

Variable Compleja I

Examen VIII

FACULTAD
DE
CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE GRANADA



Los Del DGIIM, losdeldgiim.github.io

Doble Grado en Ingeniería Informática y Matemáticas
Universidad de Granada



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

Eres libre de compartir y redistribuir el contenido de esta obra en cualquier medio o formato, siempre y cuando des el crédito adecuado a los autores originales y no persigas fines comerciales.

Variable Compleja I

Examen VIII

Los Del DGIIM, losdeldgiim.github.io

Arturo Olivares Martos

Granada, 2024-2025

Asignatura Variable Compleja I.

Curso Académico 2017-18.

Grado Doble Grado en Ingeniería Informática y Matemáticas.

Grupo Único.

Profesor Javier Merí de la Maza.

Descripción Prueba Intermedia.

Fecha 25 de Abril de 2018.

Duración 120 minutos.

Ejercicio 1 (3.5 puntos). Probar que la serie $\sum_{n \geq 0} e^{-zn}$ converge absolutamente en todo punto del dominio $\Omega = \{z \in \mathbb{C} : \operatorname{Re} z > 0\}$ y uniformemente en cada subconjunto compacto contenido en Ω . Deducir que la función $g : \Omega \rightarrow \mathbb{C}$ dada por

$$g(z) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-zn}$$

es continua en Ω y calcular $\int_{C(2,1)} g(z) dz$.

Ejercicio 2 (3.5 puntos). Estudiar la derivabilidad de las funciones $f, g : \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}$ dadas por

$$f(z) = \cos(\bar{z}) \quad g(z) = (z-1)f(z) \quad \forall z \in \mathbb{C}.$$

Ejercicio 3 (3 puntos). Sea Ω un abierto de \mathbb{C} y $f \in \mathcal{H}(\Omega)$. Probar que la función $|f|$ no puede tener ningún máximo relativo estricto. Es decir, no pueden existir $z_0 \in \Omega$ y $r \in \mathbb{R}^+$ con $\overline{D}(z_0, r) \subset \Omega$ de modo que $|f(z_0)| > |f(z)|$ para cada $z \in \overline{D}(z_0, r) \setminus \{z_0\}$.

Ejercicio 1 (3.5 puntos). Probar que la serie $\sum_{n \geq 0} e^{-zn}$ converge absolutamente en todo punto del dominio $\Omega = \{z \in \mathbb{C} : \operatorname{Re} z > 0\}$ y uniformemente en cada subconjunto compacto contenido en Ω . Deducir que la función $g : \Omega \rightarrow \mathbb{C}$ dada por

$$g(z) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-zn}$$

es continua en Ω y calcular $\int_{C(2,1)} g(z) dz$.

Estudiamos en primer lugar la convergencia sobre compactos. Sea K un compacto de Ω . Como K es compacto y la parte real es continua, tenemos que $\exists M \in \mathbb{R}^+$ tal que:

$$M = \min\{\operatorname{Re}(z) : z \in K\}$$

Por lo tanto, para todo $z \in K$ se tiene que:

$$|e^{-zn}| = e^{-\operatorname{Re}(zn)} = e^{-n \operatorname{Re}(z)} \leq e^{-nM} = (e^{-M})^n \quad \forall n \in \mathbb{N}.$$

Como $e^{-M} < 1$, la serie $\sum_{n=0}^{\infty} (e^{-M})^n$ converge. Por el Test de Weierstrass, la serie de partida converge uniformemente en K .

Para la convergencia absoluta, consideramos $z \in \Omega$ fijo. Como $\{z\}$ es compacto, por el Test de Weierstrass tenemos que converge absolutamente en $\{z\}$. Como z es arbitrario, tenemos que la serie converge absolutamente en todo punto de Ω .

Para probar que g es continua, consideramos $z \in \Omega$. Como Ω es abierto, existe $R \in \mathbb{R}^+$ tal que $D(z, R) \subset \Omega$. Considerando $R/2$, tenemos que $z \in \overline{D}(z, R/2) \subset \Omega$. Por ser este compacto, la serie converge uniformemente en $\overline{D}(z, R/2)$. Como el término general de la serie es continuo para todo $n \in \mathbb{N}$, entonces g es continua en z . Como z es arbitrario, g es continua en Ω .

Como el integrando converge uniformemente en el compacto $C(2, 1) \subset \Omega$, podemos intercambiar la sumatoria y la integral, algo que nos será de utilidad a la hora de calcular la integral:

$$\int_{C(2,1)} g(z) dz = \sum_{n=0}^{\infty} \int_{C(2,1)} e^{-zn} dz \stackrel{(*)}{=} \sum_{n=0}^{\infty} 0 = 0$$

donde en $(*)$ hemos aplicado que dicha exponencial es entera y está definida en un dominio extrellado, luego por el Teorema Local de Cauchy admite primitiva en dicho dominio. Por lo tanto, la integral es nula.

Ejercicio 2 (3.5 puntos). Estudiar la derivabilidad de las funciones $f, g : \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}$ dadas por

$$f(z) = \cos(\bar{z}) \quad g(z) = (z-1)f(z) \quad \forall z \in \mathbb{C}.$$

Estudiamos primero la función f . En vistas a aplicar el Teorema de Cauchy-Riemann, definimos $u, v : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ como:

$$\begin{aligned}u(x, y) &= \operatorname{Re} f(x + iy) = \cos(x) \cosh(-y) \\v(x, y) &= \operatorname{Im} f(x + iy) = -\operatorname{sen}(x) \sinh(-y)\end{aligned}$$

Calculamos las derivadas parciales de u y v :

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial x}(x, y) &= -\operatorname{sen}(x) \cosh(-y) \\ \frac{\partial u}{\partial y}(x, y) &= -\cos(x) \sinh(-y) \\ \frac{\partial v}{\partial x}(x, y) &= -\cos(x) \sinh(-y) \\ \frac{\partial v}{\partial y}(x, y) &= \operatorname{sen}(x) \cosh(-y)\end{aligned}$$

La primera condición de Cauchy-Riemann se cumple si y sólo si:

$$\frac{\partial u}{\partial x}(x, y) = \frac{\partial v}{\partial y}(x, y) \iff \operatorname{sen}(x) \cosh(-y) = 0 \iff \operatorname{sen}(x) = 0$$

La segunda condición de Cauchy-Riemann se cumple si y sólo si:

$$\frac{\partial u}{\partial y}(x, y) = -\frac{\partial v}{\partial x}(x, y) \iff \cos(x) \sinh(-y) = 0 \iff \begin{cases} \cos(x) = 0 \\ \vee \sinh(-y) = 0 \end{cases}$$

Para que se cumplan ambas condiciones, es necesario que se cumpla que $y = 0$ y $\operatorname{sen}(x) = 0$; es decir, $z \in \pi\mathbb{Z}$. Por tanto, f es holomorfa en $\pi\mathbb{Z}$ y no es holomorfa en ningún otro punto de \mathbb{C} .

Ahora, estudiamos la función g . Fijado $z \in \mathbb{C}$, distinguimos en función del valor de z :

■ Si $z \in \pi\mathbb{Z}$:

En este caso, f es derivable en z y por tanto g también lo es.

■ Si $z \notin \pi\mathbb{Z}$:

Distinguimos dos casos:

• Si $z = 1$:

$$g'(1) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{g(z) - g(1)}{z - 1} = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{(z - 1)f(z)}{z - 1} = \lim_{z \rightarrow 1} f(z) = f(1) = \cos 1$$

• Si $z \neq 1$:

Entonces:

$$f(z) = \frac{g(z)}{z - 1}$$

Supuesto que g es derivable en z , entonces f también lo es. Pero como $z \notin \pi\mathbb{Z}$, f no es derivable en z . Por tanto, g no es derivable en z .

Por tanto, g es derivable en $\pi\mathbb{Z} \cup \{1\}$ y no lo es en ningún otro punto de \mathbb{C} .

Ejercicio 3 (3 puntos). Sea Ω un abierto de \mathbb{C} y $f \in \mathcal{H}(\Omega)$. Probar que la función $|f|$ no puede tener ningún máximo relativo estricto. Es decir, no pueden existir $z_0 \in \Omega$ y $r \in \mathbb{R}^+$ con $\overline{D}(z_0, r) \subset \Omega$ de modo que $|f(z_0)| > |f(z)|$ para cada $z \in \overline{D}(z_0, r) \setminus \{z_0\}$.

Por reducción al absurdo, supongamos que existen $z_0 \in \Omega$ y $r \in \mathbb{R}^+$ tales que $\overline{D}(z_0, r) \subset \Omega$ y $|f(z_0)| > |f(z)|$ para cada $z \in \overline{D}(z_0, r) \setminus \{z_0\}$.

Entonces, para cada $z \in D(z_0, r)$, por la fórmula de Cauchy para la circunferencia se tiene que:

$$f(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{C(z_0, r)} \frac{f(w)}{w - z} dw$$

En particular, para $z_0 \in D(z_0, r)$ se tiene que:

$$\begin{aligned} |f(z_0)| &= \frac{1}{2\pi|i|} \left| \int_{C(z_0, r)} \frac{f(w)}{w - z_0} dw \right| \leq \frac{2\pi r}{2\pi} \sup \left\{ \frac{|f(w)|}{|w - z_0|} : w \in C(z_0, r)^* \right\} \\ &= r \cdot \sup \left\{ \frac{|f(w)|}{r} : w \in C(z_0, r)^* \right\} = \sup \{ |f(w)| : w \in C(z_0, r)^* \} \\ &\stackrel{(*)}{=} \max \{ |f(w)| : w \in C(z_0, r)^* \} < |f(z_0)| \end{aligned}$$

donde en $(*)$ hemos aplicado que f y el módulo son funciones continuas y $C(z_0, r)^*$ es compacto, luego dicho máximo se alcanza. La última desigualdad estricta se debe a la hipótesis, puesto que $C(z_0, r)^* \subset \overline{D}(z_0, r) \setminus \{z_0\}$. Por tanto, hemos llegado a una contradicción.