

Anexo 5

Gráficas de para obtener el factor de atenuación y la penetración nominal.

A5.1. Introducción.

En este anexo se recopilan las curvas patrón que permiten calcular el factor de atenuación α y la penetración nominal p , en función de la permitividad relativa efectiva del medio, ϵ_r , para distintos valores de la conductividad efectiva y para unas frecuencias habituales en prospección con radar de subsuelo: 10 MHz, 100 MHz, 200 MHz, 500 MHz y 900 MHz y 1000 MHz.

Para el cálculo de estas curvas se han considerado medios no magnéticos y se han utilizado las ecuaciones 4.9 y 4.12, que permiten obtener los parámetros deseados de la forma más general posible:

$$\alpha = \frac{\omega}{c} \left\{ \frac{\mu_r \epsilon_r}{2} \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$d = \frac{1}{\alpha}$$

Donde α es el factor de atenuación, ω la frecuencia angular ($\omega = 2\pi f$), c la velocidad de una onda electromagnética en el vacío y d es la profundidad nominal de penetración. Considerando un medio que se caracteriza por una conductividad efectiva σ , una permitividad efectiva $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ y una permeabilidad relativa μ_r .

La validez de estas gráficas es general porque no se ha aplicado la aproximación de pequeñas pérdidas, siendo $\mu_r \approx 1$ la única restricción a tener en cuenta.

En cada caso se han considerado cuatro tipos de medios:

- **Medios conductores.** Las gráficas se han representado en este caso para los cuatro siguientes valores de la conductividad: 4 S/m, 2 S/m, 1 S/m y 0.5 S/m.
- **Medios poco conductores.** Como valores representativos de este segundo caso se han tomado los siguientes: 0.4 S/m, 0.2 S/m, 0.1 S/m y 0.05 S/m.
- **Medios casi dieléctricos.** Se trata de medios de conductividad baja. Los valores considerados para representar las gráficas han sido: 0.01 S/m, 0.005 S/m, 0.002 S/m y 0.001 S/m.
- **Medios casi perfectamente dieléctricos.** Se trata de medios con valores de la conductividad muy bajos, por lo que son muy poco atenuantes. Se les suele denominar medios casi transparentes. Es difícil encontrar este tipo de materiales en prospección. Se han tomado dos valores: 0.0001 S/m y 0.00001 S/m.

A5.2. Curvas para obtener el factor de atenuación.

A5.2.1. Antena de 10 MHz.

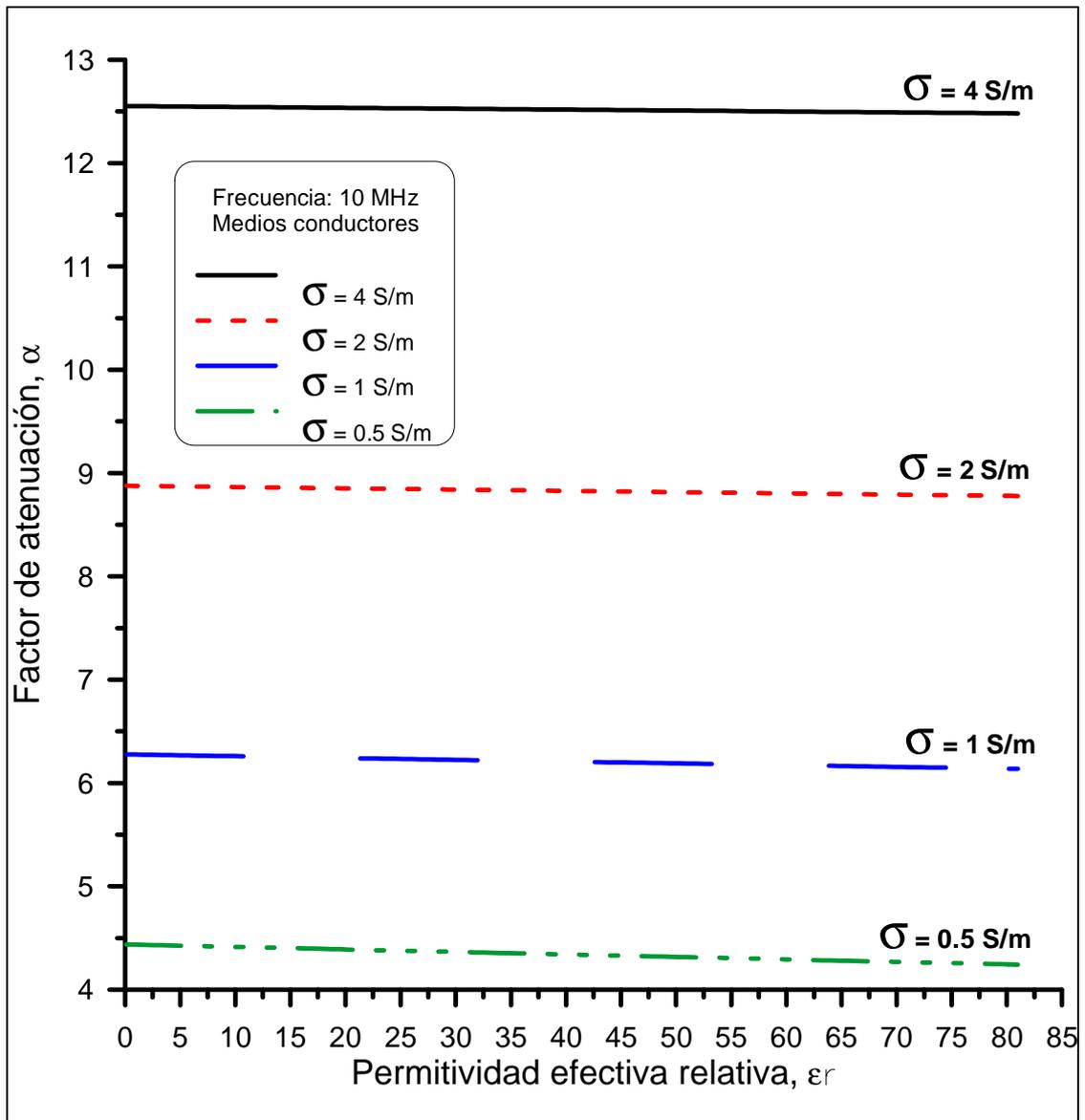


Figura A5.1. Factor de atenuación en función de la permitividad relativa efectiva para medios conductores, dada una frecuencia de 10 MHz.

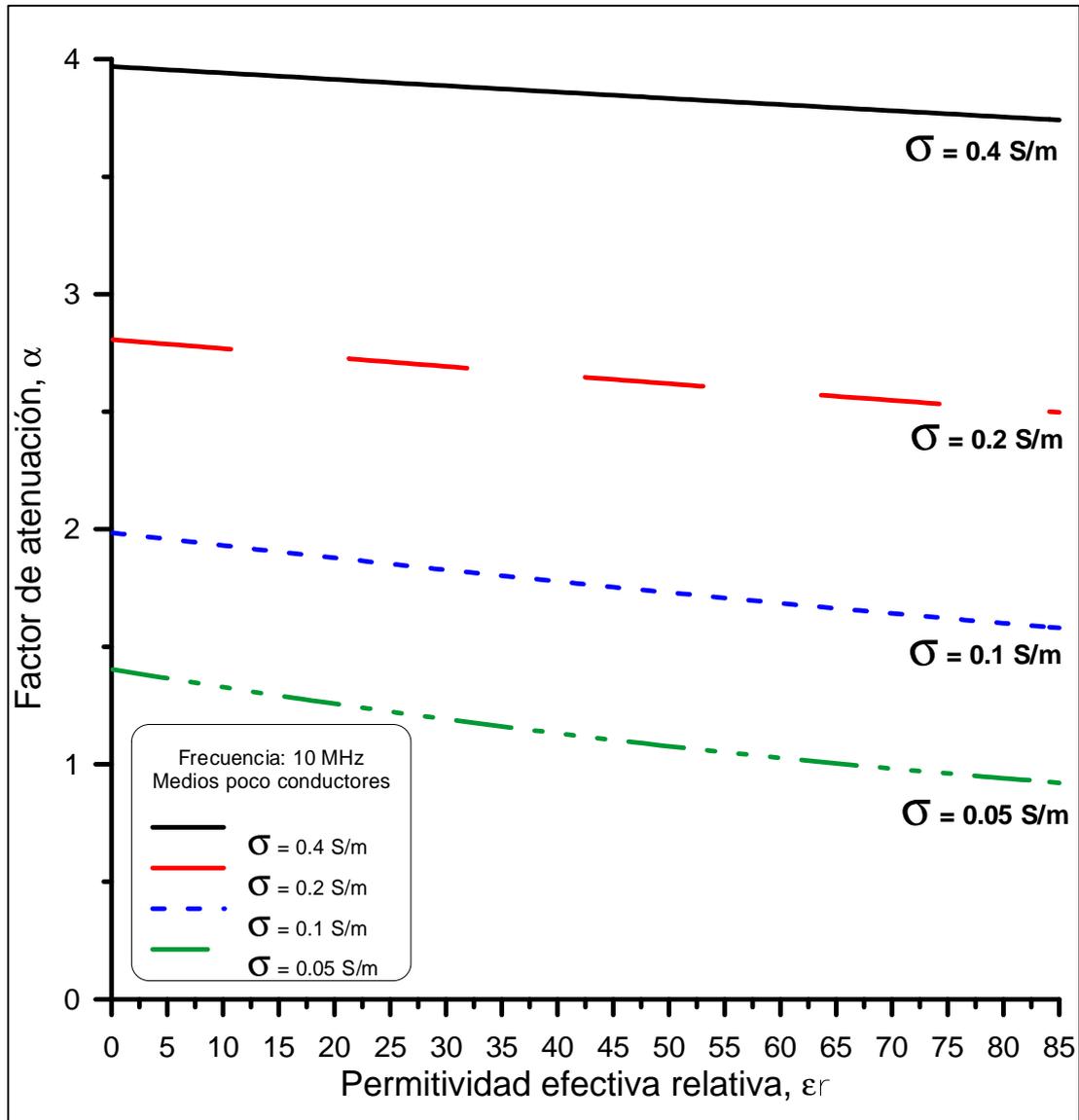


Figura A5.2. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios poco conductores, dada una frecuencia de 10 MHz.

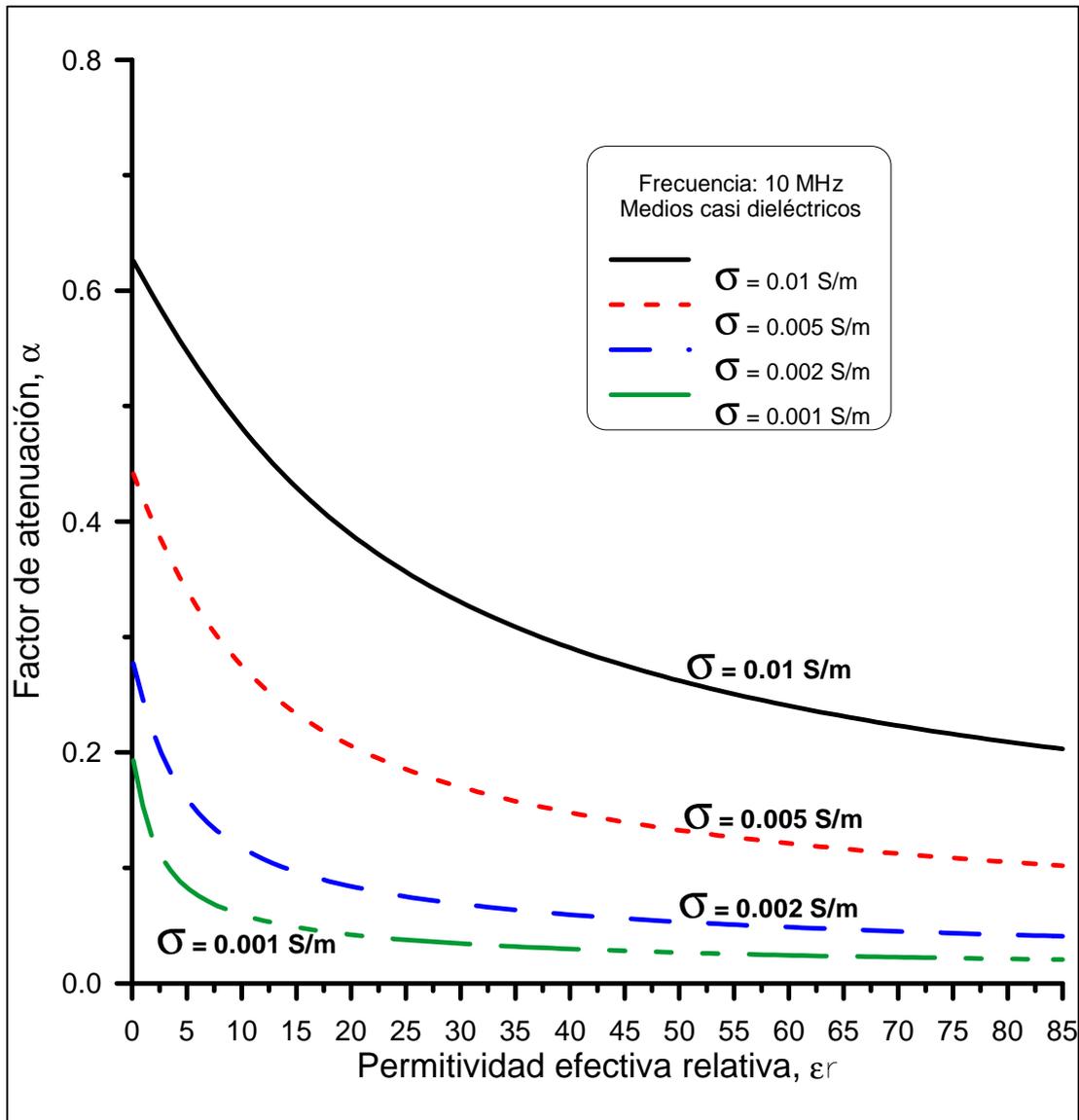


Figura A5.3. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi dieléctricos, dada una frecuencia de 10 MHz.

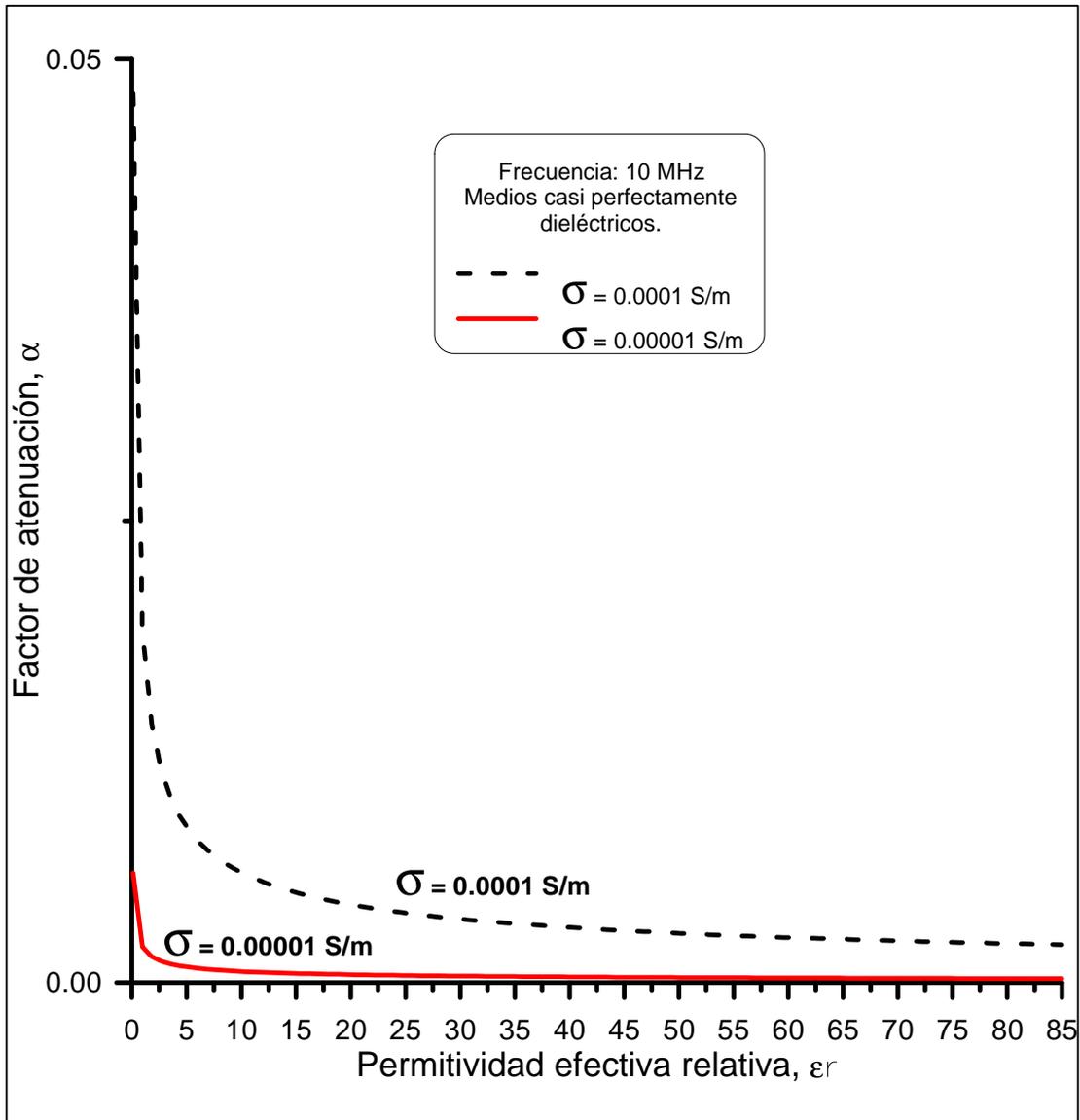


Figura A5.4. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi perfectamente dieléctricos, dada una frecuencia de 10 MHz.

A5.2.2. Antena de 100 MHz.

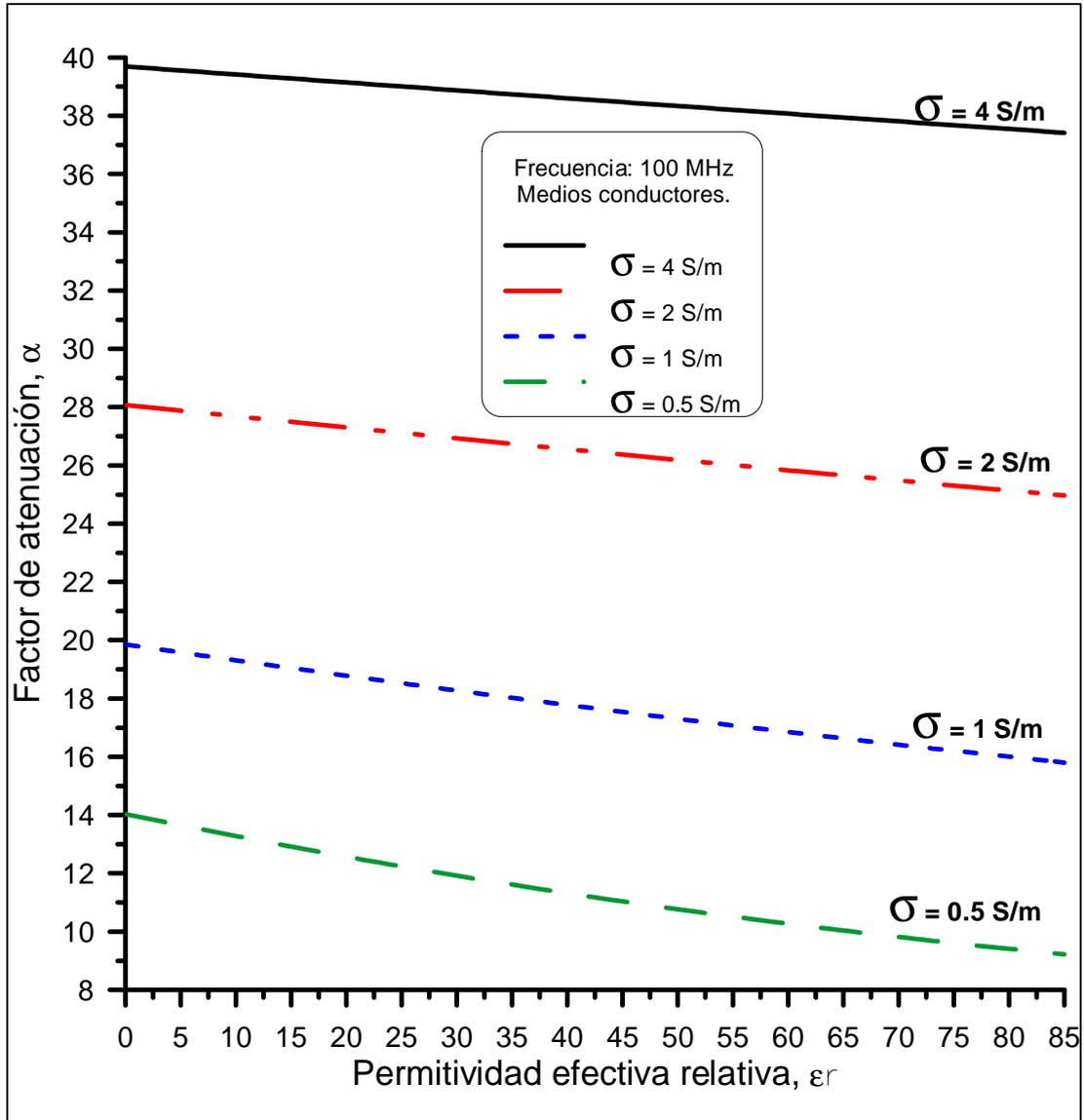


Figura A5.5. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios conductores, dada una frecuencia de 100 MHz.

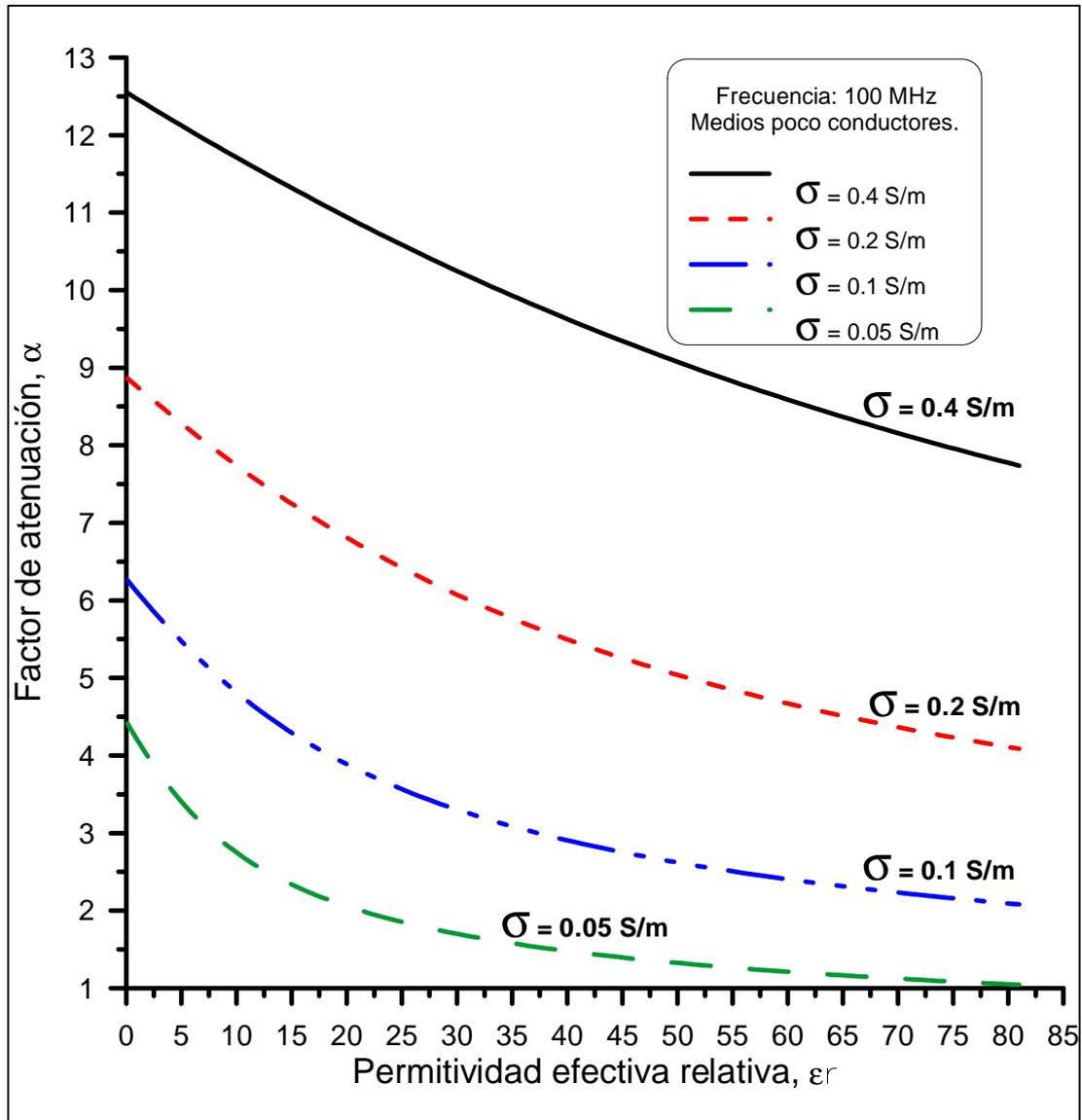


Figura A5.6. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios poco conductores, dada una frecuencia de 100 MHz.

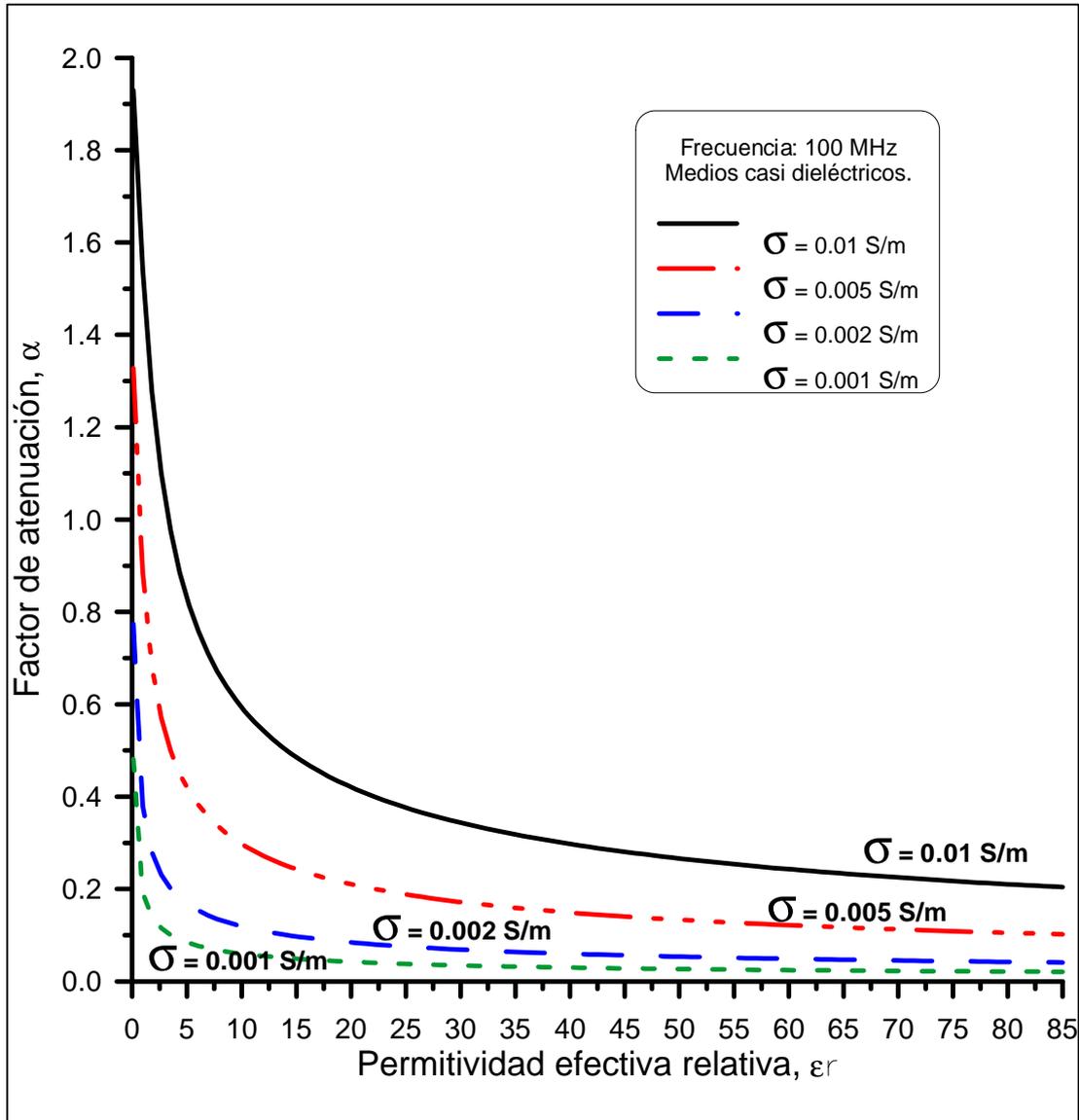


Figura A5.7. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para casi dieléctricos, dada una frecuencia de 100 MHz.

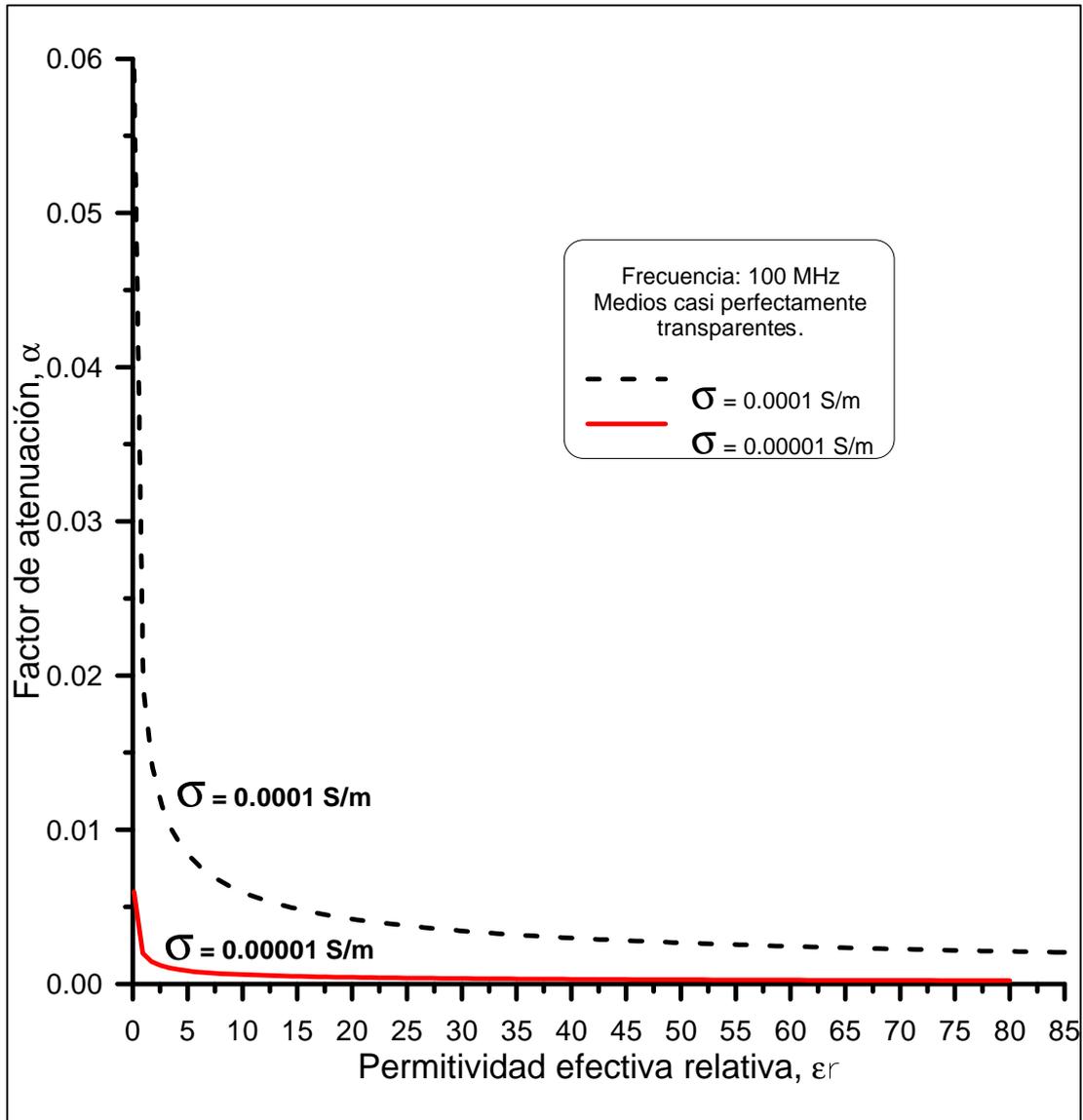


Figura A5.8. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi perfectamente transparentes, dada una frecuencia de 100 MHz.

A5.2.3. Antena de 200 MHz.

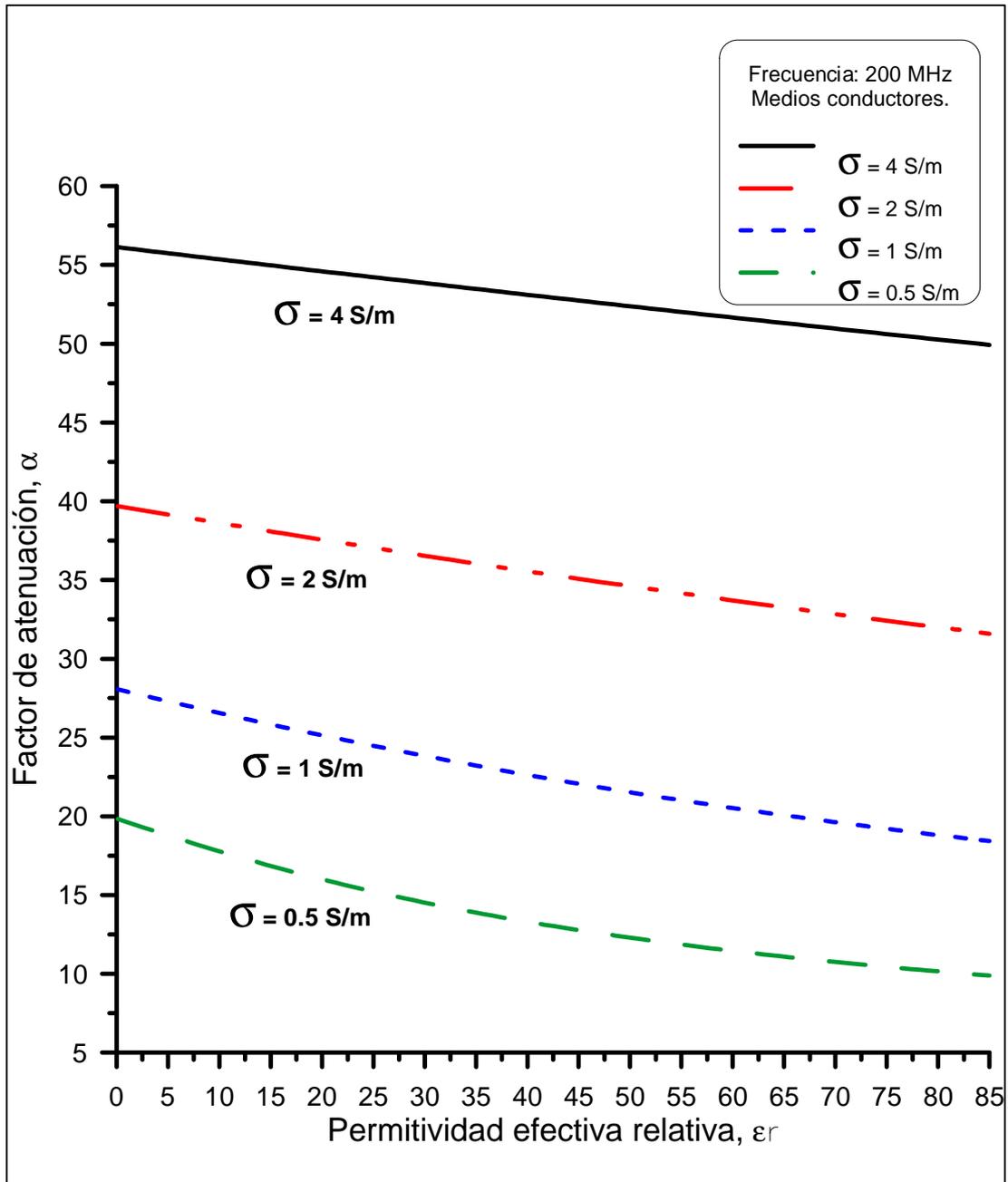


Figura A5.9. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios conductores, dada una frecuencia de 200 MHz.

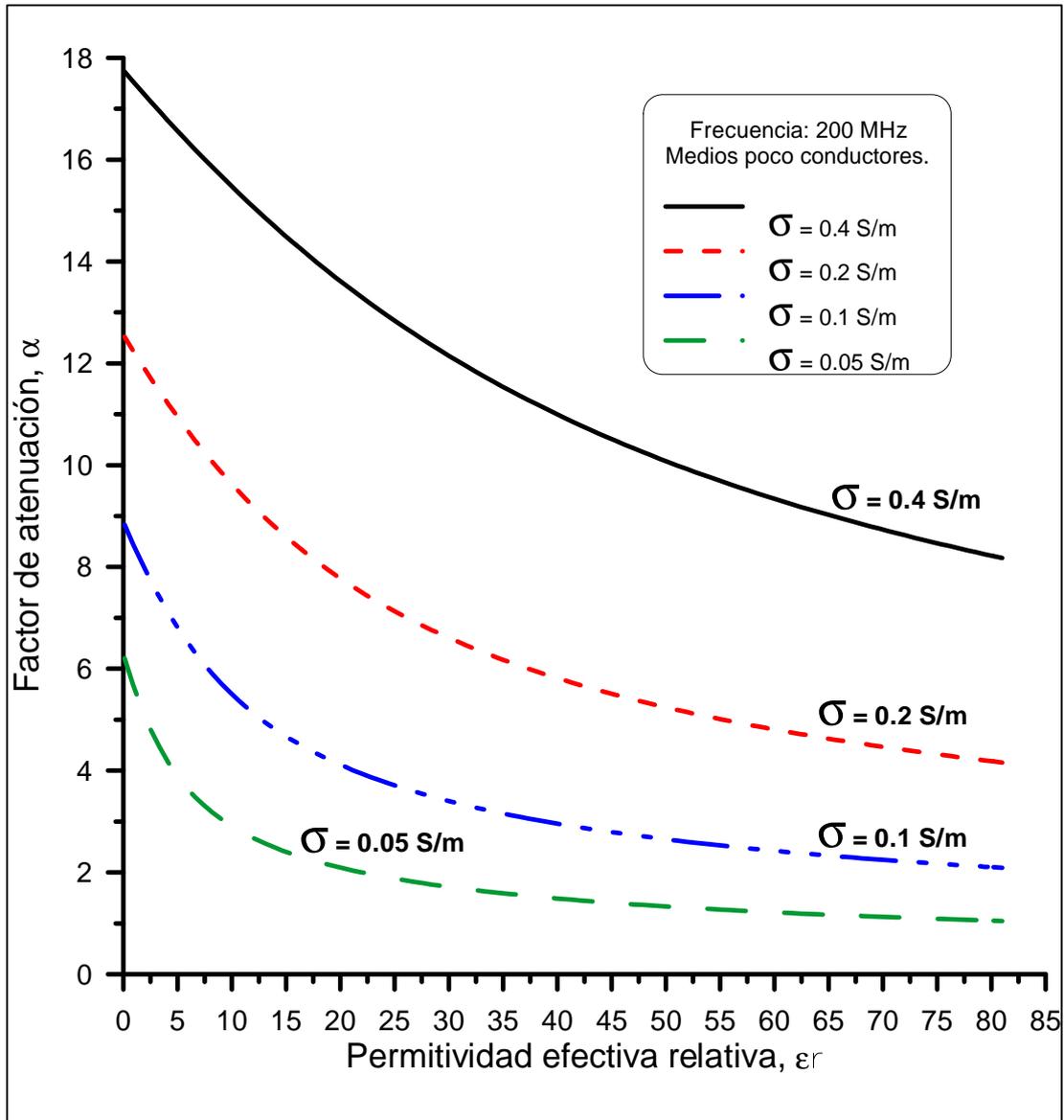


Figura A5.10. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios poco conductores, dada una frecuencia de 200 MHz.

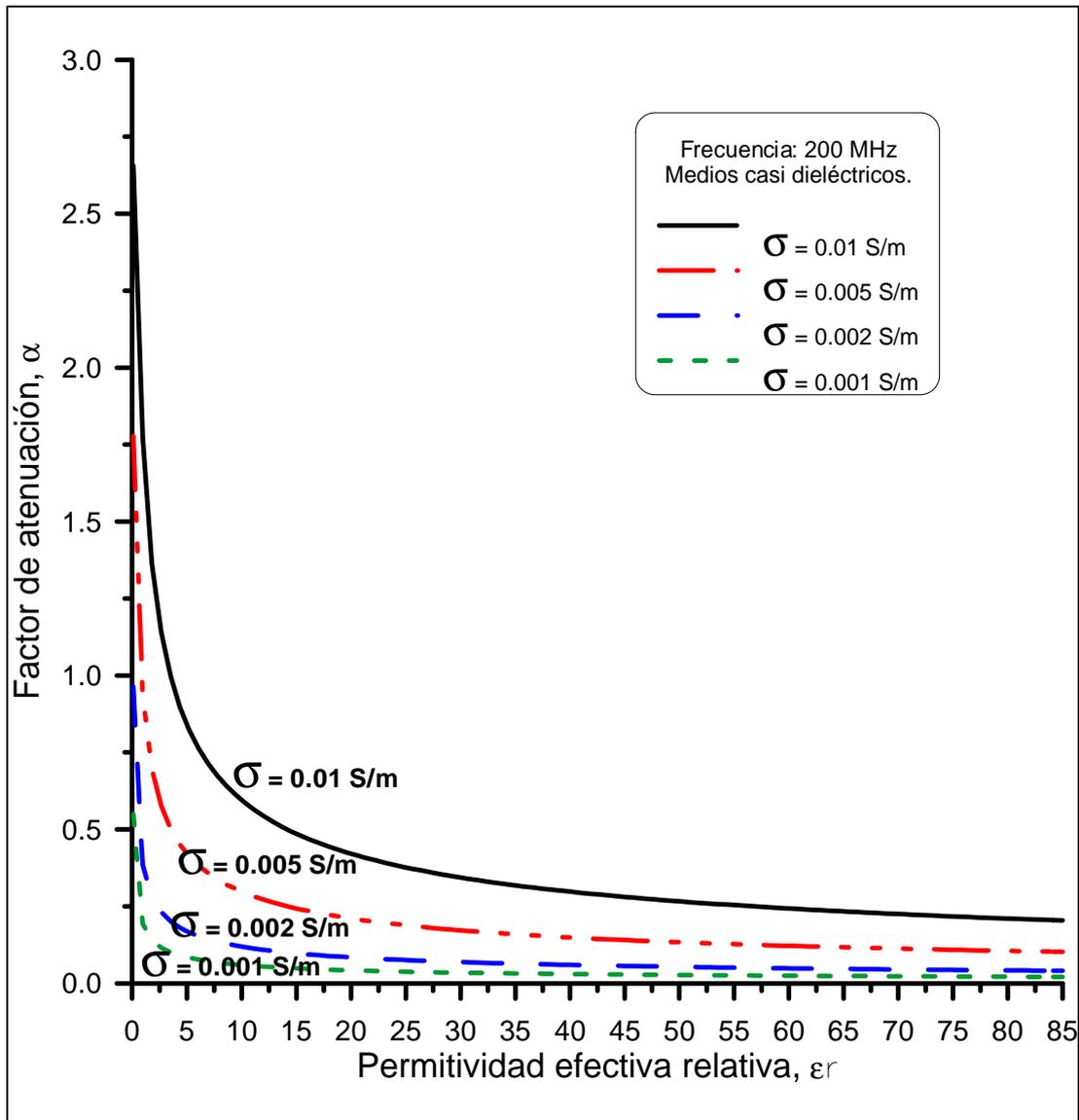


Figura A5.11. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi dieléctricos, dada una frecuencia de 200 MHz.

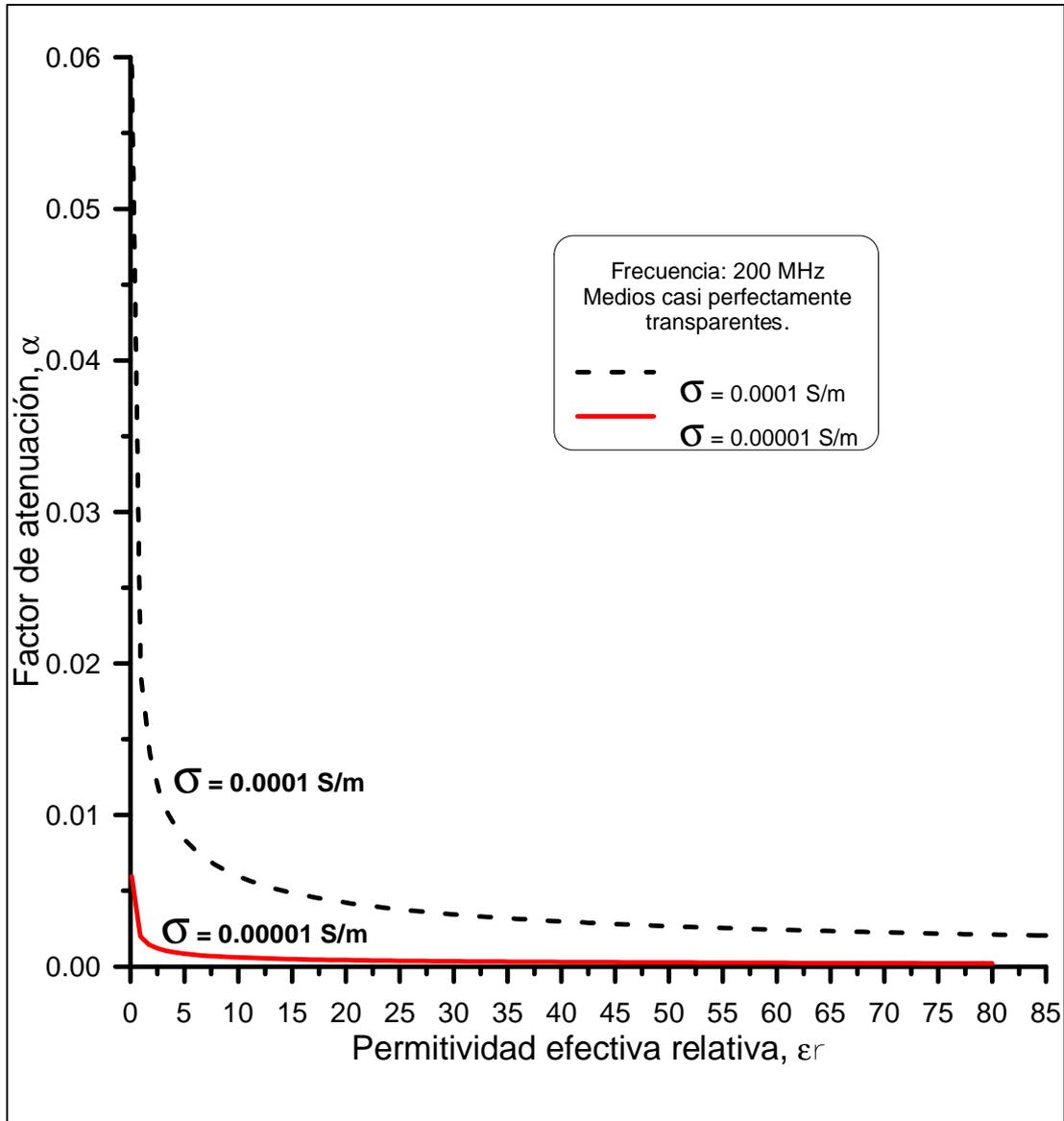


Figura A5.12. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi transparentes, dada una frecuencia de 200 MHz.

A5.2.4. Antena de 500 MHz.

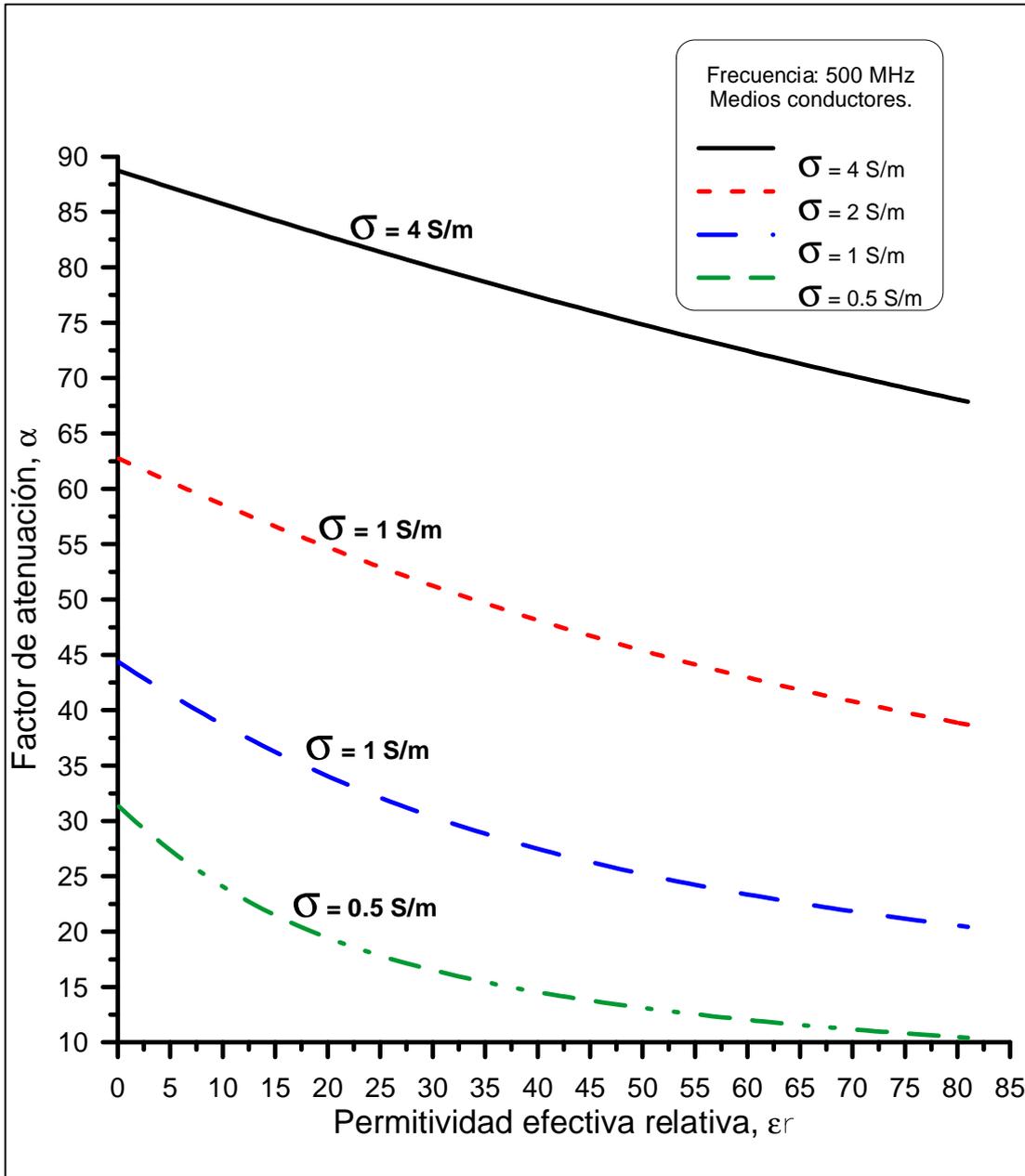


Figura A5.13. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios conductores, dada una frecuencia de 500 MHz.

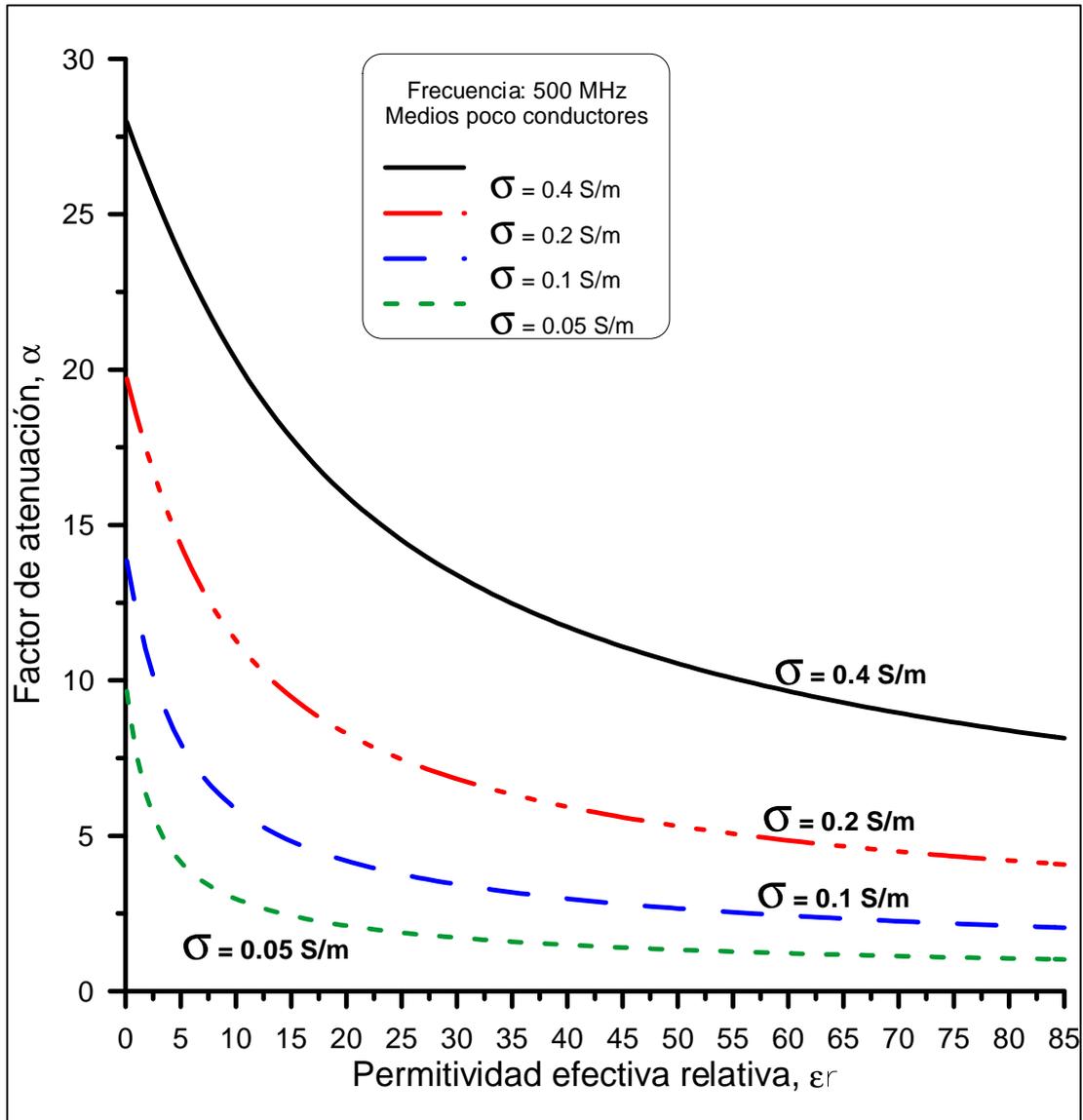


Figura A5.14. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios poco conductores, dada una frecuencia de 500 MHz.

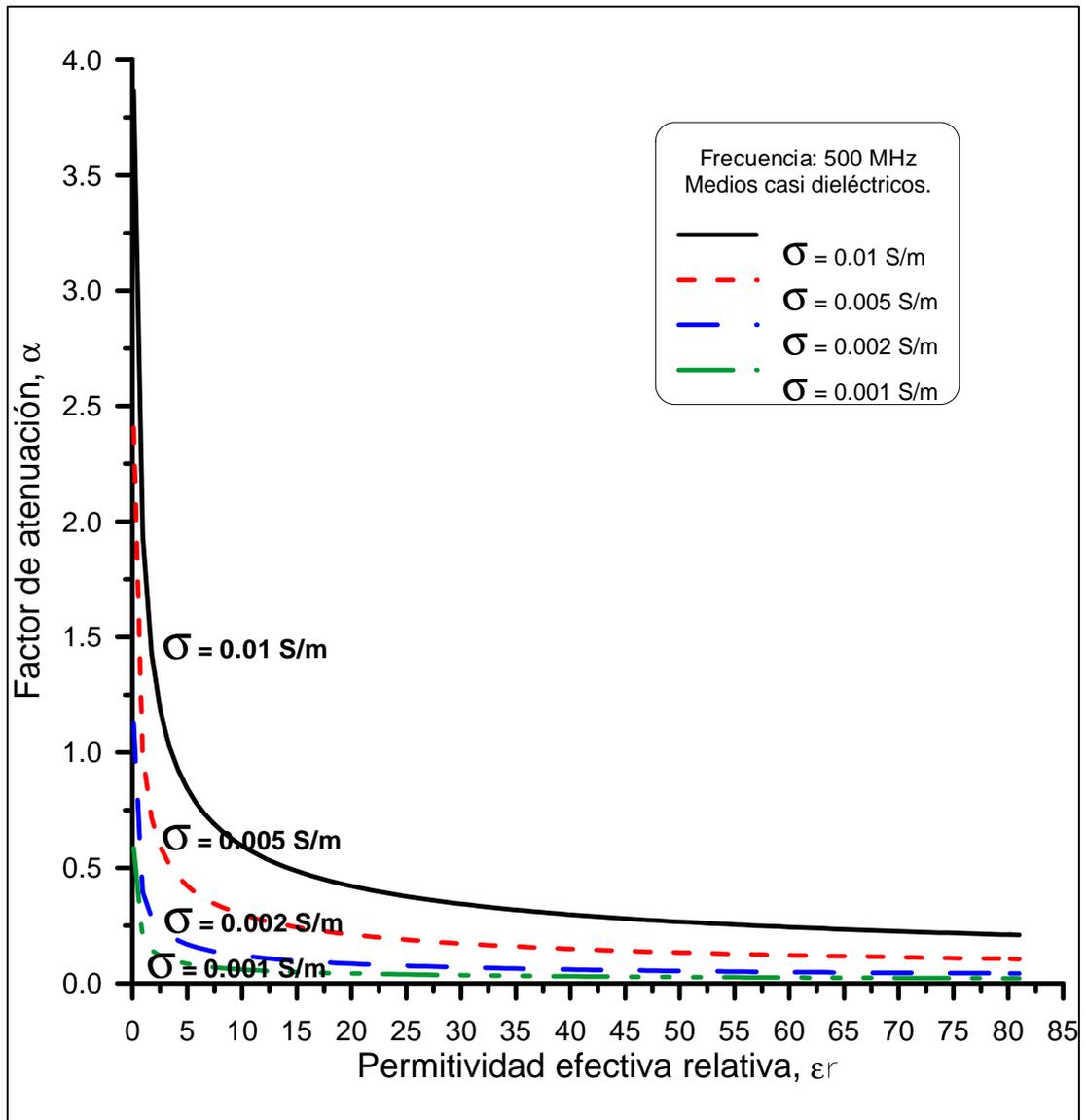


Figura A5.15. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi dieléctricos, dada una frecuencia de 500 MHz.

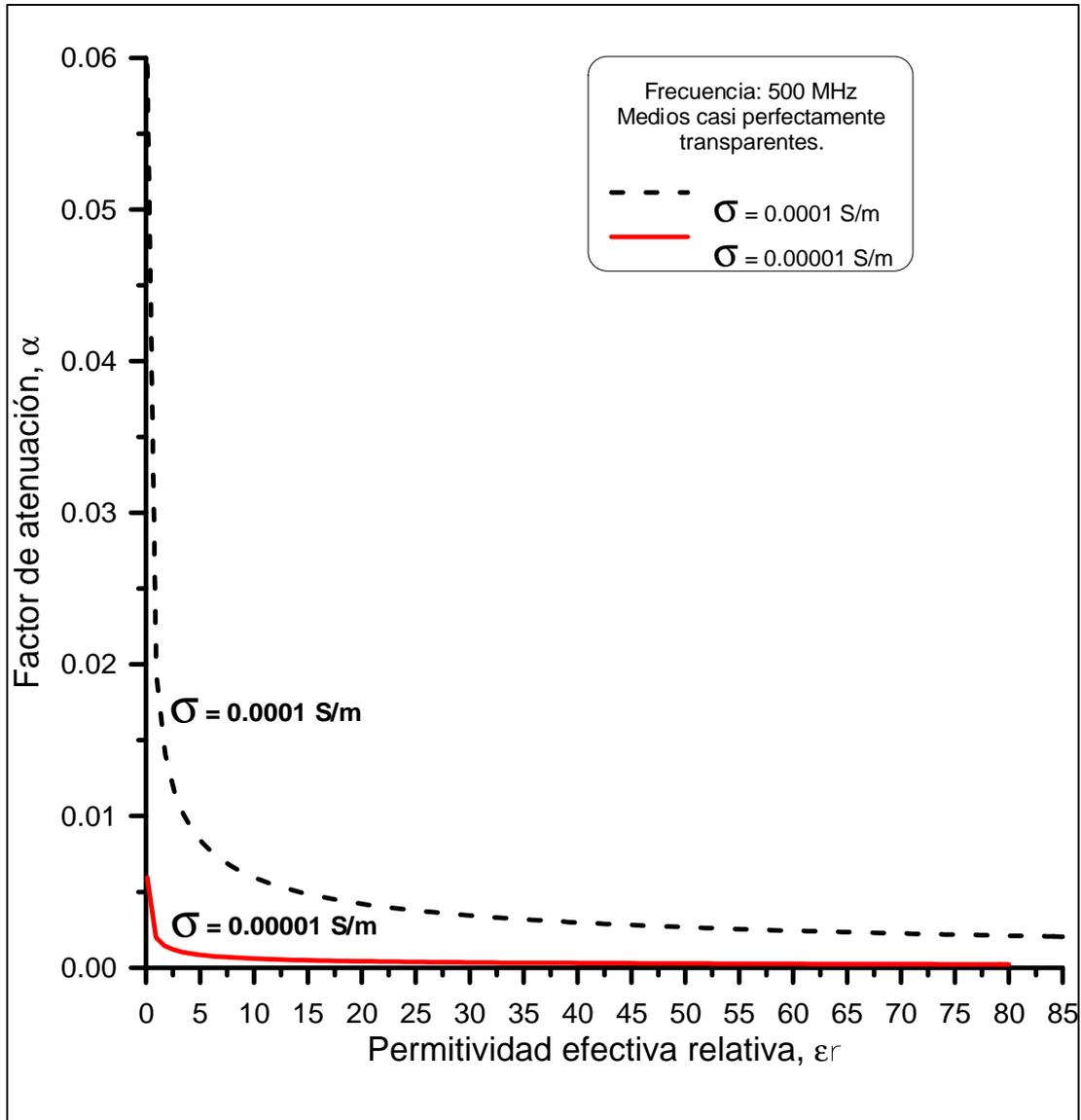


Figura A5.16. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi transparentes, dada una frecuencia de 500 MHz.

A5.2.5. Antena de 900 MHz.

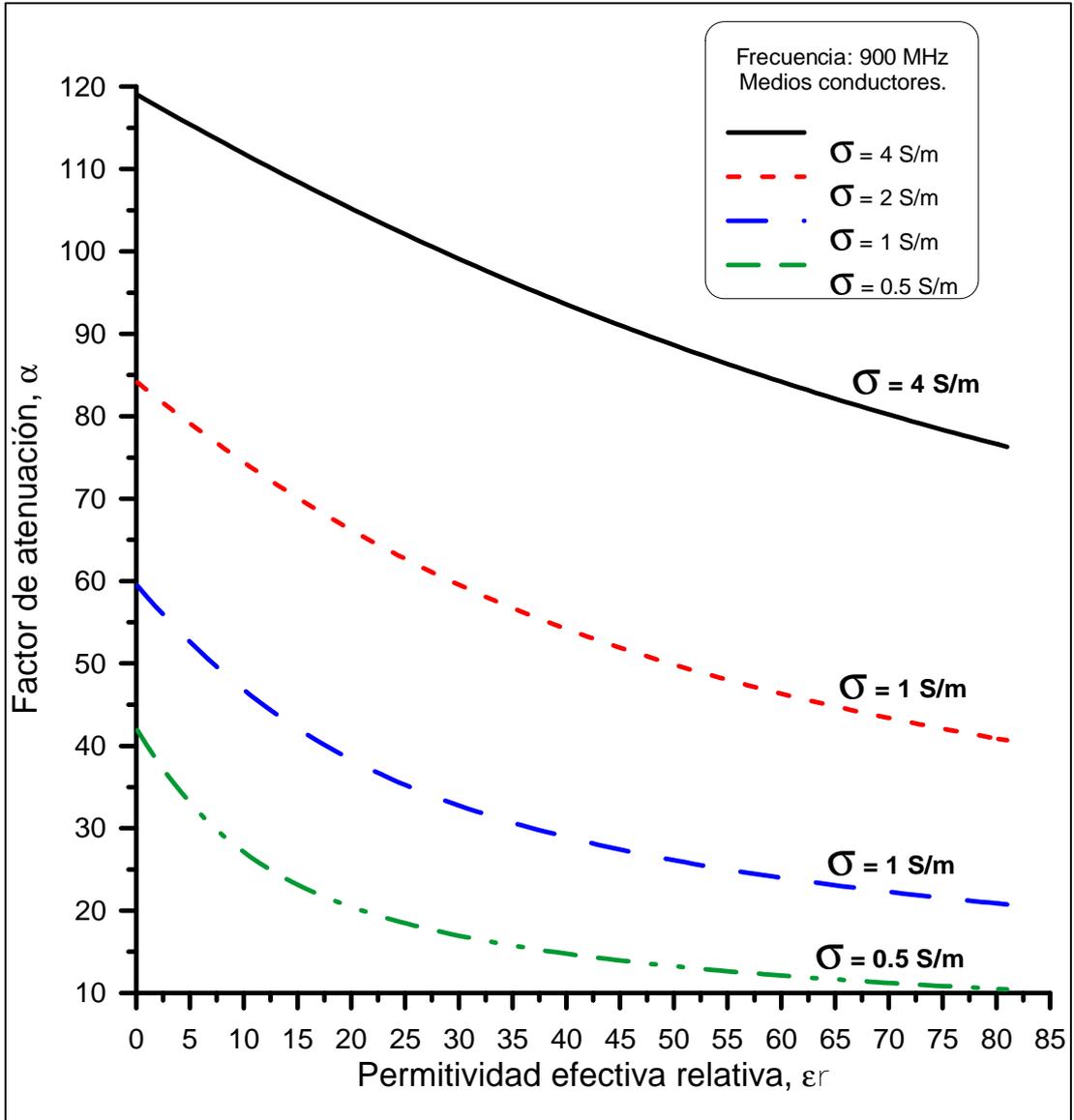


Figura A5.17. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios conductores, dada una frecuencia de 900 MHz.

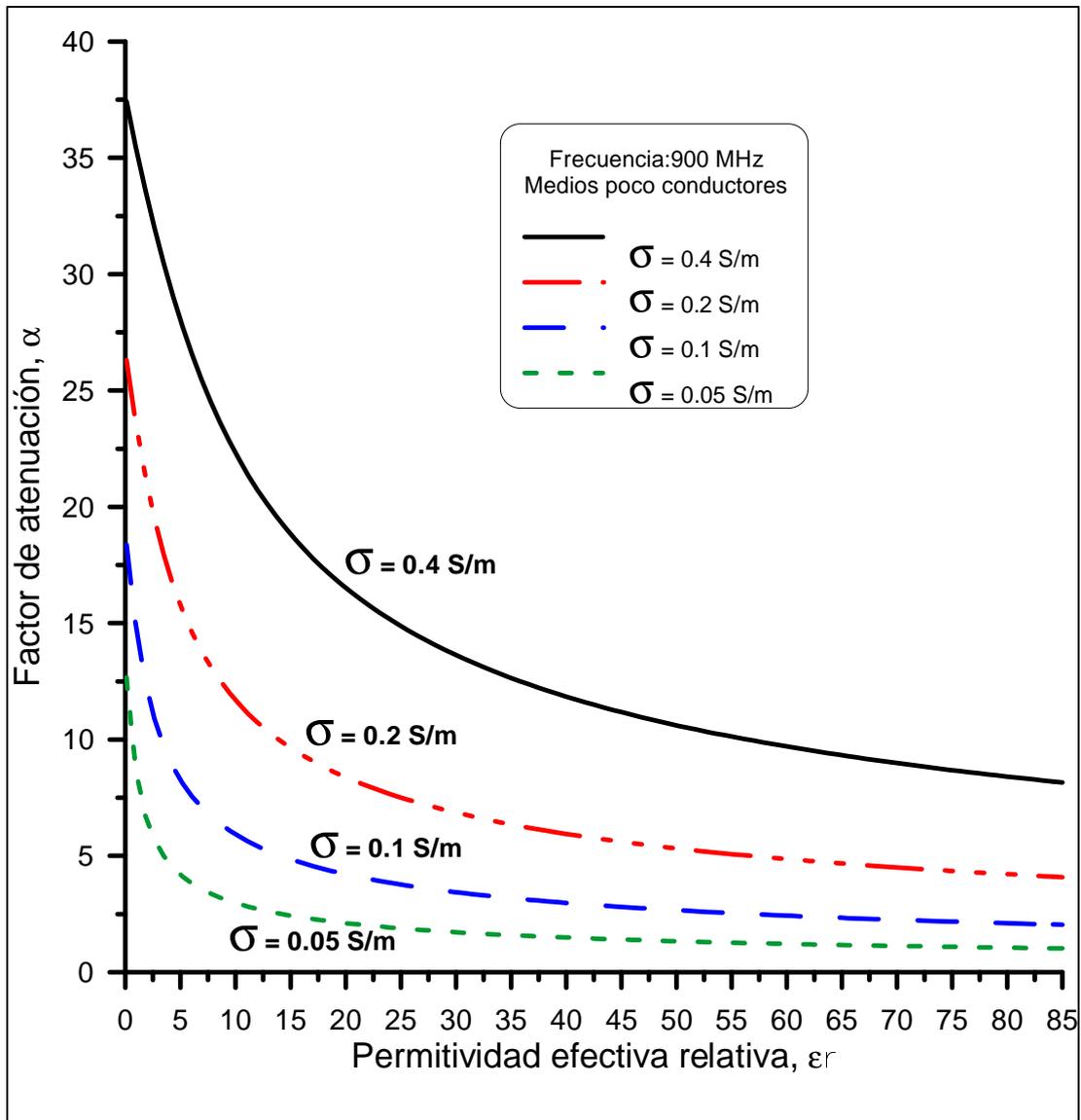


Figura A5.18. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios poco conductores, dada una frecuencia de 900 MHz.

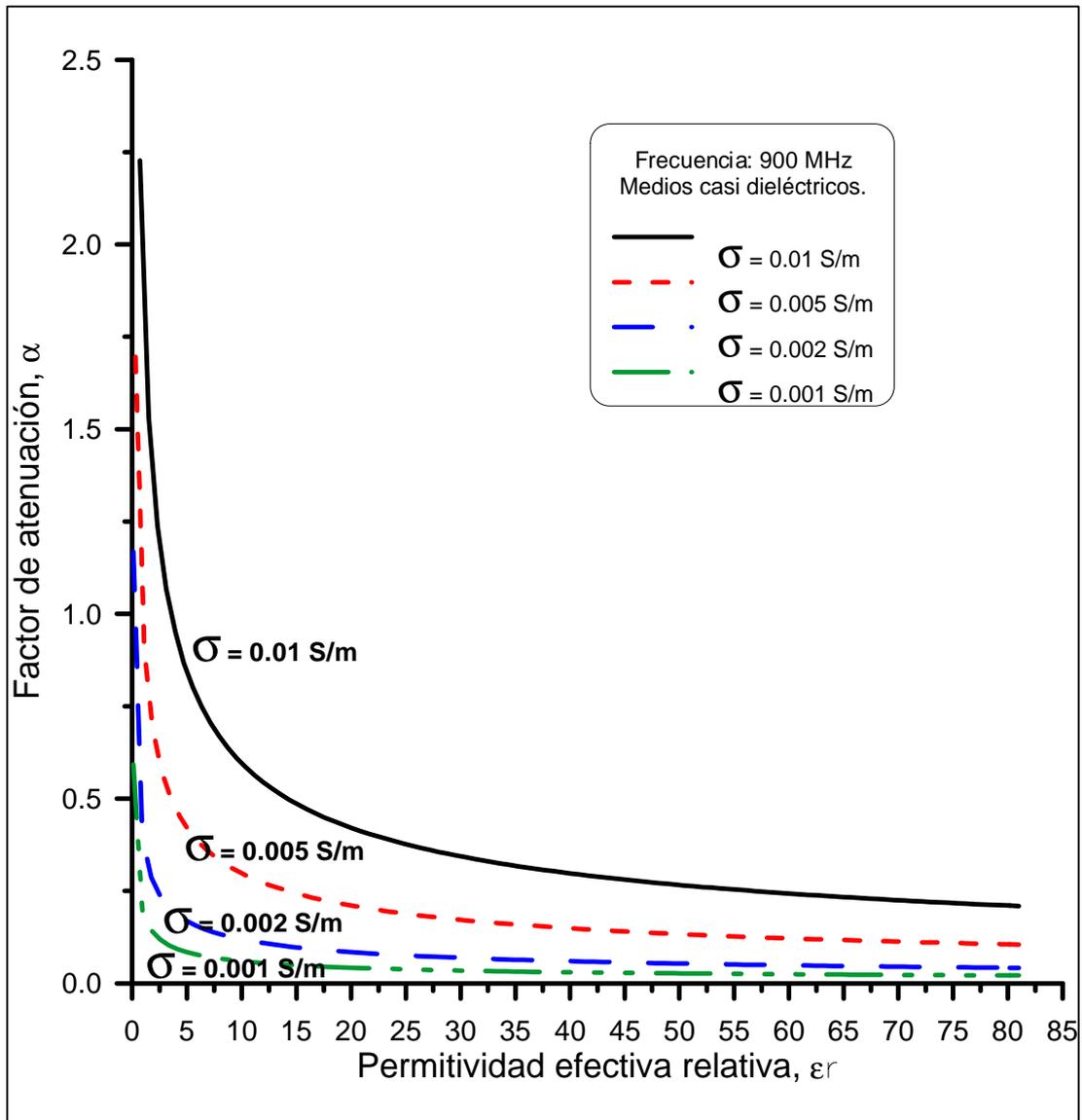


Figura A5.19. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi dieléctricos, dada una frecuencia de 900 MHz.

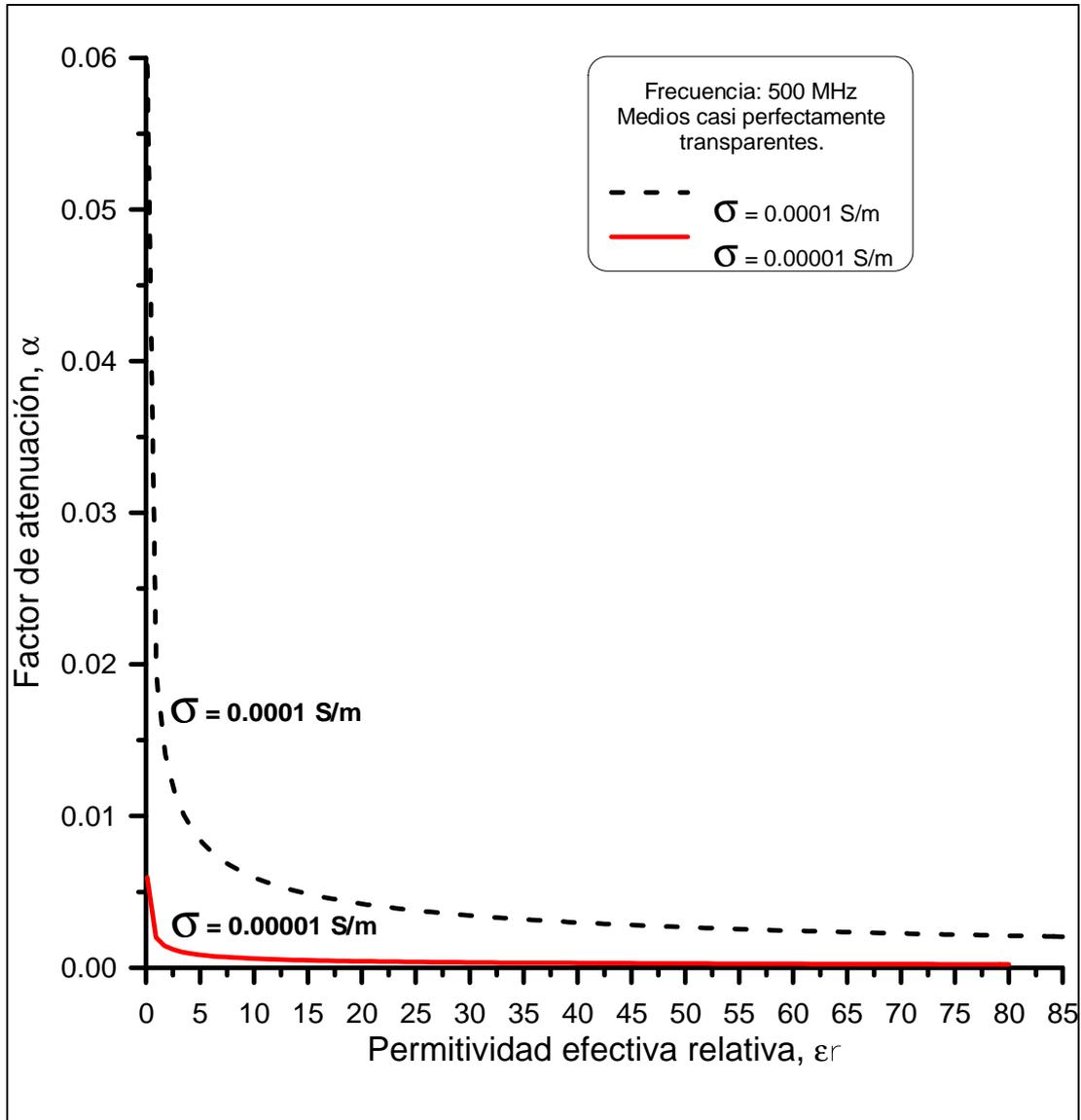


Figura A5.20. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi perfectamente transparentes, dada una frecuencia de 900 MHz.

A5.2.6. Antena de 1000 MHz.

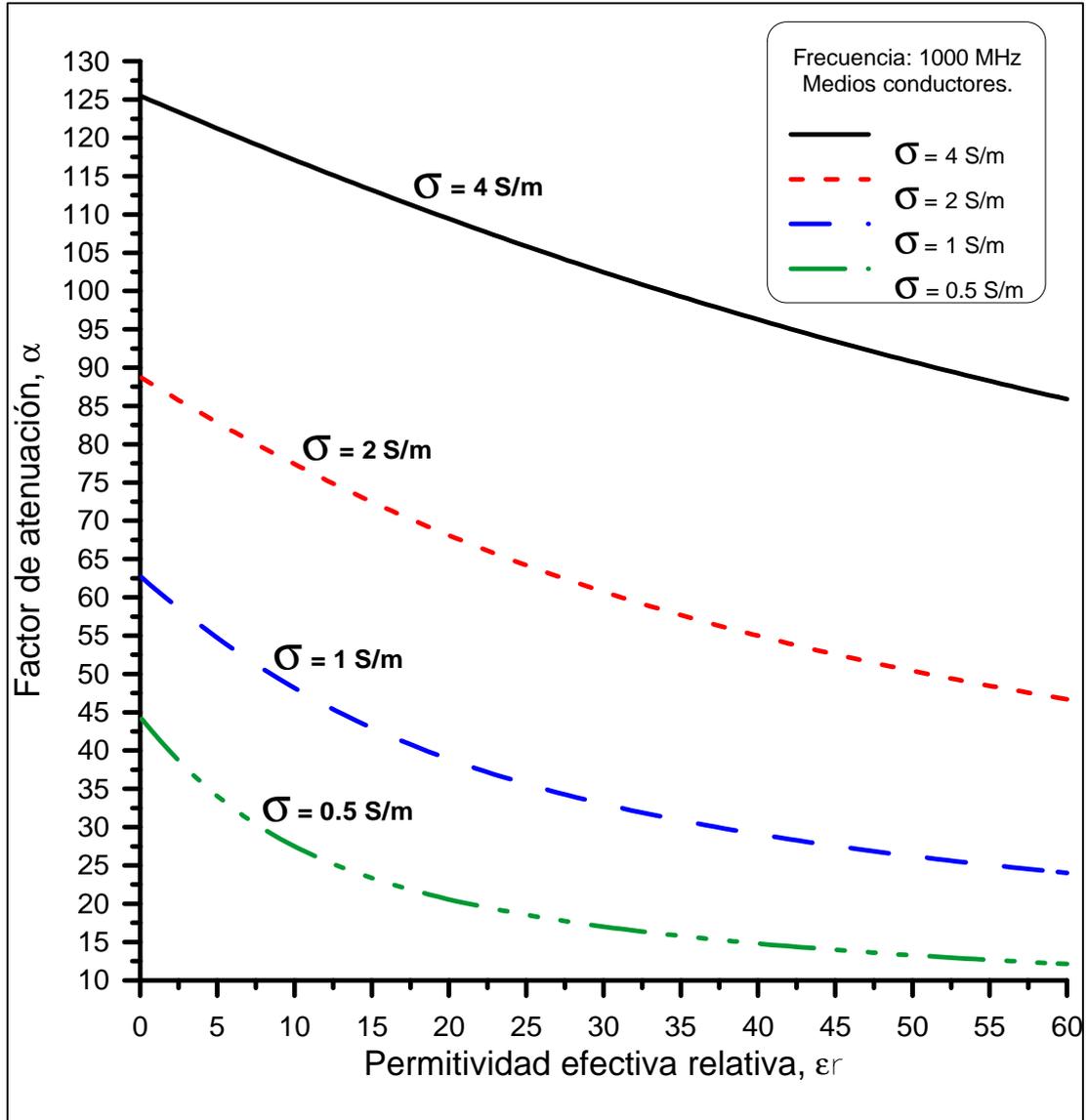


Figura A5.21. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios conductores, dada una frecuencia de 1 GHz.

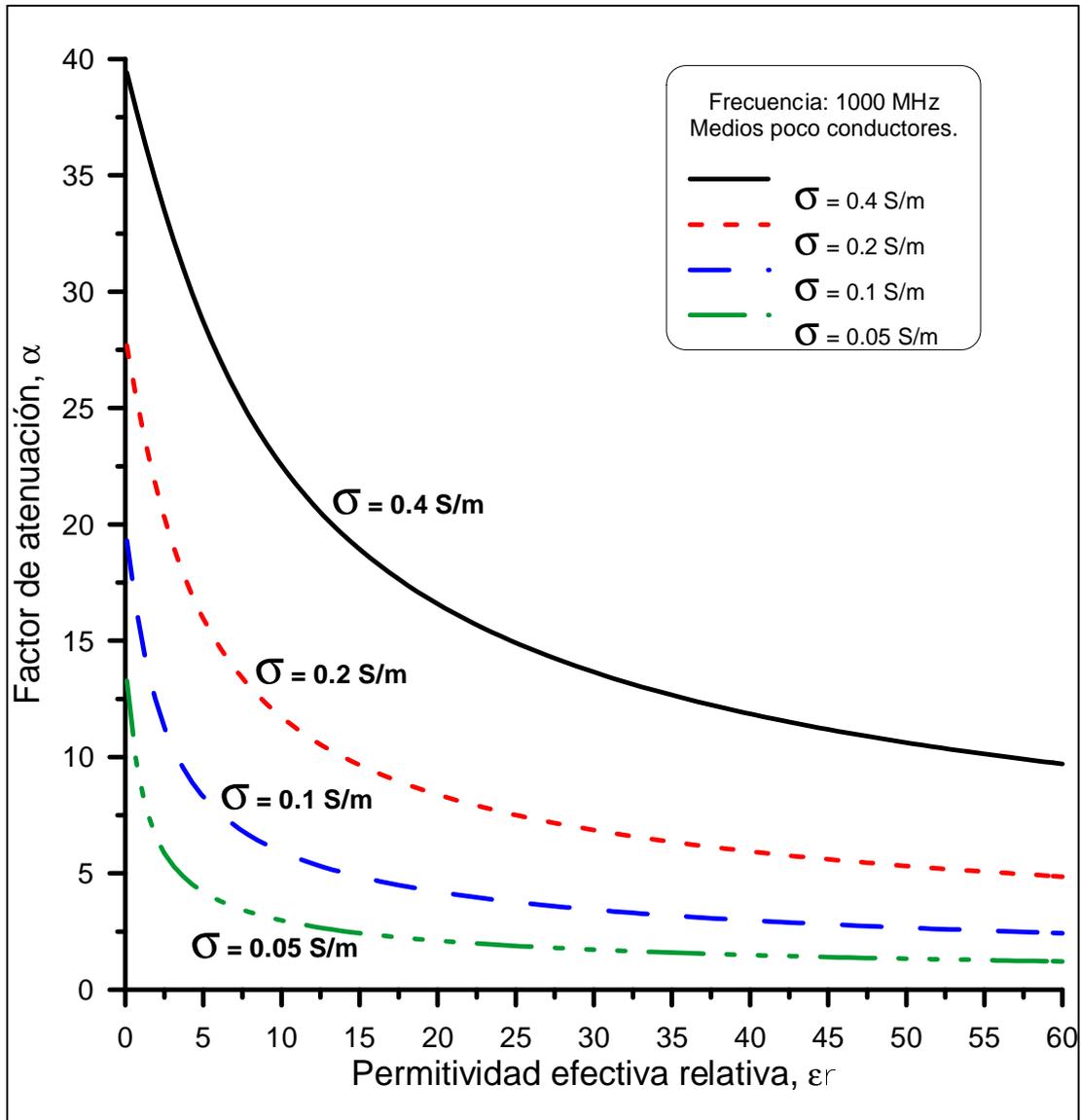


Figura A5.22. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios poco conductores, dada una frecuencia de 1 GHz.

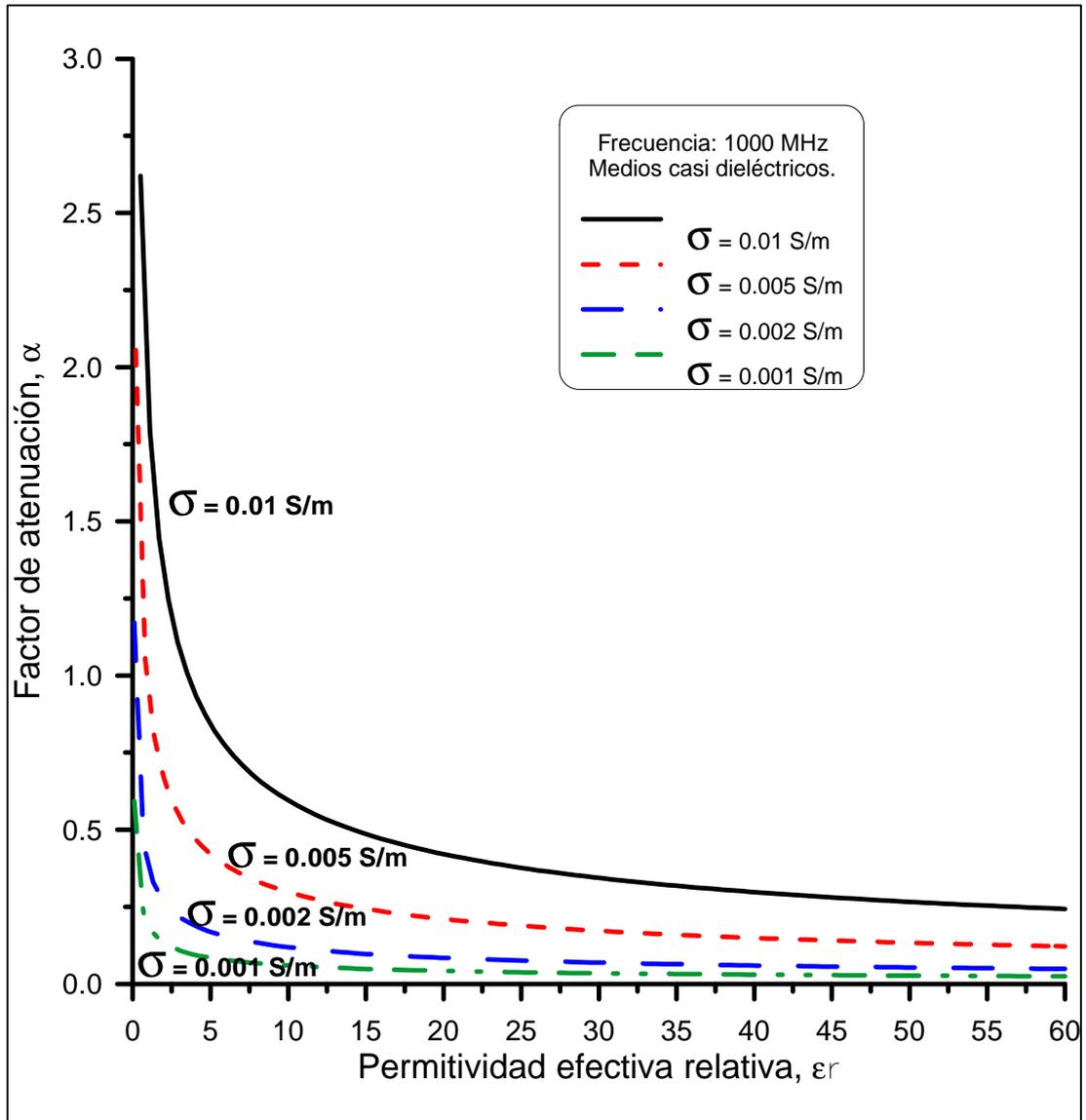


Figura A5.23. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi dieléctricos, dada una frecuencia de 1 GHz.

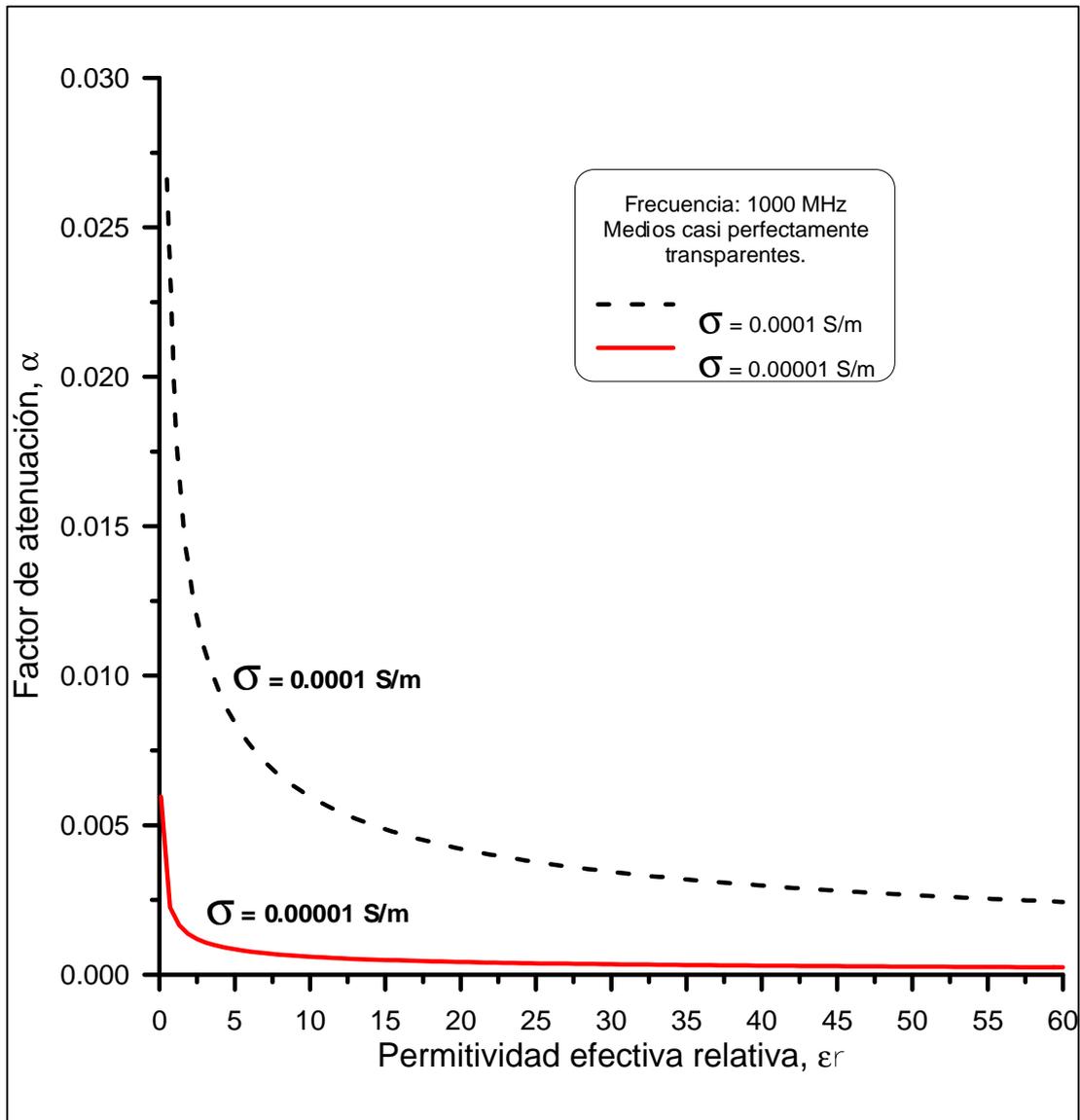


Figura A5.24. Factor de atenuación en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi perfectamente transparentes, dada una frecuencia de 1 GHz.

A5.3. Curvas para obtener la penetración nominal.

A5.3.1. Antena de 100 MHz.

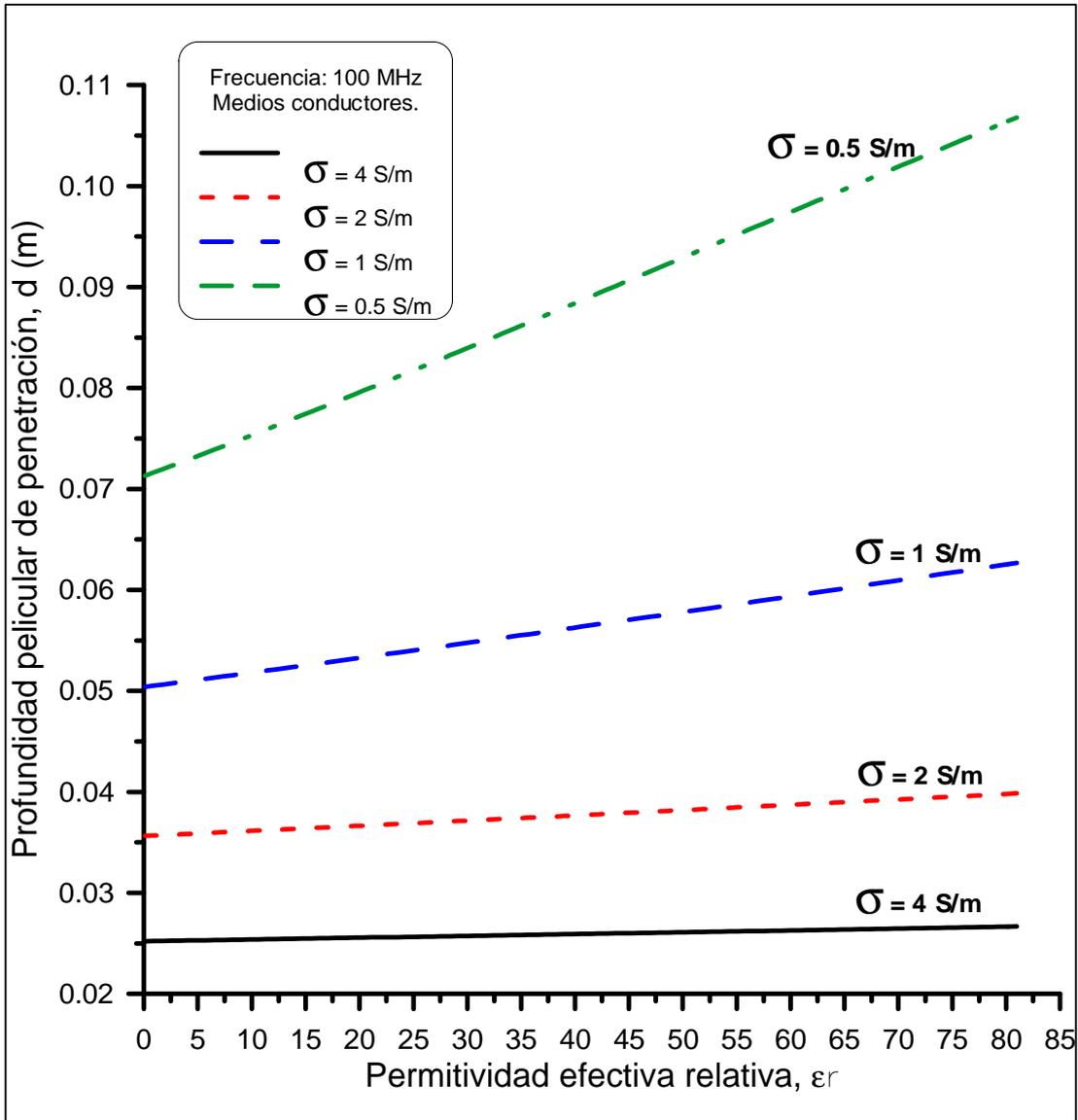


Figura A5.25. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios conductores, dada una frecuencia de 100 MHz.

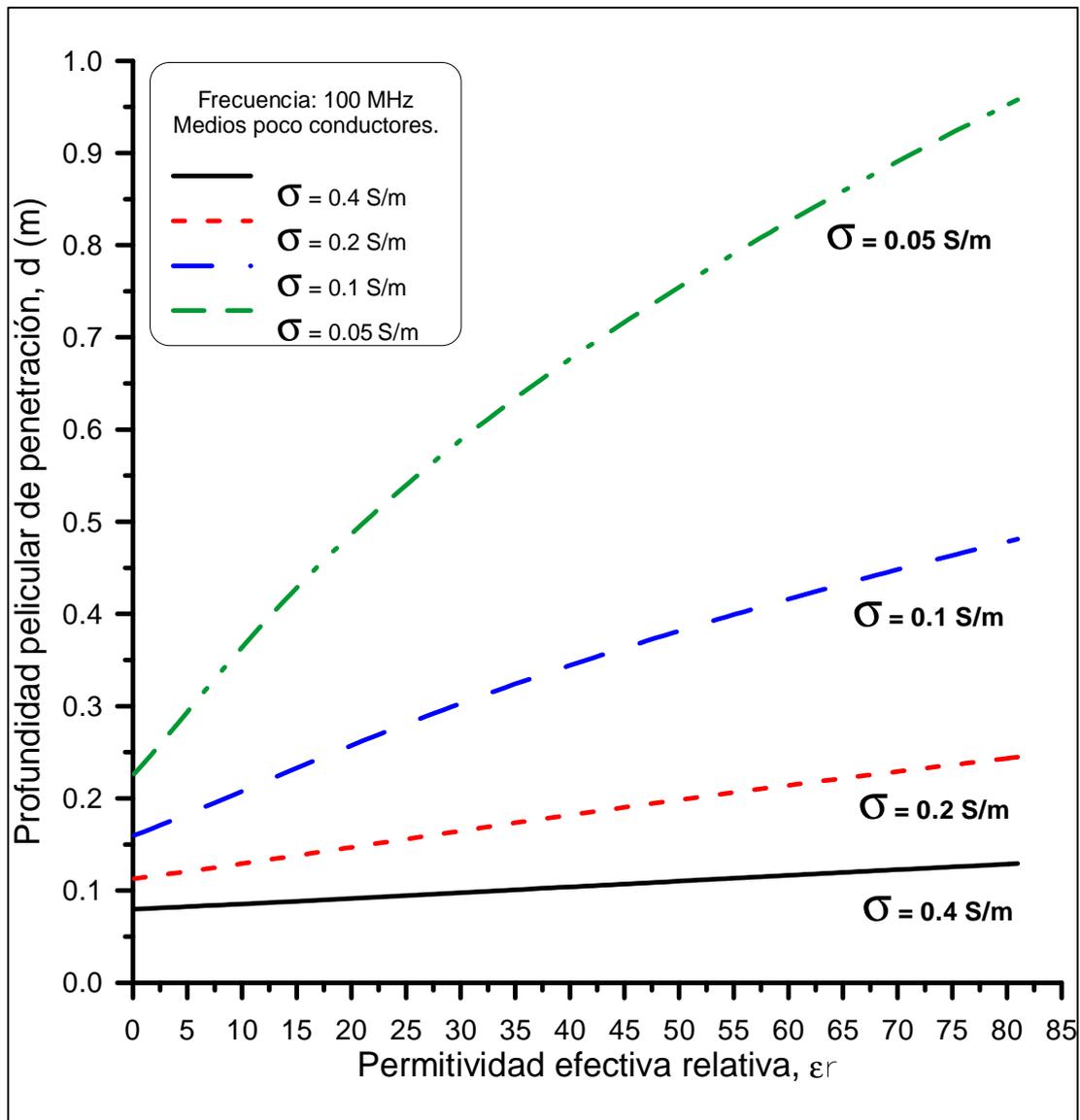


Figura A5.26. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios poco conductores, dada una frecuencia de 100 MHz.

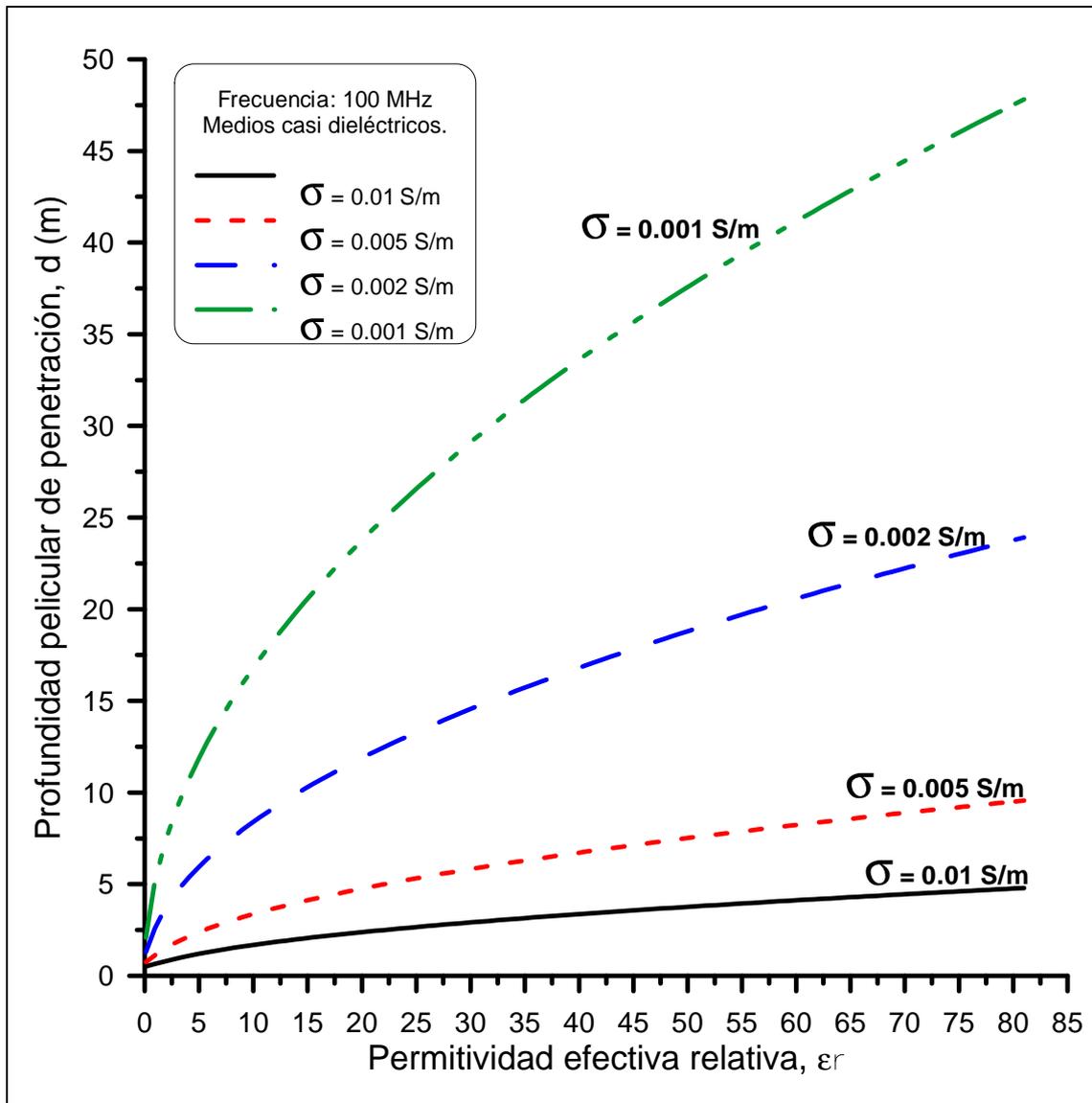


Figura A5.27. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi dieléctricos, dada una frecuencia de 100 MHz.

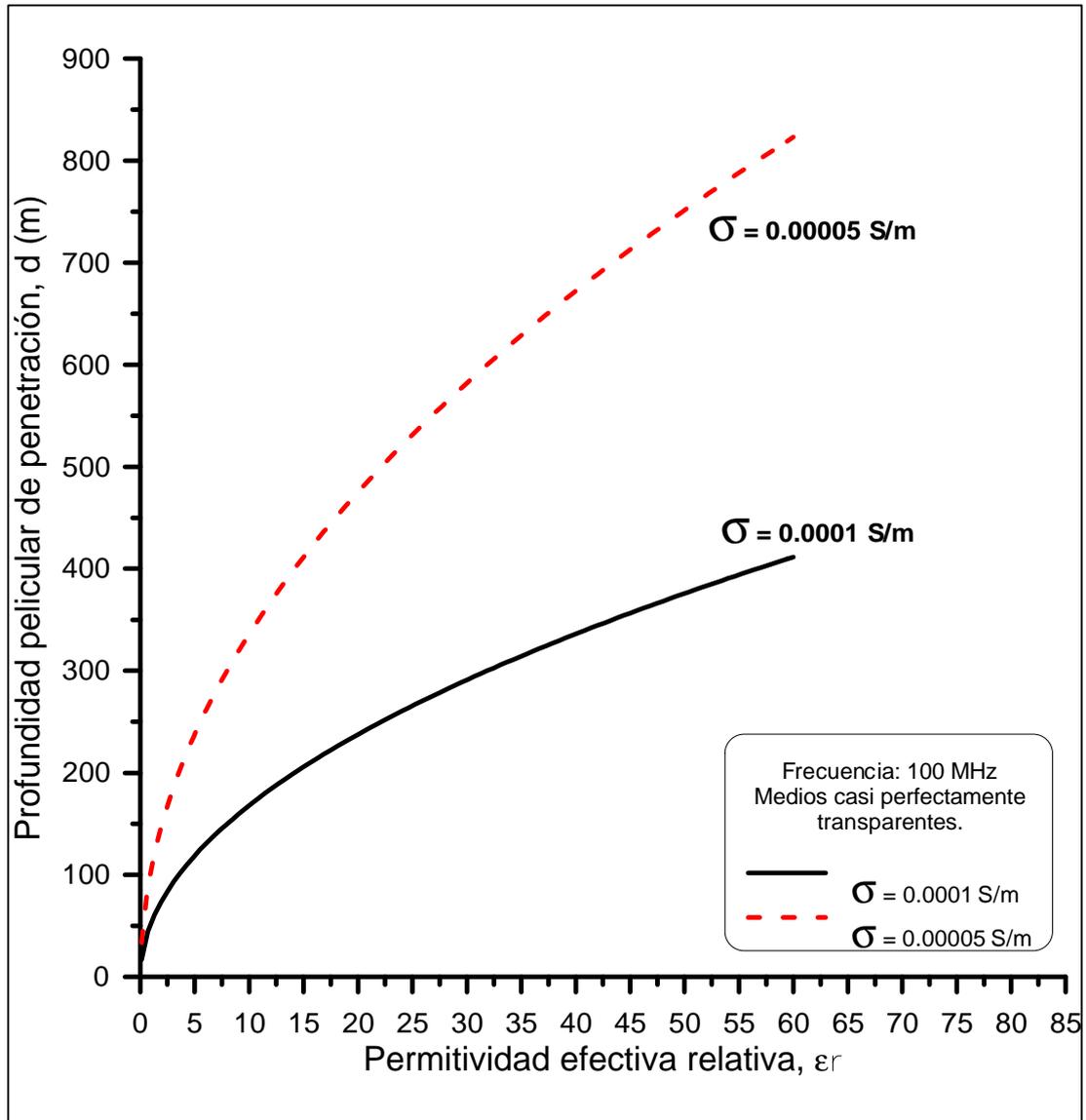


Figura A5.28. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi perfectamente transparentes, dada una frecuencia de 100 MHz.

A5.3.2. Antena de 200 MHz.

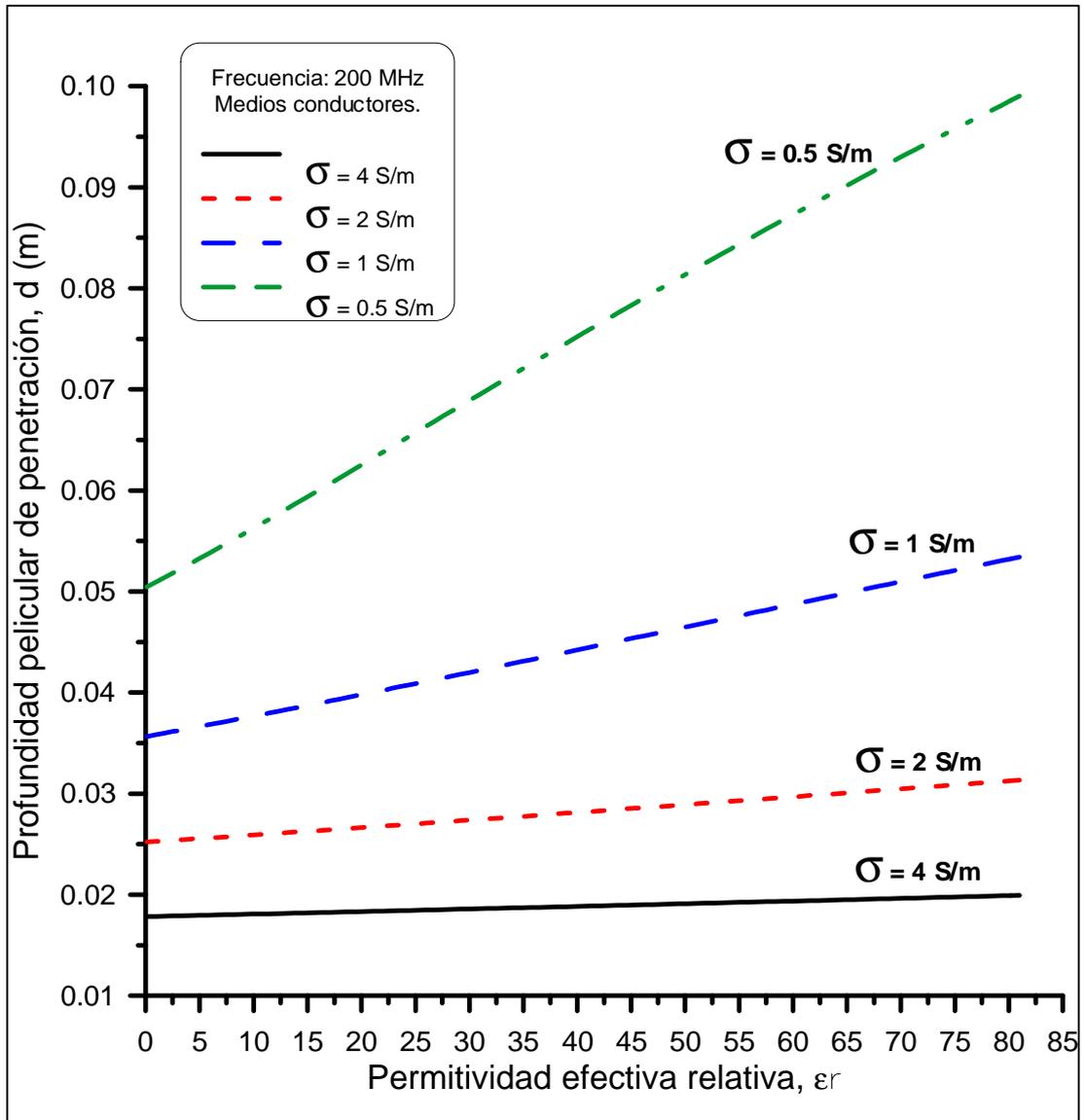


Figura A5.29. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios conductores, dada una frecuencia de 200 MHz.

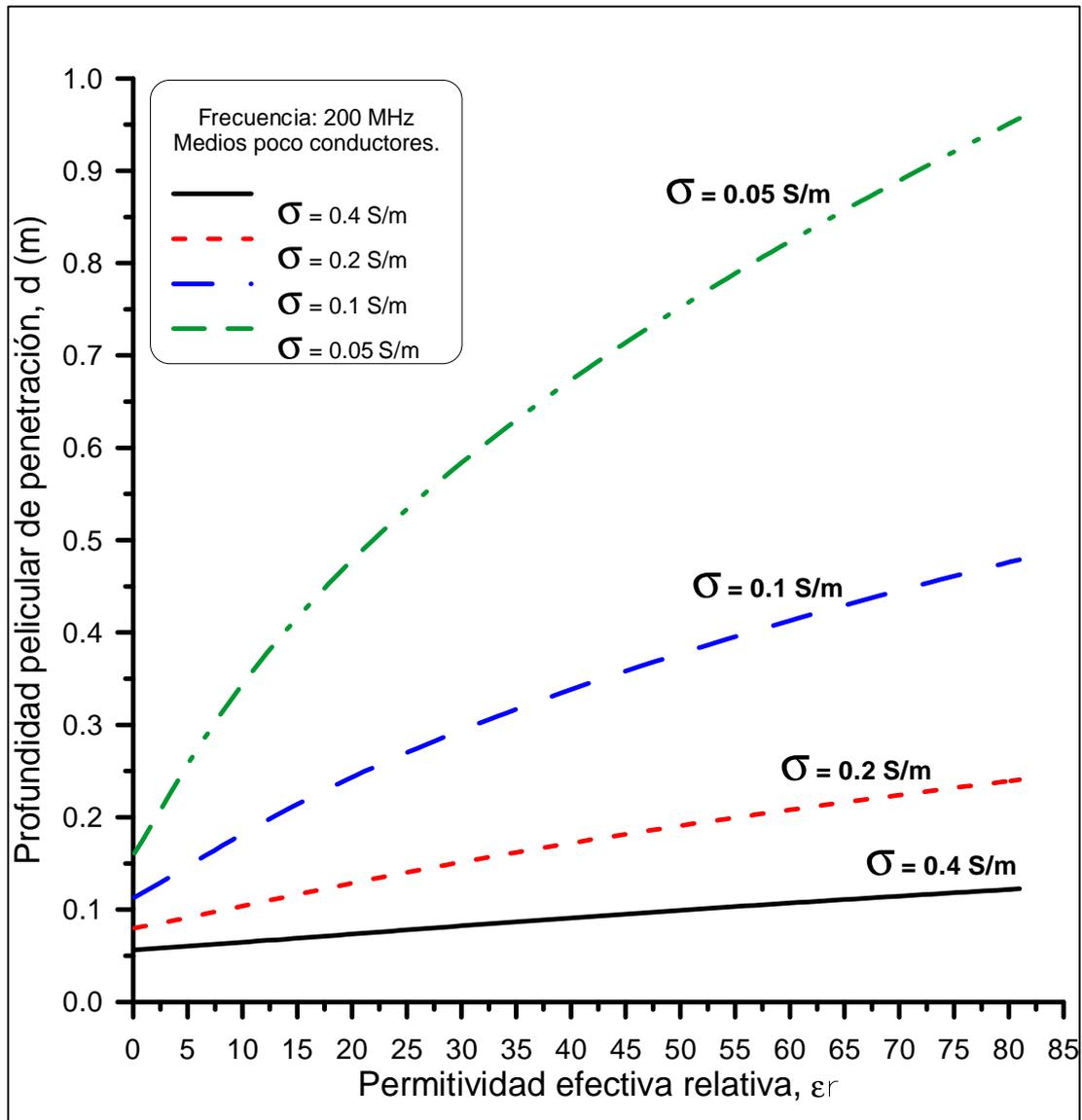


Figura A5.30. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios poco conductores, dada una frecuencia de 200 MHz.

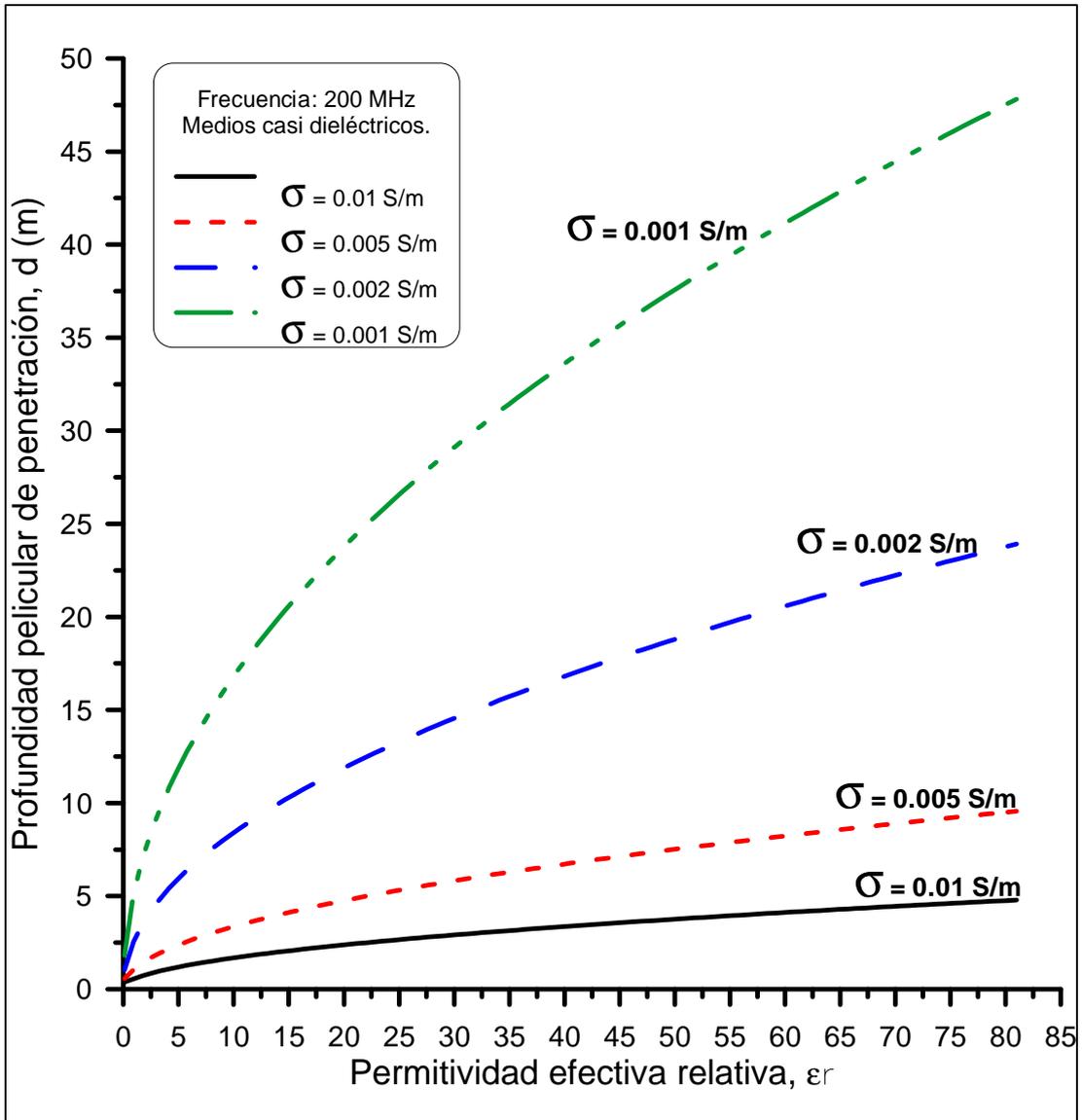


Figura A5.31. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi dieléctricos, dada una frecuencia de 200 MHz.

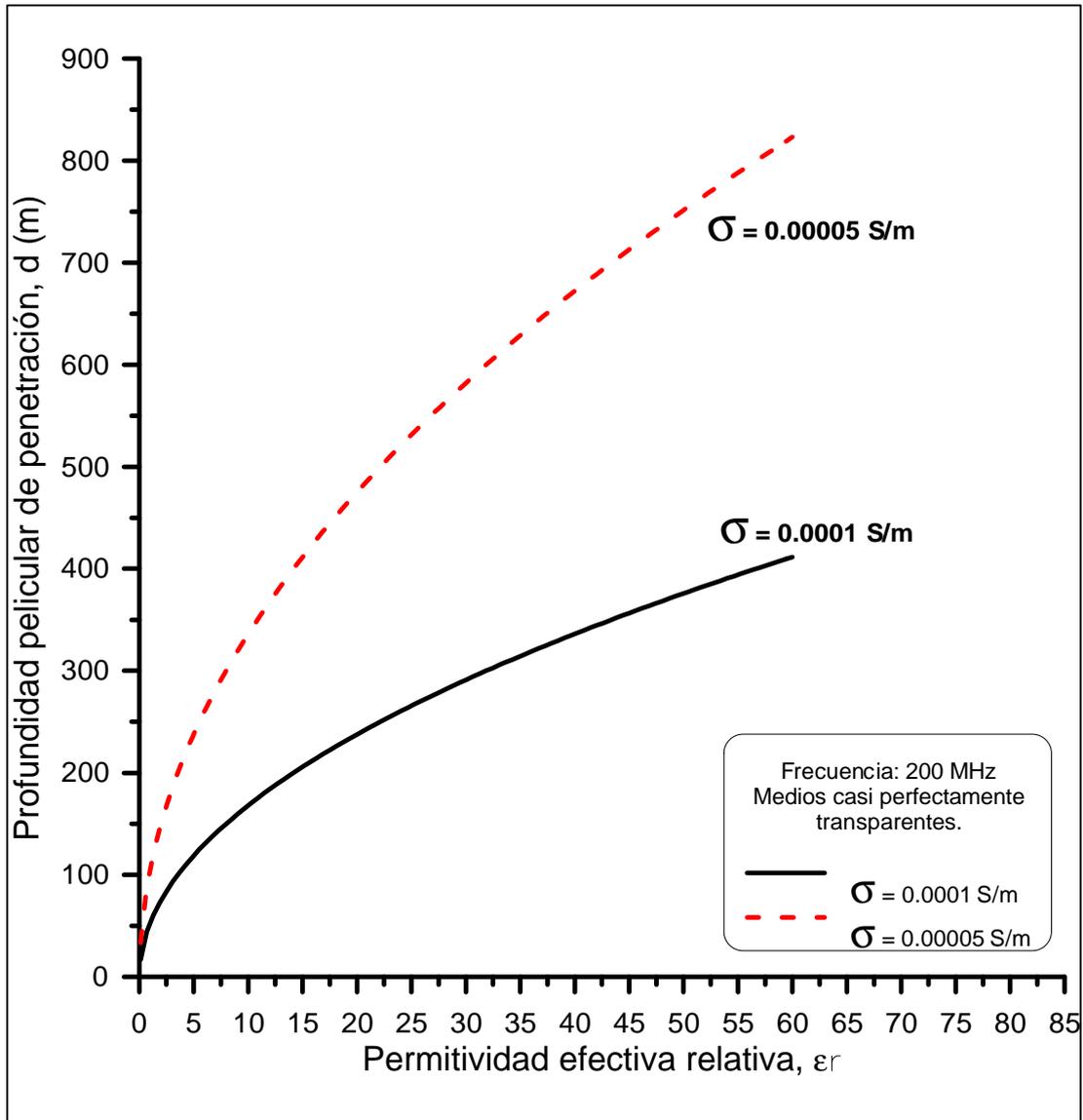


Figura A5.32. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi perfectamente transparentes, dada una frecuencia de 200 MHz.

A5.3.3. Antena de 500 MHz.

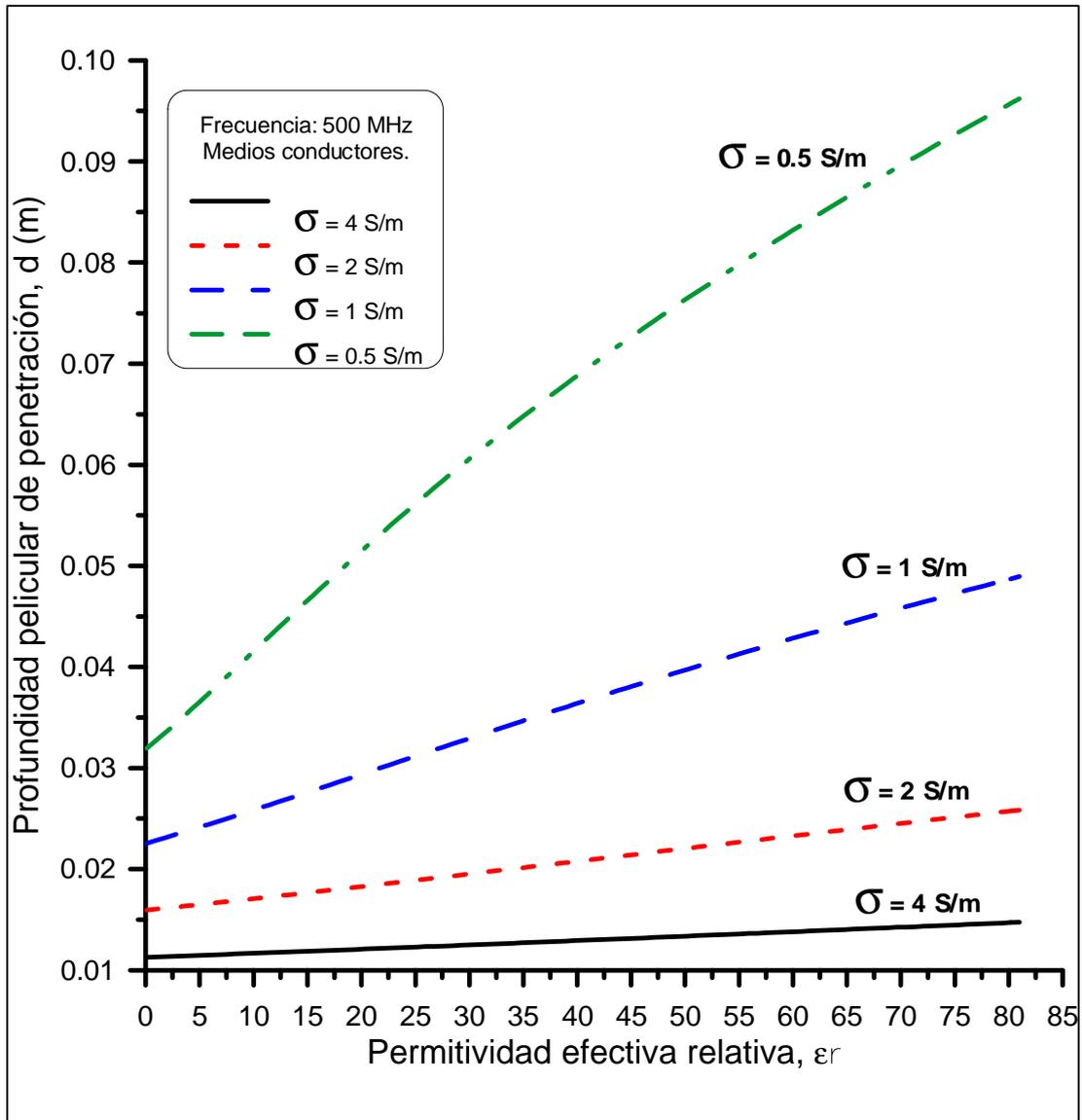


Figura A5.33. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios conductores, dada una frecuencia de 500 MHz.

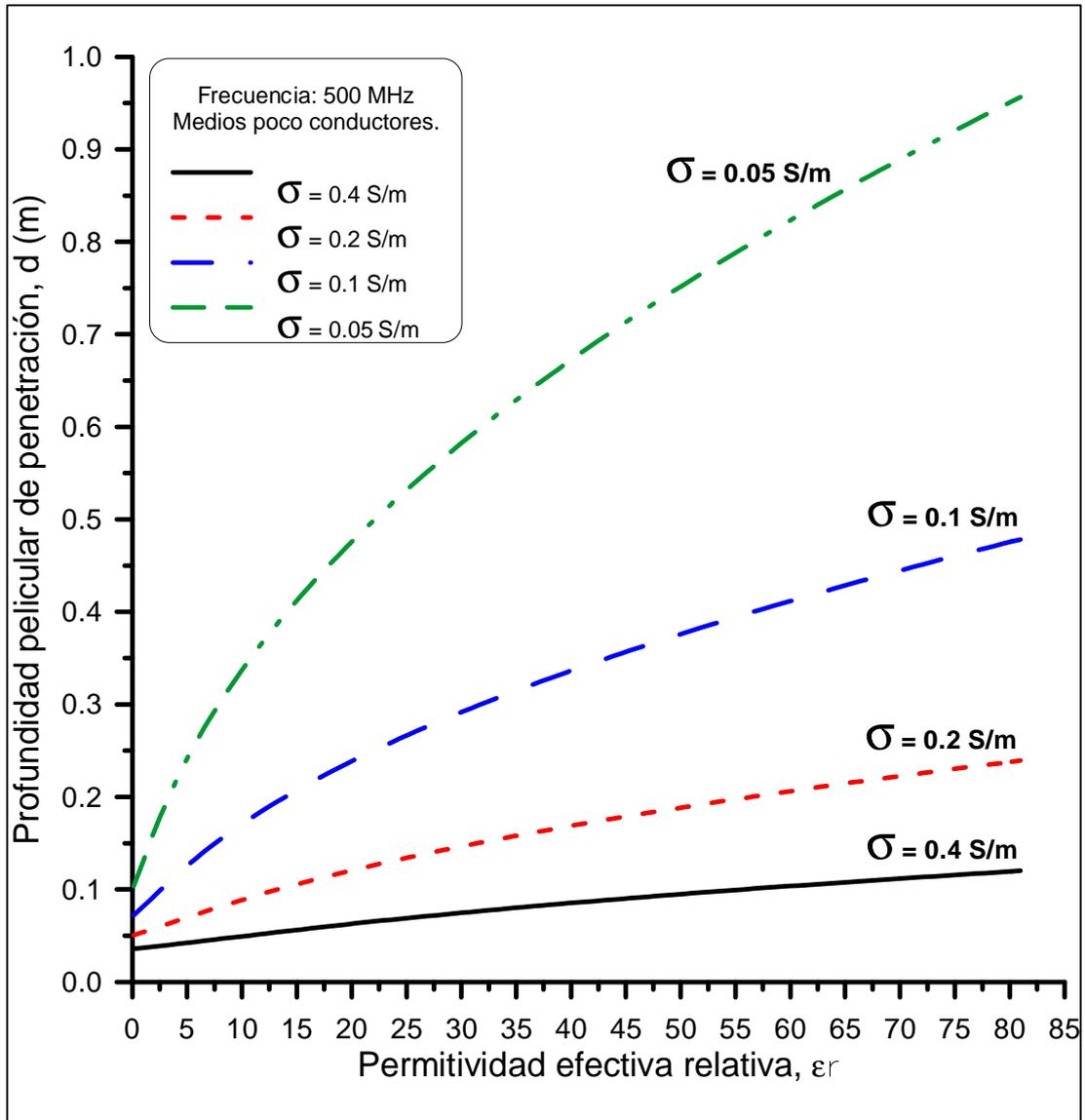


Figura A5.34. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios poco conductores, dada una frecuencia de 500 MHz.

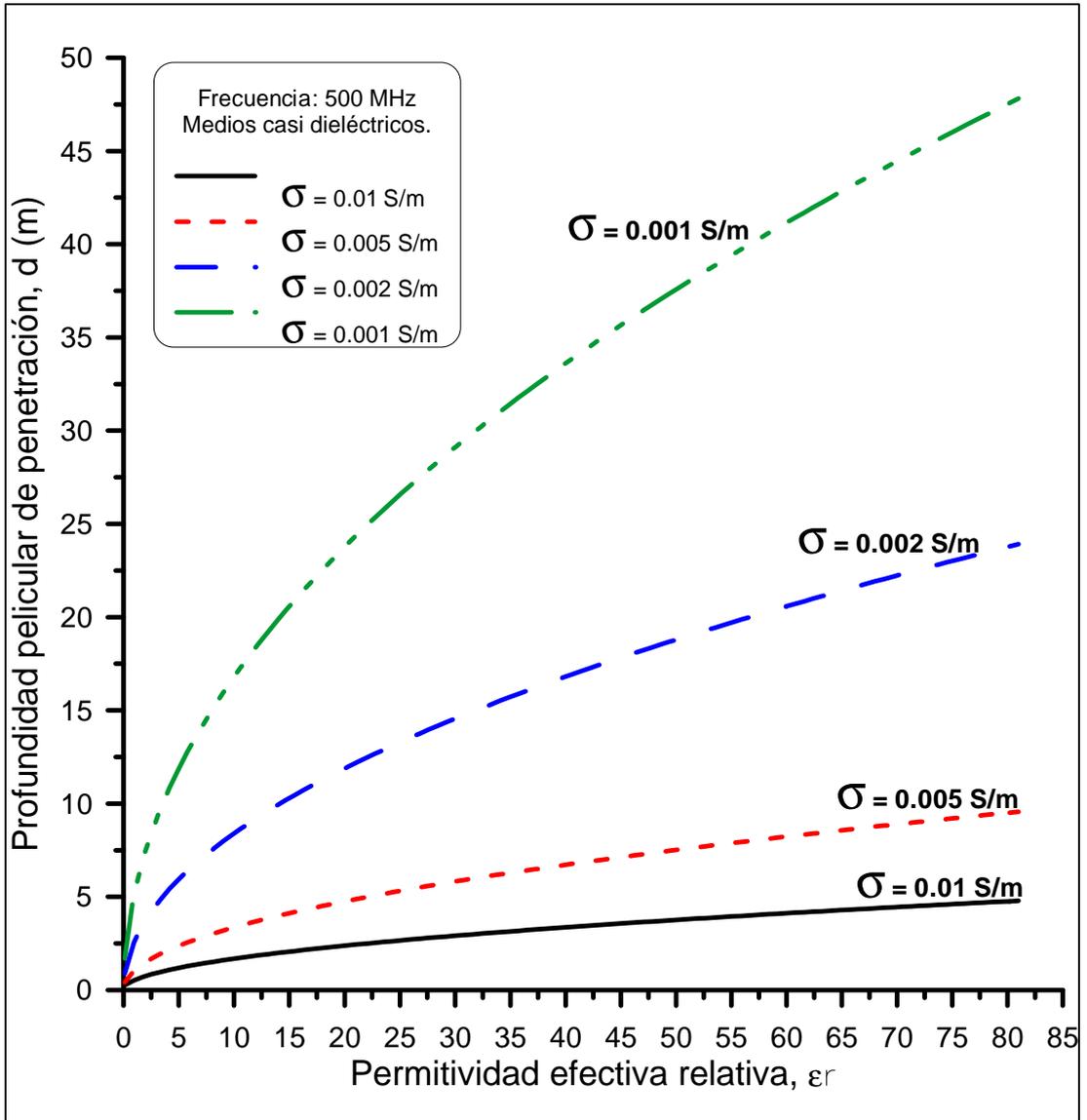


Figura A5.35. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi dieléctricos, dada una frecuencia de 500 MHz.

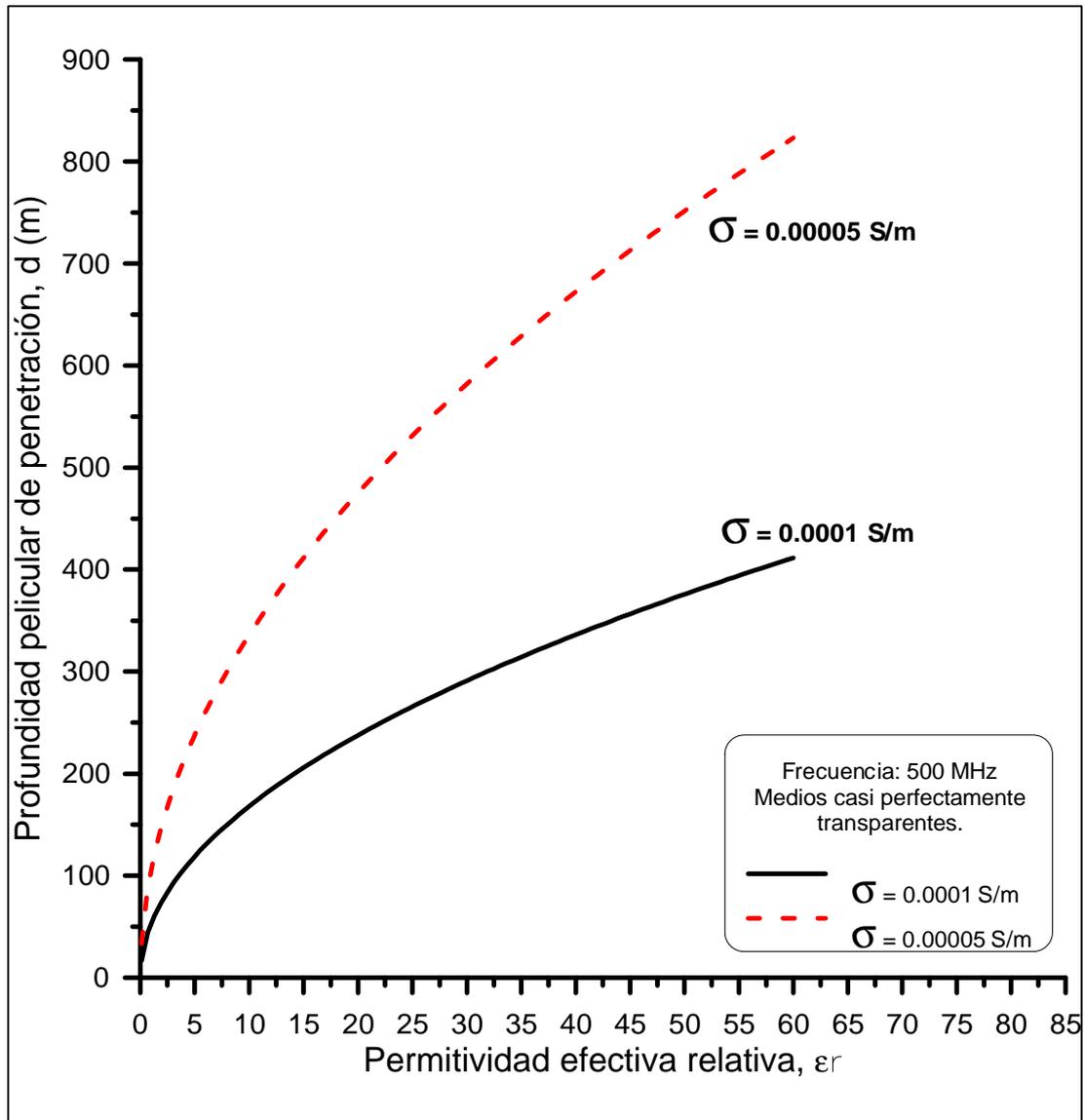


Figura A5.36. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi perfectamente dieléctricos, dada una frecuencia de 500 MHz.

A5.3.4. Antena de 900 MHz.

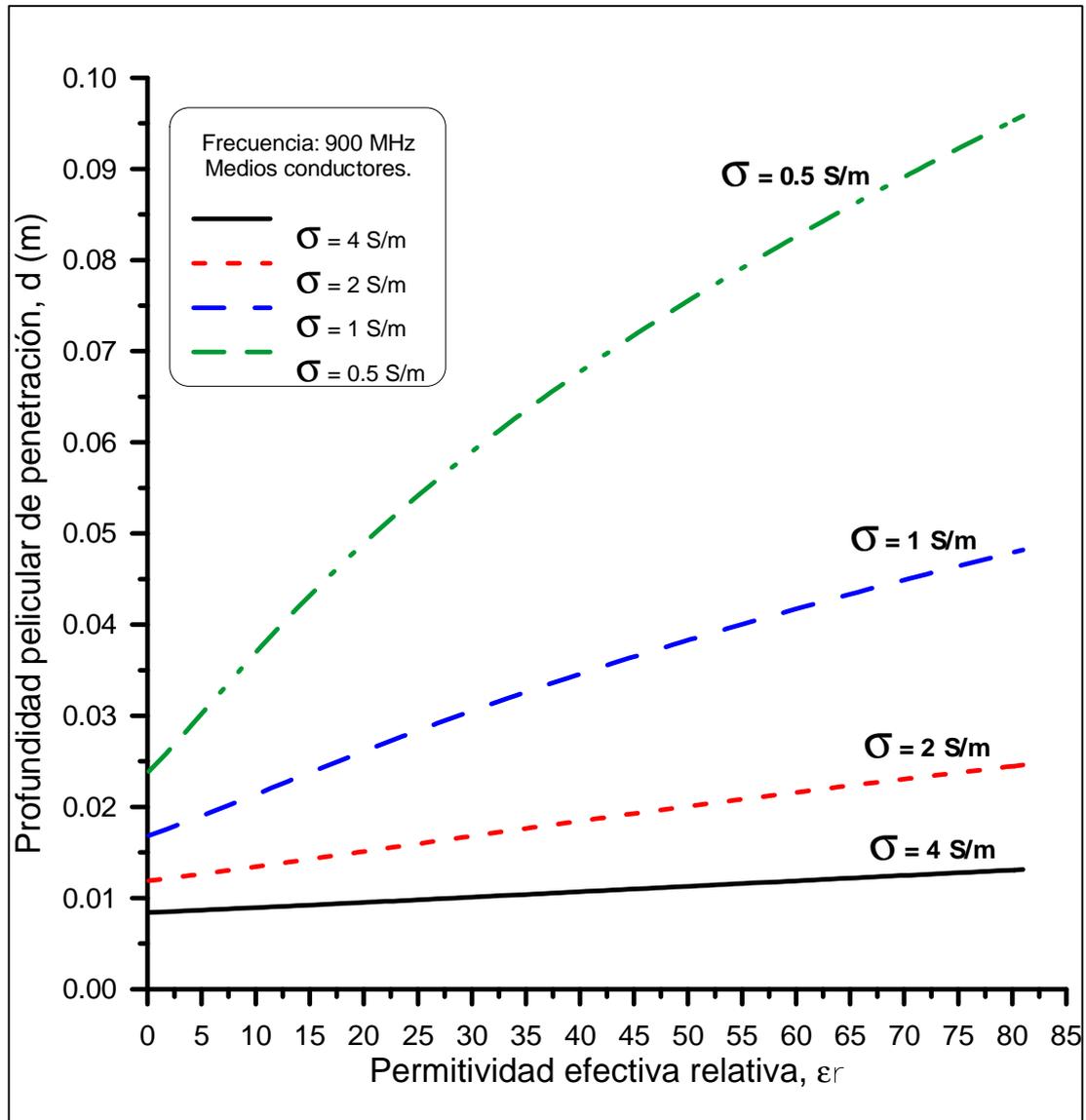


Figura A5.37. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios conductores, dada una frecuencia de 900 MHz.

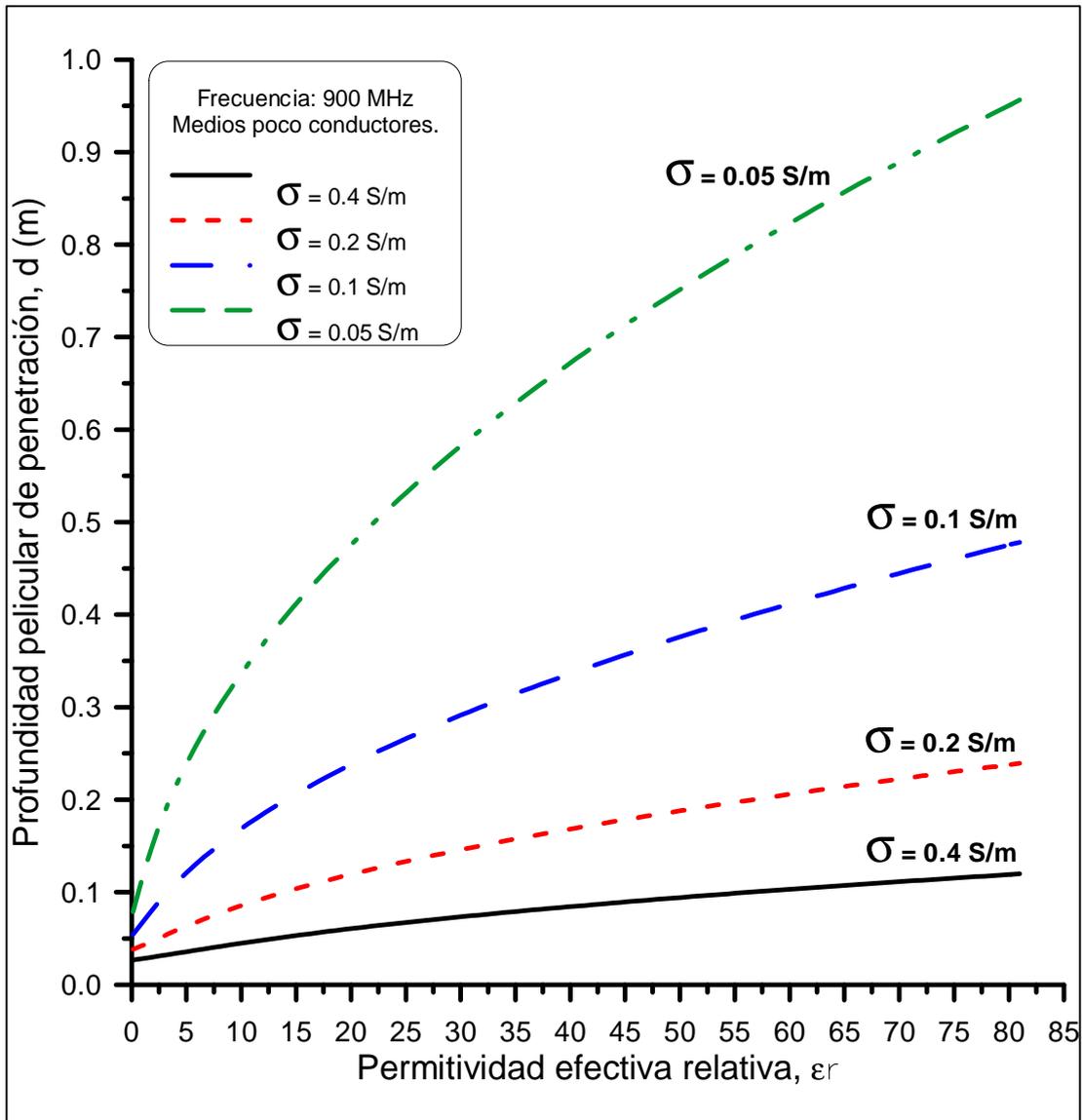


Figura A5.38. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios poco conductores, dada una frecuencia de 900 MHz.

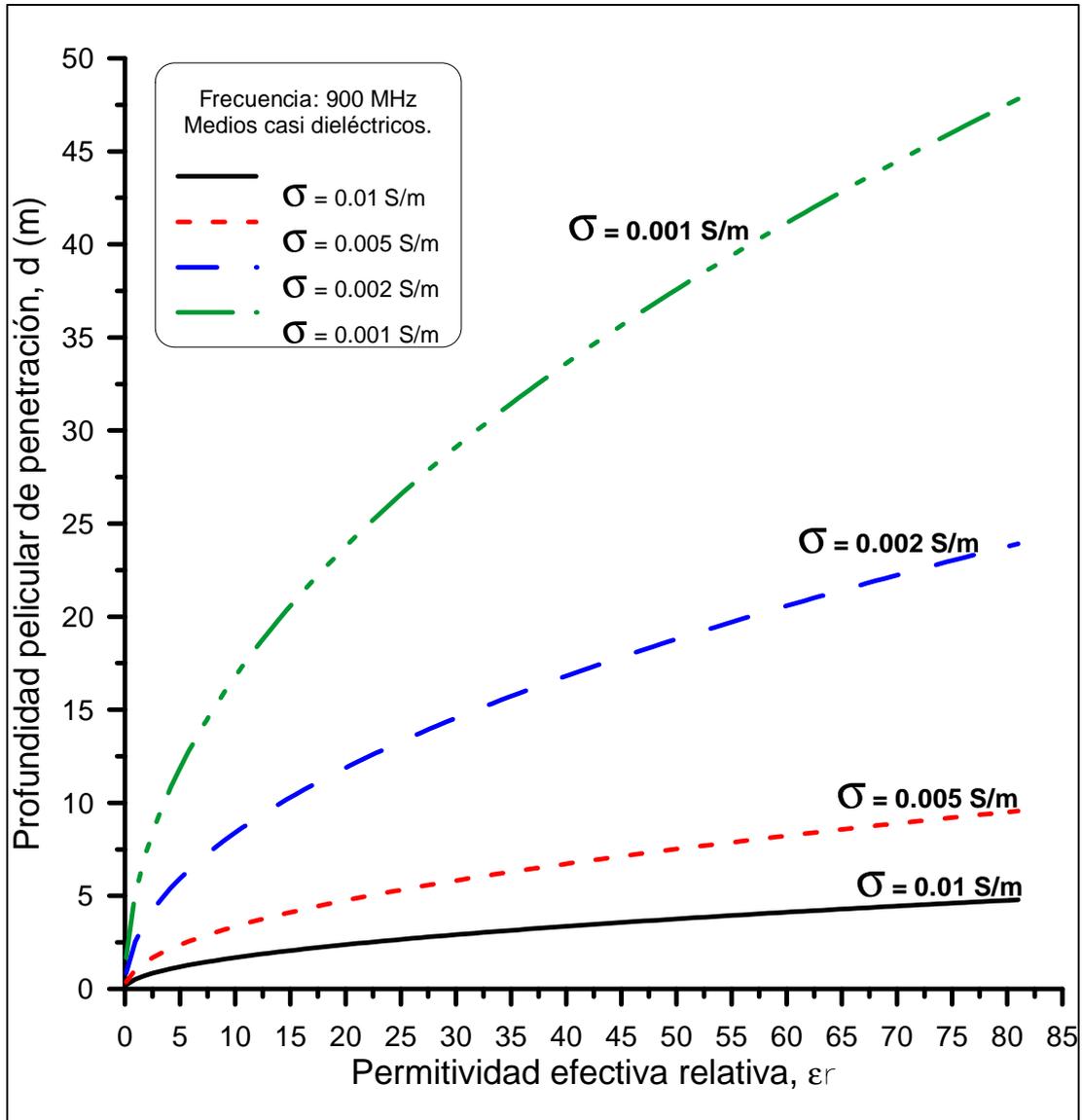


Figura A5.39. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi dieléctricos, dada una frecuencia de 900 MHz.

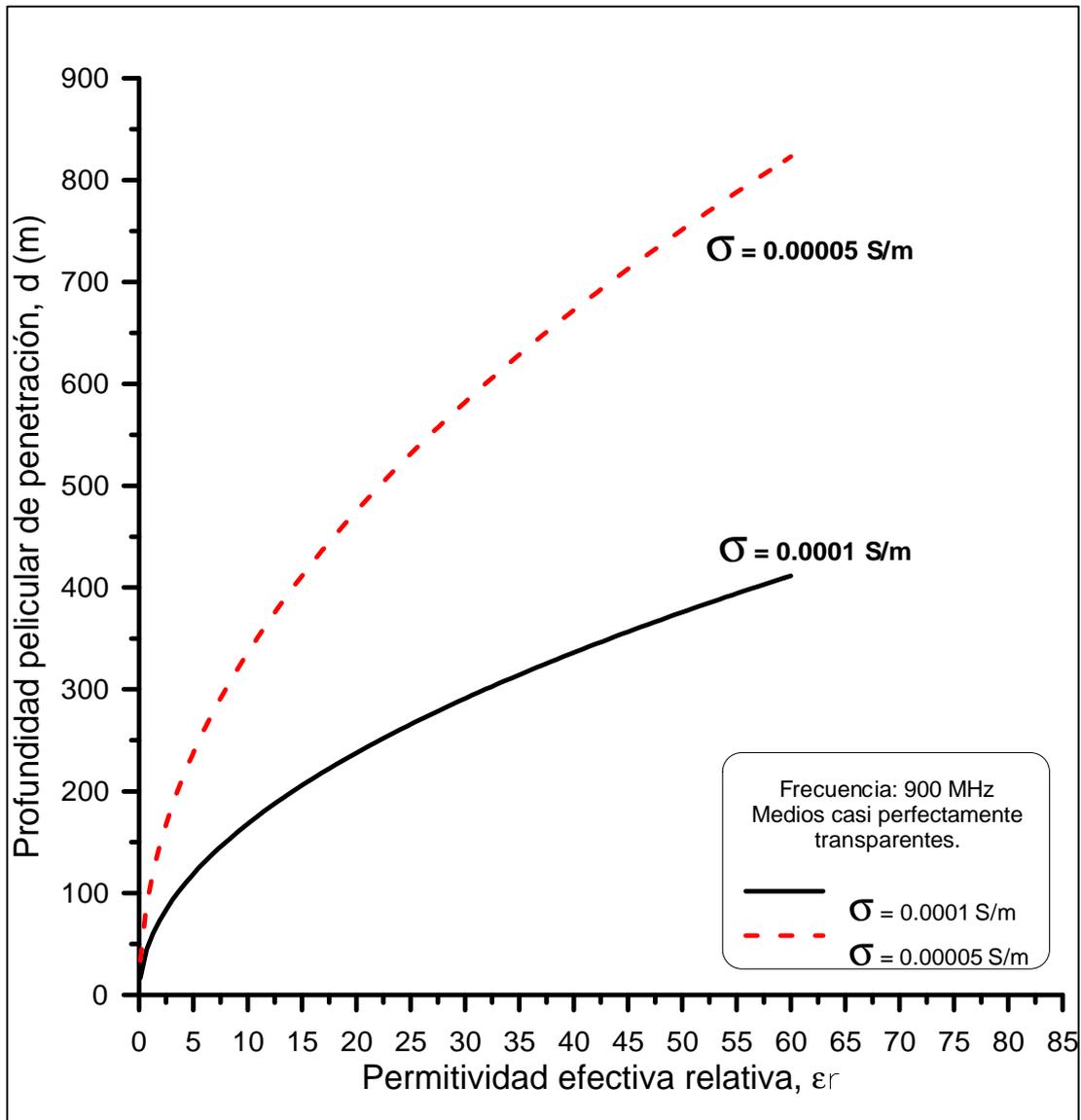


Figura A5.40. Penetración nominal en función de la permitividad dieléctrica relativa efectiva para medios casi perfectamente dieléctricos, dada una frecuencia de 900 MHz.