



Ampliación de Matemáticas

Variable Compleja (4)

Residuos

Dada una función analítica, y dada una singularidad z_0 , definimos el **residuo** de f en z_0 como:

$$\text{Res}(f, z_0) = a_{-1}$$

Donde a_{-1} es el primer término de la parte principal de la serie de Laurent de f en z_0

Forma práctica de calcular los residuos:

- Si z_0 es un polo de orden 1, entonces

$$\text{Res}(f, z_0) = \lim_{z \rightarrow z_0} (z - z_0) f(z)$$

- Si z_0 es un polo de orden m , entonces

$$\text{Res}(f, z_0) = \frac{g^{m-1}(z_0)}{(m-1)!} \text{ con } g(z) = f(z) \cdot (z - z_0)^m$$

- Si $f(z) = \frac{P(z)}{Q(z)}$, con $P(z_0) \neq 0$ y $Q(z_0) = 0$ de orden 1, entonces:

$$\text{Res}(f, z_0) = \frac{P(z_0)}{Q'(z_0)}$$

• **Teorema de los residuos:** Sea f analítica en D salvo en un número finito de puntos. Sea γ curva cerrada simple orientada positivamente en D . Entonces:

$$\oint_{\gamma} f(z) dz = 2\pi i \sum \text{Res}(f, z_i)$$

Donde z_i son las singularidades (número finito) de f que están dentro de la curva γ .

Residuo en el infinito: Si f es analítica en $|z| > R$, $\text{Res}(f, \infty) = \text{Res}\left(\frac{-1}{z^2} f\left(\frac{1}{z}\right), 0\right)$

• **Teorema de los residuos (versión del infinito):** Sea γ curva cerrada simple orientada positivamente tal que f es analítica fuera de γ salvo en un número finito de puntos. Entonces:

$$\oint_{\gamma} f(z) dz = -2\pi i \sum \text{Res}(f, z_i)$$

Donde z_i son las singularidades de f que están fuera de la curva γ , incluyendo el infinito. Nota: es esencial que el número de singularidades sea finito.

Aplicación de los residuos al cálculo de integrales reales

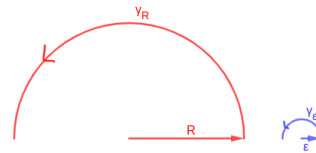
- **Lema 1:**

$$\lim_{\substack{|z| \rightarrow \infty \\ \text{Im}(z) > 0}} |zf(z)| = 0 \Rightarrow \lim_{R \rightarrow \infty} \int_{\gamma_R} f(z) = 0$$

- **Lema 2:**

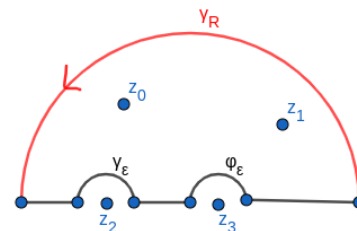
$$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \int_{\gamma_{\epsilon}} f(z) = -\pi i \text{Res}(f, z_0)$$

donde γ_R es la semicircunferencia positiva de radio R centro el origen y γ_{ϵ} es la semicircunferencia positiva de centro z_0 y radio ϵ :



Sea una función real definida salvo en un número finito de puntos. El **Valor Principal** de su integral se puede calcular aplicando el teorema de los residuos. Ejemplo:

- Supongamos una función real con dos singularidades en el eje x (z_2 y z_3) y dos singularidades en el semiplano superior complejo (z_0 y z_1). Supongamos que el lema 1 es de aplicación. Entonces, usando el siguiente dibujo:



$$\begin{aligned} \text{V.P.} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx &= 2\pi i \text{Res}(f, z_0) + \\ &+ 2\pi i \text{Res}(f, z_1) - \pi i \text{Res}(f, z_2) \\ &- \pi i \text{Res}(f, z_3) \end{aligned}$$