{0} - \frac{1}{n!}\alpha^n = -\frac{1}{n!}\alpha^n \neq 0$$

Así queda probado que las raíces van a ser *simples*.
Atención que, $\alpha = 0$ no me importa porque $P(0) \neq 0$, boludeces no.

`Dale las gracias y un poco de amor ♥ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:`
`♉ naD GarRaz`

---

24. Sea $(f_n)_{n\in\mathbb{N}}$ la sucesión de polinomios en $\mathbb{C}[X]$ definida por

$$f_1 = X^4 + 2X^2 + 1 \quad \text{y} \quad f_{n+1} = (X - i)(f_n + f'n), \qquad \forall n \in \mathbb{N}.$$

Probar que i es raíz *doble* de f_n para todo $n \in \mathbb{N}$.

Sale por inducción. Quiero probar la siguiente proposición:

$$p(n) : i \text{ es una raíz } \textit{doble} \text{ de } f_n \ \forall n \in \mathbb{N}.$$

Caso Base:

$$p(1) : i \text{ es una raíz } \textit{doble} \text{ de } f_1.$$

Especializo a f_1, f_1' y a ¡ f_1'' ! en i:

$$f_1(i) = i^4 + 2i^2 + 1 = 0, \quad f_1'(i) = 4i^3 + 4i = 0 \quad \text{y} \quad f_1''(i) = 12i^2 \neq 0$$

Por lo cual $p(1)$ resulta verdadera.

Paso inductivo: Asumo como verdadero para algún $k \in \mathbb{N}$ que la proposición:

$$p(k) : \underbrace{i \text{ es una raíz } \textit{doble} \text{ de } f_k,}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Entonces quiero probar que la proposición:

$$p(k+1) : i \text{ es una raíz } \textit{doble} \text{ de } f_{k+1}$$

también lo sea.

La hipótesis inductiva dice que:

$$f_k(i) = 0, \quad f'_k(i) = 0, \quad \text{y} \quad f''_k(i) \overset{!}{\neq} 0,$$

Usando la definición de la función, especializo, evalúo o como quieras decirle a f_{k+1}, f'_{k+1} y a ¡ f''_{k+1} ! en i:

$$\begin{cases} f_{k+1}(i) &=& (i-i)\big(f_k(i) + f'_k(i)\big) = 0, \\ f'_{k+1}(i) &=& f_k(i) + f'_k(i) + (i-i)\big(f'_k(i) + f''_k(i)\big) \overset{\text{HI}}{=} 0 \\ f''_{k+1}(i) &=& 2 \cdot \big(f'_k(i) + f''_k(i)\big) + (i-i)\big(f''_k(i) + f'''_k(i)\big) \overset{\text{HI}}{\neq} 0 \end{cases}$$

Y así resultó la proposición $p(k+1)$ verdadera.

Dado que $p(1)$, $p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron todas verdaderas por principio de inducción también lo es $p(n)$ $\forall n \in \mathbb{N}$.

`Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:`

`naD GarRaz`

---

25. Sea $(f_n)_{n\in\mathbb{N}}$ la sucesión de polinomios en $Q[X]$ definida por

$$f_1 = X^3 + 2X \quad \text{y} \quad f_{n+1} = X f_n^2 + X^2 f'_n, \quad \forall n \in \mathbb{N}\,.$$

Probar que para todo $n \in \mathbb{N}$ vale que:

i) $\operatorname{gr}(f_n) = 2^{n+1} - 1$.

ii) 0 es raíz de multiplicidad n de f_n.

---

i) Inducción:

Quiero probar la proposición:

$$p(n) : gr(f_n) = 2^{n+1} - 1 \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : gr(f_1) = 2^{1+1} - 1 = 3 = \operatorname{gr}(X^3 + 2X)$$

Por lo tanto $p(1)$ es verdadera.

Paso inductivo:

Asumo para un $k \in \mathbb{N}$ que:

$$p(k) : \underbrace{\operatorname{gr}(f_k) = 2^{k+1} - 1}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es una proposición verdadera. Entonces quiero probar que:

$$p(k+1) : \operatorname{gr}(f_{k+1}) = 2^{k+1+1} - 1 = 2^{k+2} - 1$$

también lo sea.

$$f_{k+1} \overset{\text{def}}{=} X f_k^2 + X^2 f'_k$$

¿Qué grado tiene esa cosa?

$$\operatorname{gr}(X f_k^2 + X^2 \cdot f'_k) \overset{!}{=} 1 + \operatorname{gr}(\underbrace{f_k^2}_{2\operatorname{gr}(f_k)} + \underbrace{X \cdot f'_k}_{\operatorname{gr}(f_k)}) = 1 + 2 \cdot \operatorname{gr}(f_k) \overset{\text{HI}}{=} 1 + 2 \cdot (2^{k+1} - 1) = 2^{k+2} - 1$$

Si no viste el !, saqué factor común X, así es que aparece el 1 que se suma al grado. También tuve en cuenta que $\operatorname{gr}(f') = \operatorname{gr}(f) - 1 \quad \forall f \in f[X]$

Por lo tanto $p(k+1)$ resultó verdadera.

Como $p(1), p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron todas verdaderas por principio de inducción en también lo es $p(n)$ $\forall n \in \mathbb{N}$.

ii) Lindo ejercicio, intentá hacerlo antes de mirar la resolución.

Sale también por inducción.

Quiero probar la proposición:

$$p(n) : 0 \text{ es raíz de multiplicidad } n \text{ de } f_n \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

O de forma equivalente:

$$p(n) : X^n \mid f_n \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : X^1 \mid f_1$$

Se cumple enseguida que:

$$X \mid X^3 + 2X \Leftrightarrow X \mid X \cdot (X^2 + 2)$$

Por lo tanto $p(1)$ es verdadera.

Paso inductivo:

Asumo para un $k \in \mathbb{N}$ que:

$$p(k) : \underbrace{X^k \mid f_k}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es una proposición verdadera. Entonces quiero probar que:

$$p(k+1) : X^{k+1} \mid f_{k+1}$$

también lo sea.

$$X^{k+1} \mid f_{k+1} \Leftrightarrow X^{k+1} \mid X f_k^2 + X^2 f_k'$$

Exploto la hipótesis inductiva para construir el paso $k+1$:

$$\overset{\text{HI}}{\Longrightarrow} X^k \mid f_k \overset{!}{\Leftrightarrow} X^k \mid f_k \cdot f_k \overset{!}{\Leftrightarrow} X \cdot X^k \mid X \cdot f_k^2 \Leftrightarrow X^{k+1} \mid X \cdot f_k^2 \quad \bigstar^1$$

y parecido con la derivada

$$\overset{!!}{\Rightarrow} X^{k-1} \mid f_k' \overset{!}{\Leftrightarrow} X^2 \cdot X^{k-1} \mid X^2 \cdot f_k' \Leftrightarrow X^{k+1} \mid X^2 \cdot f_k' \quad \bigstar^2$$

Donde en !! usé la hipótesis inductiva, si f_k tiene como raíz al 0 con multiplidad k entonces la derivada tiene que tener multiplicidad $k-1$ en 0. Con esos hermosos, tiernos y sabrosos resultados de $\bigstar^1$ y $\bigstar^2$:

$$\begin{cases} X^{k+1} \mid X \cdot f_k^2 \\ X^{k+1} \mid X^2 \cdot f_k' \end{cases} \Leftrightarrow X^{k+1} \mid X \cdot f_k^2 + X^2 \cdot f_k'$$

Como $p(1), p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron todas verdaderas por principio de inducción también lo es $p(n)$ $\forall n \in \mathbb{N}$.

`Dale las gracias y un poco de amor ♥ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:`
`naD GarRaz`

---

26. Sea $\alpha \in \mathbb{C}$ raíz de multiplicidad 3 de $f \in \mathbb{C}[X]$. Probar que el resto de dividir a f' por $(X-\alpha)^3$ es $a(X-\alpha)^2$, con $a \in \mathbb{C}$, $a \neq 0$.

Sé que cuando derivo el algoritmo de división es:

$$f = D \cdot Q + R$$

En este caso $D = (X-\alpha)^3$

$$(X-\alpha)^3 \mid f \Leftrightarrow f = q \cdot (X-\alpha)^3 + 0 \quad \text{con } q \in \mathbb{C}[X]$$

Derivo esa expresión de f:

$$f' = q' \cdot (X-\alpha)^3 + 3q \cdot (X-\alpha)^2$$

El dato dice que α es una raíz triple de f, por lo tanto si derivo f, $(X-\alpha)^3$:

$$f' = \underbrace{q'}_{Q} \cdot \underbrace{(X-\alpha)^3}_{D} + \underbrace{3q \cdot (X-\alpha)^2}_{R}$$

No me acuerdo si es *teorema del resto* o algo así que dice que especializar a f en algún valor te da lo que vale el resto, lo cual es *razonable cuando hacés Ruffini*, pero ahora que se está dividiendo por una potencia de 3, es más raro. pero esta es la primera vez que aparece en En fin, especializo en α, recordando que es raíz triple de f, por lo tanto me va a dar cero:

$$f'(\alpha) = R(\alpha) = \underbrace{3q(\alpha)}_{\neq 0} \cdot (\alpha-\alpha)^2 = 0$$

Por lo tanto R cumple condición de resto y además es de la forma $\underset{\neq 0 \in \mathbb{C}}{\underset{\downarrow}{a}} \cdot (X-\alpha)^2$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz

27.

i) Hallar todas la raíces racionales de

(a) $2X^5 + 3X^4 + 2X^3 - X$,

(b) $X^5 - \frac{1}{2}X^4 - 2X^3 + \frac{1}{2}X^2 - \frac{7}{3}X - 3$,

ii) Probar que $X^4 + 2X^3 - 3X^2 - 2$ no tiene raíces racionales.

---

i) (a) ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LATEX→ una *pull request* al .

(b) ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LATEX→ una *pull request* al .

ii) ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LATEX→ una *pull request* al .

28. ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LATEX→ una *pull request* al .

29. ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LATEX→ una *pull request* al .

30. ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LATEX→ una *pull request* al .

31. ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LATEX→ una *pull request* al .

---

32. Sea $n \in \mathbb{N}$. Probar que $\sum\limits_{k=0}^{n} X^k \in \mathbb{C}[X]$ tiene todas sus raíces complejas simples.

Sale por inducción:

$$p(n):\sum_{k=0}^{n} X^k \in \mathbb{C}[X] \text{ tiene todas sus raíces complejas simples } \quad \forall n \in \mathbb{N}.$$

Caso base:

$$p(1):\sum_{k=0}^{1} X^k = 1 + X^1 \text{ tiene todas sus raíces complejas simples.}$$

En este caso $f(X) = 1 + X$:

$$f(-1) = 0 \quad \text{y} \quad f'(-1) = 1 \neq 0$$

Por lo tanto $p(1)$ es verdadera.

Paso inductivo: Asumo que para algún $k \in \mathbb{N}$ la proposición:

$$p(h): \underbrace{\sum_{k=0}^{h} X^k = 1 + X + X^2 + \cdots + X^h \text{ tiene todas sus raíces complejas simples.}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Entonces quiero ver que:

$$p(h+1):\sum_{k=0}^{h+1} X^k = 1 + X + X^2 + \cdots + X^h + X^{h+1} \text{ tiene todas sus raíces complejas simples.}$$

también lo sea.

Primero veo que la hipótesis inductiva es algo así:

$$f_h(\alpha_h) \overset{\alpha_h \neq 0}{\underset{!!}{=}} 0 \quad \text{y} \quad f_h'(X) = \sum_{k=1}^{h} kX^{k-1} = 1 + 2X + 3X^2 + \cdots + hX^{h-1} \text{ donde } f_h'(\alpha_h) \neq 0 \ \forall \alpha_h \text{ raíz de } f.$$

Ahora laburo el polinomio $(h+1)-$ésimo, con α raíz del mismo:

$$\begin{cases} f_{h+1}(\alpha_{h+1}) \overset{\alpha_{h+1} \neq 0}{\underset{!!}{=}} 0 \\ f_{h+1}'(X) = \sum\limits_{k=1}^{h+1} kX^{k-1} = \underbrace{1 + 2X + \cdots + hX^{h-1}}_{f_h'(X)} + (h+1)X^h = f_h'(X) + (h+1)X^h \\ \xrightarrow[\text{en } \alpha_{h+1}]{\text{evalúo}} f_{h+1}'(\alpha_{h+1}) \overset{\text{HI}}{=} \underbrace{f_h'(\alpha_{h+1})}_{\neq 0} + (h+1)\underbrace{\alpha_{h+1}^h}_{\neq 0} \neq 0 \end{cases}$$

Por lo tanto $p(k+1)$ resultó verdadera.

Como $p(1), p(h) \quad \text{y} \quad p(h+1)$ resultaron verdaderas por principio de inducción en n también lo es $p(n) \ \forall n \in \mathbb{N}$.

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

- naD GarRaz

33. ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LaTeX→ una *pull request* al .

34. ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LaTeX→ una *pull request* al .

35. Hallar todos los $a \in \mathbb{C}$ para los cuales al menos una de las raices de

$$f = X^6 + X^5 - 3X^4 + 2X^3 + X^2 - 3X + a$$

es una raíz sexta de la unidad que no es una raíz cubica de la unidad. Para cada valor de $a \in \mathbb{C}$ hallado, factorizar f en $\mathbb{Q}[X], \mathbb{R}[X]$ y $\mathbb{C}[X]$

Sea w una raiz sexta de la unidad tal que $w^3 = -1$. (por enunciado). Evaluamos el polinomio en esa w y arreglamos el a para que sea igual a cero, asi w es raiz.

$$
\begin{aligned}
f(w) &= w^6 + w^5 - 3w^4 + 2w^3 + w^2 - 3w + a \overset{?}{=} 0 \\
f(w) &= {\color{red}1 + w^2 + w^3 + w^5}\bigstar^{1} - 3w^4 + w^3 - 3w + a \\
f(w) &= -4w^4 - 4w + w^3 + a \\
f(w) &= -4(w^4 + w) + w^3 + a \\
f(w) &= -4(w({\color{red}w^3 + 1}))\bigstar^{2} + w^3 + a \\
f(w) = w^3 + a \overset{?}{=} 0 &\iff -1 + a = 0 \iff a = 1
\end{aligned}
$$

Como eso fue para una w generica que cumple eso, agarremos ahora ζ raiz primitiva sexta de la unidad, de esta manera ζ, ζ^3, ζ^5 son distintas, y cumplen lo pedido por el enunciado★[3], como son raices sigue que $(X-\zeta)(X-\zeta^3)(X-\zeta^5) \mid X^6 + X^5 - 3X^4 + 2X^3 + X^2 - 3X + 1 \iff (X+1)(X^2 - \zeta\zeta^5 X + \zeta\zeta^5) = (X+1)(X^2 - X + 1) = (X^3+1) \mid X^6 + X^5 - 3X^4 + 2X^3 + X^2 - 3X + 1$. Ahora que sabemos eso procedemos a hacer la division.

$$
\begin{array}{rrrrrrr|l}
X^6 & +X^5 & -3X^4 & +2X^3 & +X^2 & -3X & +1 & X^3+1 \\
\cline{8-8}
-X^6 & & & -X^3 & & & & X^3+X^2-3X+1 \\
\cline{1-4}
 & X^5 & -3X^4 & +X^3 & +X^2 & & & \\
 & -X^5 & & & -X^2 & & & \\
\cline{2-5}
 & & -3X^4 & +X^3 & & -3X & & \\
 & & 3X^4 & & & +3X & & \\
\cline{3-6}
 & & & X^3 & & & +1 & \\
 & & & -X^3 & & & -1 & \\
\cline{4-7}
 & & & & & & 0 &
\end{array}
$$

Ahora buscamos raices racionales en el polinomio resultante de la división ya que es de grado 3, veo aplicando Gauss que las posibles son 1 y -1, pruebo evaluando en 1 y veo que es raíz, luego hago la división:

$$
\begin{array}{rrrr|l}
X^3 & +X^2 & -3X & +1 & X-1 \\
\cline{5-5}
-X^3 & +X^2 & & & X^2+2X-1 \\
\cline{1-2}
 & 2X^2 & -3X & & \\
 & -2X^2 & +2X & & \\
\cline{2-3}
 & & -X & +1 & \\
 & & X & -1 & \\
\cline{3-4}
 & & & 0 &
\end{array}
$$

Ahora veamos las raices de el polinomio resultante, para eso aplicamos la formula resolvente o de Bhaskara, y obtenemos que $X^2 + 2X - 1 = (X + 1 - \sqrt{2})(X + 1 + \sqrt{2})$.
Ya practicamente tenemos todas las factorizaciones, pero retomamos momentaneamente una parte de la factorizacion compleja, habiamos dicho $(X-\zeta)(X-\zeta^5) = (X^2 - X + 1)$, pero quienes son estos ζ?, son las raices primitivas sextas de la unidad, asi que las escribimos en forma exponencial, serian $e^{\frac{2\pi i}{6}}$ y $e^{\frac{10\pi i}{6}}$.
Finalmente, las 3 factorizaciones serian:

$$
\boxed{
\begin{array}{lcl}
\mathbb{Q}[X] & \to & f = (X+1)(X-1)(X^2+2X-1)(X^2-X+1) \\
\mathbb{R}[X] & \to & f = (X+1)(X-1)(X+1-\sqrt{2})(X+1+\sqrt{2})(X^2-X+1) \\
\mathbb{C}[X] & \to & f = (X+1)(X-1)(X+1-\sqrt{2})(X+1+\sqrt{2})(X-e^{\frac{2\pi i}{6}})(X-e^{\frac{10\pi i}{6}})
\end{array}
}
$$

★[1] Acá usamos que $1 + w + w^2 + w^3 + w^4 + w^5 = 0$ y movemos ciertos terminos para la derecha.
★[2] Aca usamos que $w^3 = -1$
★[3] Sabemos que cumplen lo del enunciado por que ζ y ζ^5 son raices primitivas ya que $(1:6) = (5:6) = 1$, y ζ^3 es simplemente -1, por lo tanto con estas elecciones estamos respetando lo que pide el enunciado

36. ... hay que hacerlo!

37. Sean $a, b, c \in \mathbb{C}$ las raíces de $2X^3 - 3X^2 + 4X + 1$. Determinar

i) $a + b + c$, ii) $ab + ac + bc$, iii) abc .

Si a, b, c son las 3 raíces del polinomio $P = 2X^3 - 3X^2 + 4X + 1$. El polinomio P en *forma factorizada*:

$$2(X - a)(X - b)(X - c) \quad \text{con } a,\ b,\ c \in \mathbb{C}\,.$$

Distribuyendo todo se recupera la *forma polinómica* de P:

$$\begin{aligned} 2(X-a)(X-b)(X-c) &= 2(X^2 - aX - bX + ab)(X - c) \\ &= 2(X^3 - aX^2 - bX^2 + abX - cX^2 + acX + bcX - abc) \\ &= 2X^3 - 2(a+b+c)X^2 + 2(ab+ac+bc)X - 2abc \end{aligned}$$

Si comparamos esta expansión genérica con el polinomio, vemos que justamente lo que nos piden en el enunciado son los coeficientes de P, expresados en función de sus raíces.

Esta forma de relacionar raices con coeficientes se puede generalizar y se conoce como Fórmulas de Viete.

Para resolver el ejercicio se plantea la igualdad de los polinomios:

$$2X^3 - 2(a+b+c)X^2 + 2(ab+ac+bc)X - 2abc = 2X^3 - 3X^2 + 4X + 1$$

Dos polinomios son iguales si y solo si todos sus coeficientes son iguales:

$$\begin{cases} -2(a+b+c) = -3 & \Leftrightarrow \quad \boxed{a+b+c = \frac{3}{2}} \\ 2(ab+ac+bc) = 4 & \Leftrightarrow \quad \boxed{ab+ac+bc = 2} \\ -2abc = 1 & \Leftrightarrow \quad \boxed{abc = -\frac{1}{2}} \end{cases}$$

38.

i) Hallar todas las raíces en $\mathbb{C}$ del polinomio $f = X^4 - (i+4)X^3 + (8+4i)X^2 - (2i+24)X + 12$ sabiendo que tiene al menos una raíz real.

ii) Hallar todas las raíces en $\mathbb{C}$ del polinomio $f = X^6 - 3X^4 - (2+8i)X^3 + 24iX + 16i$, sabiendo que tiene al menos una raíz entera.

(a) Separo en parte real e imaginaria para que sea más manejable:

$$f = X^4 - (i+4)X^3 + (8+4i)X^2 - (2i+24)X + 12 = \underbrace{X^4 - 4X^3 + 8X^2 - 24X + 12}_{\text{Re}(f)} + i\,\underbrace{(-X^3 + 4X^2 - 2X)}_{\text{Im}(f)}$$

Ataco primero $\text{Im}(f)$ que está más fácil:

$$\text{Im}(f(r)) = -r^3 + 4r^2 - 2r = 0 \Leftrightarrow -r \cdot (r^2 - 4r + 2) = 0 \overset{!}{\Leftrightarrow} r \in \left\{0,\ 2+\sqrt{2},\ 2-\sqrt{2}\right\}$$

El 0 claramente no es raíz de la parte real $\text{Re}(f)$, por lo tanto las otras tienen que serlo, debido a que el polinomio no tiene coeficientes irracionales y por enunciado f tiene al menos una raíz real:

$$\begin{array}{r|l} X^4 - 4X^3 + 8X^2 - 24X + 12 & X^2 - 4X + 2 \\ \cline{2-2} - X^4 + 4X^3 - 2X^2 \qquad\qquad\quad & X^2 + 6 \\ \cline{1-1} 6X^2 - 24X + 12 & \\ - 6X^2 + 24X - 12 & \\ \cline{1-1} 0 & \end{array}$$

Por lo tanto:

$$\text{Re}(f) = (X^2 - 4X + 2) \cdot (X^2 + 6) = \big(X - (2 + \sqrt{2})\big)\big(X - (2 - \sqrt{2})\big)\big(X - i\sqrt{6}\big)\big(X + i\sqrt{6}\big)$$

Sé que las raíces complejas no son raíces de la parte imaginaria así que no me sirven. Las únicas raíces que tienen en común $\text{Re}(f)$ y $\text{Im}(f)$, me forman el $(\text{Re}(f) : \text{Im}(g)) = X^2 - 4X + 2$, datazo que nadie pidió!

Ahora le bajo el grado al polinomio original f y queda ahí medio cocinado:

$$\begin{aligned} f &= X^4 - (i + 4)X^3 + (8 + 4i)X^2 - (2i + 24)X + 12 \\ &= (X^2 - iX + 6) \cdot (X^2 - 4X + 2) \\ &= \boxed{\big(X - 3i\big)\big(X + 2i\big)\big(X - (2 + \sqrt{2})\big)\big(X - (2 - \sqrt{2})\big)} \end{aligned}$$

(b) ... hay que hacerlo!

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LaTeX→ una *pull request* al.

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz

---

39. Sea p un número primo. ¿Cuántos polinomios mónicos de grado 2 hay en $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})[X]$? ¿Cuántos de ellos son reducibles y cuántos irreducibles?

La estructura de un polinomio mónico de grado 2 es la siguiente:

$$X^2 + aX + b \quad a, b \in (\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})$$

Tenemos que elegir un valor para a y otro para b, entre 0 y $p - 1$, o sea p distintos, dos veces. Así que la cantidad de polinomios mónicos de grado dos total:

$$\boxed{p^2}.$$

Para buscar aquellos que sean reducibles, es decir que puedan factorizarse en mónicos de $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})[X]$:

$$X^2 + aX + b = (X - p_1) \cdot (X - p_2)$$

Caso donde $p_1 \neq p_2$:
Hay $p \cdot (p - 1)$ opciones, pero como el orden de los factores no va a alterar el polinomio, por ejemplo:

$$(X - 2)(X - 3) = (X - 3)(X - 2).$$

¡Hay que dividir por 2 para no contar dos veces lo mismo!.
Caso donde $p_1 = p_2$:
Los elementos de la forma $(X - p_0)^2$ están contados solo una vez, de estos hay exactamente p elementos.
La cantidad de polinomios en $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})$ reducibles:

$$\boxed{\frac{p^2 - p}{2} + p = \frac{p^2 + p}{2}}$$

La cantidad de polinomios en $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})$ irreducibles:

$$\boxed{p^2 - \frac{p^2+p}{2} = \frac{p^2-p}{2}}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
sigfripro naD GarRaz

40.

i) Hallar todos los polinomios de grado 2 irreducibles en $\mathbb{Z}/2\mathbb{Z}[X]$.

ii) Decidir cuáles de los siguientes polinomios son irreducibles en $\mathbb{Z}/2\mathbb{Z}[X]$:

(a) $f = X^4 + X + 1$, (b) $f = X^4 + X^2 + 1$, (c) $f = X^4 + X^3 + 1$.

---

i) Usando resultados del ejercicio **39.**, debería haber un total de 3 polinomios reducibles y 1 irreducible. Son solo 4 polinomios, vayamos uno por uno:

$$\begin{array}{rcl} (X-0)^2 & = & X^2 \\ (X-1)^2 & = & X^2 - 2X + 1 \overset{\mathbb{Z}/2\mathbb{Z}}{=} X^2 + 1 \\ (X-0)(X-1) & = & X^2 - X \overset{\mathbb{Z}/2\mathbb{Z}}{=} X^2 + X \end{array}$$

Vemos que el único que falta que podemos construir con elementos de $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})$:

$$X^2 + X + 1,$$

el único polinomio irreducible en $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})[X]$.

ii) Este ejercicio sale usando el resultado del ítem anterior:

Nota que puede ser de interés:

Por ejemplo $P \in \mathbb{R}[X]$:

$$P = X^4 + 3X^2 + 2 = (X^2+1)\cdot(X^2+2)$$

es un polinomio que no tiene raíces reales, pero se puede factorizar como producto de irreducibles, es decir otros polinomio que obviamente tampoco tienen raíces reales.

fin nota que puede ser de interés

Los polinomio no tienen raíces en $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})$, lo cual *no* implica que sean *irreducibles*. Porque podrían ser divisibles por un polinomio *irreducible* de menor grado, o sorpresa, tenemos el que calculamos en el ítem anterior.

(a)

$$\begin{array}{rrl|l} X^4 & & +X+1 & X^2+X+1 \\ \hline -X^4 - X^3 - X^2 & & & X^2 - X \\ \hline & -X^3 - X^2 + X & & \\ & X^3 + X^2 + X & & \\ \hline & & 2X+1 & \end{array}$$

Ese resultado en $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})$:

$$X^4 + X + 1 \overset{!}{=} (X^2+X+1)\cdot(X^2+1) + 1$$

El resto es siempre 1, así que no se va a poder factorizar, $X^4 + X + 1$ es irreducible en $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})$.

(b)

$$\begin{array}{rrrr|l} X^4 & & +X^2 & +1 & X^2+X+1 \\ \cline{5-5} -X^4 & -X^3 & -X^2 & & X^2-X+1 \\ \cline{1-3} & -X^3 & & & \\ & X^3 & +X^2 & +X & \\ \cline{2-4} & & X^2 & +X+1 & \\ & & -X^2 & -X-1 & \\ \cline{3-4} & & & 0 & \end{array}$$

Ese resultado en $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})$:

$$X^4+X^2+1 \overset{!}{=} (X^2+X+1)\cdot(X^2+X+1)$$

Este sí se puede factorizar, X^4+X^2+1 es <u>reducible</u> en $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})$.

(c)

$$\begin{array}{rrrr|l} X^4 & +X^3 & & +1 & X^2+X+1 \\ \cline{5-5} -X^4 & -X^3 & -X^2 & & X^2-1 \\ \cline{1-3} & & -X^2 & +1 & \\ & & X^2 & +X+1 & \\ \cline{3-4} & & & X+2 & \end{array}$$

Ese resultado en $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})$:

$$X^4+X^3+1 \overset{!}{=} (X^2+X+1)\cdot(X^2+1)+X$$

Este no se puede factorizar, X^4+X^3+1 es <u>irreducible</u> en $(\mathbb{Z}/2\mathbb{Z})$.

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

sigfripro naD GarRaz

Ejercicios de parciales:

1.

a) Hallar todos los posibles $\mathbf{c} \in \mathbb{R}$, $\mathbf{c} > 0$ tales que:

$$f = X^6 - 4X^5 - X^4 + 4X^3 + 4X^2 + 48X + \mathbf{c}$$

tenga una raíz de argumento $\frac{3\pi}{2}$

b) Para cada valor de $\mathbf{c}$ hallado, factorizar f en $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$ y $\mathbb{C}[X]$, sabiendo que tiene al menos una raíz doble.

---

a) Si la raíz $\alpha = r \cdot e^{i\frac{3\pi}{2}} = r(-i) = -ir \implies f(-ir) = 0$

Voy a usar que:

$$\bigstar^1 \begin{cases} (-i)^2 & = & -1 \\ (-i)^3 & = & i \\ (-i)^4 & = & 1 \\ (-i)^5 & = & -i \\ (-i)^6 & = & -1 \end{cases}$$

Evalúo $f(-ir)$:

$$\begin{array}{rcl} f(-ir) & = & (-ir)^6 - 4(-ir)^5 - (-ir)^4 + 4r^3 i + 4(-ir)^2 + 48(-ir) + \mathbf{c} \\ & \overset{\bigstar^1}{=} & -r^6 + 4ir^5 - r^4 + 4ir^3 - 4r^2 - 48ir + \mathbf{c} = 0 \end{array}$$

Esta expresión va a ser 0 cuando su parte imaginaria y su parte real sean ambas 0:

$$\begin{array}{rcl} f(-ir) & = & -r^6 + 4ir^5 - r^4 + 4ir^3 - 4r^2 - 48ir + \mathbf{c} \\ & = & (-r^6 - r^4 - 4r^2 + \mathbf{c}) + i(4r^5 + 4r^3 - 48r) = 0 \end{array}$$

En el siguiente paso no busco exhaustivamente todas las raíces, porque es al pedo. Solo busco lo que me interesa según las condiciones del ejercicio:

$$\begin{cases} \text{Im}(f(-ir)) = 4r(r^4 + r^2 - 12) = 0 \quad \underset{r > 0}{\overset{r \in \mathbb{R}}{\iff}} \quad r \overset{!}{=} \sqrt{3}\bigstar^2 \\ \\ \text{Re}(f(-ir)) = -r^6 - r^4 - 4r^2 + \mathbf{c} = 0 \quad \underset{\mathbf{c} \in \mathbb{R}}{\overset{r \overset{\bigstar^2}{=} \sqrt{3}}{\iff}} \quad \boxed{\mathbf{c} = 48} \end{cases}$$

Por lo tanto con ese $\mathbf{c} = 48$:

$$f = X^6 - 4X^5 - X^4 + 4X^3 + 4X^2 + 48X + 48$$

y las raíces que tiene este polinomio son:

$$\begin{array}{rcccl} \alpha_1 & = & \sqrt{3} \cdot e^{i\frac{3}{2}\pi} & = & -\sqrt{3}i \\ \alpha_2 & = & \sqrt{3} \cdot e^{-i\frac{3}{2}\pi} & = & \sqrt{3}i \end{array}$$

Apareció el conjugado de la raíz dado que que $f \in \mathbb{Q}[X]$

b) Debe ocurrir que $(X - \sqrt{3}i)(X + \sqrt{3}i) = X^2 + 3 \,|\, f$

$$\begin{array}{rrrrrrr|l}
X^6 & -4X^5 & -X^4 & +4X^3 & +4X^2 & +48X & +48 & X^2+3 \\ \cline{8-8}
-X^6 & & -3X^4 & & & & & X^4-4X^3-4X^2+16X+16 \\ \cline{1-3}
& -4X^5 & -4X^4 & +4X^3 & & & & \\
& 4X^5 & & +12X^3 & & & & \\ \cline{2-4}
& & -4X^4 & +16X^3 & +4X^2 & & & \\
& & 4X^4 & & +12X^2 & & & \\ \cline{3-5}
& & & 16X^3 & +16X^2 & +48X & & \\
& & & -16X^3 & & -48X & & \\ \cline{4-6}
& & & & 16X^2 & & +48 & \\
& & & & -16X^2 & & -48 & \\ \cline{5-7}
& & & & & & 0 &
\end{array}$$

Hasta el momento f queda:

$$f = (X^2 + 3)\underbrace{(X^4 - 4X^3 - 4X^2 + 16X + 16)}_{g}$$

como f tiene al menos una raíz doble la busco en las raíces de la derivada de g:

$$\begin{array}{rcl}
g' & = & (4X^3 - 12X^2 - 8X + 16)' \\
& = & 4(X^3 - 3X^2 - 2X + 4) = 0
\end{array}$$

Con el lema de Gauss sé que las posibles raíces de g' están en:

$$\{\pm 1, \pm 2, \pm 4\}$$

Probando encuentro que $g'(1) = 0$, pero $q(1) \neq 0 \implies f(1) \neq 0$. Si $X = 1$ no es raíz de g, continúo bajándole el grado a g' para buscar otras raíces:

$$\begin{array}{rrrr|l}
X^3 & -3X^2 & -2X & +4 & X-1 \\ \cline{5-5}
-X^3 & +X^2 & & & X^2-2X-4 \\ \cline{1-2}
& -2X^2 & -2X & & \\
& 2X^2 & -2X & & \\ \cline{2-3}
& & -4X & +4 & \\
& & 4X & -4 & \\ \cline{3-4}
& & & 0 &
\end{array}$$

Con este resultado se puede escribir a g' como:

$$g' = 4(X - 1)(X^2 - 2X - 4)$$

De la parte cuadrática salen 2 raíces de g':

$$\alpha_{1,2} = 1 \pm \sqrt{5}$$
$$X^2 - 2X - 4 = (X - (1 + \sqrt{5}))(X - (1 - \sqrt{5}))$$

(para mostrar que son raíces dobles y no triples, por ejemplo, debería comprobar que $\alpha_{1,2}$ no son raíces de $g'' = 4(3X^2 - 6X - 2)$, pero no tengo ganas, elijo creer que no lo son).

Compruebo que sean también raíces de g:

$$\begin{array}{rrrrr|l}
X^4 & -4X^3 & -4X^2 & +16X & +16 & X^2-2X-4 \\ \cline{6-6}
-X^4 & +2X^3 & +4X^2 & & & X^2-2X-4 \\ \cline{1-3}
& -2X^3 & & +16X & & \\
& 2X^3 & -4X^2 & -8X & & \\ \cline{2-4}
& & -4X^2 & +8X & +16 & \\
& & 4X^2 & -8X & -16 & \\ \cline{3-5}
& & & & 0 &
\end{array}$$

Dado que el resto dio 0 $\alpha_{1,2}$ son raíces de g y como son raíces de g' entonces son raíces dobles de g, y de f.

Notar que viendo el cociente de esa última división quizás podría haber visto el caso de factoreo a ojo, pero bueh, no pasó.

Factorizaciones:

$$\boxed{\begin{array}{lcl} \mathbb{Q}[X] & \to & f = (X^2+3)\cdot(X^2-2X-4)^2 \\ \mathbb{R}[X] & \to & f = (X^2+3)\cdot(X-(1+\sqrt{5}))^2\cdot(X-(1-\sqrt{5}))^2 \\ \mathbb{C}[X] & \to & f = (X-\sqrt{3}i)\cdot(X+\sqrt{3}i)\cdot(X-(1+\sqrt{5}))^2\cdot(X-(1-\sqrt{5}))^2 \end{array}}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz

---

2. Factorizar el polinomio $P = X^6 - X^5 - 13X^4 + 14X^3 + 35X^2 - 49X + 49$ como producto de irreducibles en $\mathbb{C}[X], \mathbb{R}[X]$ y $\mathbb{Q}[X]$ sabiendo que $\sqrt{7}$ es una raíz múltiple.

Un polinomio con coeficientes racionales, y una raíz irracional $\alpha = \sqrt{7}$, tendrá también al *conjugado irracional* [1] ,

$$\overline{\alpha} = -\sqrt{7}$$

Si agregamos la información de que $\sqrt{7}$ es *por lo menos* raíz doble, obtenemos que:

$$\begin{cases} \sqrt{7} \text{ es raíz de } f \implies -\sqrt{7} \text{ es raíz de } f \implies (X^2-7) \mid f \\ \sqrt{7} \text{ es raíz doble de } f \implies -\sqrt{7} \text{ es raíz doble de } f \implies (X^2-7)^2 = X^4 - 14X^2 + 49 \mid f \quad \checkmark \end{cases}$$

$$\begin{array}{rrrrrrr|l} X^6 & -X^5 & -13X^4 & +14X^3 & +35X^2 & -49X & +49 & X^4 - 14X^2 + 49 \\ \cline{8-8} -X^6 & & +14X^4 & & -49X^2 & & & X^2 - X + 1 \\ \cline{1-5} & -X^5 & +X^4 & +14X^3 & -14X^2 & -49X & & \\ & X^5 & & -14X^3 & & +49X & & \\ \cline{2-6} & & X^4 & & -14X^2 & & +49 & \\ & & -X^4 & & +14X^2 & & -49 & \\ \cline{3-7} & & & & & & 0 & \end{array}$$

Todo hermoso. Nos queda un polinomio de grado 2 para laburar en la factorización:

$$f = (X^4 - 14X^2 + 49)\cdot(X^2 - X + 1),$$

se fusila con la resolvente:

$$\xrightarrow[\text{no ofender a nadie}]{\text{se escribe así para}} \begin{cases} \alpha_{+,-} = \frac{1\pm w}{2} \\ w^2 = -3 \end{cases} \to f = (X^4 - 14X^2 + 49)\cdot(X - (\tfrac{1}{2} + i\tfrac{\sqrt{3}}{2}))(X - (\tfrac{1}{2} - i\tfrac{\sqrt{3}}{2}))$$

Finalmente las factorizaciones en sus 3 deliciosos sabores:

$$\boxed{\begin{cases} \mathbb{Q}[X] & \to \quad f = (X^2+7)^2(X^2-X+1) \\ \mathbb{R}[X] & \to \quad f = (X+\sqrt{7})^2(X-\sqrt{7})^2(X^2-X+1) \\ \mathbb{C}[X] & \to \quad f = (X+\sqrt{7})^2(X-\sqrt{7})^2(X-(\tfrac{1}{2}+i\tfrac{\sqrt{3}}{2}))(X-(\tfrac{1}{2}-i\tfrac{\sqrt{3}}{2})) \end{cases}}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

naD GarRaz

[1] Estoy usando la misma notación para *conjugado racional* y *conjugado complejo*. ¿Está bien? No sé, no me importa mientras se entienda.

---

3. Hallar **todos** los polinomios **mónicos** $f \in \mathbb{Q}[X]$ de grado mínimo que cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

i) $1 - \sqrt{2}$ es raíz de f;

ii) $X(X-2)^2 \mid (f : f')$;

iii) $(f : X^3 - 1) \neq 1$;

iv) $f(-1) = 27$;

---

i) Como $f \in \mathbb{Q}[X]$ si $\alpha_1 = 1 - \sqrt{2}$ es raíz entonces $\alpha_2 = 1 + \sqrt{2}$ para que no haya coeficientes irracionales en el polinomio.

$$(X - (1 - \sqrt{2})) \cdot (X - (1 + \sqrt{2})) = X^2 - 2X - 1$$

Por lo tanto:

$$X^2 - 2X - 1$$

será un factor de $f \in \mathbb{Q}[X]$.

ii) Para el requerimiento $X(X-2)^2 \mid (f : f')$:

$$X(X-2)^2 \mid (f : f') \overset{\text{def}}{\Longleftrightarrow} (f : f') = X(X-2)^2 \cdot q,$$

de donde se deduce que <u>por lo menos</u> (dado que no conoce q y tampoco importa ahora):

$$\begin{cases} \alpha_3 = 0 \text{ es por lo menos raíz simple de } f' \implies \text{ es por lo menos raíz doble de } f \\ \alpha_4 = 2 \text{ es por lo menos raíz doble de } f' \implies \text{ es por lo menos raíz triple de } f \end{cases}.$$

Por lo tanto como en los ejercicios estos piden *menor grado*:

$$X^2(X-2)^3$$

también serán factores de $f \in \mathbb{Q}[X]$.

iii) Si $(f : X^3 - 1) \neq 1$ quiere decir que <u>por lo menos</u> alguna de las 3 raíces de:

$$X^3 - 1 \overset{!}{=} (X-1) \cdot (X - (-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i)) \cdot (X - (-\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i))$$

tiene que aparecer en la factorización de f.

Parecido al item i) si tengo una raíz compleja, también necesito el conjugado complejo de la raíz, para que no me queden coeficientes de f con componente imaginaria:

$$X^3 - 1 = (X-1) \cdot (X^2 + X + 1),$$

a priori me quedaría con el *factor de menor grado* siempre que eso no *rompa* otras condiciones, pero todavía no tomo la decisión 😐.

Por lo tanto:

$$(X-1) \quad \text{o} \quad (X^2 + X + 1)$$

ya veremos cual, aparecerá en la factorización de $f \in \mathbb{Q}[X]$.

iv) $f(-1) = 27$. Hasta el momento juntando los resultados tengo 2 candidatos f_1 y f_2:

$$\begin{array}{lcl} f_1 = (X^2 - 2X - 1) \cdot (X-2)^3 \cdot X^2 \cdot (X^2 + X + 1) & \to & f_1(-1) = 2 \cdot (-27) \cdot 1 \cdot 1 = -54 \\ f_2 = (X^2 - 2X - 1) \cdot (X-2)^3 \cdot X^2 \cdot (X - 1) & \to & f_2(-1) = 2 \cdot (-27) \cdot 1 \cdot (-2) = 108, \end{array}$$

ninguno es el 27 que quiero, así que hay que hacer algo más.

Para encontrar *un* polinomio **mónico** que cumpla lo pedido tomaría el f_2 que tiene menor grado de los dos y lo multiplicaría por:

$$f = f_2 \cdot (X - a) \quad \text{con} \quad a \in \mathbb{Q}$$

de manera que pueda elegir el a para cumplir lo que quiero:

$$f(-1) = f_2(-1) \cdot (X - a) = 108 \cdot (-1 - a) = 27 \Leftrightarrow a = -\frac{5}{4}$$

$$f = (X^2 - 2X - 1) \cdot (X-2)^3 \cdot X^2 \cdot (X - 1) \cdot (X + \frac{5}{4})$$

así cumpliendo todas las condiciones.

`Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:`
`naD GarRaz` `Ale Teran`

---

4. Factorizar como producto de polinomios irreducibles en $\mathbb{Q}[X], \mathbb{R}[X], \mathbb{C}[X]$ al polinomio

$$f = X^5 + 2X^4 - 7X^3 - 7X^2 + 10X - 15$$

sabiendo $(f : X^4 - X^3 + 6X^2 - 5X + 5) \neq 1$

Si el $(f : X^4 - X^3 + 6X^2 - 5X + 5) \neq 1$, esto nos da información sobre *raíces comunes* entre f y $X^4 - X^3 + 6X^2 - 5X + 5$. Puedo hacer el algoritmo de Euclides para encontrar el MCD, con esa o esas raíces. El último resto no nulo hecho **mónico** será el MCD.

$$\begin{array}{rcl} X^5 + 2X^4 - 7X^3 - 7X^2 + 10X - 15 &=& \left(X^4 - X^3 + 6X^2 - 5X + 5\right) \cdot (X+3) + \left(-10X^3 - 20X^2 + 20X - 30\right) \\ X^4 - X^3 + 6X^2 - 5X + 5 &=& \left(-10X^3 - 20X^2 + 20X - 30\right) \cdot \left(-\frac{1}{10}X + \frac{3}{10}\right) + \left(14X^2 - 14X + 14\right) \\ -10X^3 - 20X^2 + 20X - 30 &=& \left(14X^2 - 14X + 14\right) \cdot \left(-\frac{5}{7}X - \frac{15}{7}\right) + 0 \end{array}$$

Por lo que:

$$(f : X^4 - X^3 + 6X^2 - 5X + 5) = X^2 - X + 1.$$

Las raíces del MCD son $\alpha_{1,2} = \frac{1 \pm w}{2}$ con $w^2 = 3i$.

$$X^2 - X + 1 = (X - (\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}))(X - (\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2})) \quad \checkmark$$

Por definición de lo que es el MCD sabemos que $X^2 - X + 1 \mid f$, haciendo la división bajamos el grado y seguimos buscando las raíces.

$$\begin{array}{r|l} X^5 + 2X^4 - 7X^3 - 7X^2 + 10X - 15 & X^2 - X + 1 \\ \cline{2-2} -X^5 + X^4 - X^3 \qquad\qquad\qquad\qquad & X^3 + 3X^2 - 5X - 15 \\ \hline 3X^4 - 8X^3 - 7X^2 \qquad\qquad & \\ -3X^4 + 3X^3 - 3X^2 \qquad\qquad & \\ \hline -5X^3 - 10X^2 + 10X \qquad & \\ 5X^3 - 5X^2 + 5X \qquad & \\ \hline -15X^2 + 15X - 15 & \\ 15X^2 - 15X + 15 & \\ \hline 0 & \end{array}$$

Obtuvimos que:

$$f = (X^2 - X + 1) \cdot (X^3 + 3X^2 - 5X - 15) + 0.$$

Hermoso resultado, donde la hermosura se mide en su simpleza para ser factorizado. Sin usar calculadora ni Guass ni ninguna cosa extraña podemos expresar a f como:

$$f \overset{!!!}{=} (X^2 - X + 1) \cdot \underbrace{(X - \sqrt{5}) \cdot (X + \sqrt{5}) \cdot (X + 3)}_{X^3+3X^2-5X-15}$$

Si todavía no viste como fue la factorización en ! te recomiendo que sigas mirando sin *spoiler de calculadora o del pesado o pesada sabelotodo* que quizás tenés al lado y que no te deja tiempo para pensar. Son puros casos de factoreo que *deberían verse a ojo.*
Ahora factorizamos en irreducibles, que son polinomios mónicos que solo se dividen por sí mismos y por 1, *los primos en el mundo de polinomios.* Para tener una mejor explicación clickeá acá! Y vas a la teoría del apunte.
Factorizaciones:

$$\begin{array}{lll} \mathbb{Q}[X] & \to & f = (X^2 - 5) \cdot (X^2 - X + 1) \cdot (X + 3) \\ \mathbb{R}[X] & \to & f = (X - \sqrt{5}) \cdot (X + \sqrt{5}) \cdot (X^2 - X + 1) \cdot (X + 3) \\ \mathbb{C}[X] & \to & f = (X + 3 \cdot (X - \sqrt{5}) \cdot (X + \sqrt{5}) \cdot (X - (\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i)) \cdot (X - (\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i)) \end{array}$$

Dale las gracias y un poco de amor ♥ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz   Ale Teran

---

5. Sea $(f_n)_{(n \geq 1)}$ la sucesión de poliniomios en $\mathbb{R}[X]$ definida como:

$$f_1 = X^5 + 3X^4 + 5X^3 + 11X^2 - 20 \quad \text{y} \quad f_{n+1} = (X+2)^2 f_n' + 3f_n, \text{ para cada } n \in \mathbb{N}.$$

Probar que -2 es raíz doble de f_n para todo $n \in \mathbb{N}$.

No caer en la *trampilla* de olvidar que para que una raíz de f sea doble, i.e. $\text{mult}(-2; f) \overset{!}{=} 2$ debe ocurrir lo *"obvio"*, $f(-2) = f'(-2) = 0$ y también que $f''(-2) \neq 0$. Si olvidamos esto último solo probaríamos que la $\text{mult}(-1; f) \geq 2$ y tendríamos el ejercicio mal.
Por inducción en n:

$$p(n) : -2 \text{ es raíz doble de } f_n, \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : -2 \text{ es raíz doble de } f_1$$

Derivar y evaluar:

$$\begin{cases} f_1 = X^5 + 3X^4 + 5X^3 + 11X^2 - 20 & \xrightarrow[\text{en } -2]{\text{evaluar}} & f_1(-2) = 0 \\ f_1' = 5X^4 + 12X^3 + 15X^2 + 22X & \xrightarrow[\text{en } -2]{\text{evaluar}} & f_1'(-2) = 0 \\ f_1'' = 20X^3 + 36X^2 + 30X + 22 & \xrightarrow[\text{en } -2]{\text{evaluar}} & f_1''(-2) = -54 \neq 0 \end{cases}$$

Por lo tanto $\text{mult}(-2; f_1) = 2 \implies -2$ es raíz doble de $f_1 \implies p(1)$ resultó ser verdadera.

Paso inductivo:
Asumo que para algún $k \in \mathbb{N}$

$$p(k) : \underbrace{-2 \text{ es raíz doble de } f_k}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Entonces quiero probar que:

$$p(k+1) : -2 \text{ es raíz doble de } f_{k+1}$$

también lo sea.
Sé que:

$$f_k \xLeftrightarrow[\text{que}]{\text{cumple}} \begin{cases} f_k(-2) = 0 \bigstar^1 \\ f_k'(-2) = 0 \bigstar^2 \\ f_k''(-2) \neq 0 \bigstar^3 \end{cases}$$

Laburo con f_{k+1}:

$$\begin{cases} f_{k+1} \stackrel{\text{def}}{=} (X+2)^2 f_k' + 3 \cdot f_k \\ f_{k+1}' = 2(X+2) f_k' + (X+2)^2 f_k'' + 3 \cdot f_k' \\ f_{k+1}'' = 2 f_k' + (2X+4) f_k'' + 2(X+2) f_k'' + (X+2)^2 f_k''' + 3 \cdot f_k'' \end{cases}$$

Evaluar en -2:

$$f_{k+1}(-2) \stackrel{?}{=} 0 \iff f_{k+1}(-2) = \cancel{(-2+2)}^2 f_k'(-2) + 3 f_k(-2) = 0^2 f_k'(-2) + 3 f_k(-2) = 3 f_k(-2) \stackrel{\bigstar^1}{=} 0 \quad \checkmark$$

$$f_{k+1}'(-2) \stackrel{?}{=} 0 \iff f_{k+1}'(-2) = 2\cancel{(-2+2)} f_k'(-2) + \cancel{(-2+2)}^2 f'' + f_k'(-2) = f_k'(-2) \stackrel{\bigstar^2}{=} 0 \quad \checkmark$$

$$f_{k+1}''(-2) \stackrel{?}{\neq} 0 \iff \begin{cases} f_{k+1}''(-2) = 2 f_k'(-2) + 2\cancel{(-2+2)} f_k''(-2) + 2\cancel{(-2+2)} f_k''(-2) + \\ + \cancel{(-2+2)}^2 f_k'''(-2) + f_k''(-2) = 2 \overbrace{f_k'(-2)}^{=0\bigstar^2} + \overbrace{f_k''(-2)}^{\neq 0 \bigstar^3} \neq 0 \quad \checkmark \end{cases}$$

Por lo tanto $\text{mult}(-2; f_{k+1}) = 2 \implies -2$ es raíz doble de $f_{k+1} \implies p(k+1)$ es verdadera también.

Como $p(1)$, $p(k)$ y $q(k+1)$ resultaron verdaderas, por principio de inducción $p(n)$ también lo es $\forall n \in \mathbb{N}$.

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz · Dani Tadd · autor original · anónimo

6.

a) Determinar todos los valores de $n \in \mathbb{N}$ **(positivo)** para los cuales el polinomio

$$f = X^5 + \frac{n}{3} X^4 - \frac{8}{3} X^3 + \frac{11}{3} X^2 - X$$

tiene una raíz **entera** no nula.

b) Para el o los valores hallados en el ítem (a), factorizar el polinomio f obtenido como producto de irreducibles en $\mathbb{Q}[X], \mathbb{R}[X]$ y $\mathbb{C}[X]$

---

a) Determinar todos los valores de $n \in \mathbb{N}$ **(positivo)** para los cuales el polinomio

$$f = X^5 + \frac{n}{3} X^4 - \frac{8}{3} X^3 + \frac{11}{3} X^2 - X$$

tiene una raíz **entera** no nula.

Solución:

Limpiando los denominadores de f se obtiene el polinomio g con las mismas raíces:

$$g = 3X^5 + nX^4 - 8X^3 + 11X^2 - 3X = X(\underbrace{3X^4 + nX^3 - 8X^2 + 11X - 3}_{h})$$

Por enunciado ignoramos la raiz nula y utilizando el Lema de Gauss buscamos las raíces racionales de

$$h = 3X^4 + nX^3 - 8X^2 + 11X - 3$$

Aquí, $a_0 = -3$ y $a_n = 3$

$$\text{Div}(a_0) = \text{Div}(a_n) = \{\pm 1, \pm 3\}$$

Como busco raíces enteras, las busco en el conjunto:

$$\{\pm 1, \pm 3\}$$

Chequeo:

$$\begin{aligned} h(-1) = 0 &\iff n = -19 \notin \mathbb{N} \\ h(1) = 0 &\iff n = -3 \notin \mathbb{N} \\ h(-3) = 0 &\iff \boxed{\text{n=5}} \in \mathbb{N} \\ h(3) = 0 &\iff n = \tfrac{67}{9} \notin \mathbb{N} \end{aligned}$$

Rta: $n = 5$ es el único valor de $n \in \mathbb{N}$ para los cuales el polinomio f tiene una raíz entera no nula.

b) Para el o los valores hallados en el ítem (a), factorizar el polinomio f obtenido como producto de irreducibles en $\mathbb{Q}[X], \mathbb{R}[X]$ y $\mathbb{C}[X]$

Solución:

Primero factorizo la raiz nula de de f

$$f = X^5 + \frac{5}{3}X^4 - \frac{8}{3}X^3 + \frac{11}{3}X^2 - X = X(X^4 + \frac{5}{3}X^3 - \frac{8}{3}X^2 + \frac{11}{3}X - 1)$$

Se, por el item (a), que -3 es una de las raíces racionales de f. Busco otras posibles raiíces racionales en el polinomio h (con $n = 5$) obtenido en el item (a) en el conjunto $\{\pm\frac{1}{3}\}$

$h(-\frac{1}{3}) = -\frac{208}{27}$

$h(\frac{1}{3}) = 0 \implies \frac{1}{3}$ es una raiz racional de f.

Factorizo el polinomio f diviendolo por el producto de las dos raíces encontradas $(X+3)\cdot(X-\frac{1}{3}) = X^2 + \frac{8}{3} - 1$

$$\begin{array}{r|l} X^4 + \frac{5}{3}X^3 - \frac{8}{3}X^2 + \frac{11}{3}X - 1 & X^2 + \frac{8}{3}X - 1 \\ \cline{2-2} \underline{-X^4 - \frac{8}{3}X^3 + X^2 \qquad\qquad\quad} & X^2 - X + 1 \\ -X^3 - \frac{5}{3}X^2 + \frac{11}{3}X \qquad & \\ \underline{X^3 + \frac{8}{3}X^2 - X \qquad} & \\ X^2 + \frac{8}{3}X - 1 & \\ \underline{-X^2 - \frac{8}{3}X + 1} & \\ 0 & \end{array}$$

Factorizo el polinomio cuadrático $X^2 + \frac{8}{3}X - 1$

$$\Delta = (-1)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 1 = -3$$

$$x_+ = \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} \in \mathbb{C} \text{ y } x_- = \frac{1 - \sqrt{3}i}{2} \in \mathbb{C}$$

Rta:

$\therefore f = X(X+3)(X-\frac{1}{3})(X - (\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i))(X - (\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i)) \in \mathbb{C}$ con todos sus factores de multiplicidad 1 y por lo tanto irreducibles.

$\therefore f = X(X+3)(X-\frac{1}{3})(X^2 - X + 1) \in \mathbb{R}$ con 3 factores de multiplicidad 1 y 1 de multiplicidad 2 pero de raíces complejas y por lo tanto irreducibles en $\mathbb{R}$.

$\therefore f = X(X+3)(X-\frac{1}{3})(X^2 - X + 1) \in \mathbb{Q}$ con 3 factores de multiplicidad 1 y 1 de multiplicidad 2 pero de raíces complejas y por lo tanto irreducibles en $\mathbb{Q}$.

7. Determinar un polinomio $f \in \mathbb{Q}[X]$ de grado mínimo que satisfaga simultáneamente:

- f es mónico,
- $\text{gr}(f : 2X^3 - 5X^2 - 20X + 11) = 2$
- f tiene una raíz $z \in G_3$ con $z \neq 1$, que es doble,
- $f(0) = 33$;

El dato de $\text{gr}\,\overbrace{(f : \underbrace{2X^3 - 5X^2 - 20X + 11}_{g})}^{d} = 2$ indica que hay un polinomio, d, con $\text{gr}(d) = 2$ que cumple que $\begin{cases} d \mid f \\ d \mid 2X^3 - 5X^2 - 20X + 11 \end{cases}$ entonces, f tiene 2 raíces en común con g. Estás raíces pueden ser una doble o dos simples. Dado que nos piden que sea de grado mínimo habrá que tener *cuidado* cual elegir para no violar ninguna condición.

Calculemos las posibles raíces de g usando *lema de gauss*:
Posibles raíces serán los cocientes de los divisores de 11 y los de 2.

$$\mathcal{D}(11) = \{\pm 1, \pm 11\}, \mathcal{D}(2) = \{\pm 1, \pm 2\} :$$

$$\left\{ \pm 1, \pm \frac{1}{2}, \pm 11, \pm \frac{11}{2} \right\}.$$

Probando esos valores encuentro que $g(\frac{1}{2}) = 0$ y ninguna de las otras funcionó. Le bajamos el grado con el algoritmo de división a g.

$$\begin{array}{rl|l}
2X^3 - 5X^2 - 20X + 11 & & X - \frac{1}{2} \\ \cline{3-3}
-\,2X^3 + X^2 \qquad\qquad\quad & & 2X^2 - 4X - 22 \\ \cline{1-1}
-\,4X^2 - 20X \qquad & & \\
4X^2 - 2X \qquad & & \\ \cline{1-1}
-\,22X + 11 & & \\
22X - 11 & & \\ \cline{1-1}
0 & &
\end{array}$$

Hasta el momento:

$$g = (X - \frac{1}{2}) \cdot (2X^2 - 4X - 22) + 0,$$

buscamos raíces de $2X^2 - 4X - 22$:

$$\alpha_{+,-} = \frac{4 \pm 8\sqrt{3}}{4} = 1 \pm 2\sqrt{3} = \begin{cases} 1 + 2\sqrt{3} \\ 1 - 2\sqrt{3} \end{cases}$$

Entonces: f tiene 2 raíces en común con $g = (X - \frac{1}{2})(X - (1 + 2\sqrt{3}))(X - (1 - 2\sqrt{3}))$. Dado que $f \in \mathbb{Q}[X]$ voy a seleccionar las raíces que tienen número irracionales por la condición de grado mínimo. Recordar que si $f \in \mathbb{Q}[X]$ tiene una raíz con números irracionales, también debe estar su conjugado irracional.

Con la condición que dice que f tiene una raíz $z \in G_3$ con $z \neq 1$, que es doble, no nos dejan muchas opciones. G_3 tiene tres raíces, solución de $w^3 = 1$, dado que por enunciado no puede ser 1, entonces solo quedan:

$$-\frac{1}{2} \pm \frac{\sqrt{3}}{2} i$$

(Si no te acordás como encontrar raíces de la familia G_n te dejo el ejercicio **12.**) que se hacen las cuentas.

Ok, tengo esas dos raíces: $-\frac{1}{2} \pm \frac{\sqrt{3}}{2}i$ ¿Cuál elijo? ¡Cualquiera sirve! Porque, *nuevamente* ☺, como $f en \mathbb{Q}[X]$ si agarro una raíz compleja también necesito su conjugado complejo, lo mismo que antes.
Hasta el momento tenemos:

$$f = \overbrace{(X-(1+2\sqrt{3}))(X-(1-2\sqrt{3}))}^{X^2-2X-11} \underbrace{(X-(-\tfrac{1}{2}+\tfrac{\sqrt{3}}{2}i))^{2\star^1} (X-(-\tfrac{1}{2}-\tfrac{\sqrt{3}}{2}i))^{2\star^1}}_{(X^2+X+1)^2} =$$
$$= (X^2-2X-11)(X^2+X+1)^2$$

★[1] Si es doble una de las complejas, también debe serlo su conjugado, porque $f \in \mathbb{Q}[X]$.

Nos queda cumplir que $f(0) = 33$, si bien ahora $f(0) = -11$. Acá tenemos que tener en cuenta la primera condición. f es *mónico*, así que no podemos corregir el valor poniendo un coeficiente principal.
Hay que proponer otro factor en $\mathbb{Q}[X]$, que al evaluar de el número que al multiplicarse con -11 nos dé 33. El candidato es $(X-3)$, dado que en 0 vale -3 y así $f(0) = (-11)\cdot(-3) = 33$ como queremos.

El $f \in \mathbb{Q}[X]$ que cumple lo pedido:

$$\boxed{f = (X^2-2X-11)(X^2+X+1)^2(X-3)}$$

Dale las gracias y un poco de amor ♥ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
Nad Garraz

8.

a) Determinar todos los $f \in \mathbb{R}[X]$ mónicos de grado mínimo tales que cumplan:

- f contiene entre sus raíces al menos una raíz cúbica de la unidad,
- $X^2+1 \mid (f : f')$,
- f tiene al menos 2 raíces enteras,
- $f(1) = -12$,

b) Con el polinomio f hallado expresar factorización en irreducibles en $\mathbb{Q}[X], \mathbb{R}[X]$ y $\mathbb{C}[X]$.

---

a) Arrancando con la primera condición, tenemos al menos a una de las w tales que:

$$w^3 = 1 \Leftrightarrow \begin{cases} w_1 = 1\star^1 \\ w_2 = -\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}i \\ w_3 = -\frac{1}{2}-\frac{\sqrt{3}}{2}i \end{cases}.$$

Si no te acordás como calcular las raíces, mirá el ejercicio 12, donde se resuelve algo casi idéntico.

Como el polinomio *debe ser de grado mínimo* y tiene coeficientes en $\mathbb{R}$ hay que elegir con cuidado. Lo mejor es ver el resto de las condiciones para no hacer *cagadas*. (¡spoiler alert: Elegí el 1 si sos picante!)

De la segunda condición sacamos que:

$$X^2+1 = (X-i)\cdot(X+i) \mid (f:f') \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{c} X^2+1 \mid f \Leftrightarrow \begin{cases} (X-i) \mid f \\ \text{y} \\ (X+i) \mid f \end{cases} \\ \text{y} \\ X^2+1 \mid f' \Leftrightarrow \begin{cases} (X-i) \mid f' \\ \text{y} \\ (X+i) \mid f' \end{cases} \end{array} \right\} \Leftrightarrow \begin{cases} (X-i)^2 \mid f \\ \text{y} \\ (X+i)^2 \mid f \end{cases}$$

Si no entendés el porqué de eso mirate esto de las notas teóricas, para tener contexto. Básicamente si α es una raíz de f y también de f', entonces es una raíz *por lo menos* doble de f.

En el tercer punto, nos dicen que tiene al menos 2 raíces en $\mathbb{Z}$. ¿Una de esas podría ser el 1 que obtuvimos como raíz de G_3?, Dejame que lo piense.

En el último punto tenemos que cumplir que al evaluar en nuestro polinomio f en 1, eso nos dé -12. Y es acá donde nos damos cuenta de que no podemos elegir a $1\bigstar^1$ para que sea raíz de f!! Y dado que $f \in \mathbb{R}[X]$ tenemos que elegir entonces ambas $\begin{cases} w_2 = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \\ w_3 = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \end{cases}$. Propongo:

$$\begin{aligned} f &= (X - (-\tfrac{1}{2} - \tfrac{\sqrt{3}}{2}i))(X - (-\tfrac{1}{2} + \tfrac{\sqrt{3}}{2}i))(X-i)^2(X+i)^2(X-a)(X-b) \\ &\overset{\bigstar^2}{=} (X^2+X+1)(X^2+1)^2(X-a)(X-b), \end{aligned}$$

con a y b a determinar, de manera tal de cumplir las últimas dos condiciones: *ambas* enteras y $f(1) = -12$.

$$f(1) = -12 \overset{\bigstar^2}{\iff} 12 \cdot (1-a)(1-b) = -12 \iff (1-a)(1-b) = -1 \underset{\in \mathbb{Z}}{\overset{a \text{ y } b}{\iff}} a = 2 \quad \text{y} \quad b = 0.$$

Esas serían las candidatas a raíces enteras, obteniendo así un único polinomio

$$f = (X^2+X+1)(X^2+1)^2(X-2)(X-0) = X(X-2)(X^2+X+1)(X^2+1)^2$$

mónico y de grado mínimo que cumple las condiciones pedidas.

b) La definición de polinomio irreducible está acá.

$$\boxed{\begin{array}{lcl} \mathbb{Q}[X] & \to & f = X(X-2)(X^2+X+1)(X^2+1)^2 \\ \mathbb{R}[X] & \to & f = X(X-2)(X^2+X+1)(X^2+1)^2 \\ \mathbb{C}[X] & \to & f = X(X-2)(X-(-\frac{1}{2}-\frac{\sqrt{3}}{2}i))(X-(-\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}i))(X-i)^2(X+i)^2 \end{array}}$$

Notar que en $\mathbb{Q}$ y en $\mathbb{R}$ las factorizaciones son iguales, dado que no hay raíces irracionales.

`Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:`
`naD GarRaz` `Dani Tadd`

---

9. Hallar $f \in \mathbb{Q}[X]$ de grado mínimo tal que cumpla las siguientes condiciones

- f comparte una raíz con $X^3 - 3X^2 + 7X - 5$
- $X + 3 - \sqrt{2} \mid f$,
- $1 - 2i$ es raíz de f y $f'(1-2i) = 0$

Vamos con la primera. Si dos polinomios , f y $g = X^3 - 3X^2 + 7X - 5$, comparten raíz buscamos raíces de g con el *lema de Gauss* de donde tomaremos las raíces que nos sirvan para construir nuestro f *mónico y de grado mínimo*: $A = \{\pm 1, \pm 5\}$, con $\alpha = 1 \implies g(1) = 0 \quad \checkmark$.
Como $\alpha = 1$ es raíz, entonces $X - 1 \mid g$:

$$\begin{array}{rl|l} & X^3 - 3X^2 + 7X - 5 & X - 1 \\ \cline{3-3} & -X^3 + X^2 & X^2 - 2X + 5 \\ \hline & -2X^2 + 7X & \\ & 2X^2 - 2X & \\ \hline & 5X - 5 & \\ & -5X + 5 & \\ \hline & 0 & \end{array}$$

$g = (X-1)\cdot(X^2-2X+5)$, busco raíces del cociente X^2-2X+5, usando resolvente

$$r_{+,-} = \frac{2\pm w}{2}, \text{ con } w^2 = -16 \to \begin{cases} r_+ = 1+2i \\ r_- = 1-2i. \end{cases}$$

Finalmente,

$$g \overset{\star^1}{=} (X-1)\cdot\underbrace{(X-(1+2i))\cdot(X-(1-2i))}_{X^2-2X+5} \quad \checkmark,$$

antes de elegir cuales de estas raíces serán comunes a f
es recomendable estudiar las otras condiciones del enunciado.

$X+3-\sqrt{2} = X-(-3+\sqrt{2}) \mid f$, por lo que $(-3+\sqrt{2})$ es una raíz de f y dado que $f\in\mathbb{Q}[X]$ también debe estar el conjugado irracional $-3-\sqrt{2}$.

$$\left\{\begin{array}{c} X-(-3+\sqrt{2}) \mid f \\ \text{y} \\ X-(-3-\sqrt{2}) \mid f \end{array}\right. \overset{!}{\Leftrightarrow} X^2+6X+7 \mid f \quad \checkmark.$$

La tercera condición tiene *mucha data*. Nos da una raíz compleja de f, por lo cual también tendremos su conjugado complejo porque $f\in\mathbb{Q}[X]$.
Esa raíz es una de las que está en $g\star^1$.
El dato de f', también nos indica que la multiplicidad de $1-2i$ como raíz es por lo menos 2, ya que $f'(1-2i)=0$, y por lo tanto $\text{mult}(1+2i; f)$ también será por lo menos 2.

Tenemos todo para armar a f:

$$f = (X^2-2X+5)^2\cdot(X^2+6X+7) \quad \checkmark$$

---

10. Determinar todos los primos p positivos tales que el polinomio

$$f = pX^3 - X^2 + 13X - 1$$

tenga al menos una raíz racional positiva. Para cada valor de p hallado, factorizar f como producto de polinomios irreducibles en $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$ y $\mathbb{C}[X]$.

El lema de Gauss dice que las raíces racionales que el polinomio puede tener, tienen que estar en el conjunto de los divisores del *coeficiente principal* p y el *termino independiente* -1:

$$\left\{\pm1, \pm\frac{1}{2}, \pm\frac{1}{3}, \pm\frac{1}{5}, \pm\frac{1}{7}, \dots, \pm\frac{1}{p}\right\}$$

Ahora hay que hacer cuentas para todos los primos y ver cuál funciona, *nah, mentira.* Si $\frac{1}{p}$ es raíz entonces hay que dividir ($p^{-1} = \frac{1}{p}$, boludeces, no!):

$$\begin{array}{rrr|l} pX^3 - X^2 & +13X & -1 & X - p^{-1} \\ \cline{4-4} -pX^3 + X^2 & & & pX^2 + 13 \\ \cline{1-1} & 13X & -1 & \\ & -13X & +13p^{-1} & \\ \cline{2-3} & & (-1+13p^{-1}) & \end{array}$$

Y a esto hay que pedirle que el resto sea 0, porque $\frac{1}{p}$ es raíz racional:

$$-1 + \frac{13}{p} = 0 \Leftrightarrow p = 13$$

Si p tiene que ser primo y positivo entonces $p = 13$, usando el resultado de la división:

$$\begin{array}{rcl} f = 13X^3 - X^2 + 13X - 1 & = & 13(X - \frac{1}{13}) \cdot (X^2 + 1) \\ & = & 13(X - \frac{1}{13}) \cdot (X - i) \cdot (X + i) \end{array}$$

Todo lindo las raíces:

$$\begin{cases} X_1 & = & \frac{1}{13} \\ X_2 & = & i \\ X_3 & = & -i \end{cases}$$

Y factorizado en $\mathbb{Q}[X]$, $\mathbb{R}[X]$ y $\mathbb{C}[X]$ queda.

$$\boxed{\begin{array}{lcl} \mathbb{Q}[X]: \quad f & = & 13 \cdot (X - \frac{1}{13}) \cdot (X^2 + 1) \\ \mathbb{R}[X]: \quad f & = & 13 \cdot (X - \frac{1}{13}) \cdot (X^2 + 1) \\ \mathbb{C}[X]: \quad f & = & 13 \cdot (X - \frac{1}{13}) \cdot (X - i) \cdot (X + i) \end{array}}$$

Dale las gracias y un poco de amor ❤ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

♉ Nad Garraz

---

11. Hallar todos los $k \in \mathbb{Q}$ para los cuales el polinomio $f = X^6 + kX^3 + 25 \in \mathbb{Q}[X]$ tiene al menos una raíz compleja múltiple. Para cada uno de los valores de k hallados, factorizar f en $\mathbb{C}[X], \mathbb{R}[X]$ y $\mathbb{Q}[X]$.

Antes de empezar este ejercicio, estaría bueno que hagas un minuto de silencio por los que rindieron este examen...

1 minuto después

Si f tiene raíces múltiples, busco raíces en su derivada, f':

$$f'(r) = 0 \Leftrightarrow f' = 6r^5 + 3kr^2 = 0 \Leftrightarrow 3r^2 \cdot (2r^3 + k) = 0 \Leftrightarrow k = -2r^3$$

Entonces para el valor de una raíz r, tengo lo que tiene que valer k. Como tengo raíces múltiples, meto a r y el valor de k encontrado en f:

$$f(r) = 0 \xLeftrightarrow{k=-2r^3} r^6 - 2r^6 + 25 = 0 \Leftrightarrow \boxed{r^6 = 25}$$

Ese último resultado es G_6 con módulo $\sqrt[3]{5}$:

$$r_q = \sqrt[3]{5} \cdot e^{i\frac{1}{3}q\pi} \quad \text{con} \quad q \in [0, 5]$$

Estos valores son las raíces de f, pero hay que ver para cuál valor de k:

$$k = -2(r_q)^3 \Leftrightarrow \begin{cases} \text{si } q \text{ es par} & \Longrightarrow & k = -2\big(\sqrt[3]{5} \cdot e^{i\frac{1}{3}q_{par}\pi}\big)^3 & = & -10 \\ \text{si } q \text{ es impar} & \Longrightarrow & k = -2\big(\sqrt[3]{5} \cdot e^{i\frac{1}{3}q_{impar}\pi}\big)^3 & = & 10 \end{cases}$$

Por lo tanto hay 2 valores posibles para k:

$$k \in \{-10, 10\}$$

Hay 2 valores de k que formarán 2 polinomios distintos. Cada uno de esos polinomios tiene 3 raíces tanto de f como de f' por lo tanto las mencionadas raíces son raíces dobles de f.
Notar en el resultado de la derivada metiendo los valores de k:

$$f'_{-10}(r_{q_{par}}) = 0 \Leftrightarrow r^3 = 5 \quad \text{y} \quad f'_{10}(r_{q_{impar}}) = 0 \Leftrightarrow r^3 = -5.$$

A esta altura esas ecuaciones se resuelven solas y todas esas soluciones son la r_q de antes, *miti y miti*.

Tengo entonces que factorizar 2 polinomios f:

$$\boxed{f_{-10} = X^6 - 10X^3 + 25 \quad \text{y} \quad f_{10} = X^6 + 10X^3 + 25}$$

Esto va a ser útil:

$$\boxed{(X-z)(X-\overline{z}) \overset{\star^1}{=} X^2 - 2\operatorname{Re}(z)X + |z|^2}$$

Factorizo f_{-10}:
El valor $k=-10$ tiene asociadas las raíces con q par:

$$\left\{\sqrt[3]{5},\ \sqrt[3]{5}\cdot e^{i\frac{2}{3}\pi},\ \sqrt[3]{5}\cdot e^{i\frac{4}{3}\pi}\right\} = \left\{\sqrt[3]{5},\ \sqrt[3]{5}\cdot\left(-\frac{1}{2}+i\frac{\sqrt{3}}{2}\right),\ \sqrt[3]{5}\cdot\left(-\frac{1}{2}-i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right\}.$$

Que cosa horrible esto:

$$\left(X-\sqrt[3]{5}\cdot\left(-\frac{1}{2}+i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right)\cdot\left(X-\sqrt[3]{5}\cdot\left(-\frac{1}{2}-i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right) \overset{\star^1}{=} X^2+\sqrt[3]{5}\cdot X+(\sqrt[3]{5})^2$$

$$\boxed{\begin{array}{rcl} f_{-10} & = & X^6-10X^3+25 \\ & \overset{!}{=} & (X^3-5)^2 \in \mathbb{Q}[X] \\ & \overset{!}{=} & \left((X-\sqrt[3]{5})\cdot(X^2+\sqrt[3]{5}\cdot X+(\sqrt[3]{5})^2)\right)^2 = \left(X-\sqrt[3]{5}\right)^2\cdot\left(X^2+\sqrt[3]{5}\cdot X+(\sqrt[3]{5})^2\right)^2 \in \mathbb{R}[X] \\ & \overset{!}{=} & \left(X-\sqrt[3]{5}\right)^2\cdot\left(X-\sqrt[3]{5}(-\frac{1}{2}-i\frac{\sqrt{3}}{2})\right)^2\cdot\left(X-\sqrt[3]{5}(-\frac{1}{2}+i\frac{\sqrt{3}}{2})\right)^2 \in \mathbb{C}[X] \end{array}}$$

Factorizo f_{10}:
El valor $k=10$ tiene asociadas las raíces con q impar:

$$\left\{-\sqrt[3]{5},\ \sqrt[3]{5}\cdot e^{i\frac{1}{3}\pi},\ \sqrt[3]{5}\cdot e^{i\frac{5}{3}\pi}\right\} = \left\{-\sqrt[3]{5},\ \sqrt[3]{5}\cdot\left(\frac{1}{2}+i\frac{\sqrt{3}}{2}\right),\ \sqrt[3]{5}\cdot\left(\frac{1}{2}-i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right\}.$$

Esto es igual de horrible, pero solo *hay que cambiar un par de signos a lo de antes*:

$$\left(X-\sqrt[3]{5}\cdot\left(\frac{1}{2}+i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right)\cdot\left(X-\sqrt[3]{5}\cdot\left(\frac{1}{2}-i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right) \overset{\star^1}{=} X^2-\sqrt[3]{5}\cdot X+(\sqrt[3]{5})^2$$

$$\boxed{\begin{array}{rcl} f_{10} & = & X^6+10X^3+25 \\ & \overset{!}{=} & (X^3+5)^2 \in \mathbb{Q}[X] \\ & \overset{!}{=} & \left((X+\sqrt[3]{5})\cdot(X^2-\sqrt[3]{5}\cdot X+(\sqrt[3]{5})^2)\right)^2 = \left(X+\sqrt[3]{5}\right)^2\cdot\left(X^2-\sqrt[3]{5}\cdot X+(\sqrt[3]{5})^2\right)^2 \in \mathbb{R}[X] \\ & \overset{!}{=} & \left(X+\sqrt[3]{5}\right)^2\cdot\left(X-\sqrt[3]{5}(\frac{1}{2}-i\frac{\sqrt{3}}{2})\right)^2\cdot\left(X-\sqrt[3]{5}(\frac{1}{2}+i\frac{\sqrt{3}}{2})\right)^2 \in \mathbb{C}[X] \end{array}}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
Nad Garraz

---

12. Factorizar como producto de polinomios mónicos irreducibles en $\mathbb{Z}/(3\mathbb{Z})[X]$ el polinomio

$$f(X) = X^4+X^3+X+2 \in \mathbb{Z}/(3\mathbb{Z})[X].$$

Busco una raíz:

$$f(i) = i^4+i^3+i+2 = 1+-i+i+2 = 3 \overset{(3)}{\equiv} 0$$

El conjugado de i también, es raíz, por lo tanto bajo el grado del polinomio dividiendo por

$$(X-i)\cdot(X+i) = X^2+1$$

$$\begin{array}{rrrr|l} X^4 + X^3 & & + X + 2 & & X^2+1 \\ \cline{5-5} - X^4 & - X^2 & & & X^2+X-1 \\ \cline{1-2} & X^3 - X^2 + X & & & \\ & - X^3 \quad - X & & & \\ \cline{2-2} & - X^2 & + 2 & & \\ & X^2 & + 1 & & \\ \cline{2-3} & & 3 & & \end{array}$$

Por lo tanto:

$$X^4 + X^3 + X + 2 = (X^2+1)\cdot(X^2+X-1) + 3 \overset{(3)}{\equiv} (X^2+1)\cdot(X^2+X+2) + 0$$

Al buscar las raíces de (X^2+X+2), con la resolvente:

$$r_1 = -\frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{7}}{2} \quad \text{y} \quad r_2 = -\frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{7}}{2}$$

Raíces que no tienen número enteros, así que no van a figurar en la factorización.
Nos piden factorización en $\mathbb{Z}/(3\,\mathbb{Z})$ por lo que:

$$\boxed{f(X) = (X^2+1)\cdot(X^2+X+2)}$$

Dale las gracias y un poco de amor ❤ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
Nad Garraz

---

13. Sea $f \in \mathbb{Q}[X]$ el polinomio mónico de grado mínimo que satisface simultáneamente

- $X^2 + 2X + 5$ divide a $(f : f')$,
- $X^2 - 4X + 1$ divide a $(f : f'')$,
- $f'(2-\sqrt{3}) = 0$.

Hallar la factorización de f en $\mathbb{C}[X]$, en $\mathbb{R}[X]$ y en $\mathbb{Q}[X]$.

Acomodo un poco el enunciado:

$$\begin{aligned} X^2+2X+5 &\overset{!}{=} (X-(-1+2i))\cdot(X-(-1-2i)) \\ X^2-4X+1 &\overset{!}{=} (X-(2+\sqrt{3}))\cdot(X-(2-\sqrt{3})) \end{aligned}$$

Tengo que $2-\sqrt{3}$ por lo menos es triple ya que por la segunda y tercera condición:

$$\begin{array}{ll} (X-(2-\sqrt{3})) \mid f, & \\ (X-(2-\sqrt{3})) \mid f' & \text{por tercerca condición} \\ \text{y} & \\ (X-(2-\sqrt{3})) \mid f'' & \text{por segunda condición} \end{array}$$

Las raíces complejas $-1+2i$ y $-1-2i$ son por lo menos dobles.

Para que se cumpla la segunda condición las 2 raíces irracionales van a tener que tener la misma multiplicidad.

Factorización en $\mathbb{Q}[X]$:

$$\boxed{f = (X^2+2X+5)^2\cdot(X^2-4X+1)^3}$$

Factorización en $\mathbb{R}[X]$:

$$\boxed{f = (X^2+2X+5)^2\cdot(X-(2-\sqrt{3}))^3\cdot(X-(2+\sqrt{3}))^3}$$

Factorización en $\mathbb{C}[X]$:

$$\boxed{f = (X-(-1+2i))^2 \cdot (X-(-1-2i))^2 \cdot (X-(2-\sqrt{3}))^3 \cdot (X-(2+\sqrt{3}))^3}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz   Olivia Portero

---

14. Sea $f = X^5 - (\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i)$.

a) Probar que $f \mid X^{30} - 1$

b) Hallar el polinomio $g \in \mathbb{R}[X]$ mónico de grado mínimo tal que $f \mid g$.

Antes de empezar:

Recordad que los elementos de G_n son de la forma $e^{i\frac{2\pi}{n}k}$ con $k \in \mathbb{Z}$

Ahora sí:

a) Las raíces de f:

$$X^5 - (\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i) = 0 \Leftrightarrow X^5 = e^{i\frac{\pi}{3}} \overset{!!}{\Longleftrightarrow} X \in \left\{e^{i\frac{1}{15}\pi}, e^{i\frac{7}{15}\pi}, e^{i\frac{13}{15}\pi}, e^{i\frac{19}{15}\pi}, e^{i\frac{5}{3}\pi}\right\}$$

Si $X^5 - (\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i) \mid X^{30} - 1$, entonces las raíces de f también deben ser raíces de $X^{30} - 1$. Observad que esas raíces son elementos de G_{30} si acomodo esas raíces:

$$\left\{e^{i\frac{1}{15}\pi}, e^{i\frac{7}{15}\pi}, e^{i\frac{13}{15}\pi}, e^{i\frac{19}{15}\pi}, e^{i\frac{5}{3}\pi}\right\} \xrightarrow[\text{esos argumentos}]{\times, \div 2} \left\{e^{i\frac{2}{30}\pi}, e^{i\frac{14}{30}\pi}, e^{i\frac{26}{30}\pi}, e^{i\frac{38}{30}\pi}, e^{i\frac{50}{30}\pi}\right\}$$

Las raíces de :

$$X^{30} - 1 = 0 \overset{!}{\Leftrightarrow} X \in G_{30}$$

Todas la raíces de f están en G_{30}, así que $f \mid X^{30} - 1$

Otra forma de mostarlo:

Versión de galera y bastón:

La versión más elegante, pero que no se me ocurre primero ni a palos (mirá el ejercicio 8 ← click): Sabemos que:

$$\begin{aligned} x - \left(\tfrac{1}{2} + \tfrac{\sqrt{3}}{2}i\right) \mid x^6 - \left(\tfrac{1}{2} + \tfrac{\sqrt{3}}{2}i\right)^6 \xrightarrow{x \to X^5} & X^5 - \left(\tfrac{1}{2} + \tfrac{\sqrt{3}}{2}i\right) \mid (X^5)^6 - \left(\tfrac{1}{2} + \tfrac{\sqrt{3}}{2}i\right)^6 \\ \overset{!!}{\Longleftrightarrow} & X^5 - \left(\tfrac{1}{2} + \tfrac{\sqrt{3}}{2}i\right) \mid X^{30} - 1 \end{aligned}$$

Por ende el polinomio f divide a $X^{30} - 1$.

b) $f \mid g$ Las raíces de f son todas complejas, así que voy a necesitar los conjugados para tener un $g \in \mathbb{R}[X]$. Esto va a ser útil:

$$\boxed{(X - z)(X - \overline{z}) = X^2 - 2\,\mathrm{Re}(z)X + |z|^2} \star^1$$

Las raíces son:

$$\left\{e^{i\frac{1}{15}\pi}, e^{i\frac{7}{15}\pi}, e^{i\frac{13}{15}\pi}, e^{i\frac{19}{15}\pi}, e^{i\frac{25}{15}\pi}\right\} \xrightarrow[\text{conjugados}]{\text{agrego los}} \left\{e^{i\frac{1}{15}\pi}, e^{i\frac{1}{3}\pi}, e^{i\frac{7}{15}\pi}, e^{i\frac{11}{15}\pi}, e^{i\frac{13}{15}\pi}, e^{i\frac{17}{15}\pi}, e^{i\frac{19}{15}\pi}, e^{i\frac{23}{15}\pi}, e^{i\frac{5}{3}\pi}, e^{i\frac{29}{15}\pi}\right\}$$

Armo el polinomio con esta bosta usando la expresión en $\star^1$:

$$g = (X^2 - 2\cos(\tfrac{1}{15}\pi) + 1) \cdot (X^2 - 2\cos(\tfrac{1}{3}\pi) + 1) \cdot (X^2 - 2\cos(\tfrac{7}{15}\pi) + 1) \cdot (X^2 - 2\cos(\tfrac{11}{15}\pi) + 1) \cdot (X^2 - 2\cos(\tfrac{13}{15}\pi) + 1)$$

Listo? Esto es la respuesta? *Tengo miedo, estoy cansado, jefe.*

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz

15. Factorice en irreducibles de $\mathbb{Q}[X], \mathbb{R}[X]$, y $\mathbb{C}[X]$ el polinomio

$$f = x^5 - 4x^4 - 6x^3 + 12x^2 + 40x + 32,$$

sabiendo que tiene alguna raíz en común con $g = x^4 - x^3 - 9x^2 - 16x - 10$.

Como los polinomios comparten una raíz, sé que $(f : g) \neq 1$. Usando al crack, titán de Euclides busco:

$$(f : g) \text{ dado que } (f : g) \mid f \quad \text{y} \quad (f : g) \mid g$$

y de ahí voy a sacar las raíces hermosas esas que tanto necesito.

$$\begin{array}{r|l}
x^5 - 4x^4 - 6x^3 + 12x^2 + 40x + 32 & x^4 - x^3 - 9x^2 - 16x - 10 \\ \cline{2-2}
-x^5 + x^4 + 9x^3 + 16x^2 + 10x & x - 3 \\ \cline{1-1}
-3x^4 + 3x^3 + 28x^2 + 50x + 32 & \\
3x^4 - 3x^3 - 27x^2 - 48x - 30 & \\ \cline{1-1}
x^2 + 2x + 2 &
\end{array}$$

$(f : g) = (x^4 - x^3 - 9x^2 - 16x - 10 : x^2 + 2x + 2)$, sigo con Euclides:

$$\begin{array}{r|l}
x^4 - x^3 - 9x^2 - 16x - 10 & x^2 + 2x + 2 \\ \cline{2-2}
-x^4 - 2x^3 - 2x^2 & x^2 - 3x - 5 \\ \cline{1-1}
-3x^3 - 11x^2 - 16x & \\
3x^3 + 6x^2 + 6x & \\ \cline{1-1}
-5x^2 - 10x - 10 & \\
5x^2 + 10x + 10 & \\ \cline{1-1}
0 &
\end{array}$$

Este último resultado confirma que:

$$(f : g) = x^2 + 2x + 2 \overset{!!}{=} (x - (-1 + i)) \cdot (x - (-1 - i))$$

Reduzco a f para buscar más raíces:

$$\begin{array}{r|l}
x^5 - 4x^4 - 6x^3 + 12x^2 + 40x + 32 & x^2 + 2x + 2 \\ \cline{2-2}
-x^5 - 2x^4 - 2x^3 & x^3 - 6x^2 + 4x + 16 \\ \cline{1-1}
-6x^4 - 8x^3 + 12x^2 & \\
6x^4 + 12x^3 + 12x^2 & \\ \cline{1-1}
4x^3 + 24x^2 + 40x & \\
-4x^3 - 8x^2 - 8x & \\ \cline{1-1}
16x^2 + 32x + 32 & \\
-16x^2 - 32x - 32 & \\ \cline{1-1}
0 &
\end{array}$$

De esta manera puedo escribir:

$$f = (x^2 + 2x + 2) \cdot (x^3 - 6x^2 + 4x + 16)$$

con el *lema de Gauss* posibles raíces de:

$$x^3 - 6x^2 + 4x + 16 \to \{\pm 1, \pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16\}.$$

De las cuales funciona el 4.

Vuelvo a dividir 😳:

$$
\begin{array}{r|l}
x^3 - 6x^2 + 4x + 16 & x - 4 \\
\underline{-\, x^3 + 4x^2} \qquad\qquad & x^2 - 2x - 4 \\
-\, 2x^2 + 4x \qquad & \\
\underline{2x^2 - 8x} \qquad & \\
-\, 4x + 16 & \\
\underline{4x - 16} & \\
0 &
\end{array}
$$

Podemos reescribir 😳:

$$f = (x^2 + 2x + 2) \cdot (x - 4) \cdot (x^2 - 2x - 4)$$

😳 el último factor tiene raíces $1 - \sqrt{5}$ y $1 + \sqrt{5}$ y ya escribo f en la factorizaciones pedidas:

$$
\boxed{
\begin{array}{lcll}
f & = & (x^2 + 2x + 2) \cdot (x - 4) \cdot (x^2 - 2x - 4) & \in \mathbb{Q}[X] \\
f & = & (x^2 + 2x + 2) \cdot (x - 4) \cdot (x - (1 - \sqrt{5})) \cdot (x - (1 + \sqrt{5})) & \in \mathbb{R}[X] \\
f & = & (x - (-1 + i)) \cdot (x - (-1 - i)) \cdot (x - 4) \cdot (x - (1 - \sqrt{5})) \cdot (x - (1 + \sqrt{5})) & \in \mathbb{C}[X]
\end{array}
}
$$

Dale las gracias y un poco de amor ❤ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

🏅 naD GarRaz 🏅 Nico Alegre

---

16. [final 09/04/2024] Hallar todos los números $a \in \mathbb{Q}$ para los cuales $f = X^5 - aX^4 + X^3 - aX^2 + X - a$ y $g = 2x^3 - 4x^2 + 11/2x - 2$ no son coprimos. Factorizar a f como producto de irreducibles en $\mathbb{Q}[X]$, en $\mathbb{R}[X]$ y en $\mathbb{C}[X]$.

😳... hay que hacerlo! 😡

Si querés mandá la solución → al grupo de Telegram, o mejor aún si querés subirlo en LaTeX→ una *pull request* al .

---

17. [final 04/03/24] Hallar $a \in \mathbb{Z}$ y $a \neq 0$ de forma tal que el polinomio $f \in \mathbb{C}[x]$ dado por

$$f = x^5 - (4i - 4)x^4 - (16i + 8)x^3 + (16i - 11)x^2 - (20i - 16)x - a$$

tenga una raíz entera. Para el o los valores de a hallados, dar la factorización de f en $\mathbb{C}[x]$ si además se sabe que $(f : x^6 - 1) \in \mathbb{Q}[x]$ y su grado es mayor que 1.

Para que un polinomio $f \in \mathbb{C}[x]$ tenga una raíz $r \in \mathbb{Z}$, debe ocurrir que:

$$f(r) = 0 \Leftrightarrow \mathrm{Re}(f(r)) = 0 \ \wedge \ \mathrm{Im}(f(r)) = 0$$

⚠ Ojo que ese razonamiento es válido porque $r \in \mathbb{Z}$ si no eso no tiene por qué cumplirse. Dado podría haber una componente imaginaria dentro de r ⚠

Después de hacer las cuentas queda el sistemita:

$$
\begin{cases}
\mathrm{Re}(f(r)) = r^5 + 4r^4 - 8r^3 - 11r^2 + 16r - a = 0 & \star^1 \\
\mathrm{Im}(f(r)) = -4r^4 - 16r^3 + 16r^2 - 20r = 0 & \star^2
\end{cases}
$$

Ataco $\star^2$ porque no tiene la a:

$$
\begin{array}{rcl}
-4r^4 - 16r^3 + 16r^2 - 20r = 0 & \Leftrightarrow & -4r \cdot (r^3 + 4r^2 - 4r + 5) = 0 \\
& \overset{!!}{\Longleftrightarrow} & -4r \cdot (r + 5) \cdot \underbrace{(r^2 - r + 1)}_{(r - (\frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}) \cdot (r - (\frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}) \star^3} = 0 \\
& \underset{r \in \mathbb{Z}}{\overset{!!}{\Longleftrightarrow}} & r \in \{0, -5\}
\end{array}
$$

Esos valores de r, también deben anular a $\text{Re}(f)$ lo cual sucede para los valores de a:

$$\begin{array}{rcccccl} r = 0 & \to & \text{Re}(f(0)) = 0 & \Leftrightarrow & a = 0 & \Leftrightarrow & \boxed{a = 0} \\ r = -5 & \to & \text{Re}(f(-5)) = 0 & \Leftrightarrow & 20 - a = 0 & \Leftrightarrow & \boxed{a = 20} \end{array}$$

Hasta el momento quedarían dos posibles f:

$$\boxed{f_{-5} = x^5 - (4i-4)x^4 - (16i+8)x^3 + (16i-11)x^2 - (20i-16)x - 20} \bigstar^4$$

En la parte del dato del MCD, $d = (f : x^6 - 1)$ que tenga coeficientes $\mathbb{Q}$ y grado mayor que uno, nos da info sobre las raíces comunes que tienen f y $x^6 - 1$. Estudio el polinomio ese, que sé que sus raíces forman G_6:

$$\begin{aligned} x^6 - 1 &\overset{!}{=} (x^3 - 1)\cdot(x^3 + 1) \\ &\overset{!}{=} (x-1)\cdot(x^2+x+1)\cdot(x+1)\cdot(x^2-x+1) \\ &\underset{G_6}{\overset{!}{=}} (x-1)\cdot(x-(\tfrac{-1}{2}+i\tfrac{\sqrt{3}}{2}))\cdot(x-(\tfrac{-1}{2}-i\tfrac{\sqrt{3}}{2}))\cdot(x+1)\cdot(x-(\tfrac{1}{2}+i\tfrac{\sqrt{3}}{2}))\cdot(x-(\tfrac{1}{2}-i\tfrac{\sqrt{3}}{2})) \end{aligned}$$

Del resultado para calcular a, sé que ni 1 ni -1 son raíces de f porque son números enteros por lo tanto y dado que $d \in \mathbb{Q}[x]$:

$$d \in \left\{ (x^2 - x + 1), (x^2 + x + 1), \underbrace{(x^2 - x + 1)\cdot(x^2 + x + 1)}_{x^4 + x^2 + 1} \right\}$$

El $d = x^4 + x^2 + 1$ no puede ser, porque f en $\bigstar^4$ no daría ni a palos.

No veo escapatoria a tener que hacer cuentas feas

En $\bigstar^3$ medio de *pedo* apareció $x^2 - x + 1$, lo cual es un candidato a funcionar. Tengo que comprobar que:

$$\underbrace{x^3 + 4x^2 - 4x + 5}_{(x+5)\cdot(x^2-x+1)} \mid f$$

Y ahora divido por eso rezo:

$$\begin{array}{rrrrrr|l} x^5 & +(4+-4i)\,x^4 & +(-8+-16i)\,x^3 & +(-11+16i)\,x^2 & +(16+-20i)\,x & -20 & x^3+4x^2-4x+5 \\ \cline{7-7} -x^5 & -4x^4 & +4x^3 & -5x^2 & & & x^2-4ix-4 \\ \cline{1-4} & -4ix^4 & +(-4+-16i)\,x^3 & +(-16+16i)\,x^2 & +(16+-20i)\,x & & \\ & 4ix^4 & +16ix^3 & -16ix^2 & +20ix & & \\ \cline{2-5} & & -4x^3 & -16x^2 & +16x & -20 & \\ & & 4x^3 & +16x^2 & -16x & +20 & \\ \cline{3-6} & & & & & 0 & \end{array}$$

El cociente es un cuadrado de binomio:

$$x^2 - 4ix - 4 = (x - 2i)^2$$

Finalmente:

$$\boxed{f = (x+5)\cdot\left(x-(\tfrac{1}{2}+i\tfrac{\sqrt{3}}{2})\right)\cdot\left(x-(\tfrac{1}{2}-i\tfrac{\sqrt{3}}{2})\right)\cdot(x-2i)^2}$$

Dale las gracias y un poco de amor a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:
naD GarRaz   Tizi S. F.