

Reseña HISTÓRICA



El número e

El número e llega por primera vez a las matemáticas de forma muy discreta. Sucedió en 1618, cuando, en un apéndice al trabajo de Napier sobre logaritmos, apareció una tabla donde el logaritmo natural de varios números.

Briggs dio una aproximación numérica al logaritmo base diez de e sin mencionar a e específicamente en su trabajo.

En 1647 Saint-Vincent calculó el área bajo una hipérbola rectangular, pero no encontró la conexión con los logaritmos, en 1661 Huygens comprendió la relación entre la hipérbola rectangular y el logaritmo. Examinó explícitamente la relación entre el área bajo la hipérbola rectangular $yx = 1$ y el logaritmo.

La notación e aparece por primera vez en una carta que le escribió Euler a Goldbach en 1731. Euler hizo varios descubrimientos respecto a e en los años siguientes pero no fue sino hasta 1748 cuando Euler dio un tratamiento completo a las ideas alrededor de e .

Demostró que:

$$e = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \frac{1}{4!} + \dots = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

Euler dio una aproximación de e con 18 decimales,

$e = 2.718281828459045235$

Leonhard Euler (1707-1783)

Definición intuitiva de límite

Si al aproximar x lo suficientemente cerca de un número a (sin ser a) tanto del lado izquierdo como del derecho, $f(x)$ se aproxima a un número L , entonces el límite cuando x tiende al número a es L . Esto lo escribimos:

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$$

Donde la notación $x \rightarrow a$ se lee “ x tiende a a ”, para decir que: “tiende a a por la izquierda” se utiliza $x \rightarrow a^-$, para decir que: “ x tiende a a por la derecha” utilizamos $x \rightarrow a^+$, de tal forma que:

$$\text{Si } \lim_{x \rightarrow a^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = L \text{ entonces } \lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$$

Es decir, si los límites laterales existen y tienden a un mismo número L entonces el límite cuando tiende al número a es L . Para que el límite exista no se necesita que la función esté definida para el número a , basta que esté definida para valores muy cercanos.

EJEMPLOS

Ejemplos

- 1 ••• Determina el límite cuando x tiende a 3 de la función $f(x) = \frac{x^2 - 9}{x - 3}$

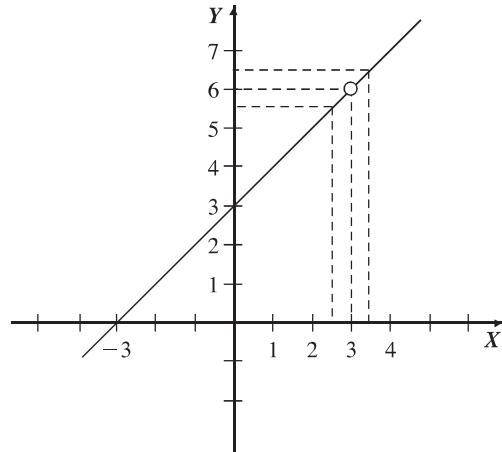
Solución

La función no está definida para $x = 3$, sin embargo, podemos evaluar la función en valores muy cercanos por la izquierda y por la derecha. Por otro lado graficaremos la función utilizando la simplificación:

$$f(x) = \frac{(x + 3)(x - 3)}{x - 3} = x + 3$$

es decir, graficamos la recta $f(x) = x + 3$ con la restricción $x \neq 3$ donde se formará un hueco.

x	f(x)
2.9	5.9
2.99	5.99
2.999	5.999
2.9999	5.9999
3.0001	6.0001
3.001	6.001
3.01	6.01
3.1	6.1



Se observa que para valores de x muy cercanos a 3 por la izquierda (2.9, 2.99, 2.999, 2.9999), $f(x)$ tiende a 6, lo mismo pasa para valores cercanos por la derecha (3.0001, 3.001, 3.01, 3.1), es decir:

$$\lim_{x \rightarrow 3^-} f(x) = 6 \quad \text{y} \quad \lim_{x \rightarrow 3^+} f(x) = 6$$

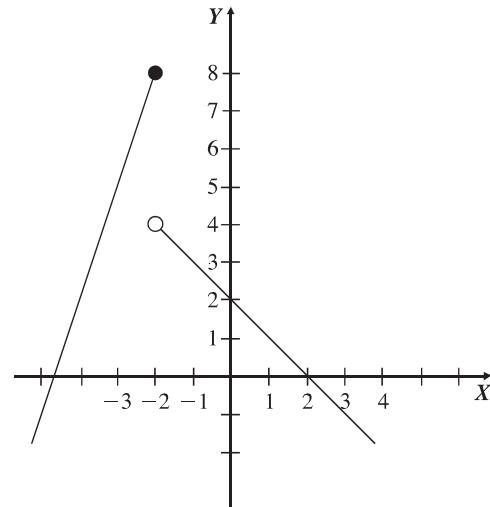
por tanto $\lim_{x \rightarrow 3} f(x) = 6$

- 2 ••• Si $f(x) = \begin{cases} 3x + 14 & \text{si } x \leq -2 \\ -x + 2 & \text{si } x > -2 \end{cases}$ determina $\lim_{x \rightarrow -2} f(x)$

Solución

Graficamos la función y evaluamos en valores muy cercanos a 2.

x	f(x)
-2.1	7.7
-2.01	7.97
-2.001	7.997
-1.999	3.999
-1.99	3.99
-1.9	3.9



Aquí tenemos que: $\lim_{x \rightarrow -2^-} f(x) = 8$ y $\lim_{x \rightarrow -2^+} f(x) = 4$

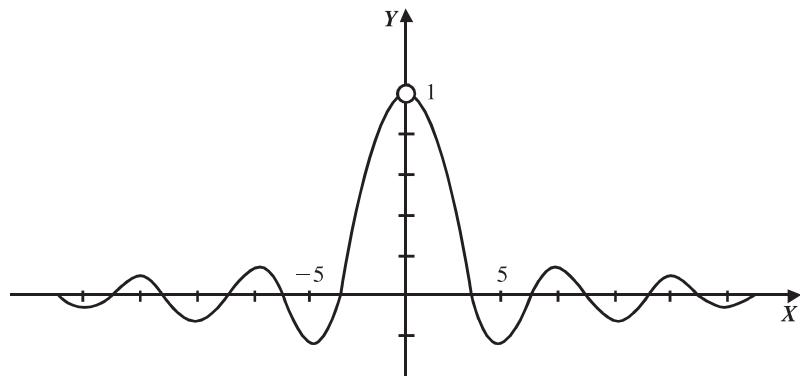
entonces $\lim_{x \rightarrow -2^-} f(x) \neq \lim_{x \rightarrow -2^+} f(x)$ por tanto $\lim_{x \rightarrow -2} f(x)$ no existe

- 3 ••• Determina $\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\sin \theta}{\theta}$

Solución

Evaluamos con valores muy cercanos a 0 por la izquierda y por la derecha. Observe que la función no está definida en $\theta = 0$ y que los valores serán tomados como radianes.

θ	$f(\theta)$
-0.005	0.999995833
-0.004	0.99999733
-0.003	0.9999985
-0.001	0.999999833
0.001	0.999999833
0.003	0.9999985
0.004	0.99999733
0.005	0.999995833



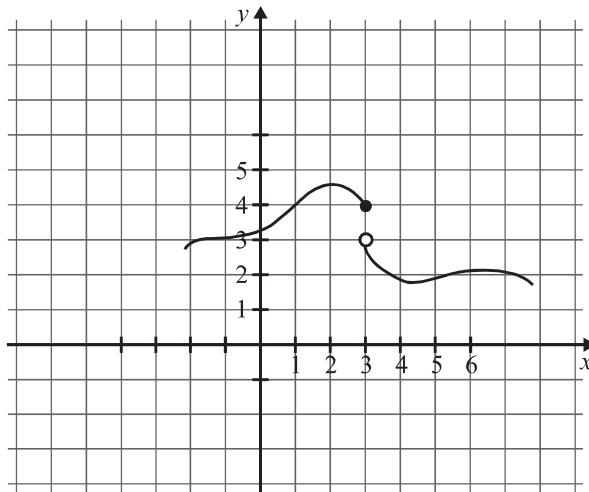
Tenemos: $\lim_{\theta \rightarrow 0^-} \frac{\sin \theta}{\theta} = 1$ y $\lim_{\theta \rightarrow 0^+} \frac{\sin \theta}{\theta} = 1$

entonces $\lim_{\theta \rightarrow 0^-} \frac{\sin \theta}{\theta} = \lim_{\theta \rightarrow 0^+} \frac{\sin \theta}{\theta} = 1$ por tanto $\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\sin \theta}{\theta} = 1$

2 CAPÍTULO

CÁLCULO DIFERENCIAL

- 4 ••• Para la función $f(x)$ mostrada en la figura determina: a) $\lim_{x \rightarrow 1^-} f(x)$ y b) $\lim_{x \rightarrow 3^+} f(x)$



Solución

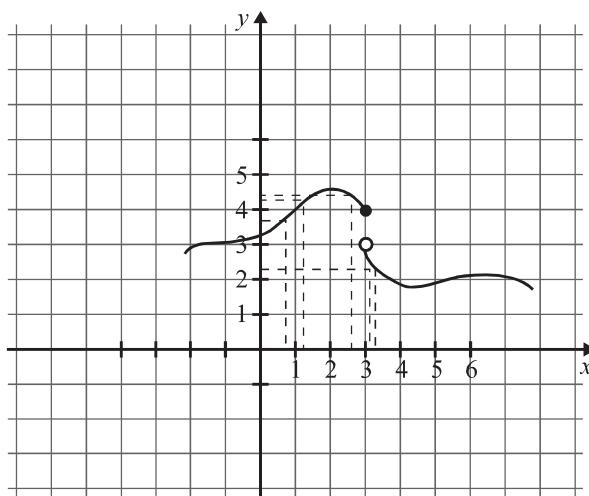
a) Calculamos los límites por la izquierda y derecha

$$\lim_{x \rightarrow 1^-} f(x) = 4 \text{ y } \lim_{x \rightarrow 1^+} f(x) = 4$$

los límites laterales son iguales por tanto $\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = 4$

$$b) \lim_{x \rightarrow 3^-} f(x) = 4 \text{ y } \lim_{x \rightarrow 3^+} f(x) = 3$$

los límites laterales son diferentes, por tanto $\lim_{x \rightarrow 3} f(x)$ no existe



EJERCICIO 15

Utilizando una tabla con valores muy cercanos al valor que tiende el límite, calcula:

1. $\lim_{x \rightarrow 2} (x^2 - 3x + 1)$

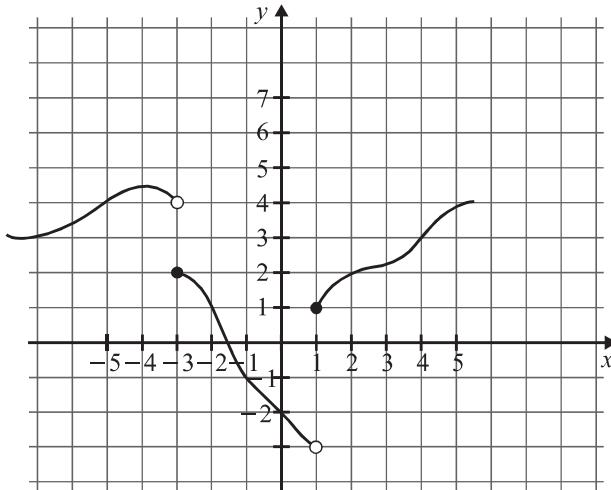
2. $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x - 3}{x^2 - 9}$

3. $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 5x + 6}{x - 2}$

4. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x}$

5. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan x}{\sin x}$

La gráfica de una función $f(x)$ es la siguiente:



De acuerdo con ella determina:

6. $\lim_{x \rightarrow -5} f(x)$

7. $\lim_{x \rightarrow -3} f(x)$

8. $\lim_{x \rightarrow 1} f(x)$

9. $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$

10. $\lim_{x \rightarrow 4} f(x)$



Verifica tus resultados en la sección de soluciones correspondiente • • • • •

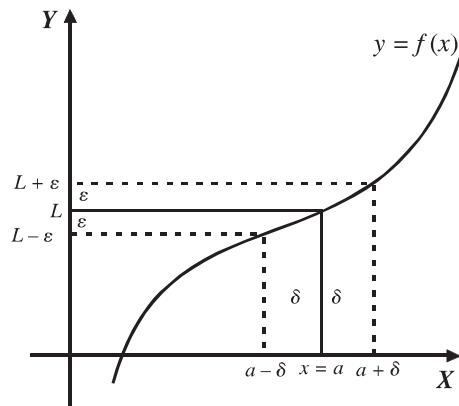
Definición formal de límite

A continuación se presenta la definición formal de límite, la cual también es conocida como definición ε - δ (epsilón-delta).

El $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$, si para todo $\varepsilon > 0$ existe un $\delta > 0$, tal que:

$$\text{Si } 0 < |x - a| < \delta, \text{ entonces } |f(x) - L| < \varepsilon$$

Dicho de otra forma, $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$, si para cualquier número positivo elegido ε , por pequeño que sea, existe un número positivo δ tal que, siempre que $0 < |x - a| < \delta$ entonces $|f(x) - L| < \varepsilon$



La definición nos dice que para $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$ existe un número $\delta > 0$ lo suficientemente pequeño para un número $\varepsilon > 0$ dado, tal que todo x en el intervalo $(a - \delta, a + \delta)$ con excepción posiblemente del mismo a , tendrá su imagen $f(x)$ en el intervalo $(L - \varepsilon, L + \varepsilon)$. Observa que para un $\delta_1 < \delta$ para el mismo ε , la imagen de un valor x en el intervalo $(a - \delta_1, a + \delta_1)$ estará dentro del intervalo $(L - \varepsilon, L + \varepsilon)$ lo cual sólo cambia si tomamos un valor de epsilón distinto.

EJEMPLOS

Ejemplos

- 1 ••• Demuestra que $\lim_{x \rightarrow 3} (2x - 1) = 5$

Solución

Para un $\varepsilon > 0$, se quiere encontrar un $\delta > 0$ tal que siempre que $0 < |x - 3| < \delta$ entonces:

$$|(2x - 1) - 5| < \varepsilon$$

de donde

$$|(2x - 1) - 5| = |2x - 6| = |2(x - 3)| = |2| |x - 3| = 2|x - 3| < \varepsilon$$

entonces $|x - 3| < \frac{\varepsilon}{2}$, por lo que basta escoger $\delta = \frac{\varepsilon}{2}$ para que $0 < |x - 3| < \frac{\varepsilon}{2}$

Comprobación

Para $0 < |x - 3| < \frac{\varepsilon}{2}$ tenemos que

$$|x - 3| < \frac{\varepsilon}{2}$$

$$2|x - 3| < \varepsilon$$

$$|2(x - 3)| < \varepsilon$$

$$|2x - 6| < \varepsilon$$

$$|(2x - 1) - 5| < \varepsilon$$

- 2 ••• Demuestra que $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2 - 5x - 6}{x + 1} = -7$

Solución

Si $0 < |x - (-1)| < \delta$ entonces $\left| \frac{x^2 - 5x - 6}{x + 1} - (-7) \right| < \varepsilon$

de donde

$$\begin{aligned}\left| \frac{x^2 - 5x - 6}{x + 1} + 7 \right| &= \left| \frac{x^2 - 5x - 6 + 7x + 7}{x + 1} \right| = \left| \frac{x^2 + 2x + 1}{x + 1} \right| \\ &= \left| \frac{(x+1)^2}{x+1} \right| = |x+1| = |x - (-1)| < \varepsilon\end{aligned}$$

por tanto se escoge $\delta = \varepsilon$

- 3 ••• Si $\lim_{x \rightarrow 1} (2 - 3x) = -1$ y $\varepsilon = 0.06$, determina el valor de δ .

Solución

Se aplica la definición y se obtiene:

Si $0 < |x - 1| < \delta$, entonces $|(2 - 3x) - (-1)| < \varepsilon$, donde $|3 - 3x| < \varepsilon$

$$|3| |1 - x| < \varepsilon$$

$$|1 - x| < \frac{\varepsilon}{|3|}$$

Pero $|1 - x| = |x - 1|$, por tanto, $|x - 1| < \frac{\varepsilon}{3}$ y el valor de δ está determinado por:

$$\delta \leq \frac{\varepsilon}{3} \leq \frac{0.06}{3} \leq 0.02$$

EJERCICIO 16

Demuestra los siguientes límites:

1. $\lim_{x \rightarrow 2} (3x + 4) = 10$

6. $\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} (2x - 1) = 0$

2. $\lim_{x \rightarrow 1} (2x - 5) = -3$

7. $\lim_{x \rightarrow -2} (1 - 3x) = 7$

3. $\lim_{x \rightarrow -3} (5 - x) = 8$

8. $\lim_{x \rightarrow 7} \frac{x^2 - 49}{x - 7} = 14$

4. $\lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{3}{4}x + 1 \right) = 1$

9. $\lim_{x \rightarrow -2a} (2a - 3x) = 8a$

5. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^2 - 5x + 4}{x - 1} = -3$

10. $\lim_{x \rightarrow 2} \left(\frac{1}{2} - 3x \right) = -\frac{11}{2}$

- Obtén el valor de δ o ε en los siguientes ejercicios:
- 11. Si $\lim_{x \rightarrow -1} (3x - 2) = -5$ y $\varepsilon = 0.03$, encuentra el valor de δ
- 12. Si $\lim_{x \rightarrow -\frac{2}{5}} (5x + 1) = -1$ y $\varepsilon = 0.4$, determina el valor de δ
- 13. Si $\lim_{x \rightarrow 0} (2x + 7) = 7$ y $\varepsilon = 0.05$, obtén el valor de δ
- 14. Si $\lim_{x \rightarrow -\frac{1}{2}} (3 + 2x) = 2$ y $\varepsilon = 0.8$, ¿cuál es el valor de δ ?
- 15. Si $\lim_{x \rightarrow 2} (3x - 7) = -1$ y $\delta = 0.06$, determina el valor de ε
- 16. Si $\lim_{x \rightarrow 1} (2 - 7x) = -5$ y $\delta = 0.0014$, obtén el valor de ε
- 17. Si $\lim_{x \rightarrow \frac{1}{5}} (5x + 2) = 3$ y $\delta = 0.05$, encuentra el valor de ε
- 18. Si $\lim_{x \rightarrow \frac{4}{3}} (2x + 1) = \frac{11}{3}$ y $\delta = 0.001$, ¿cuál es el valor de ε ?



Verifica tus resultados en la sección de soluciones correspondiente

Teoremas

Si $f(x)$ y $g(x)$ son funciones, c una constante y n número real, entonces:

1. $\lim_{x \rightarrow a} c = c$
2. $\lim_{x \rightarrow a} x = a$
3. $\lim_{x \rightarrow a} c \cdot f(x) = c \cdot \lim_{x \rightarrow a} f(x)$
4. $\lim_{x \rightarrow a} [f(x) \pm g(x)] = \lim_{x \rightarrow a} f(x) \pm \lim_{x \rightarrow a} g(x)$
5. $\lim_{x \rightarrow a} [f(x) \cdot g(x)] = \lim_{x \rightarrow a} f(x) \cdot \lim_{x \rightarrow a} g(x)$
6. $\lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x)}{g(x)} = \frac{\lim_{x \rightarrow a} f(x)}{\lim_{x \rightarrow a} g(x)}$ con $\lim_{x \rightarrow a} g(x) \neq 0$
7. $\lim_{x \rightarrow a} [f(x)]^n = \left[\lim_{x \rightarrow a} f(x) \right]^n$

Límites por evaluación

El límite se obtiene al aplicar los teoremas anteriores y evaluar el valor al cual tiende la variable en la función propuesta, como se muestra en los siguientes ejemplos.

EJEMPLOS**Ejemplos**

- 1 ••• Utiliza los teoremas anteriores y comprueba que el $\lim_{x \rightarrow 2} (x^2 + 3x - 4) = 6$

Solución

Se aplican los respectivos teoremas, se evalúa el valor de $x = 2$, y se demuestra que:

$$\lim_{x \rightarrow 2} (x^2 + 3x - 4) = \lim_{x \rightarrow 2} x^2 + \lim_{x \rightarrow 2} 3x - \lim_{x \rightarrow 2} 4 = \left(\lim_{x \rightarrow 2} x \right)^2 + 3 \lim_{x \rightarrow 2} x - \lim_{x \rightarrow 2} 4 = (2)^2 + 3(2) - 4 = 6$$

- 2 ••• Si $f(x) = \frac{3-2x}{3+2x}$, determina el valor de $\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} f(x)$

Solución

Se aplican los teoremas y se sustituye el valor de x para obtener el valor buscado:

$$\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} \frac{3-2x}{3+2x} = \frac{\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} (3-2x)}{\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} (3+2x)} = \frac{\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} 3 - \lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} 2x}{\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} 3 + \lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} 2x} = \frac{\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} 3 - 2 \lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} x}{\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} 3 + 2 \lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} x} = \frac{3 - 2 \left(\frac{1}{2} \right)}{3 + 2 \left(\frac{1}{2} \right)} = \frac{3 - 1}{3 + 1} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

Estos teoremas nos permiten hacer una sustitución de la variable independiente por el valor al que tiende el límite.

- 3 ••• Si $f(x) = \frac{4}{x^2 - 4}$, encuentra el valor de $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$

Solución

Se sustituye el valor de la variable independiente y se obtiene el límite:

$$\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{4}{x^2 - 4} = \frac{4}{(2)^2 - 4} = \frac{4}{4 - 4} = \frac{4}{0}$$

El límite no existe, ya que la división entre cero no está definida.

- 4 ••• Obtén el $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{\sqrt{9-x^2}}{2x+1}$

Solución

Se sustituye $x = 3$ y se realizan las operaciones:

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{\sqrt{9-x^2}}{2x+1} = \frac{\sqrt{9-(3)^2}}{2(3)+1} = \frac{\sqrt{9-9}}{6+1} = \frac{0}{7} = 0$$

EJERCICIO 17

Determina el valor de los siguientes límites:

1. $\lim_{x \rightarrow 2} (7 - 2x)$

12. $\lim_{z \rightarrow -1} \frac{4z + 3}{2z + 1}$

2. $\lim_{x \rightarrow 3} (4x^2 - 2x - 6)$

13. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x^2 + 3} + 4}{x + 5}$

3. $\lim_{x \rightarrow -4} (6 - 3x)$

14. $\lim_{z \rightarrow \frac{1}{2}} \frac{3z + 1}{2z - 5}$

4. $\lim_{t \rightarrow -2} \sqrt{8 + t^3}$

15. $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 9}{3x + 1}$

5. $\lim_{z \rightarrow 2} \sqrt{7z^2 + 14z - 7}$

16. $\lim_{y \rightarrow 1} \frac{2 + \sqrt{y^2 + 3}}{y - 1}$

6. $\lim_{x \rightarrow 4} (x^2 - 8)(4x - 8)$

17. $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} \frac{\sin x + 1}{2}$

7. $\lim_{x \rightarrow 3} (6 - 3x) \left(\frac{3}{5} x^{-1} \right)$

18. $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{4}} \frac{\cos^2 x}{\sqrt{2}}$

8. $\lim_{x \rightarrow -\frac{1}{3}} \left(x^2 + \frac{1}{9} \right) \left(x - \frac{1}{3} \right)$

19. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{(x+1)^2 - x^2}{x+1}$

9. $\lim_{r \rightarrow 4} \left(\frac{2}{r} + \frac{1}{2} \right) \left(r^2 - \frac{4}{r} \right)$

20. $\lim_{x \rightarrow h} \frac{x^2 + h^2}{x + h}$

10. $\lim_{y \rightarrow 2} \sqrt{4y^2 - 2y}$

21. $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{6}} \frac{\tan x}{\sin^2 x}$

11. $\lim_{y \rightarrow -5} (3 - y) \sqrt{y^2 - 9}$

→ Verifica tus resultados en la sección de soluciones correspondiente

Límites indeterminados

Son aquellos cuyo resultado es de la forma $\frac{0}{0}$.

Ejemplos

Se sustituye el valor de la variable independiente en cada caso y se realizan las respectivas operaciones, para obtener:

1. $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 9}{2x - 6} = \frac{(3)^2 - 9}{2(3) - 6} = \frac{9 - 9}{6 - 6} = \frac{0}{0}$

2. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x-1}}{x^2 - 2x + 1} = \frac{\sqrt{1-1}}{(1)^2 - 2(1) + 1} = \frac{\sqrt{0}}{1 - 2 + 1} = \frac{0}{0}$

3. $\lim_{y \rightarrow 0} \frac{3y^2 + 5y^4}{2y^2 - 3y^4} = \frac{3(0)^2 + 5(0)^4}{2(0)^2 - 3(0)^4} = \frac{0}{0}$

4. $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt{x^2 + 5} - 3}{x - 2} = \frac{\sqrt{(2)^2 + 5} - 3}{2 - 2} = \frac{\sqrt{9} - 3}{0} = \frac{0}{0}$

Se observa que los resultados son de la forma $\frac{0}{0}$, por consiguiente es necesario eliminar la indeterminación.

Una indeterminación se elimina al factorizar o racionalizar (de ser posible) la función, para después simplificarla y obtener el límite.

Casos de factorización:

a) Factor común

$$ax^n + bx^{n-1} = x^{n-1}(ax + b)$$

b) Diferencia de cuadrados

$$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$$

c) Trinomio cuadrado perfecto

$$a^2 \pm 2ab + b^2 = (a \pm b)^2$$

d) Trinomio de la forma

$$x^2 + (a + b)x + ab = (x + a)(x + b)$$

e) Suma o diferencia de cubos

$$a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2)$$

f) Factorización de $\sqrt[3]{a} - \sqrt[3]{b}$

$$\sqrt[3]{a} - \sqrt[3]{b} = \frac{a - b}{a^{\frac{2}{3}} + a^{\frac{1}{3}}b^{\frac{1}{3}} + b^{\frac{2}{3}}}$$

g) Factorización de $\sqrt[3]{a} + \sqrt[3]{b}$

$$\sqrt[3]{a} + \sqrt[3]{b} = \frac{a + b}{a^{\frac{2}{3}} - a^{\frac{1}{3}}b^{\frac{1}{3}} + b^{\frac{2}{3}}}$$

h) Factorización de $\sqrt[5]{a} - \sqrt[5]{b}$

$$\sqrt[5]{a} - \sqrt[5]{b} = \frac{a - b}{a^{\frac{4}{5}} + a^{\frac{3}{5}}b^{\frac{1}{5}} + a^{\frac{2}{5}}b^{\frac{2}{5}} + a^{\frac{1}{5}}b^{\frac{3}{5}} + b^{\frac{4}{5}}}$$

i) Factorización de $\sqrt[n]{a} - \sqrt[n]{b}$

$$\sqrt[n]{a} - \sqrt[n]{b} = \frac{a - b}{a^{\frac{n-1}{n}} + a^{\frac{n-2}{n}}b^{\frac{1}{n}} + a^{\frac{n-3}{n}}b^{\frac{2}{n}} + a^{\frac{n-4}{n}}b^{\frac{3}{n}} + \dots + a^{\frac{1}{n}}b^{\frac{n-2}{n}} + b^{\frac{n-1}{n}}}$$

EJEMPLOS

Ejemplos

1 ••• Obtén el $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x^2 + 5x^4}{2x^2 + 6x^4 - 7x^8}$

Solución

Al sustituir x con 0 en la función, el límite se indetermina:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x^2 + 5x^4}{2x^2 + 6x^4 - 7x^8} = \frac{3(0)^2 + 5(0)^4}{2(0)^2 + 6(0)^4 - 7(0)^8} = \frac{0}{0}$$

Para eliminar la indeterminación se factorizan el numerador y el denominador con la aplicación del factor común:

$$\frac{3x^2 + 5x^4}{2x^2 + 6x^4 - 7x^8} = \frac{x^2(3 + 5x^2)}{x^2(2 + 6x^2 - 7x^6)}$$

Al simplificar la expresión se obtiene:

$$\frac{3 + 5x^2}{2 + 6x^2 - 7x^6}$$

Luego el límite es:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x^2 + 5x^4}{2x^2 + 6x^4 - 7x^8} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{3 + 5x^2}{2 + 6x^2 - 7x^6} = \frac{3 + 5(0)^2}{2 + 6(0)^2 - 7(0)^6} = \frac{3}{2}$$

Por tanto,

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x^2 + 5x^4}{2x^2 + 6x^4 - 7x^8} = \frac{3}{2}$$

2 CAPÍTULO

CÁLCULO DIFERENCIAL

- 2 ••• Determina el $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{4-x^2}{x+2}$

Solución

Se sustituye el valor de $x = -2$ en la expresión:

$$\lim_{x \rightarrow -2} \frac{4-x^2}{x+2} = \frac{4-(-2)^2}{-2+2} = \frac{4-4}{-2+2} = \frac{0}{0}$$

Se factoriza el numerador con la aplicación de la diferencia de cuadrados:

$$4-x^2 = (2+x)(2-x)$$

Se simplifica y sustituye para obtener,

$$\lim_{x \rightarrow -2} \frac{4-x^2}{x+2} = \lim_{x \rightarrow -2} \frac{(2+x)(2-x)}{x+2} = \lim_{x \rightarrow -2} (2-x) = 2 - (-2) = 4$$

Por consiguiente:

$$\lim_{x \rightarrow -2} \frac{4-x^2}{x+2} = 4$$

- 3 ••• Calcula el valor del $\lim_{y \rightarrow 1} \frac{y^2 - 2y + 1}{y^2 - 4y + 3}$

Solución

Al sustituir $y = 1$ se verifica que existe la indeterminación:

$$\lim_{y \rightarrow 1} \frac{y^2 - 2y + 1}{y^2 - 4y + 3} = \frac{(1)^2 - 2(1) + 1}{(1)^2 - 4(1) + 3} = \frac{1-2+1}{1-4+3} = \frac{0}{0}$$

Al factorizar el numerador (trinomio cuadrado perfecto) y el denominador (trinomio de la forma $x^2 + (a+b)x + ab$), se obtiene:

$$\lim_{y \rightarrow 1} \frac{y^2 - 2y + 1}{y^2 - 4y + 3} = \lim_{y \rightarrow 1} \frac{(y-1)^2}{(y-3)(y-1)} = \lim_{y \rightarrow 1} \frac{y-1}{y-3} = \frac{1-1}{1-3} = \frac{0}{-2} = 0$$

Finalmente, el resultado es:

$$\lim_{y \rightarrow 1} \frac{y^2 - 2y + 1}{y^2 - 4y + 3} = 0$$

- 4 ••• Determina el $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^3 - 8}{2x^2 - 3x - 2}$

Solución

Al sustituir $x = 2$ se observa que existe la indeterminación:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^3 - 8}{2x^2 - 3x - 2} = \frac{(2)^3 - 8}{2(2)^2 - 3(2) - 2} = \frac{8-8}{8-6-2} = \frac{0}{0}$$

Se factoriza la diferencia de cubos y el trinomio de la forma $ax^2 + bx + c$.

$$x^3 - 8 = (x-2)(x^2 + 2x + 4), \quad 2x^2 - 3x - 2 = (x-2)(2x+1)$$

Se simplifica, se sustituye y se obtiene el valor del límite:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^3 - 8}{2x^2 - 3x - 2} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{(x-2)(x^2 + 2x + 4)}{(x-2)(2x+1)} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 + 2x + 4}{2x+1} = \frac{(2)^2 + 2(2) + 4}{2(2)+1} = \frac{12}{5}$$

Por tanto:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^3 - 8}{2x^2 - 3x - 2} = \frac{12}{5}$$

- 5 ••• Calcula el valor del $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{3 - \sqrt{x+7}}$

Solución

Se sustituye $x = 2$ en la función:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{3 - \sqrt{x+7}} = \frac{(2)^2 - 4}{3 - \sqrt{2+7}} = \frac{4 - 4}{3 - 3} = \frac{0}{0}$$

Se racionaliza el denominador de la función, multiplicando por $3 + \sqrt{x+7}$, que es el conjugado de la expresión $3 - \sqrt{x+7}$:

$$\frac{x^2 - 4}{3 - \sqrt{x+7}} \cdot \frac{3 + \sqrt{x+7}}{3 + \sqrt{x+7}} = \frac{(x^2 - 4)(3 + \sqrt{x+7})}{(3)^2 - (\sqrt{x+7})^2} = \frac{(x^2 - 4)(3 + \sqrt{x+7})}{9 - (x+7)} = \frac{(x^2 - 4)(3 + \sqrt{x+7})}{2 - x}$$

Se factoriza $x^2 - 4$:

$$\frac{(x^2 - 4)(3 + \sqrt{x+7})}{2 - x} = \frac{(x-2)(x+2)(3 + \sqrt{x+7})}{2 - x} = \frac{-(2-x)(x+2)(3 + \sqrt{x+7})}{2 - x}$$

Se simplifica la expresión,

$$\frac{-(2-x)(x+2)(3 + \sqrt{x+7})}{2 - x} = -(x+2)(3 + \sqrt{x+7})$$

Se calcula el valor del límite:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{3 - \sqrt{x+7}} = \lim_{x \rightarrow 2} [-(x+2)(3 + \sqrt{x+7})] = -(2+2)(3 + \sqrt{2+7}) = -(4)(3+3) = -24$$

Por consiguiente, el resultado es:

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{3 - \sqrt{x+7}} = -24$$

6 ••• Determina $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt[3]{x} - \sqrt[3]{2}}{x - 2}$

Solución

$$\begin{aligned}\lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt[3]{x} - \sqrt[3]{2}}{x - 2} &= \lim_{x \rightarrow 2} \frac{1}{x - 2} (\sqrt[3]{x} - \sqrt[3]{2}) \\&= \lim_{x \rightarrow 2} \frac{1}{x - 2} \cdot \frac{x - 2}{x^{\frac{2}{3}} + x^{\frac{1}{3}} 2^{\frac{1}{3}} + 2^{\frac{2}{3}}} \\&= \lim_{x \rightarrow 2} \frac{1}{x^{\frac{2}{3}} + x^{\frac{1}{3}} 2^{\frac{1}{3}} + 2^{\frac{2}{3}}} \\&= \frac{1}{2^{\frac{2}{3}} + 2^{\frac{1}{3}} \cdot 2^{\frac{1}{3}} + 2^{\frac{2}{3}}} \\&= \frac{1}{2^{\frac{2}{3}} + 2^{\frac{2}{3}} + 2^{\frac{2}{3}}} \\&= \frac{1}{3 \cdot 2^{\frac{2}{3}}} \\&= \frac{1}{3 \sqrt[3]{2^2}} \\&= \frac{1}{3 \sqrt[3]{4}}\end{aligned}$$

Por tanto $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt[3]{x} - \sqrt[3]{2}}{x - 2} = \frac{1}{3\sqrt[3]{4}}$

EJERCICIO 18

Determina el valor de los siguientes límites:

1. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x + 2x^2}{5x + 6x^3}$

8. $\lim_{y \rightarrow -h} \frac{y + h}{h^2 - y^2}$

2. $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{2h^3 - 5h^2 + h}{h^4 - h^2}$

9. $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 2x}{4 - x^2}$

3. $\lim_{y \rightarrow 0} \frac{4y^5 + 5y^3}{y^4 - y^2}$

10. $\lim_{w \rightarrow a} \frac{a^2 - w^2}{a - w}$

4. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{ax^2 + bx^3}{cx^2 + dx^3}$

11. $\lim_{z \rightarrow 7} \frac{z^2 - 5z - 14}{z - 7}$

5. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{5x^n - 3x^{n-1} + 4x^{n-2}}{2x^n - 6x^{n-2}}$

12. $\lim_{x \rightarrow -3} \frac{x^2 + 6x + 9}{x^2 + 7x + 12}$

6. $\lim_{z \rightarrow 1} \frac{z - 1}{z^2 - 1}$

13. $\lim_{h \rightarrow 1} \frac{h - 1}{h^2 - 4h + 3}$

7. $\lim_{x \rightarrow \frac{2}{3}} \frac{9x^2 - 4}{3x - 2}$

14. $\lim_{x \rightarrow -5} \frac{x^2 - 25}{x^2 + 2x - 15}$

15. $\lim_{v \rightarrow 4} \frac{v^2 - 6v + 8}{2v^2 - 8v}$

16. $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - 8x + 15}{x^2 - 7x + 12}$

17. $\lim_{h \rightarrow \frac{1}{2}} \frac{4h^2 + 4h - 3}{2h - 1}$

18. $\lim_{x \rightarrow \frac{2}{3}} \frac{3x - 2}{3x^2 - 11x + 6}$

19. $\lim_{w \rightarrow -\frac{4}{3}} \frac{9w^2 + 9w - 4}{3w^2 + 7w + 4}$

20. $\lim_{y \rightarrow 6} \frac{2y^2 - 15y + 18}{3y^2 - 17y - 6}$

21. $\lim_{x \rightarrow 5} \frac{2x^2 - 13x + 15}{x^2 - x - 20}$

22. $\lim_{x \rightarrow -\frac{1}{3}} \frac{9x^2 - 1}{6x^2 + 5x + 1}$

23. $\lim_{y \rightarrow -1} \frac{y + 1}{y^3 + 1}$

24. $\lim_{h \rightarrow \frac{1}{2}} \frac{8h^3 - 1}{1 - 2h}$

25. $\lim_{x \rightarrow \frac{2}{3}} \frac{27x^3 - 8}{9x^2 - 4}$

26. $\lim_{w \rightarrow -2} \frac{w^2 + 5w + 6}{w^3 + 8}$

27. $\lim_{x \rightarrow \frac{1}{4}} \frac{64x^3 - 1}{4x^3 - x^2}$

28. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x+3} - 2}{x - 1}$

29. $\lim_{y \rightarrow -2} \frac{y + 2}{\sqrt{y+3} - 1}$

30. $\lim_{w \rightarrow 0} \frac{\sqrt{w}}{\sqrt{w+3} - \sqrt{3}}$

31. $\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} \frac{\sqrt{4x^2 + 3} - 2}{2x - 1}$

32. $\lim_{x \rightarrow 5} \frac{x - 5}{\sqrt{x} - \sqrt{5}}$

33. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x+3} - 2}{1 - \sqrt{3x-2}}$

34. $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{\sqrt{x^2 + 9} - 5}{\sqrt{x+5} - 3}$

35. $\lim_{w \rightarrow 0} \frac{a - \sqrt{w^2 + a^2}}{b - \sqrt{w^2 + b^2}}$

36. $\lim_{y \rightarrow p} \frac{\sqrt[n]{y} - \sqrt[n]{p}}{y - p}$

37. $\lim_{v \rightarrow 0} \frac{\sqrt[3]{4 - 2v + v^2} - 2}{v}$

38. $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^3 - 7x + 6}{x^3 + x^2 - 4x - 4}$

39. $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^3 - x^2 - x + 1}{x^2 + 4x + 3}$

40. $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^4 + 2x^3 - 11x^2 - 12x + 36}{x^3 - 2x^2 - x + 2}$

41. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^3 - x^2 - 4x + 4}{x^3 + 6x^2 + 5x - 12}$

42. $\lim_{y \rightarrow 2} \frac{y^3 - 6y^2 + 12y - 8}{y^4 - 4y^3 + 16y - 16}$

43. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[3]{3x+5} - 2}{x - 1}$

44. $\lim_{x \rightarrow a} \frac{\sqrt[3]{x} - \sqrt[3]{a}}{x^2 - a^2}$

45. $\lim_{x \rightarrow \frac{2}{3}} \frac{\sqrt[3]{9x^2 + 4} - 2}{3x - 2}$

46. $\lim_{y \rightarrow 2} \frac{\sqrt[4]{y^3 + 8} - \sqrt{2 + y}}{y - 2}$

47. $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{\sqrt[4]{x+h} - \sqrt[4]{x}}{\sqrt{x+h} - \sqrt{x}}$

48. $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt{x+7} - \sqrt[3]{4x+19}}{x - 2}$

49. $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{\sqrt[3]{x+6} - 2}{\sqrt[3]{x-1} - 1}$

50. $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{\sqrt[5]{2x+3} - 1}{x^5 + 1}$



Verifica tus resultados en la sección de soluciones correspondiente.

2 CAPÍTULO

CÁLCULO DIFERENCIAL

Límites cuando x tiende al infinito

Sea una función f definida en el intervalo (a, ∞) . Si se tiene que:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = L$$

entonces significa que los valores de $f(x)$ se aproximan a L tanto como se quiera para una x lo suficientemente grande, sabemos que ∞ no es un número, sin embargo, se acostumbra decir “el límite de $f(x)$, cuando x tiende al infinito, es L ”.

Cuando en una función $x \rightarrow \infty$, se busca la base de mayor exponente y ésta divide a cada uno de los términos de la función, después, para obtener el valor del límite, se aplica el siguiente límite:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{c}{x^n} = 0, \text{ con } c \text{ constante}$$

EJEMPLOS

1 ••• Encuentra el $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^2 - 3x + 4}{6x^2 + 2x - 1}$

Solución

La base del término con mayor exponente es x^2 , por consiguiente, todos los términos del numerador y del denominador se dividen entre esta base:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^2 - 3x + 4}{6x^2 + 2x - 1} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{2x^2}{x^2} - \frac{3x}{x^2} + \frac{4}{x^2}}{\frac{6x^2}{x^2} + \frac{2x}{x^2} - \frac{1}{x^2}}$$

Se simplifica y aplica el teorema para obtener el límite,

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2 - \frac{3}{x} + \frac{4}{x^2}}{6 + \frac{2}{x} - \frac{1}{x^2}} = \frac{\lim_{x \rightarrow \infty} 2 - \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3}{x} + \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{4}{x^2}}{\lim_{x \rightarrow \infty} 6 + \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2}{x} - \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x^2}} = \frac{2 - 0 + 0}{6 + 0 - 0} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

Por consiguiente, $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^2 - 3x + 4}{6x^2 + 2x - 1} = \frac{1}{3}$

2 ••• Determina el $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{9x^2 - 5}}{2x + 3}$

Solución

La base del término con mayor exponente es x , por tanto, se dividen los términos entre esta base y se simplifica la expresión para obtener el valor del límite.

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{9x^2 - 5}}{2x + 3} &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{9x^2 - 5}}{\frac{2x + 3}{x}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{9x^2 - 5}{2 + \frac{3}{x}}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{9 - \frac{5}{x^2}}{2 + \frac{3}{x}}} = \frac{\sqrt{\lim_{x \rightarrow \infty} 9 - \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{5}{x^2}}}{\lim_{x \rightarrow \infty} 2 + \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3}{x}} \\ &= \frac{\sqrt{9 - 0}}{2 + 0} = \frac{\sqrt{9}}{2} = \frac{3}{2} \end{aligned}$$

3 ••• Determina el resultado de $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x + 2}{x^3 + 2}$

Solución

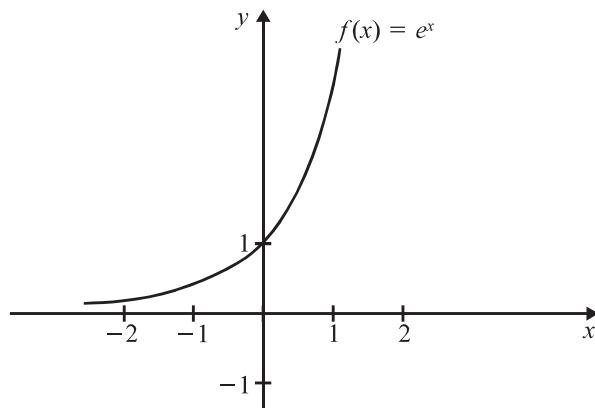
Se dividen todos los términos entre x^3 , se simplifica y se obtiene el valor del límite.

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x + 2}{x^3 + 2} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{3x}{x^3} + \frac{2}{x^3}}{\frac{x^3}{x^3} + \frac{2}{x^3}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{3}{x^2} + \frac{2}{x^3}}{1 + \frac{2}{x^3}} = \frac{\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3}{x^2} + \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2}{x^3}}{\lim_{x \rightarrow \infty} 1 + \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2}{x^3}} = \frac{0 + 0}{1 + 0} = \frac{0}{1} = 0$$

Finalmente:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x + 2}{x^3 + 2} = 0$$

Si observamos la gráfica de la función exponencial $f(x) = e^x$, tenemos que cuando $x \rightarrow -\infty$, $f(x)$ tiende a cero.

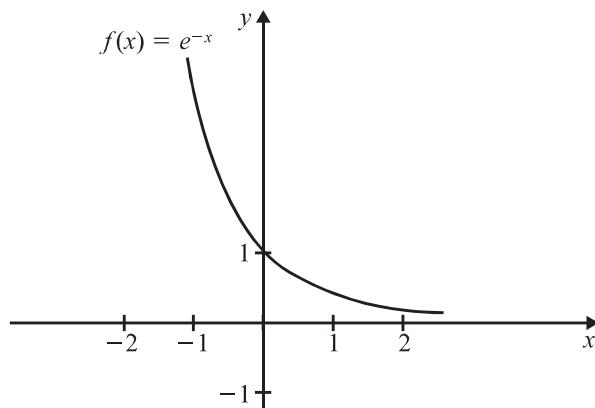


$$\text{entonces } \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow -\infty} e^x = 0$$

esto cumple también cuando tenemos la función $g(x) = a^x$ para $a > 0$, es decir

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} a^x = 0 \text{ para } a > 0$$

Por otro lado, si tenemos $f(x) = e^{-x}$, tenemos que cuando $x \rightarrow \infty$, $f(x)$ se aproxima a cero.



$$\text{entonces } \lim_{x \rightarrow \infty} e^{-x} = 0$$

También se cumple $\lim_{x \rightarrow \infty} a^{-x} = 0$ para $a > 0$

2 CAPÍTULO

CÁLCULO DIFERENCIAL

EJERCICIO 19

Obtén los siguientes límites:

$$1. \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{7x + 8}{4x + 3}$$

$$2. \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{2y^2 - 3y + 5}{y^2 - 5y + 2}$$

$$3. \lim_{w \rightarrow \infty} \frac{3w^2 + 5w - 2}{5w^3 + 4w^2 + 1}$$

$$4. \lim_{h \rightarrow \infty} \frac{5h^4 - 2h^2 + 3}{3h^3 + 2h^2 + h}$$

$$5. \lim_{x \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{18x^2 - 3x + 2}{2x^2 + 5}}$$

$$6. \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt[3]{x^3 - 2x^2 + 3}}{2x + 1}$$

$$7. \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{3 + \frac{2}{y^3} - 3y^4}{9y^4 - \frac{5}{y^2} - 3}$$

$$8. \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x^{-1} + 3x^{-2}}{x^{-2} + 4}$$

$$9. \lim_{v \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{v^2 + 1}}{\sqrt[3]{v^3 - 3}}$$

$$10. \lim_{h \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{h^2 + 4} - \sqrt{h^2 - 4}}{h}$$

$$11. \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{11x + 6}{4 - 6x}$$

$$12. \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{x}{\sqrt{x^2 - 4}}$$

$$13. \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{(3x - 2)(3x + 1)}{(2x + 7)(x - 2)}$$

$$14. \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{2^x - 2^{-x}}{2^x + 2^{-x}}$$

$$15. \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{x^2 - 5x + 3}{\sqrt{x^4 - 2x^2 - 1}}$$

$$16. \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{a_m x^m + \dots + a_1 x + a_0}{b_n x^n + \dots + a_1 x + b_0}$$

$$17. \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{ax^n + bx^m}{cx^n - dx^m} \text{ con } n > m$$

$$18. \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt[n]{ax^n + 1}}{x}$$



Verifica tus resultados en la sección de soluciones correspondiente

Asíntotas horizontales

Sea la función $y = f(x)$, si la curva tiene una asíntota horizontal en $y = c$, entonces la ecuación de la asíntota es:

$$y = \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) \text{ o } y = \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x)$$

EJEMPLOS

Ejemplos

- 1 ••• Encuentra la ecuación de la asíntota horizontal de $f(x) = \frac{3x + 1}{2x + 3}$

Solución

Al aplicar $y = \lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$, se obtiene:

$$y = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x + 1}{2x + 3} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{3x}{x} + \frac{1}{x}}{\frac{2x}{x} + \frac{3}{x}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3 + \frac{1}{x}}{2 + \frac{3}{x}} = \frac{3}{2}$$

Por tanto, la curva tiene una asíntota horizontal en $y = \frac{3}{2}$ o $2y - 3 = 0$

- 2 ••• Determina la ecuación de la asíntota horizontal de $y = \frac{x}{x^2 + 1}$

Solución

Se aplica $y = \lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$, entonces la asíntota horizontal tiene por ecuación:

$$y = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x}{x^2 + 1} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{x}{x^2}}{\frac{x^2}{x^2} + \frac{1}{x^2}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{1}{x}}{1 + \frac{1}{x^2}} = \frac{0}{1} = 0$$

El resultado $y = 0$ indica que la asíntota horizontal es el eje X .

- 3 ••• Obtén la ecuación de la asíntota horizontal de $f(x) = \frac{x^2 + 1}{x - 3}$

Solución

Se aplica la definición $y = \lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ y se obtiene:

$$y = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^2 + 1}{x - 3} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{x^2 + 1}{x^2}}{\frac{x - 3}{x^2}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1 + \frac{1}{x^2}}{\frac{1}{x} - \frac{3}{x^2}} = \frac{1}{0}$$

El límite no existe ya que la división entre cero no está definida.

El resultado indica que la curva no tiene asíntotas horizontales.

EJERCICIO 20

Encuentra las ecuaciones de las asíntotas horizontales de las siguientes funciones:

1. $y = \frac{2x + 3}{4x - 5}$

6. $y = \frac{ax + b}{cx - d}$

2. $f(x) = \frac{1}{x}$

7. $f(x) = \frac{2}{x + 2}$

3. $f(x) = \frac{x^2 - 4}{5}$

8. $xy + 2x - 1 = 0$

4. $y = \frac{\sqrt{x^2 + 3}}{x}$

9. $f(x) = 2x + 5$

5. $f(x) = \frac{2x^3 + 3x^2 + 3x + 1}{x^3 - 1}$

10. $f(x) = \frac{ax^n + a_1x^{n-1} + \dots + a_n}{bx^n + b_1x^{n-1} + \dots + b_n}$

➡ Verifica tus resultados en la sección de soluciones correspondiente

2 CAPÍTULO

CÁLCULO DIFERENCIAL

Asíntotas oblicuas

Se le denomina asíntota oblicua a aquella recta cuyo ángulo de inclinación θ es diferente de 0° y 90° .

Caso 1

Sea una función racional de la forma $f(x) = \frac{Q(x)}{P(x)}$ donde el grado de $Q(x)$ es un grado mayor que el grado de $P(x)$ y $P(x)$ no es factor de $Q(x)$, entonces $f(x)$ tiene una asíntota oblicua en la recta $y = ax + b$ siendo $f(x) = ax + b + \frac{R(x)}{P(x)}$ si se cumple alguna de las siguientes condiciones:

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} [f(x) - (ax + b)] = 0 \quad \text{o} \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} [f(x) - (ax + b)] = 0$$

EJEMPLOS

Ejemplos

- 1 ●●● Determina las ecuaciones de las asíntotas y traza la gráfica de la función $f(x) = \frac{x^2 + 2}{x + 1}$

Solución

La función no tiene asíntotas horizontales, pero sí posee una asíntota vertical en $x = -1$

El grado del numerador es un grado mayor que el grado del denominador y éste no es factor del numerador, entonces:

$$f(x) = x - 1 + \frac{3}{x + 1}$$

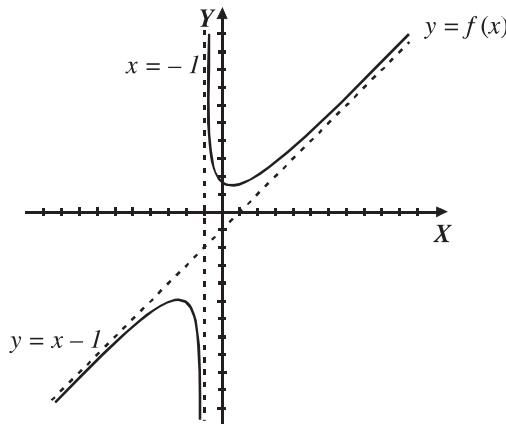
Para obtener la asíntota oblicua se aplica cualquiera de las dos condiciones:

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} [f(x) - (x - 1)] = \lim_{x \rightarrow +\infty} \left[\frac{3}{x + 1} \right]$$

Pero $f(x) - (x - 1) = \frac{3}{x + 1}$, por tanto:

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{3}{x + 1} \right) &= \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\frac{3}{x}}{\frac{x+1}{x}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\frac{3}{x}}{1 + \frac{1}{x}} \\ &= \frac{0}{1 + 0} = 0 \end{aligned}$$

La función tiene una asíntota oblicua en la recta $y = x - 1$



- 2 ••• Obtén las ecuaciones de las asíntotas y traza la gráfica de la función $f(x) = \frac{x^3 + 1}{x^2 + 1}$

Solución

La función carece de asíntotas verticales y horizontales, para obtener las asíntotas oblicuas la función se representa de la siguiente forma:

$$f(x) = x + \frac{1-x}{x^2+1}$$

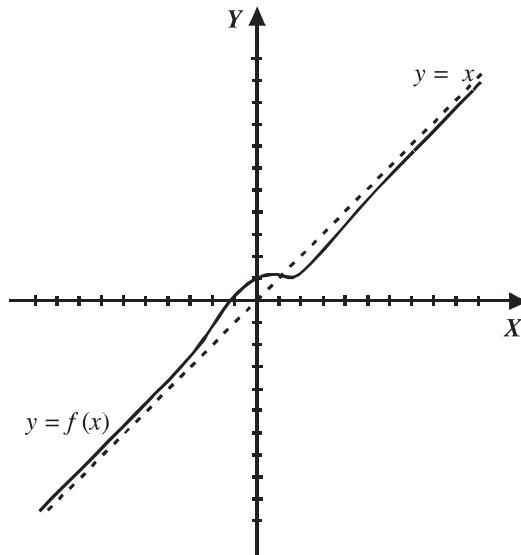
Para comprobar que $y = x$ es la ecuación de la asíntota oblicua, se aplica la definición:

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} [f(x) - (ax + b)] = \lim_{x \rightarrow +\infty} [f(x) - x] = \lim_{x \rightarrow +\infty} \left[\frac{x^3 + 1}{x^2 + 1} - x \right] = \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{1-x}{x^2+1} \right)$$

Se obtiene el límite:

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{1-x}{x^2+1} \right) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{\frac{1}{x^2} - \frac{x}{x^2}}{\frac{x^2}{x^2} + \frac{1}{x^2}} \right) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{\frac{1}{x^2} - \frac{1}{x}}{1 + \frac{1}{x^2}} \right) = \frac{0 - 0}{1 + 0} = 0$$

Por tanto, la función tiene una asíntota oblicua en $y = x$



Analicemos otro método; sea una función racional de la forma $f(x) = \frac{Q(x)}{P(x)}$ donde el grado de $Q(x)$ es un grado mayor que el de $P(x)$ y $P(x)$ no es factor de $Q(x)$, entonces $f(x)$ tiene una asíntota oblicua en la recta $y = ax + b$, cuyos valores de a y b están dados por:

$$a = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{x} \quad y \quad b = \lim_{x \rightarrow \infty} [f(x) - ax]$$

Ejemplo

Obtén las ecuaciones de las asíntotas y traza la gráfica de $f(x) = \frac{x^2 + x - 3}{x}$

Solución

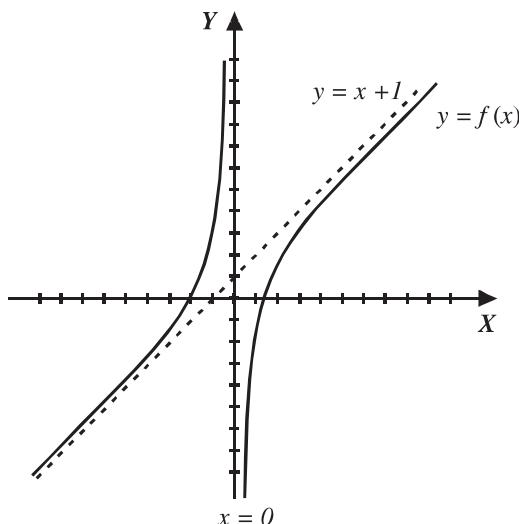
La función tiene una asíntota vertical en $x = 0$ y no tiene asíntota horizontal, para obtener la ecuación de la asíntota oblicua se aplican los límites anteriores:

$$a = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\frac{x^2 + x - 3}{x}}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{x^2 + x - 3}{x^2} \right) = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x} - \frac{3}{x^2} \right) = 1$$

$$b = \lim_{x \rightarrow \infty} [f(x) - x] = \lim_{x \rightarrow \infty} \left[\frac{x^2 + x - 3}{x} - x \right] = \lim_{x \rightarrow \infty} \left[\frac{x^2 + x - 3 - x^2}{x} \right] = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{3}{x} \right) = 1$$

Se sustituyen a y b en la ecuación $y = ax + b$, por tanto, la asíntota es: $y = x + 1$

Gráfica



Caso //

Sea una función $f(x) = \frac{Q(x)}{P(x)}$ donde el grado de $Q(x)$ es mayor que uno y mayor al grado de $P(x)$, la función tiene una asíntota oblicua no lineal.

Ejemplo

Determina las ecuaciones de las asíntotas de la función $f(x) = \frac{x^4 + 1}{x^2}$

Solución

Esta función tiene una asíntota vertical en $x = 0$

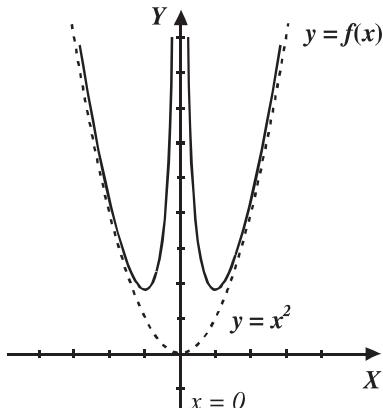
Se realiza el cociente y el resultado es:

$$f(x) = x^2 + \frac{1}{x^2}$$

Entonces:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{x^2} \right) = 0$$

Por consiguiente, la función tiene una asíntota cuya ecuación es $y = x^2$



EJERCICIO 21

De las siguientes funciones determina las ecuaciones de las asíntotas y traza sus gráficas:

$$1. \quad f(x) = \frac{x^2 + x + 1}{x + 2}$$

$$4. \quad f(x) = \frac{x^2 + 2}{x + 2}$$

$$7. \quad f(x) = \frac{x^3 - 3x^2 + 1}{x}$$

$$2. \quad f(x) = \frac{1 - x^2}{x - 3}$$

$$5. \quad f(x) = \frac{x^4}{x^3 + 1}$$

$$8. \quad f(x) = \frac{1}{(x^3 - 3x^2)^{-\frac{1}{3}}}$$

$$3. \quad f(x) = \frac{4x^2 - 4x + 5}{2x - 1}$$

$$6. \quad f(x) = \frac{x^5}{x^4 - 1}$$

$$9. \quad f(x) = \frac{x^5 + 1}{x^2 - 1}$$



Verifica tus resultados en la sección de soluciones correspondiente

Límites laterales

Límite por la derecha

Sea $f(x)$ una función definida en el intervalo abierto (x_o, b) , el límite de $f(x)$ cuando x se approxima a x_o por la derecha es L y se representa:

$$\lim_{x \rightarrow x_o^+} f(x) = L$$

Lo anterior denota que $f(x)$ se aproxima a L cuando x tiende a aproximarse con valores mayores que x_o

Límite por la izquierda

Sea una función definida en el intervalo abierto (a, x_o) , el límite de $f(x)$ cuando x se approxima a x_o por la izquierda es L y se representa:

$$\lim_{x \rightarrow x_o^-} f(x) = L$$

Lo anterior denota que $f(x)$ se aproxima a L cuando x tiende a aproximarse con valores menores que x_o

Teorema

El límite cuando $x \rightarrow x_o$ de una función $f(x)$, existe y es igual a L , si y solo si los límites laterales son iguales a L , es decir

$$\lim_{x \rightarrow x_o} f(x) = L \Leftrightarrow \lim_{x \rightarrow x_o^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow x_o^-} f(x) = L$$

2 CAPÍTULO

CÁLCULO DIFERENCIAL

EJEMPLOS

Ejemplos

- 1 ••• Determina el $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$ si $f(x) = \begin{cases} 2x - 3 & \text{si } x < 2 \\ 5 - x^2 & \text{si } x \geq 2 \end{cases}$

Solución

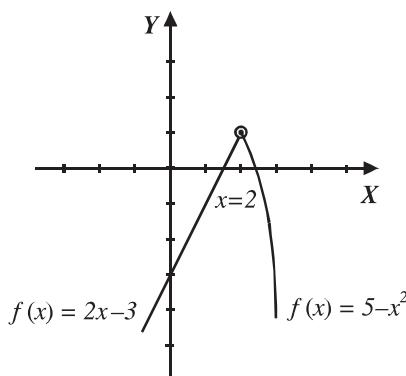
Se calculan los límites laterales:

$$\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^-} (2x - 3) = 2(2) - 3 = 1$$

$$\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^+} (5 - x^2) = 5 - (2)^2 = 5 - 4 = 1$$

$$\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = 1$$

Por consiguiente el $\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = 1$



- 2 ••• Calcula el $\lim_{x \rightarrow 0} f(x)$ si $f(x) = \begin{cases} \sqrt{9 - x^2} & \text{si } x \geq 0 \\ 2x + 1 & \text{si } x < 0 \end{cases}$

Solución

Se obtienen los límites laterales:

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^+} \sqrt{9 - x^2} = \sqrt{9 - (0)^2} = 3$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^-} (2x + 1) = 2(0) + 1 = 1$$

Dado que, $\lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) \neq \lim_{x \rightarrow 0^+} f(x)$, entonces el $\lim_{x \rightarrow 0} f(x)$ no existe.

La existencia de un límite lateral no implica la existencia del otro (ejemplo anterior). Cuando $f(x)$ está definida de un solo lado, entonces el $\lim_{x \rightarrow x_o} f(x)$ es igual al límite lateral de dicho lado.

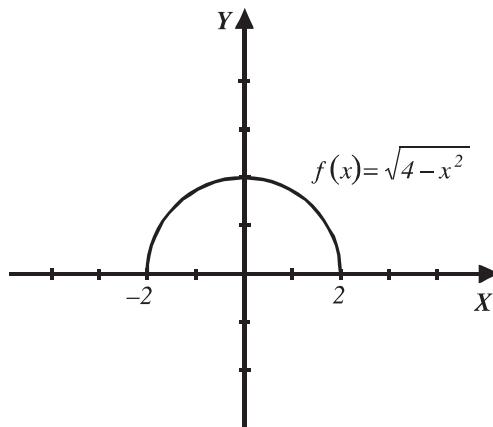
3 ••• ¿Cuál es el $\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x)$ si $f(x) = \sqrt{4 - x^2}$?

Solución

Esta función está definida en el intervalo $-2 \leq x \leq 2$, por tanto, los valores de x tienden únicamente a 2 por la izquierda, entonces el valor del límite es:

$$\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^-} \sqrt{4 - x^2} = \sqrt{4 - (2)^2} = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = 0$$



EJERCICIO 22

Para las siguientes funciones, determina el valor de los límites indicados:

1. Si $f(x) = \begin{cases} x^2 & \text{si } x < 3 \\ 2x + 5 & \text{si } x \geq 3 \end{cases}$

a) $\lim_{x \rightarrow 3^+} f(x)$, b) $\lim_{x \rightarrow 3^-} f(x)$, c) $\lim_{x \rightarrow 3} f(x)$

2. Si $g(x) = \begin{cases} x + 1 & \text{si } x < -2 \\ x^2 - 5 & \text{si } -2 \leq x < 1 \\ -6 & \text{si } x \geq 1 \end{cases}$

a) $\lim_{x \rightarrow -2^+} g(x)$, b) $\lim_{x \rightarrow -2^-} g(x)$, c) $\lim_{x \rightarrow -2} g(x)$,
d) $\lim_{x \rightarrow 1^+} g(x)$, e) $\lim_{x \rightarrow 1^-} g(x)$, f) $\lim_{x \rightarrow 1} g(x)$

3. Si $h(x) = \begin{cases} \sqrt{x+3} & \text{si } x \leq 1 \\ \frac{1}{x} - 1 & \text{si } 1 < x \leq 3 \\ \frac{x^2 - 11}{3} & \text{si } 3 < x \end{cases}$

a) $\lim_{x \rightarrow 1^+} h(x)$, b) $\lim_{x \rightarrow 1^-} h(x)$, c) $\lim_{x \rightarrow 1} h(x)$,
d) $\lim_{x \rightarrow 3^+} h(x)$, e) $\lim_{x \rightarrow 3^-} h(x)$, f) $\lim_{x \rightarrow 3} h(x)$

4. Si $f(x) = \begin{cases} \frac{2x}{x-1} & \text{si } -1 < x \leq 2 \\ x^2 & \text{si } 2 < x < 4 \end{cases}$

a) $\lim_{x \rightarrow -1^+} f(x)$, b) $\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x)$, c) $\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x)$,
d) $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$, e) $\lim_{x \rightarrow 4^-} f(x)$

5. Si $f(x) = \begin{cases} \frac{x^2 - 4}{x-2} & \text{si } x \leq 2 \\ 2x & \text{si } 2 < x < 4 \\ \sqrt{x+5} & \text{si } x \geq 4 \end{cases}$

a) $\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x)$, b) $\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x)$, c) $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$,
d) $\lim_{x \rightarrow 4^-} f(x)$, e) $\lim_{x \rightarrow 4^+} f(x)$, f) $\lim_{x \rightarrow 4} f(x)$

2 CAPÍTULO

CÁLCULO DIFERENCIAL

6. Si $f(x) = \begin{cases} \frac{x^2 - 3x - 10}{x + 2} & \text{si } x \leq -2 \\ \frac{3 - 2x}{x^2 - 5} & \text{si } x > -2 \end{cases}$ $\lim_{x \rightarrow -2} f(x)$

7. Si $h(\theta) = \begin{cases} \sin \theta & \text{si } \theta < \frac{\pi}{2} \\ -\cos 2\theta & \text{si } \theta \geq \frac{\pi}{2} \end{cases}$ $\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{2}} h(\theta)$

8. Si $g(x) = \begin{cases} 3e^x & \text{si } x \leq 0 \\ 3 + 7 \log(x+1) & \text{si } x > 0 \end{cases}$ $\lim_{x \rightarrow 0} g(x)$

9. Si $w(x) = \begin{cases} \sqrt{4 - 3 \sin x} & \text{si } x < \pi \\ \frac{3 \cos x + 5}{1 - \log\left(\sin \frac{x}{2}\right)} & \text{si } x \geq \pi \end{cases}$ $\lim_{x \rightarrow \pi} w(x)$

10. Si $f(x) = \begin{cases} \sin x + \cos x & \text{si } x \leq 0 \\ \sqrt{4 - x^2} & \text{si } x > 0 \end{cases}$ $\lim_{x \rightarrow 0} f(x)$

➡ Verifica tus resultados en la sección de soluciones correspondiente

Límites de funciones trigonométricas

A continuación se muestra la tabla de valores de las funciones trigonométricas de los ángulos notables, así como los ángulos de 0 , $\frac{\pi}{2}$, π , $\frac{3\pi}{2}$ y 2π

Ángulos en radianes	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3\pi}{2}$	2π
Seno	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0	-1	0
Coseno	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1	0	1
Tangente	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	No existe	0	No existe	0
Cotangente	No existe	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	No existe	0	No existe
Secante	1	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$\sqrt{2}$	2	No existe	-1	No existe	1
Cosecante	No existe	2	$\sqrt{2}$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	1	No existe	-1	No existe

EJEMPLOS

- Ejemplos** 1 ••• Encuentra el valor del $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{4}} \sin 2x$

Solución

Se sustituye el valor de $x = \frac{\pi}{4}$ en la función:

$$\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{4}} \sin 2x = \sin 2\left(\frac{\pi}{4}\right) = \sin \frac{\pi}{2} = 1$$

Por consiguiente, el valor del límite es 1.

- 2 ••• ¿Cuál es el valor del $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 2x - 3 \cos 2x}{1+x}$?

Solución

Al sustituir $x = 0$, se obtiene:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 2x - 3 \cos 2x}{1+x} = \frac{\sin 2(0) - 3 \cos 2(0)}{1+0} = \frac{\sin 0 - 3 \cos 0}{1} = \frac{0 - 3(1)}{1} = -3$$

Por tanto, $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 2x - 3 \cos 2x}{1+x} = -3$

- 3 ••• Obtén $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} \frac{\tan \frac{x}{2} - \cos 2x}{\sin x + 1}$

Solución

$$\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} \frac{\tan \frac{x}{2} - \cos 2x}{\sin x + 1} = \frac{\tan \frac{\frac{\pi}{2}}{2} - \cos 2\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\sin \frac{\pi}{2} + 1} = \frac{\tan \frac{\pi}{4} - \cos \pi}{1+1} = \frac{1 - (-1)}{1+1} = \frac{2}{2} = 1$$

Por consiguiente, el valor del límite es 1.

EJERCICIO 23

Calcula los siguientes límites:

1. $\lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{\cos 3x}{x+3} \right)$

6. $\lim_{x \rightarrow 0} \sqrt{\frac{4 \cos x}{\sin x + \cos x}}$

2. $\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{6}} (\sin \theta + \cos \theta)$

7. $\lim_{h \rightarrow \frac{\pi}{3}} \frac{\tan h}{\sin^2 h - 1}$

3. $\lim_{\alpha \rightarrow \pi} \left(2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \alpha \right)$

8. $\lim_{x \rightarrow \frac{3\pi}{4}} \frac{\sin x + \cos x}{\sin x - \cos x}$

4. $\lim_{w \rightarrow 0} \frac{\tan^2 w - 1}{\tan^2 w + 1}$

9. $\lim_{w \rightarrow \pi} \frac{\sec^2 w}{1 - \sin^2 w}$

5. $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}} \sin \left(x - \frac{\pi}{4} \right) \cos \left(x + \frac{\pi}{4} \right)$

10. $\lim_{\beta \rightarrow \frac{\pi}{3}} \frac{\sin \beta - \cos \beta}{\tan \beta - \sqrt{3}}$



Verifica tus resultados en la sección de soluciones correspondiente

2 CAPÍTULO

CÁLCULO DIFERENCIAL

Límites trigonométricos indeterminados

Para evitar la indeterminación en un límite de funciones trigonométricas, se transforma la función utilizando identidades trigonométricas, en ocasiones con esto es suficiente, también se puede simplificar hasta obtener una expresión de la siguiente forma:

$$\frac{\sin x}{x}, \frac{1 - \cos x}{x} \text{ o } \frac{\cos x - 1}{x}$$

y utilizar los siguientes teoremas:

$$\lim_{v \rightarrow 0} \frac{\sin v}{v} = 1; \quad \lim_{v \rightarrow 0} \frac{1 - \cos v}{v} = \lim_{v \rightarrow 0} \frac{\cos v - 1}{v} = 0$$

A continuación se da una lista de las identidades que se pueden utilizar.

Identidades trigonométricas fundamentales	Funciones del ángulo doble
$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$	$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$
$\cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$	$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$
$\begin{aligned} \sin \alpha \csc \alpha &= 1 \\ &\left\{ \begin{array}{l} \sin \alpha = \frac{1}{\csc \alpha} \\ \csc \alpha = \frac{1}{\sin \alpha} \end{array} \right. \end{aligned}$	$\cos 2\alpha = 2 \sin^2 \alpha - 1$
$\begin{aligned} \cos \alpha \sec \alpha &= 1 \\ &\left\{ \begin{array}{l} \cos \alpha = \frac{1}{\sec \alpha} \\ \sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha} \end{array} \right. \end{aligned}$	$\cos 2\alpha = 1 - 2 \cos^2 \alpha$
$\begin{aligned} \tan \alpha \cot \alpha &= 1 \\ &\left\{ \begin{array}{l} \tan \alpha = \frac{1}{\cot \alpha} \\ \cot \alpha = \frac{1}{\tan \alpha} \end{array} \right. \end{aligned}$	$\tan 2\alpha = \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha}$
$\begin{aligned} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha &= 1 \\ &\left\{ \begin{array}{l} \sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha \\ \cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha \end{array} \right. \end{aligned}$	Funciones de suma o diferencia de ángulos
$1 + \tan^2 \alpha = \sec^2 \alpha$	$\begin{aligned} \sin(\alpha \pm \beta) &= \sin \alpha \cos \beta \pm \sin \beta \cos \alpha \\ \cos(\alpha \pm \beta) &= \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta \end{aligned}$
$1 + \cot^2 \alpha = \csc^2 \alpha$	Transformaciones de sumas o restas de funciones trigonométricas a producto
	$\begin{aligned} \sin \alpha + \sin \beta &= 2 \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) \cos \left(\frac{\alpha - \beta}{2} \right) \\ \sin \alpha - \sin \beta &= 2 \cos \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) \sin \left(\frac{\alpha - \beta}{2} \right) \\ \cos \alpha + \cos \beta &= 2 \cos \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) \cos \left(\frac{\alpha - \beta}{2} \right) \\ \cos \alpha - \cos \beta &= -2 \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) \sin \left(\frac{\alpha - \beta}{2} \right) \end{aligned}$

EJEMPLOS**Ejemplos**

- 1 ●●● Determina el $\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{4}} \frac{1 - \tan \theta}{\sin \theta - \cos \theta}$

Solución

Se sustituye $\theta = \frac{\pi}{4}$, resultando:

$$\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{4}} \frac{1 - \tan \theta}{\sin \theta - \cos \theta} = \frac{1 - \tan \frac{\pi}{4}}{\sin \frac{\pi}{4} - \cos \frac{\pi}{4}} = \frac{1 - 1}{\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{0}{0}$$

Para eliminar la indeterminación, se aplican las identidades trigonométricas con el fin de obtener una expresión equivalente que no se indetermine:

$$\frac{1 - \tan \theta}{\sin \theta - \cos \theta} = \frac{1 - \frac{\sin \theta}{\cos \theta}}{\sin \theta - \cos \theta} = \frac{\frac{\cos \theta - \sin \theta}{\cos \theta}}{-\cos \theta + \sin \theta} = \frac{\cos \theta - \sin \theta}{-\cos \theta(\cos \theta - \sin \theta)} = -\frac{1}{\cos \theta}$$

Se calcula el valor del límite:

$$\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{4}} \frac{1 - \tan \theta}{\sin \theta - \cos \theta} = \lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{4}} \left(-\frac{1}{\cos \theta} \right) = \frac{-1}{\cos \frac{\pi}{4}} = \frac{-1}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = -\frac{2}{\sqrt{2}} = -\sqrt{2}$$

Por consiguiente, $\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{4}} \frac{1 - \tan \theta}{\sin \theta - \cos \theta} = -\sqrt{2}$

- 2 ●●● Calcula el $\lim_{w \rightarrow 0} \frac{\cos w - \cos 2w}{\sin^2 w}$

Solución

Al evaluar el límite:

$$\lim_{w \rightarrow 0} \frac{\cos w - \cos 2w}{\sin^2 w} = \frac{\cos 0 - \cos 2(0)}{\sin^2(0)} = \frac{1 - 1}{(0)^2} = \frac{0}{0}$$

Se indetermina la función, por consiguiente, se transforma mediante identidades trigonométricas, como se ilustra:

$$\begin{aligned} \lim_{w \rightarrow 0} \frac{\cos w - \cos 2w}{\sin^2 w} &= \lim_{w \rightarrow 0} \frac{\cos w - (\cos^2 w - \sin^2 w)}{\sin^2 w} = \lim_{w \rightarrow 0} \frac{\cos w - \cos^2 w + \sin^2 w}{\sin^2 w} \\ &= \lim_{w \rightarrow 0} \left[\frac{\cos w (1 - \cos w) + \sin^2 w}{\sin^2 w} \right] = \lim_{w \rightarrow 0} \left[\frac{\cos w (1 - \cos w)}{\sin^2 w} + \frac{\sin^2 w}{\sin^2 w} \right] \lim_{w \rightarrow 0} \left[\frac{\cos w (1 - \cos w)}{1 - \cos^2 w} + 1 \right] \\ &= \lim_{w \rightarrow 0} \left[\frac{\cos w (1 - \cos w)}{(1 + \cos w)(1 - \cos w)} + 1 \right] = \lim_{w \rightarrow 0} \left[\frac{\cos w}{1 + \cos w} + 1 \right] \end{aligned}$$

Se aplica el límite:

$$= \lim_{w \rightarrow 0} \left[\frac{\cos w}{1 + \cos w} + 1 \right] = \frac{\cos 0}{1 + \cos 0} + 1 = \frac{1}{1 + 1} + 1 = \frac{1}{2} + 1 = \frac{3}{2}$$

Finalmente, el valor del límite es $\frac{3}{2}$

2 CAPÍTULO

CÁLCULO DIFERENCIAL

3 ••• Obtén el $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{2 \sen 3x}{x}$

Solución

Para que $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{2 \sen 3x}{x}$ adopte la forma $\lim_{v \rightarrow 0} \frac{\sen v}{v}$, se multiplica por 3 tanto el numerador como el denominador

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{2 \sen 3x}{x} \cdot \frac{3}{3} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{6 \sen 3x}{3x} = 6 \cdot \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sen 3x}{3x} = 6(1) = 6$$

Por tanto, $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{2 \sen 3x}{x} = 6$

4 ••• ¿Cuál es el valor del $\lim_{y \rightarrow 0} \frac{\cos ay - \cos by}{y^2}$?

Solución

Se sustituye $y = 0$ en la función:

$$\lim_{y \rightarrow 0} \frac{\cos ay - \cos by}{y^2} = \frac{\cos a(0) - \cos b(0)}{(0)^2} = \frac{1-1}{0} = 0$$

Se transforma la diferencia de cosenos en producto,

$$\cos ay - \cos by = -2 \sen\left(\frac{ay + by}{2}\right) \sen\left(\frac{ay - by}{2}\right) = -2 \sen\left(\frac{(a+b)y}{2}\right) \sen\left(\frac{(a-b)y}{2}\right)$$

Entonces:

$$\begin{aligned} \lim_{y \rightarrow 0} \frac{\cos ay - \cos by}{y^2} &= \lim_{y \rightarrow 0} \frac{-2 \sen\left(\frac{(a+b)y}{2}\right) \sen\left(\frac{(a-b)y}{2}\right)}{y^2} \\ &= -2 \cdot \lim_{y \rightarrow 0} \left[\frac{\sen\left(\frac{(a+b)y}{2}\right)}{y} \cdot \frac{\sen\left(\frac{(a-b)y}{2}\right)}{y} \right] \\ &= -2 \cdot \lim_{y \rightarrow 0} \frac{\sen\left(\frac{(a+b)y}{2}\right)}{y} \cdot \lim_{y \rightarrow 0} \frac{\sen\left(\frac{(a-b)y}{2}\right)}{y} \\ &= -2 \cdot \lim_{y \rightarrow 0} \frac{\sen\left(\frac{(a+b)y}{2}\right)}{y} \cdot \frac{(a+b)}{(a+b)} \cdot \lim_{y \rightarrow 0} \frac{\sen\left(\frac{(a-b)y}{2}\right)}{y} \cdot \frac{2}{2} \\ &= \frac{-2(a+b)}{2} \cdot \lim_{y \rightarrow 0} \frac{\sen\left(\frac{(a+b)y}{2}\right)}{(a+b)y} \cdot \frac{(a-b)}{2} \lim_{y \rightarrow 0} \frac{\sen\left(\frac{(a-b)y}{2}\right)}{(a-b)y} \\ &= \frac{-2(a+b)}{2} (1) \cdot \frac{(a-b)}{2} (1) \\ &= \frac{-2(a^2 - b^2)}{4} = \frac{b^2 - a^2}{2} \end{aligned}$$

Por tanto, $\lim_{y \rightarrow 0} \frac{\cos ay - \cos by}{y^2} = \frac{b^2 - a^2}{2}$

- 5 ••• Determina el valor de $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 + (x - 1)\cos x}{4x}$

Solución

Se evalúa la función para $x = 0$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 + (x - 1)\cos x}{4x} = \frac{1 + (0 - 1)\cos(0)}{4(0)} = \frac{1 + (-1)(1)}{4(0)} = \frac{1 - 1}{0} = \frac{0}{0}$$

Se transforma la expresión de la siguiente forma

$$\begin{aligned}\frac{1 + (x - 1)\cos x}{4x} &= \frac{1 + x \cos x - \cos x}{4x} = \frac{1 - \cos x + x \cos x}{4x} = \\ &= \frac{1}{4} \left[\frac{1 - \cos x}{x} + \frac{x \cos x}{x} \right] \\ &= \frac{1}{4} \left[\frac{1 - \cos x}{x} + \cos x \right]\end{aligned}$$

entonces

$$\begin{aligned}\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 + (x - 1)\cos x}{4x} &= \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{4} \left[\frac{1 - \cos x}{x} + \cos x \right] \\ &= \frac{1}{4} \left[\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x} + \lim_{x \rightarrow 0} \cos x \right] \\ &= \frac{1}{4} [0 + 1] \\ &= \frac{1}{4}(1) \\ &= \frac{1}{4}\end{aligned}$$

Por tanto

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 + (x - 1)\cos x}{4x} = \frac{1}{4}$$

EJERCICIO 24

Determina el valor de los siguientes límites:

1. $\lim_{w \rightarrow 0} \frac{w^2}{\cos w - 1}$

11. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x^2(a^2 - b^2)}{\cos ax - \cos bx}$

2. $\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\sin 3\theta}{\tan 4\theta}$

12. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{(\sin x)^m}{(\sin 2x)^m}$

3. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\cos x - 1}{\sin^2 x}$

13. $\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{2}} \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) \tan \theta$

4. $\lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{2 \sin \alpha - \tan 2\alpha}{\alpha}$

14. $\lim_{w \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\tan w} - \frac{1}{\sin w} \right)$

5. $\lim_{v \rightarrow 0} \frac{1 - \sec v}{v^2 \sec v}$

15. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x^3}{2 \tan x - \sin 2x}$

6. $\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{2}} \frac{\sin^2 \theta}{\tan^3 \theta}$

16. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\cos x - 1}{3x^3 \csc^2 x}$

7. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt[3]{(\cos x - 1)^2}}{\tan x}$

17. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin^2 3x}{x^2}$

8. $\lim_{w \rightarrow \frac{\pi}{4}} \frac{\cos 2w}{\cos w - \sin w}$

18. $\lim_{w \rightarrow 0} \frac{\sec 2w - 1}{w \sec 2w}$

9. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan x}{\sqrt{1 - \sin x} - \sqrt{1 + \sin x}}$

19. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\cos mx - \cos nx}{2x^2}$

10. $\lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{\tan(3 + \alpha) - \tan(3 - \alpha)}{\sin(3 - \alpha) - \sin(3 + \alpha)}$

20. $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\cos 4x - \cos^2 2x}{x}$

➡ Verifica tus resultados en la sección de soluciones correspondiente