



5. Resultados

5.1. Espín cilíndrico (EC)

5.1.1. Eficiencia y efectividad en función de las relaciones h_{ce}/h_{cf} y h_{cf}/k

Presentamos en este primer apartado los resultados obtenidos en forma de gráficas de la simulación del circuito para un radio de aleta constante $R = 0.002$ m. El valor del coeficiente convectivo en el extremo será fijo, con un valor $h_{ce} = 100$ W/m².K, mientras que la relación existente entre h_{ce} y h_{cf} tomará valores de 0.1 a 0.9 en intervalos de 0.1. A su vez, estudiaremos para cada una de los casos h_{ce}/h_{cf} , la relación $h_{cf}/k = \{0.1, 0.5, 1, 2, 5, 10, 100\}$. El parámetro que variará a lo largo de la simulación en cada caso será $z = L / l^*$, entre los valores 0.01 y 5.

La presentación de las variables fundamentales en el circuito de estudio toma la forma

* PARÁMETROS FUNDAMENTALES

```
.PARAM R = 0.002
.PARAM hh = 10000000000
.PARAM hce = 100
.PARAM hcf = {hce*10}
.PARAM k = {hcf/0.5}
.PARAM L = {z*Lc}
.PARAM Lc = {(k*R/2/hcf)^(1/2)}
.PARAM z = 0.01
```



Las gráficas de la evolución de la eficiencia de la aleta para los casos estudiados son los siguientes

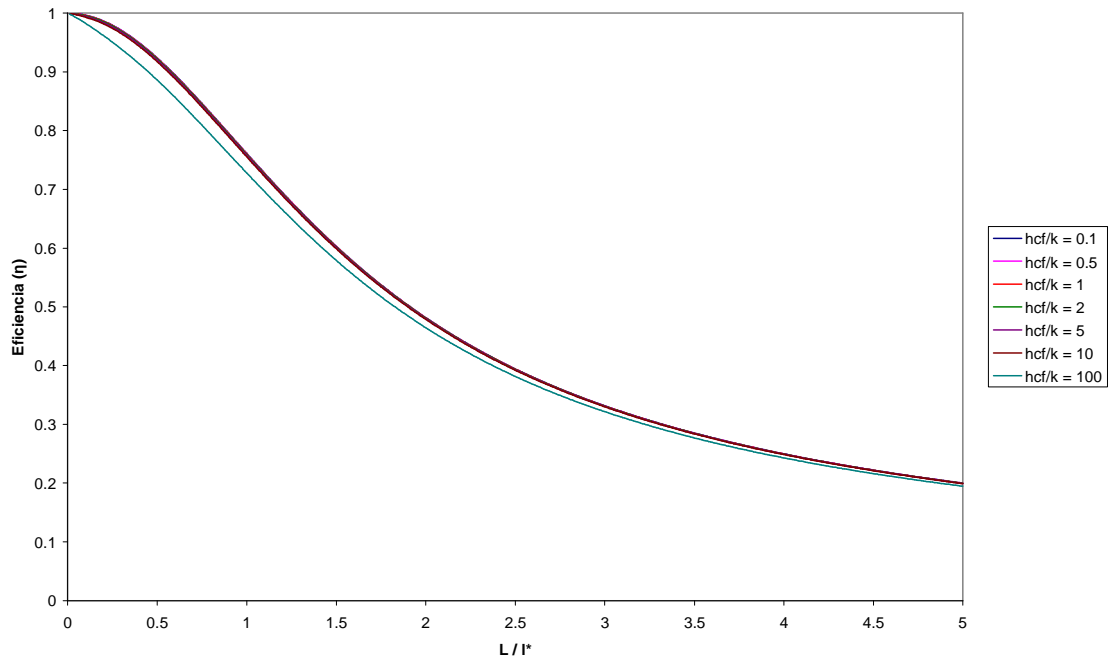


Figura 5.1. Eficiencia en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

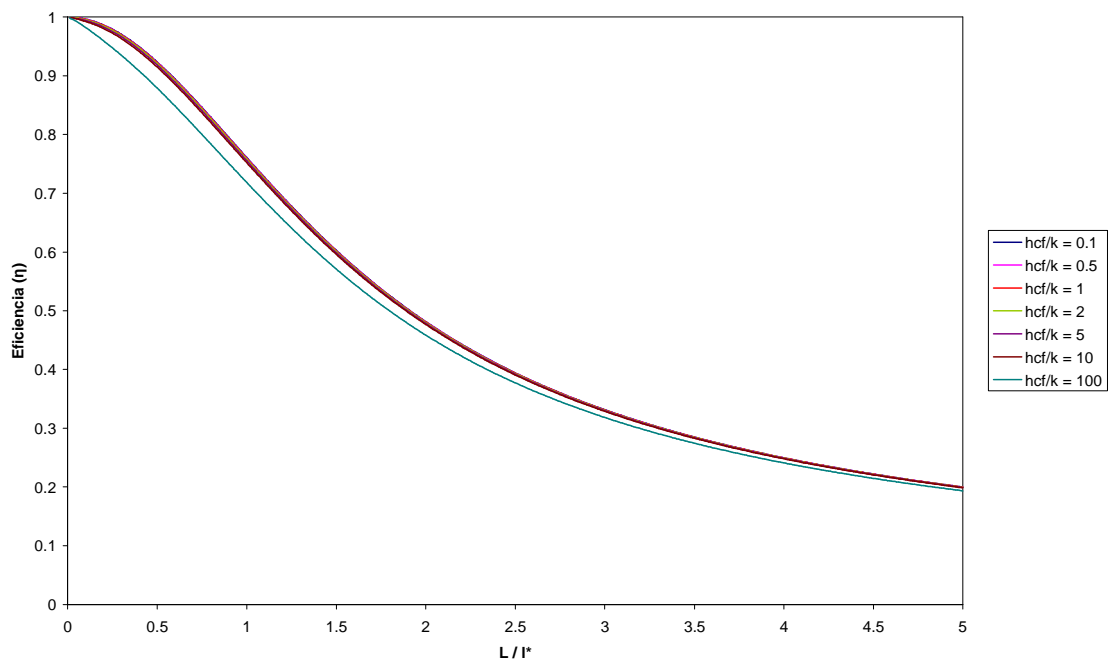


Figura 5.2. Eficiencia en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

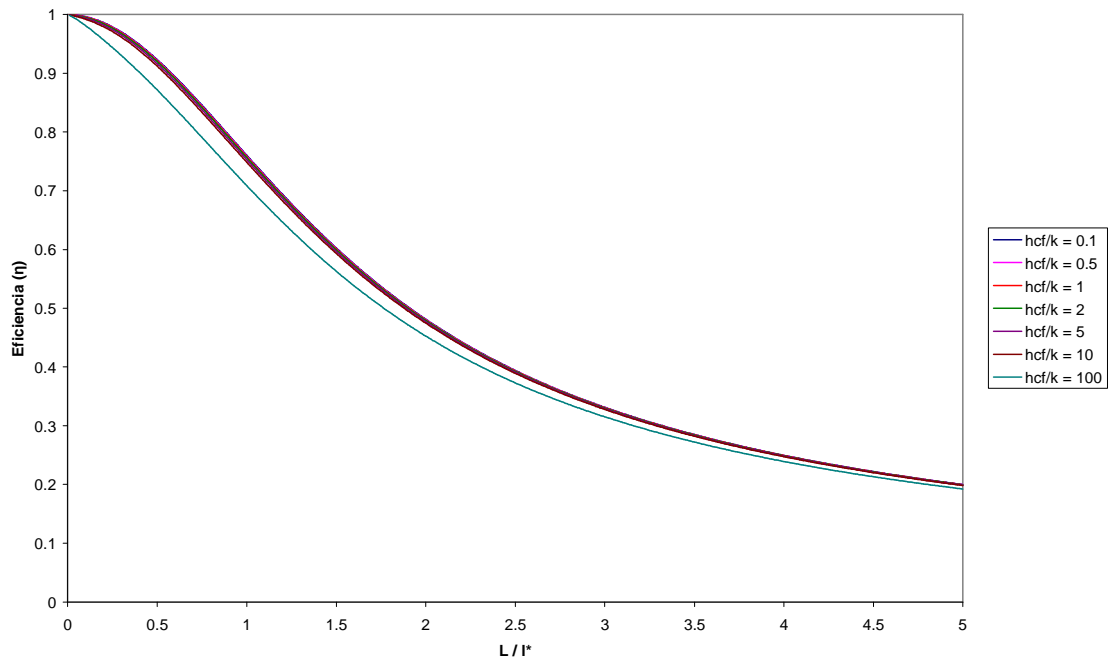


Figura 5.3. Eficiencia en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

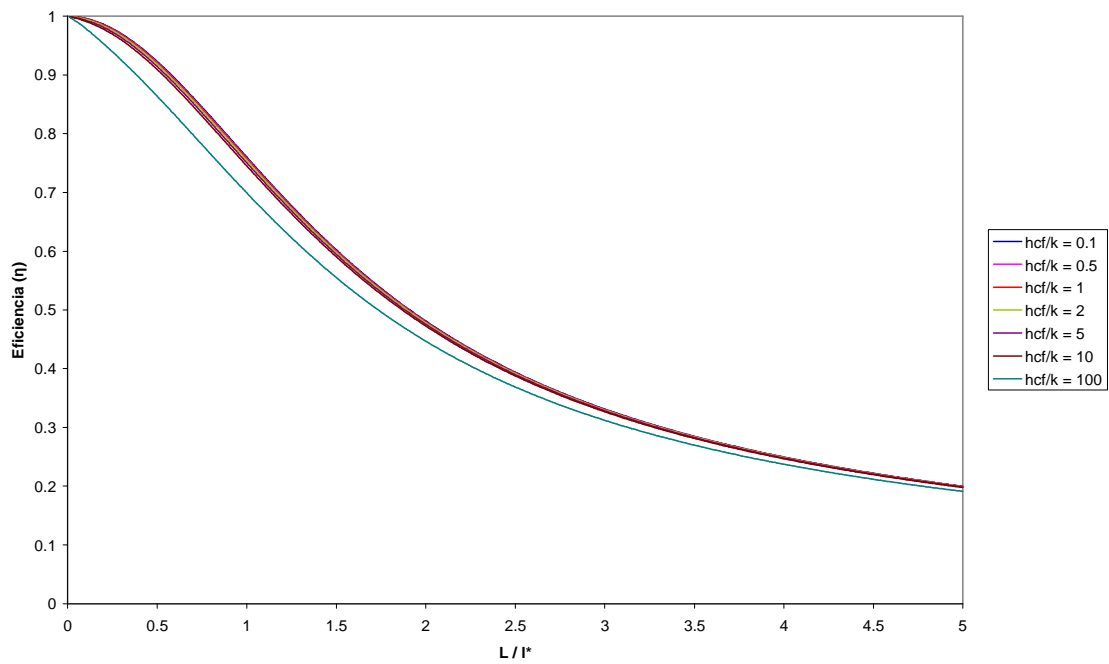


Figura 5.4. Eficiencia en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

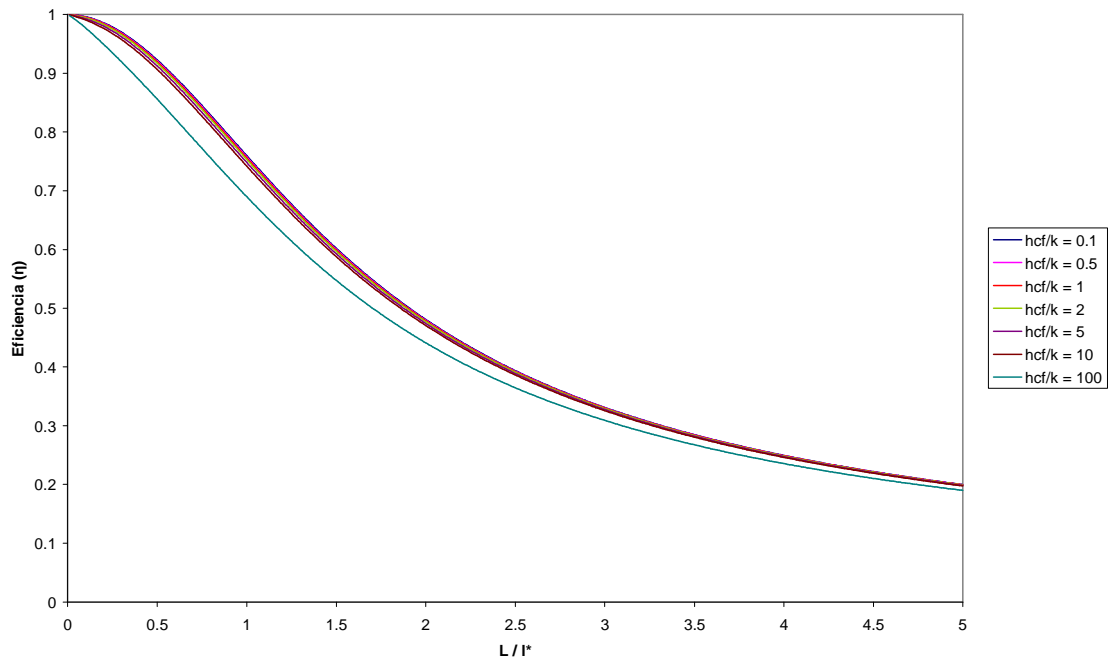


Figura 5.5. Eficiencia en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

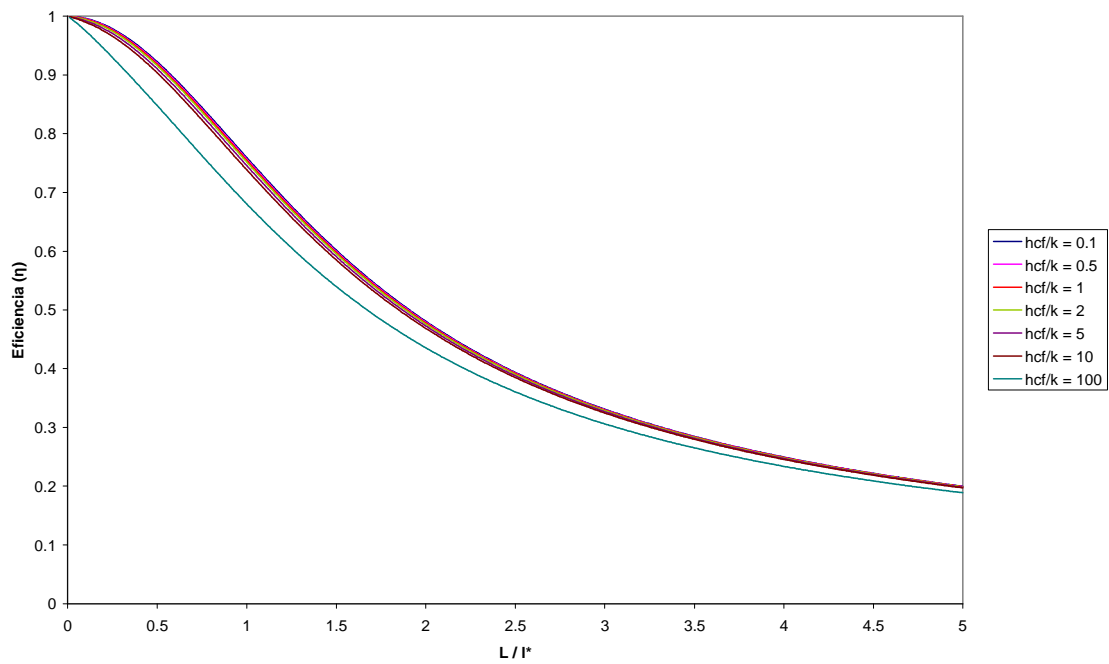


Figura 5.6. Eficiencia en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

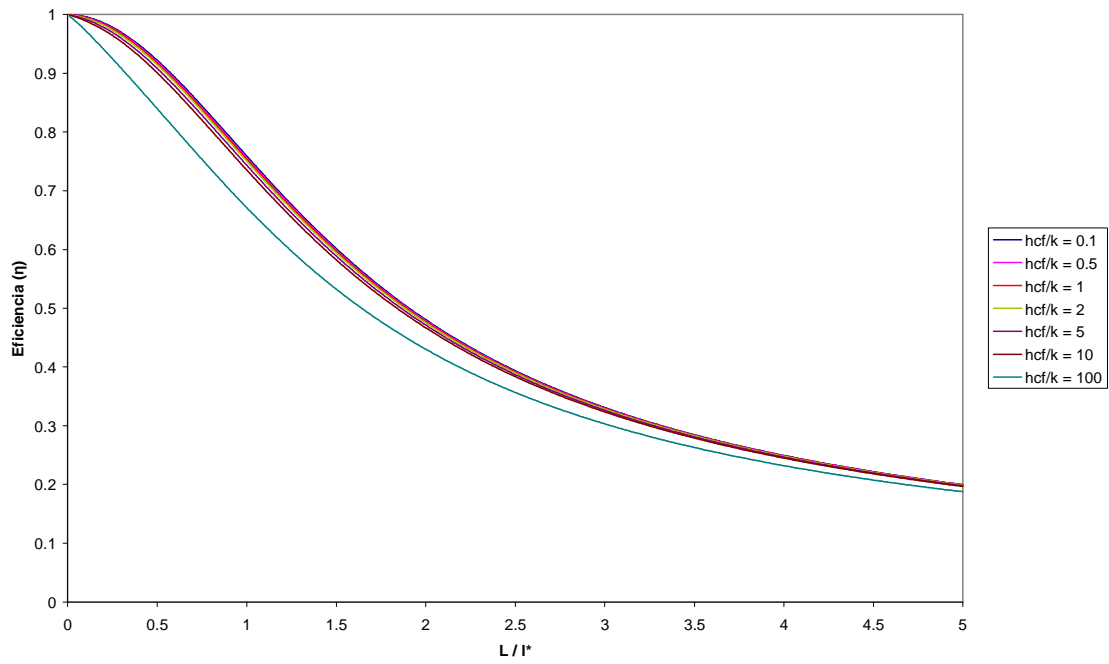


Figura 5.7. Eficiencia en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

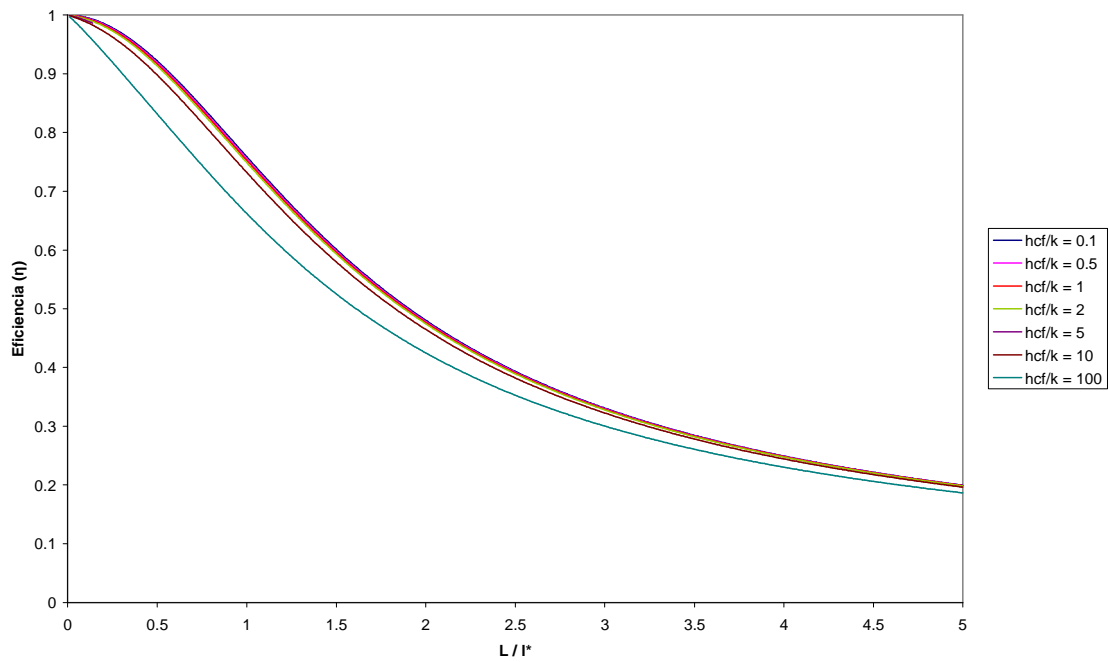


Figura 5.8. Eficiencia en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

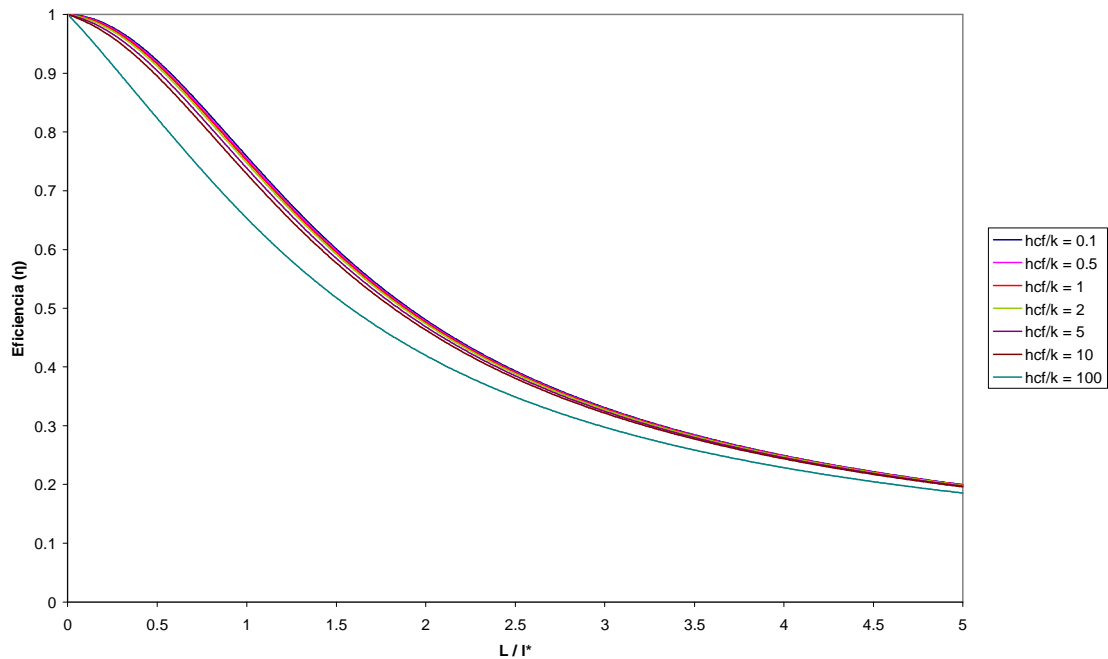


Figura 5.9. Eficiencia en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

Analizando los resultados de estas gráficas, vemos como la eficiencia va disminuyendo a medida que aumenta la relación h_{cf}/k dentro de cada caso. También observamos que las diferencias entre las curvas de eficiencia para distintos h_{cf}/k dentro de una misma relación h_{ce}/h_{cf} se hacen cada vez mayores conforme el cociente entre los coeficientes convectivos en el extremo y en el resto de la superficie se va incrementando. La eficiencia también disminuye a medida que aumenta la longitud de la aleta, siendo esto debido a que en una aleta muy larga, la mayor parte del calor ha sido disipada en una longitud relativamente pequeña, lo que nos indica que el resto de la aleta no cumple prácticamente ninguna función.

Otro resultado que podemos extraer de las gráficas es que la eficiencia máxima se obtendría para una relación $L/l^* = 0$, lo que supondría que la mayor disipación de calor se consigue cuando no existe la aleta, concepto absolutamente falso. Por este motivo, este parámetro no resulta apropiado como herramienta para la optimización del diseño aletas

El siguiente paso en nuestro estudio es el de analizar el comportamiento, para los mismos casos que en el caso de eficiencia, del espín cilíndrico por medio del parámetro de efectividad. Las curvas de efectividad para los casos estudiados son las siguientes:

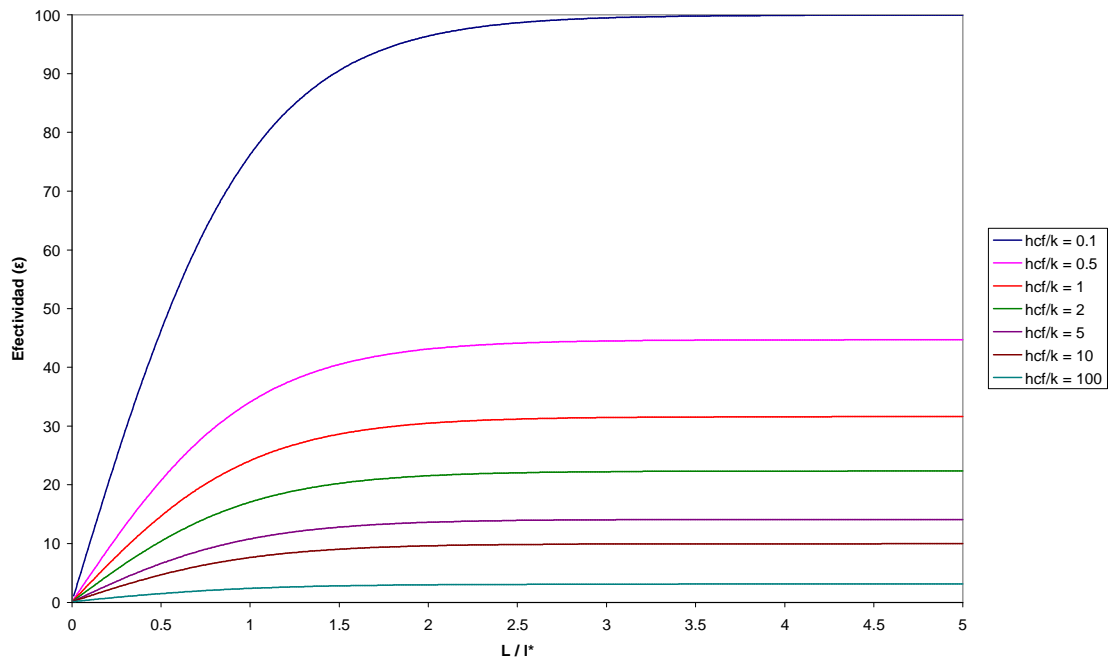


Figura 5.10. Efectividad en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

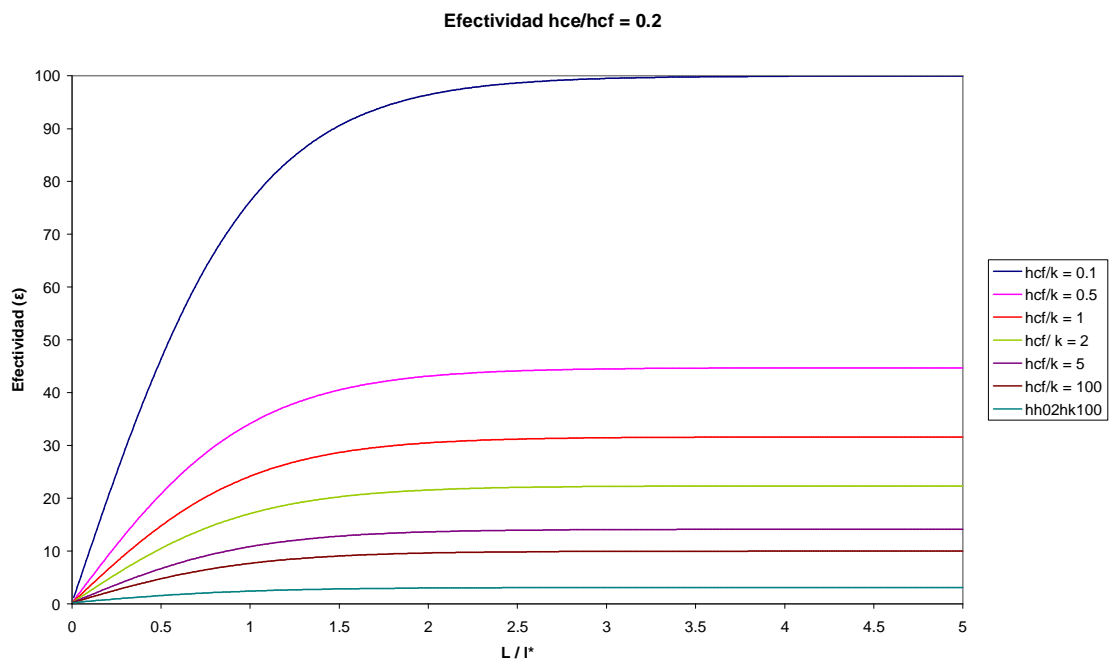


Figura 5.11. Efectividad en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

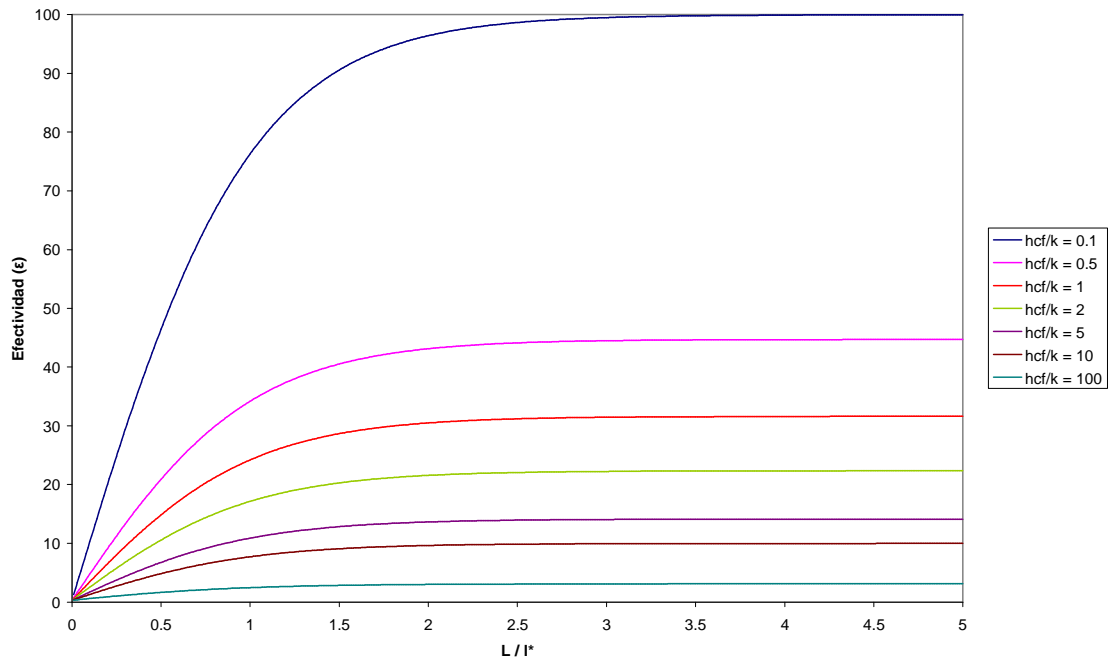


Figura 5.12. Efectividad en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

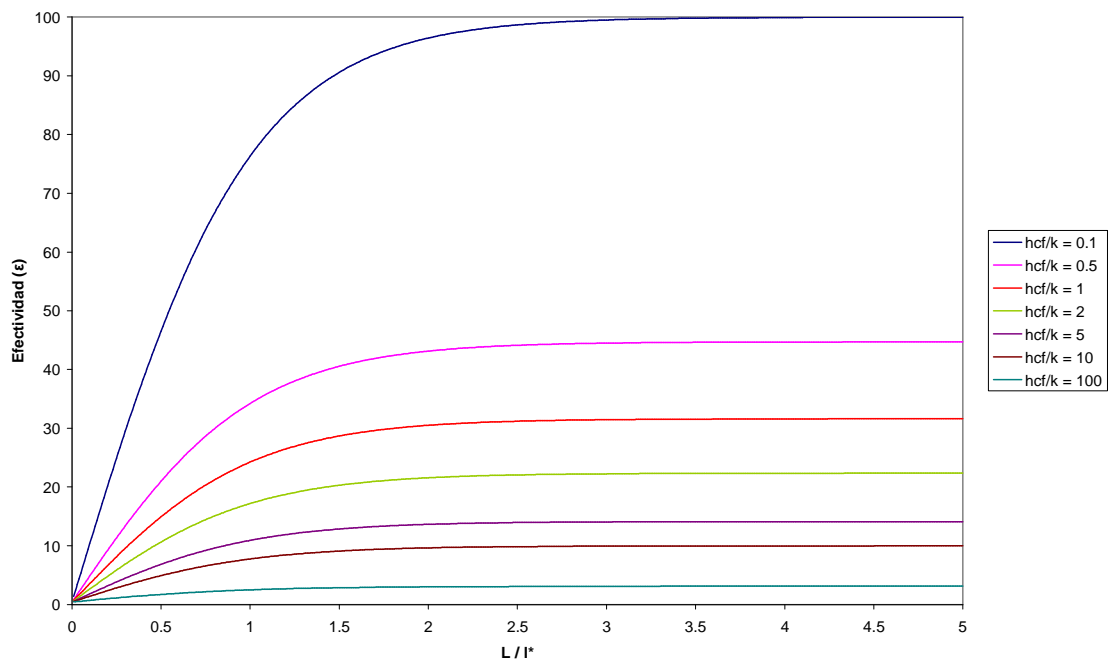


Figura 5.13. Efectividad en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

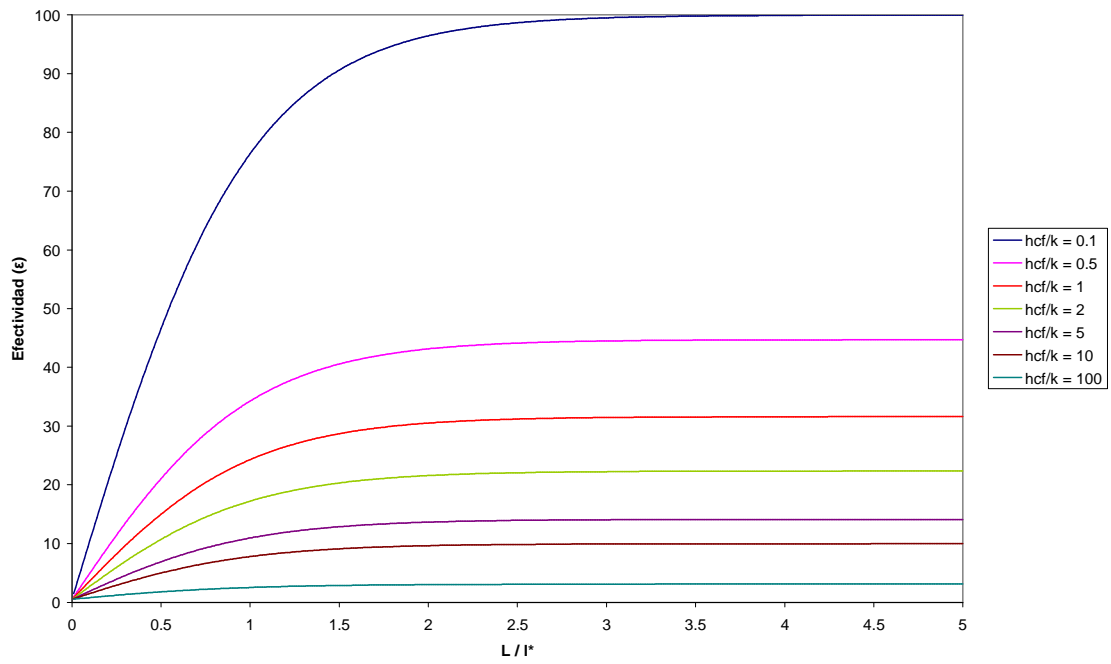


Figura 5.14. Efectividad en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

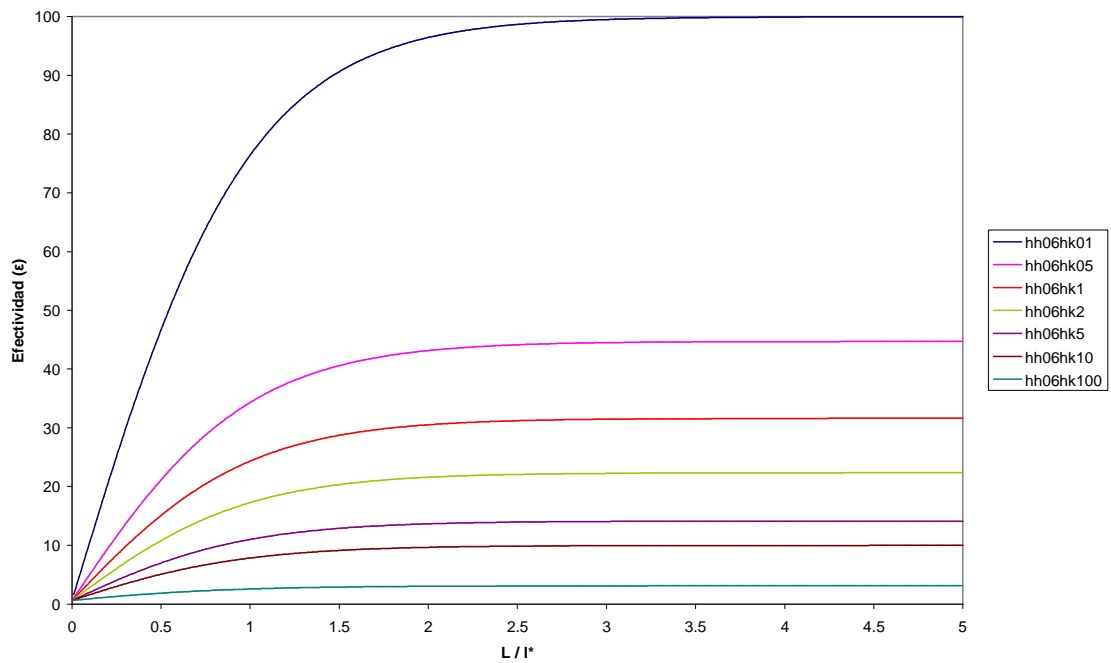


Figura 5.15. Efectividad en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

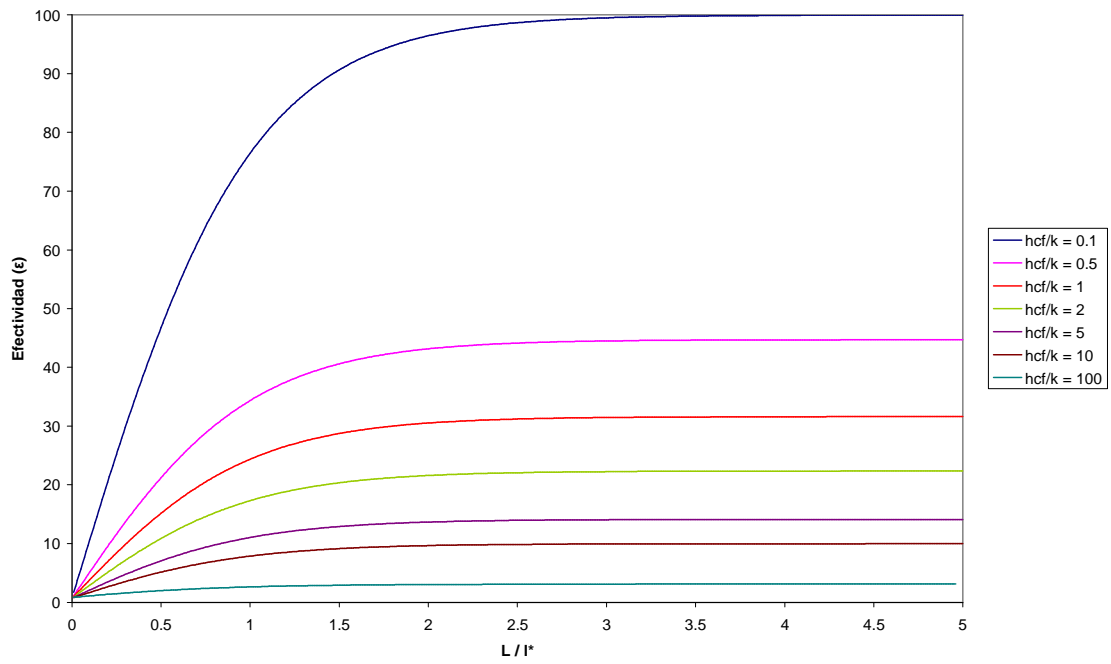


Figura 5.16. Efectividad en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

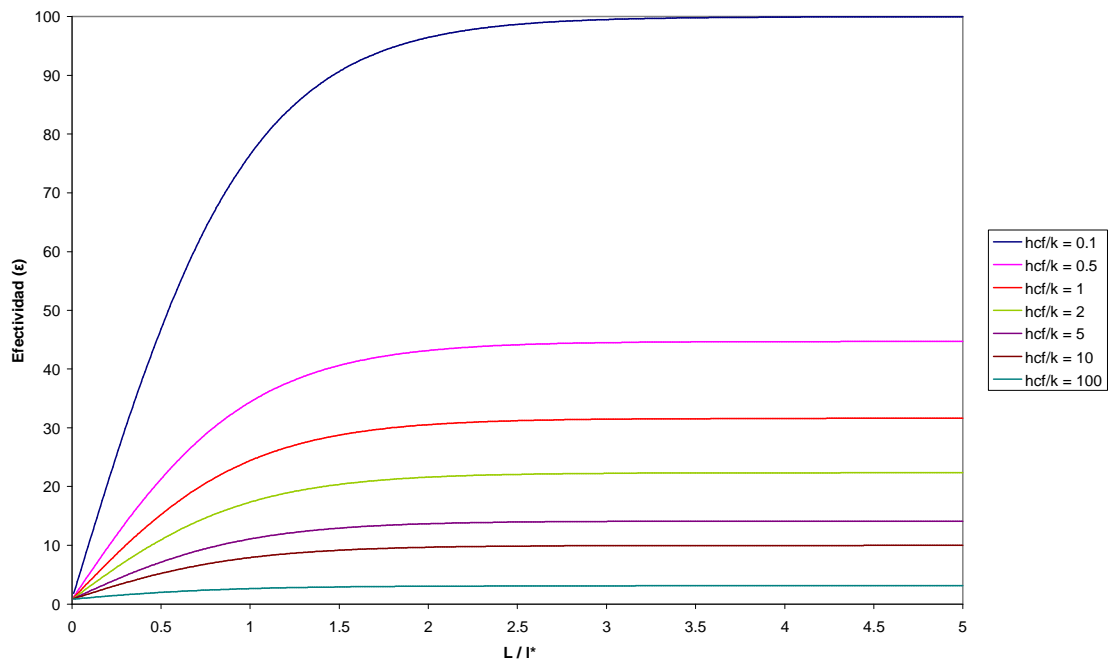


Figura 5.17. Efectividad en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

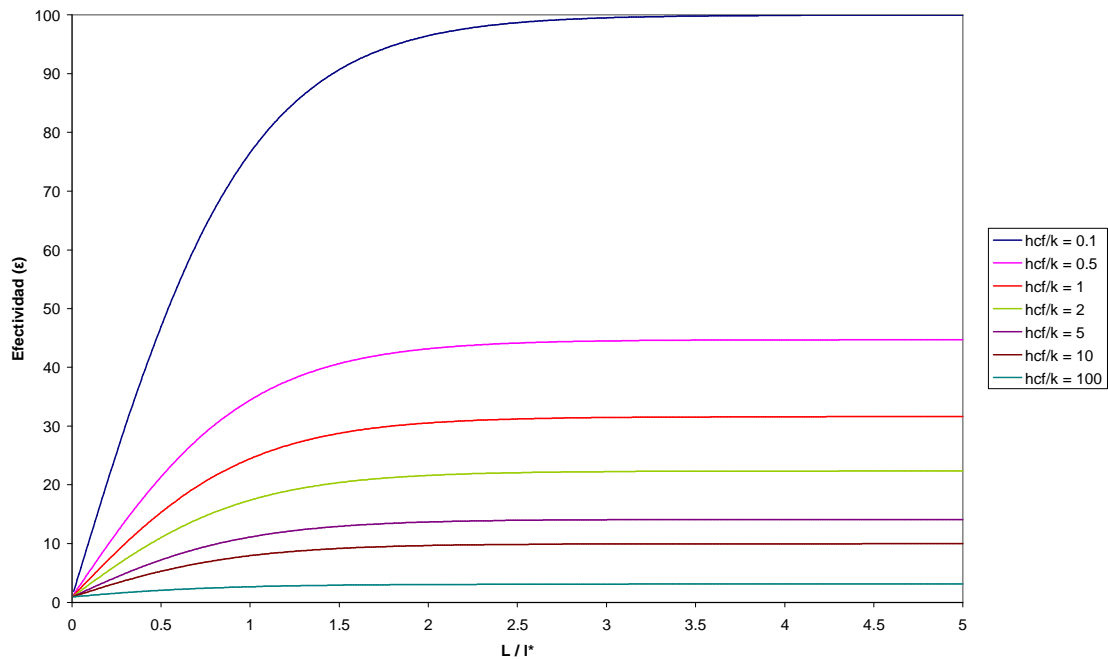


Figura 5.18. Efectividad en EC con $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

Si analizamos las gráficas en su conjunto, vemos como la efectividad crece rápidamente para relaciones $L/l^* < 1.5$, mientras que a partir de este punto la pendiente de la curva va disminuyendo hasta hacerse prácticamente nula. Para relaciones $L/l^* > 2$ se observa que por mucho que aumente la longitud de la aleta no se produce ningún aumento en la evacuación de calor.

Si nos fijamos ahora en cada una de las gráficas individualmente, vemos que la efectividad decrece a medida que aumenta la relación h_{cf}/k , dando los mejores resultados para un valor de este cociente de 0.1.

5.1.2. Limite de aplicación del modelo unidimensional

Esta representación busca obtener el valor de Bi_t a partir del cual deja de ser válida la utilización del modelo unidimensional, debido al error que se acumula en los resultados, y hay por tanto que considerar un modelo 2-D. En la figura 5.19 se pueden observar los resultados obtenidos para $h_{ce} = h_{cf} = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ y $h_{cf}/k = 1/5$.

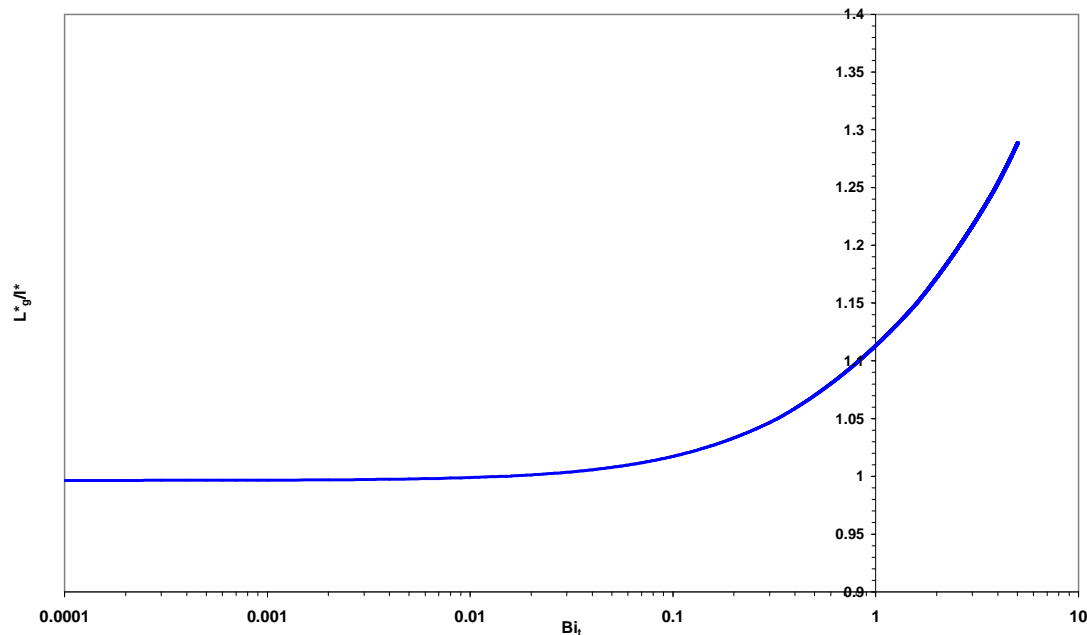


Figura 5.19

La relación L_g^*/l^* se mantiene con valor 1 para valores de Bi_t por debajo de 0.01, y por tanto la longitud característica y la longitud característica generalizada coinciden en su valor, por lo que por debajo de este valor de Bi_t se puede utilizar el modelo 1-D.

Si el valor de Bi_t aumenta, la pendiente de la curva crece notablemente, lo que indica que los valores de longitud característica y longitud característica generalizada serán cada vez más distantes, es decir, el error que se produce al tomar la hipótesis unidimensional es cada vez mayor. Admitiendo como error admisible entre los dos modelos un valor del 5%, vemos que el Bi_t para ese caso sería 0.3. Para asegurarnos de que los resultados obtenidos no contengan errores por el uso de un modelo 1-D, utilizamos en el desarrollo de este proyecto un modelo 2-D.

5.1.3. Optimización del modelo

El estudio se vuelve a realizar para las relaciones h_{ce} / h_{cf} y h_{cf} / k anteriormente expuestos, estudiando los mismos en función del volumen de la aleta. El volumen de la aleta tomará los valores:

- $V = 1E-7 \text{ m}^3$
- $V = 5E-7 \text{ m}^3$
- $V = 1E-6 \text{ m}^3$
- $V = 5E-6 \text{ m}^3$
- $V = 1E-5 \text{ m}^3$
- $V = 1E-4 \text{ m}^3$
- $V = 1E-3 \text{ m}^3$
- $V = 1E-2 \text{ m}^3$
- $V = 1E-1 \text{ m}^3$



Para estos valores, estudiaremos el proceso tomando como parámetro variable en la simulación $z = L / l^*$. Es decir, que los parámetros fundamentales del circuito a estudiar los introducimos en la forma

*PARÁMETROS FUNDAMENTALES

```
.PARAM R = {(((2*hcf*Vol^2)/(PI^2*k))^(1/5))/((z)^(2/5))}  
.PARAM hh = 10000000000  
.PARAM Vol = {1E-7}  
.PARAM hce = 100  
.PARAM hcf = {hce/0.9}  
.PARAM k = {hcf/10}  
.PARAM L = {Vol/(PI*R^2)}  
.PARAM z = 0.01
```

Analizamos el proceso en función del parámetro de admitancia térmica inversa relativa (ATIR o y_r). Puede considerarse un coeficiente ideal en el sentido de que responde a todos los requerimientos que debe cumplir un buen coeficiente de prestaciones. La admitancia inversa relativa muestra el margen de mejora que se tiene en un diseño concreto (tipo o perfil de aleta).

En las primeras gráficas presentamos la variación de las curvas de ATIR para las distintas relaciones estudiadas, buscando determinar el punto óptimo de funcionamiento de la aleta. Cada una de las curvas representa la curva de ATIR para un volumen determinado. En el punto donde la longitud es nula, la admitancia tiene un valor infinito, no considerándose este punto como el óptimo por no tener sentido físico, aunque el valor de la admitancia sea el mayor.

Las curvas de variación de ATIR son las siguientes

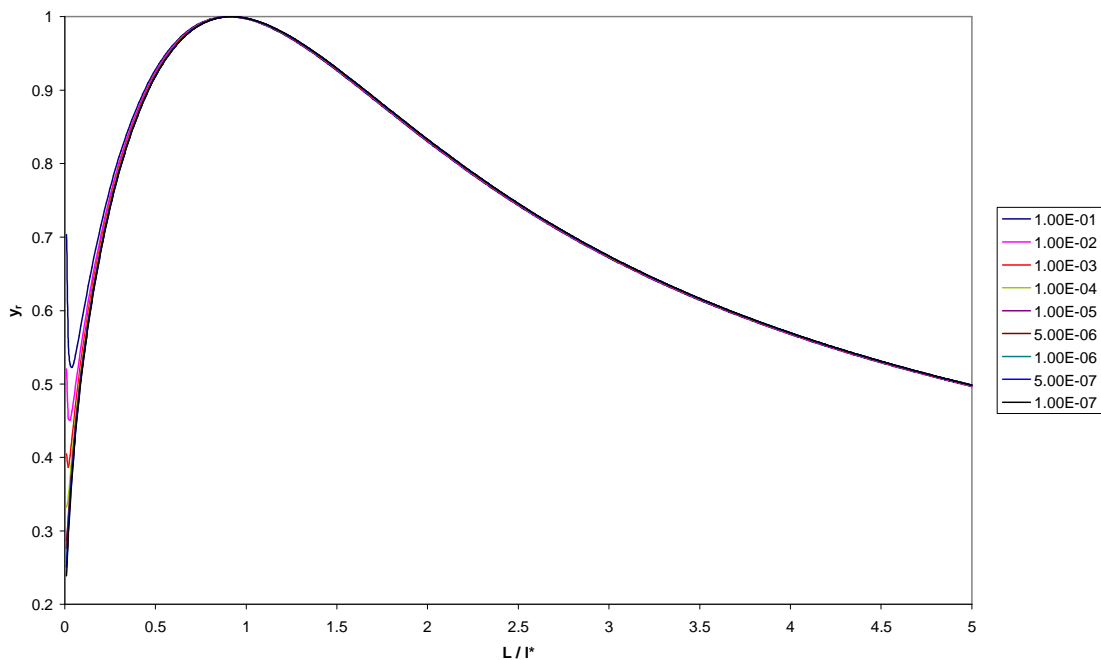


Figura 5.20. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

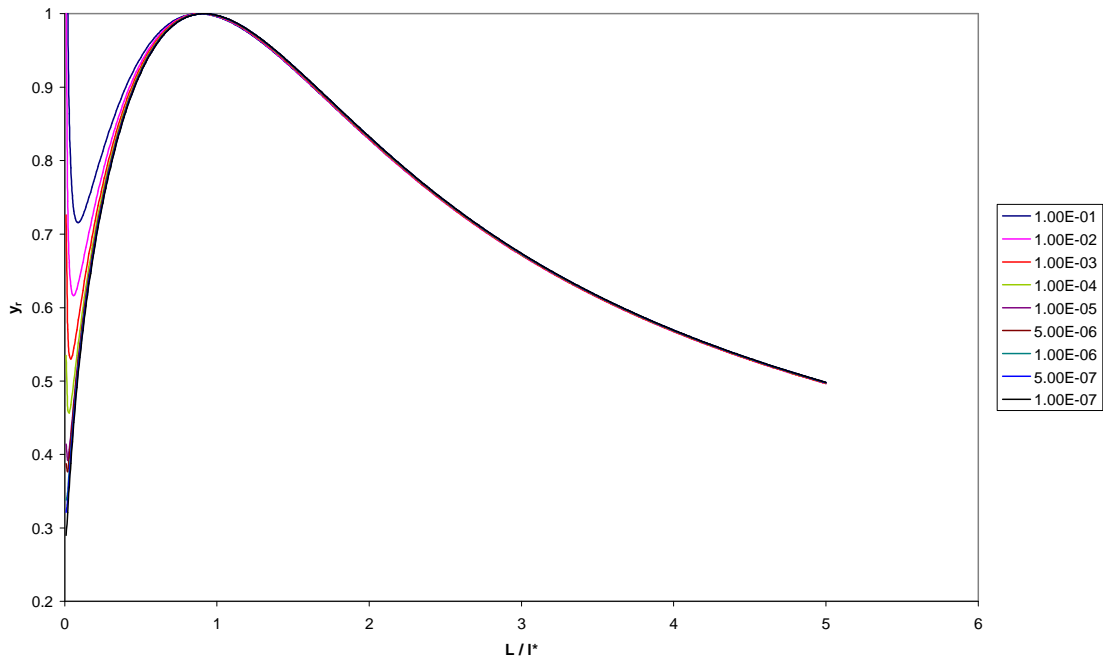


Figura 5.21. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

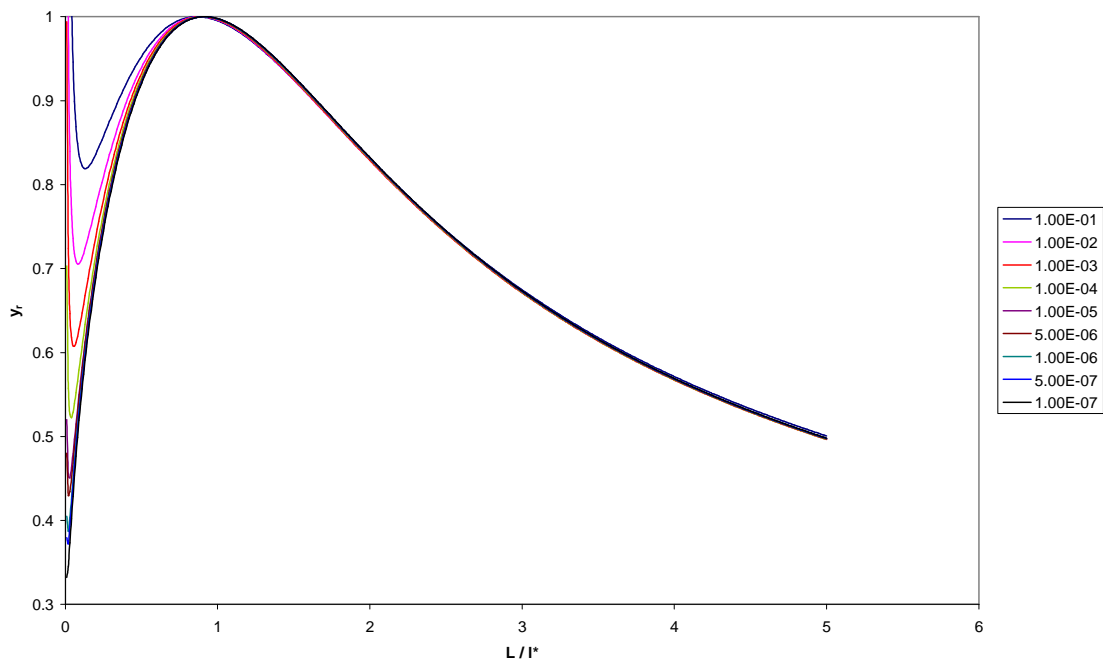


Figura 5.22. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

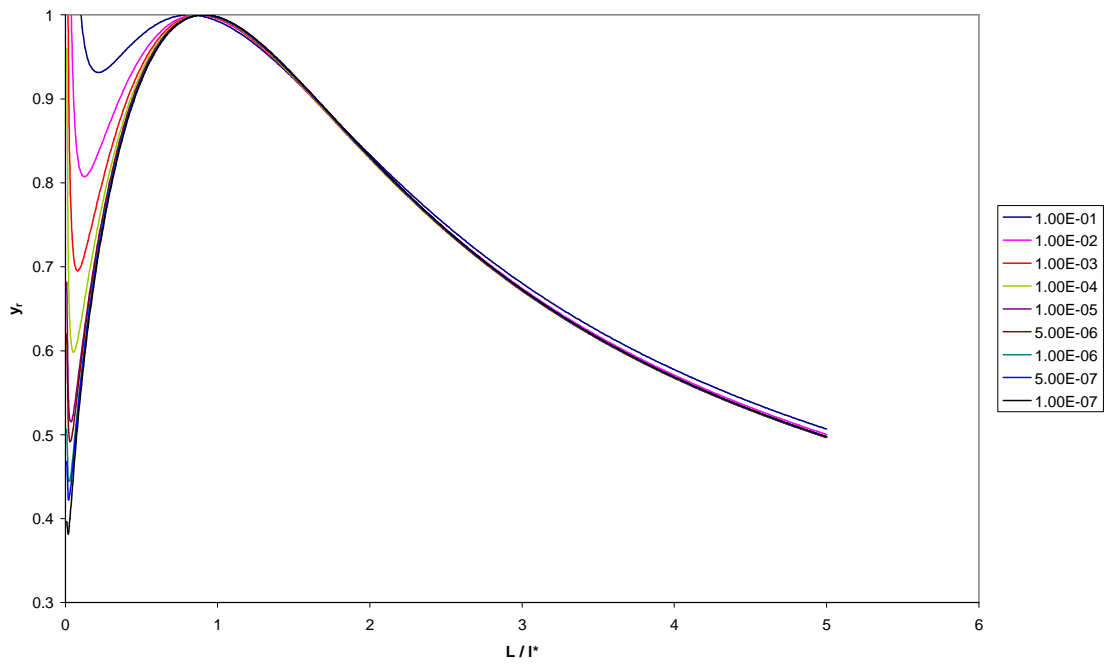


Figura 5.23. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

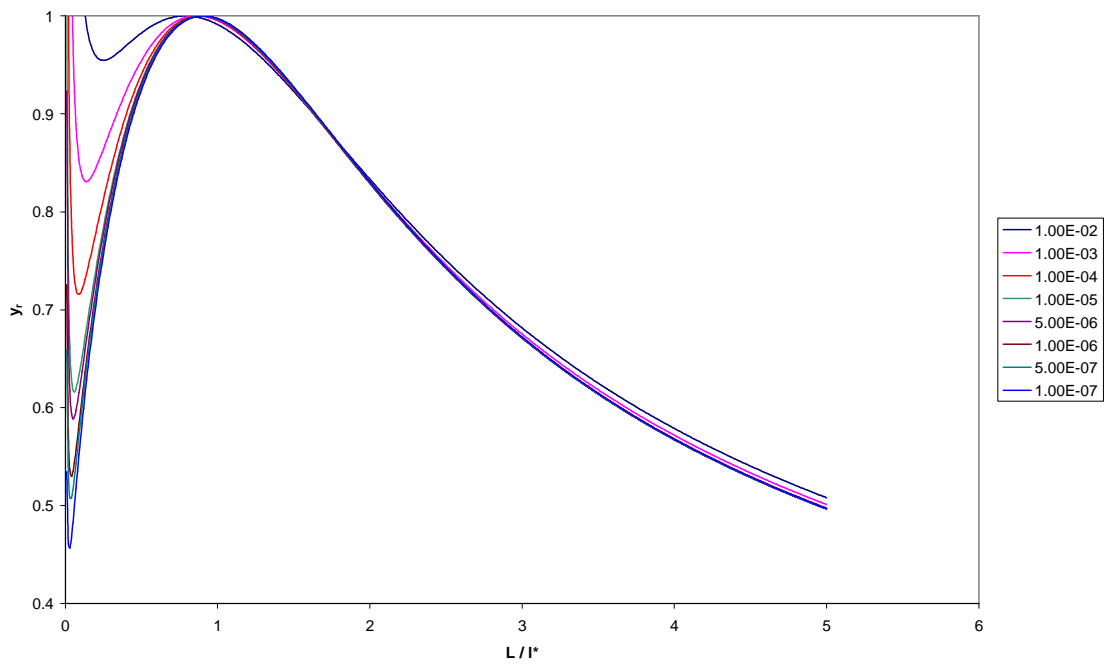


Figura 5.24. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

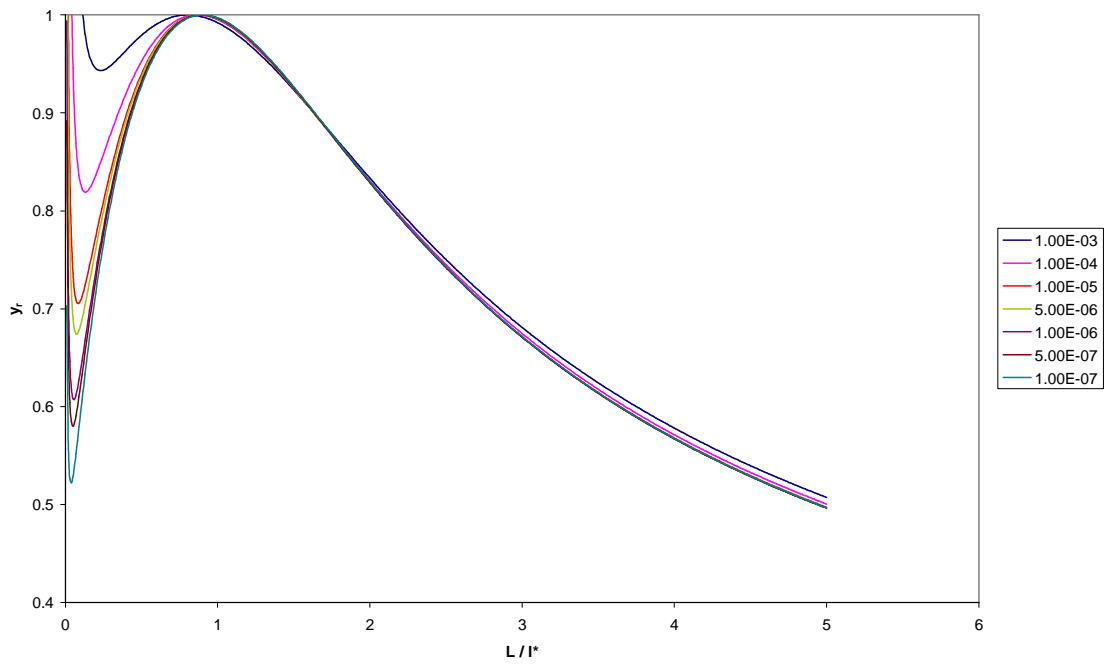


Figura 5.25. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

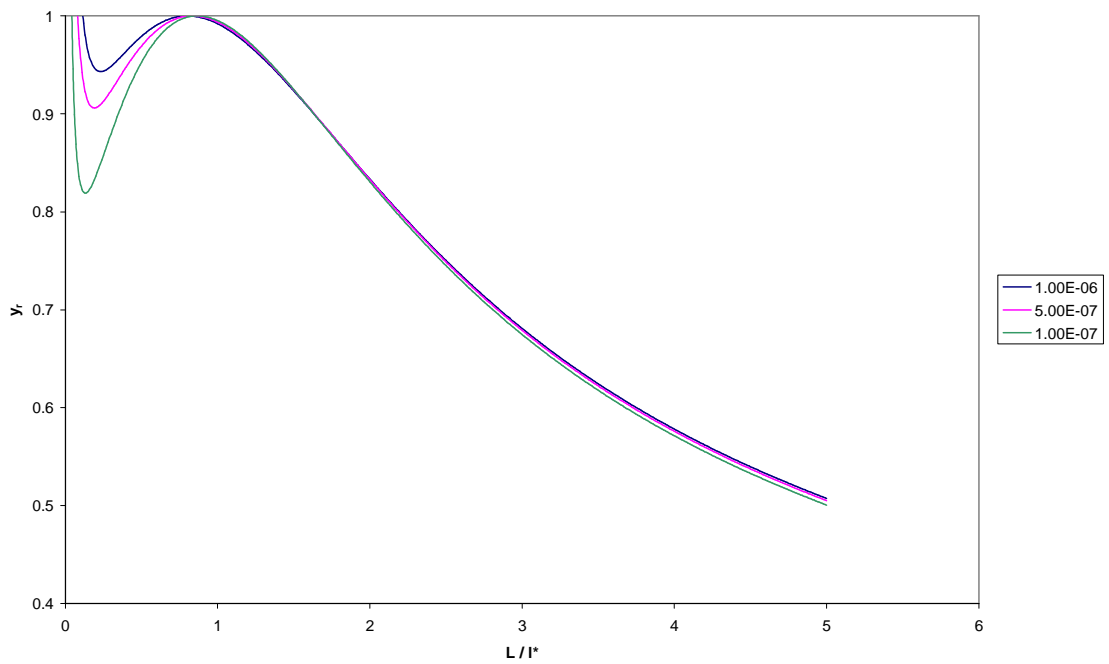


Figura 5.26. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

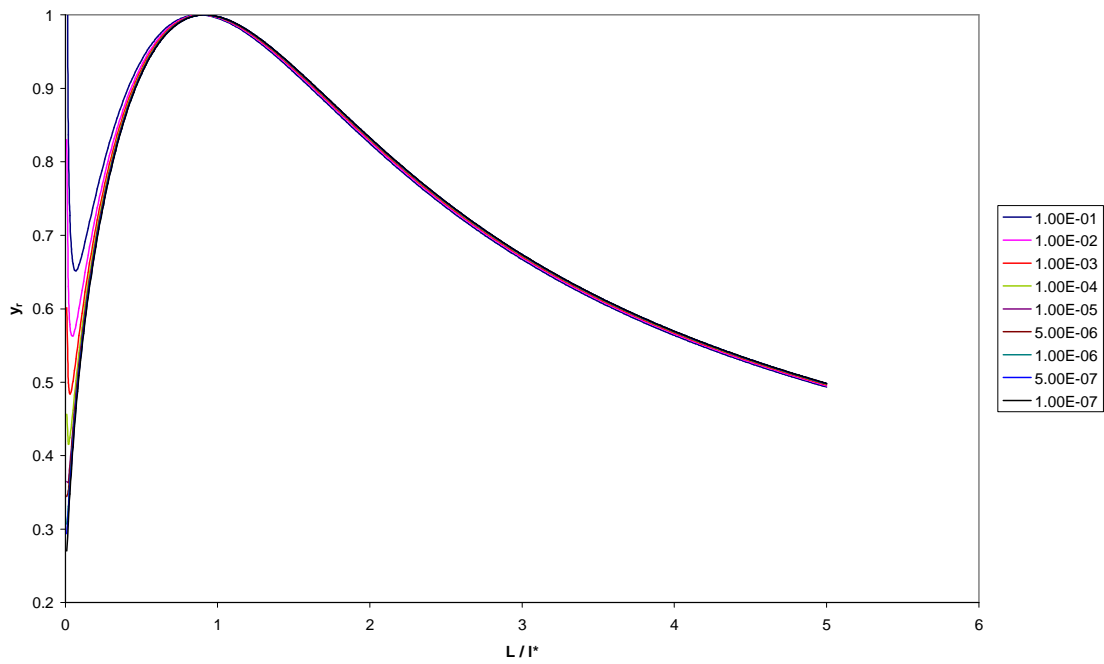


Figura 5.27. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

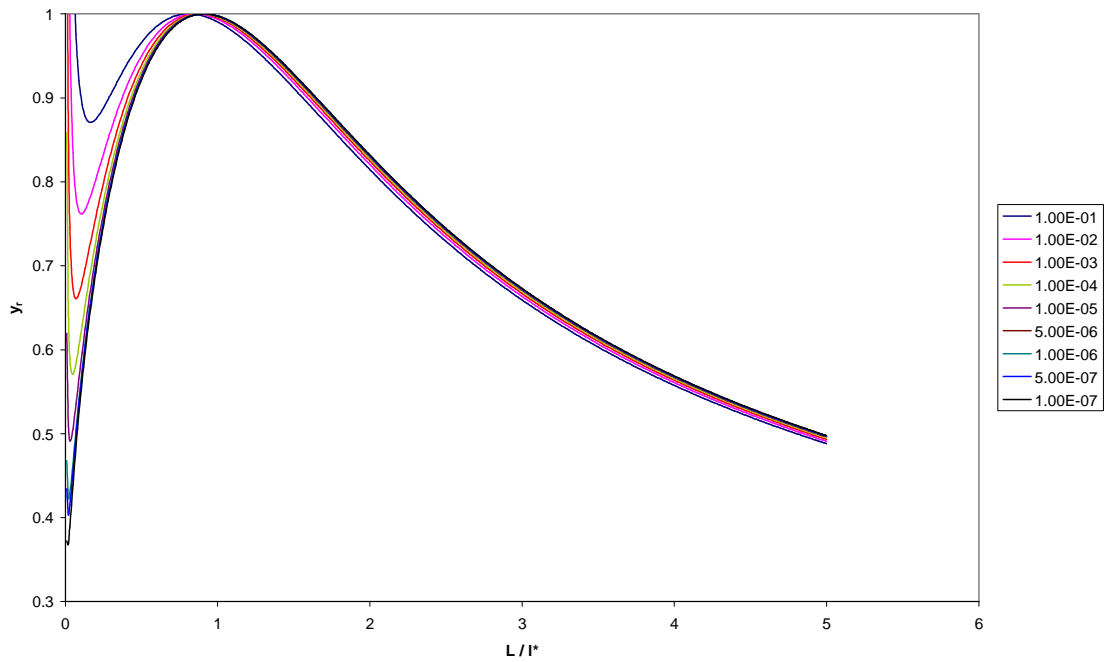


Figura 5.28. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

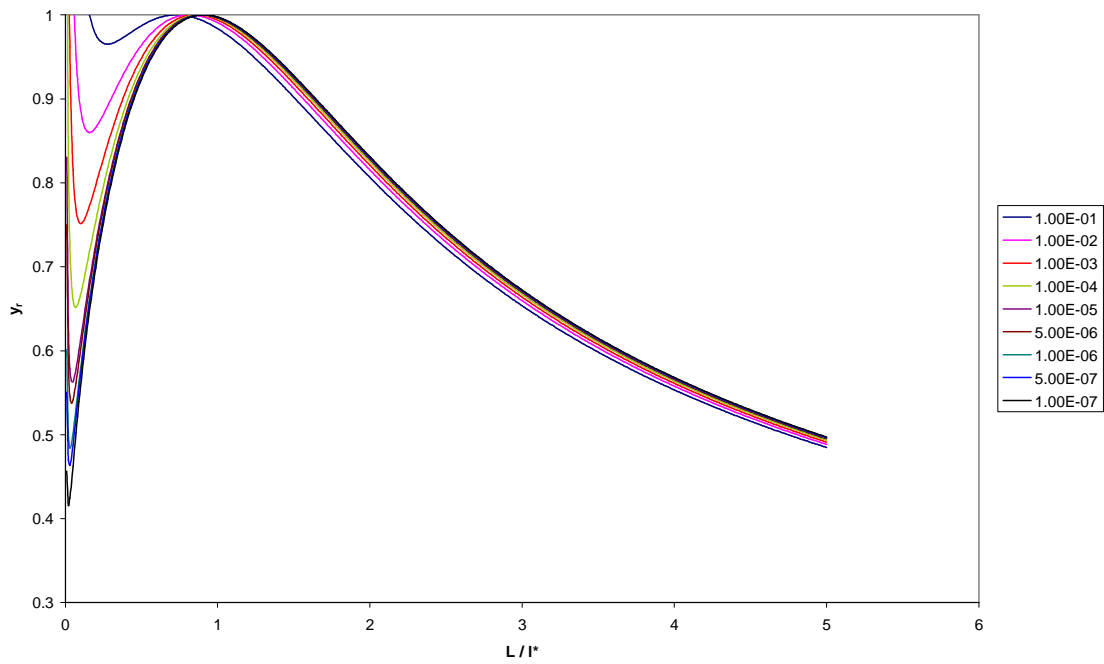


Figura 5.29. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

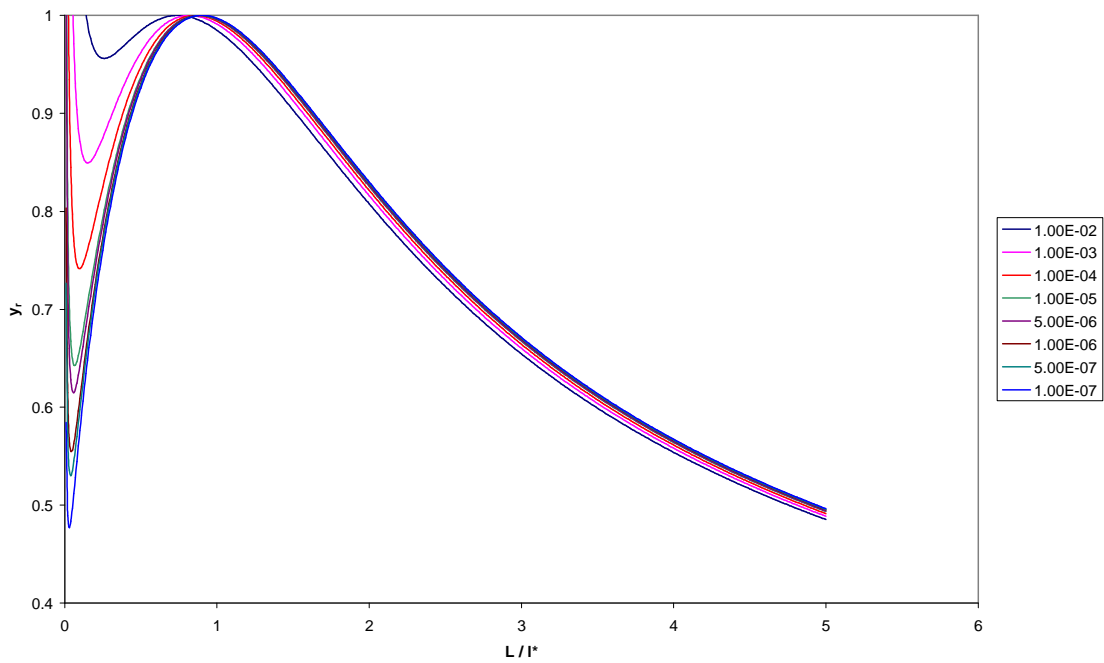


Figura 5.30. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

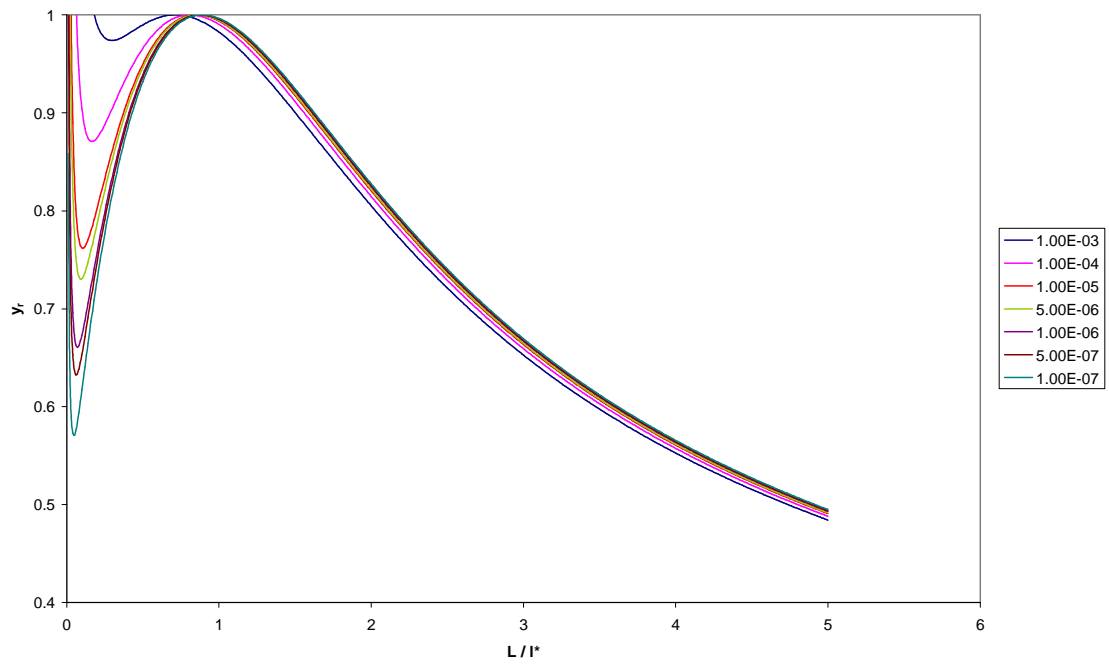


Figura 5.31. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

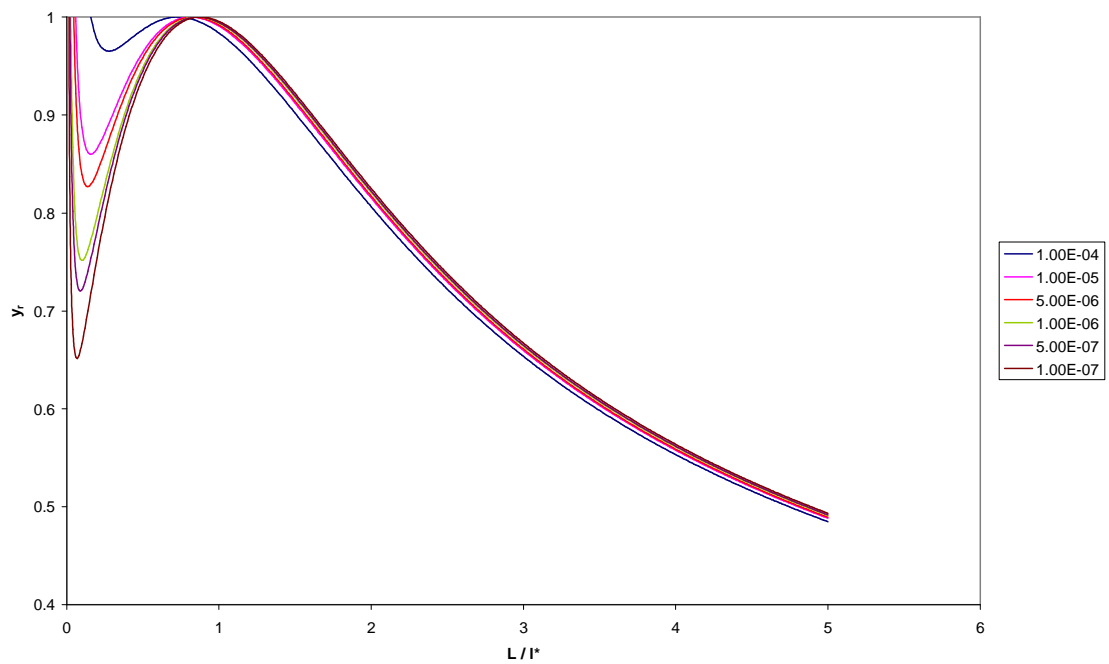


Figura 5.32. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

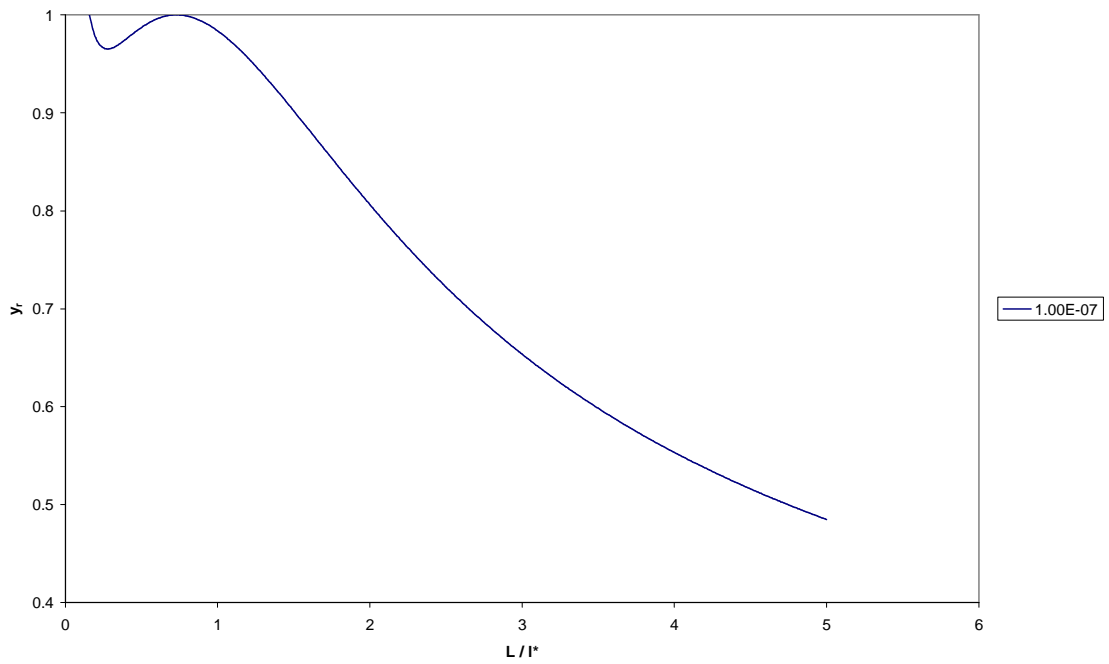


Figura 5.33. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

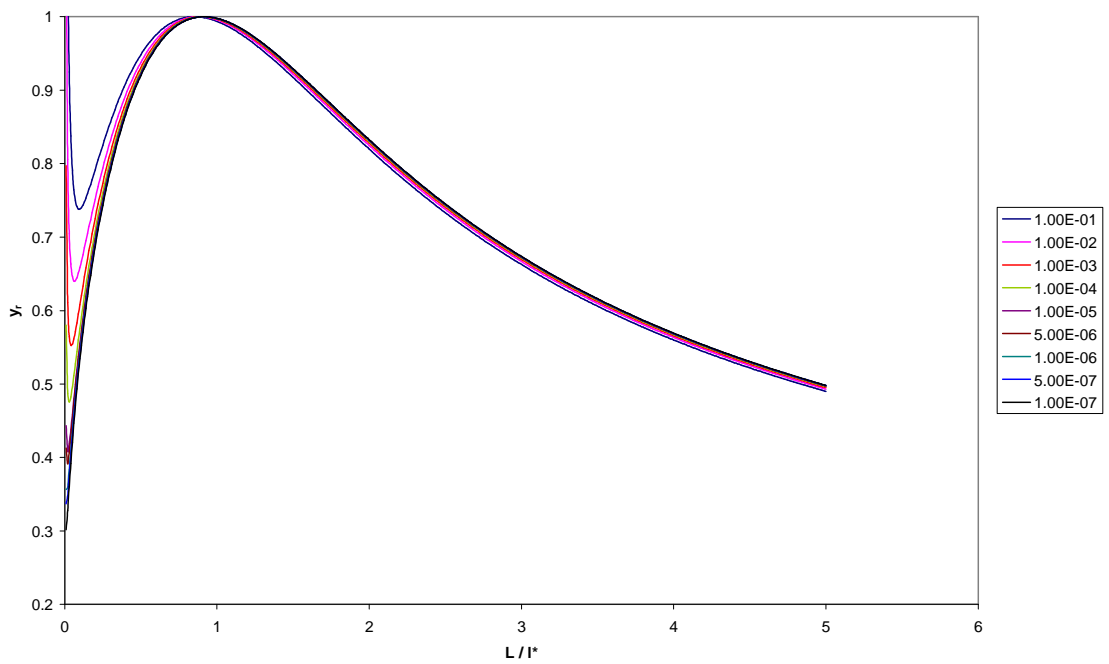


Figura 5.34. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

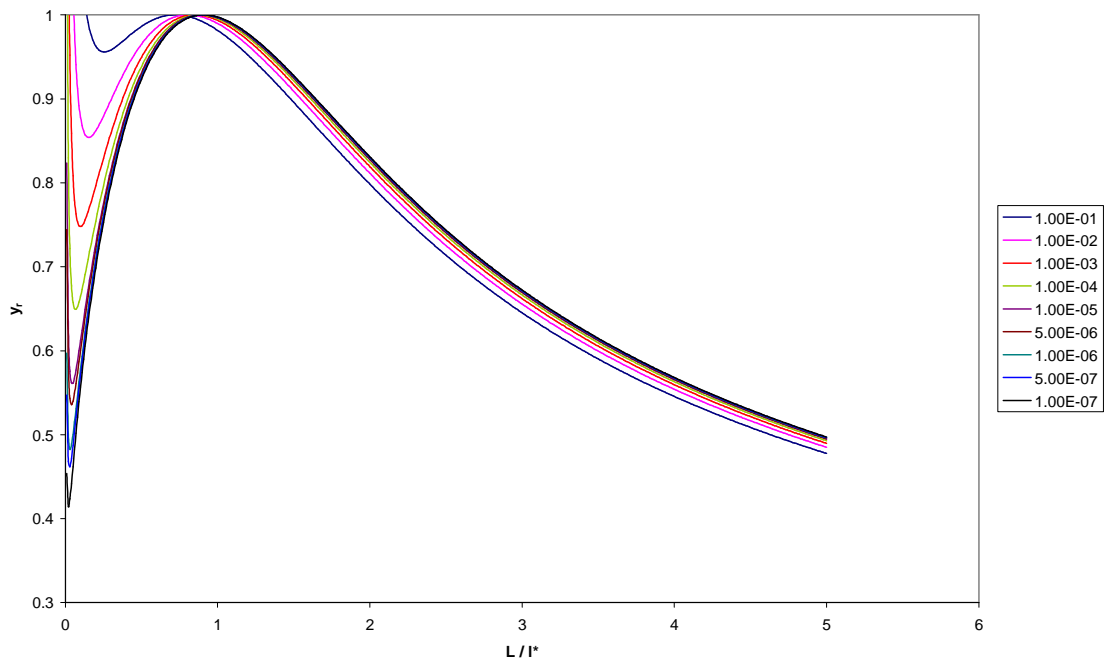


Figura 5.35. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

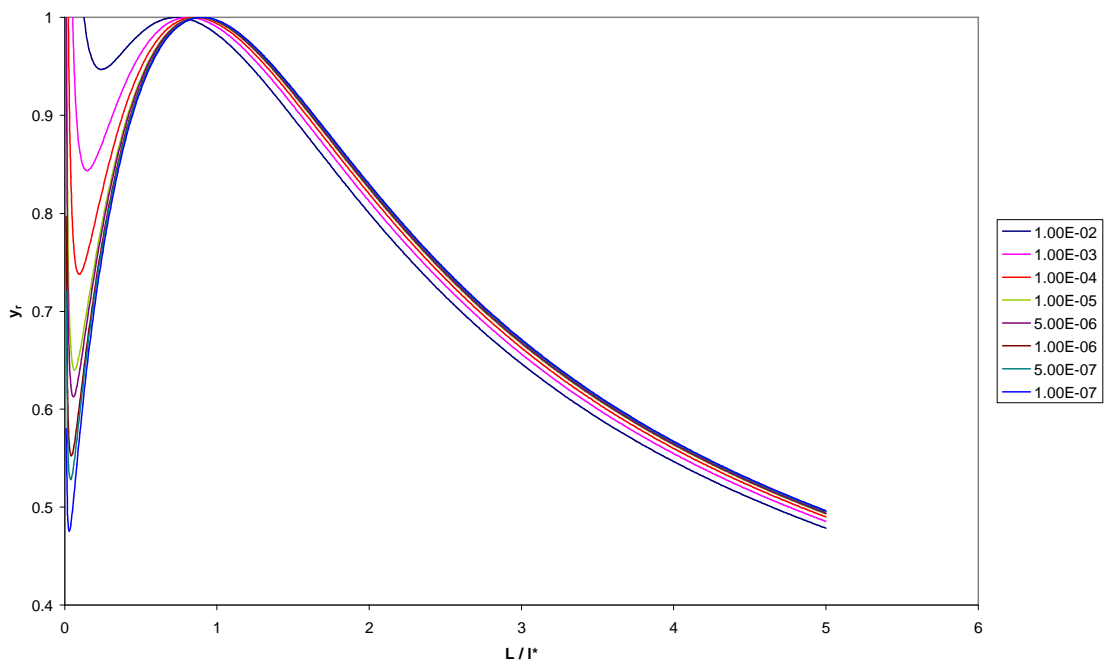


Figura 5.36. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

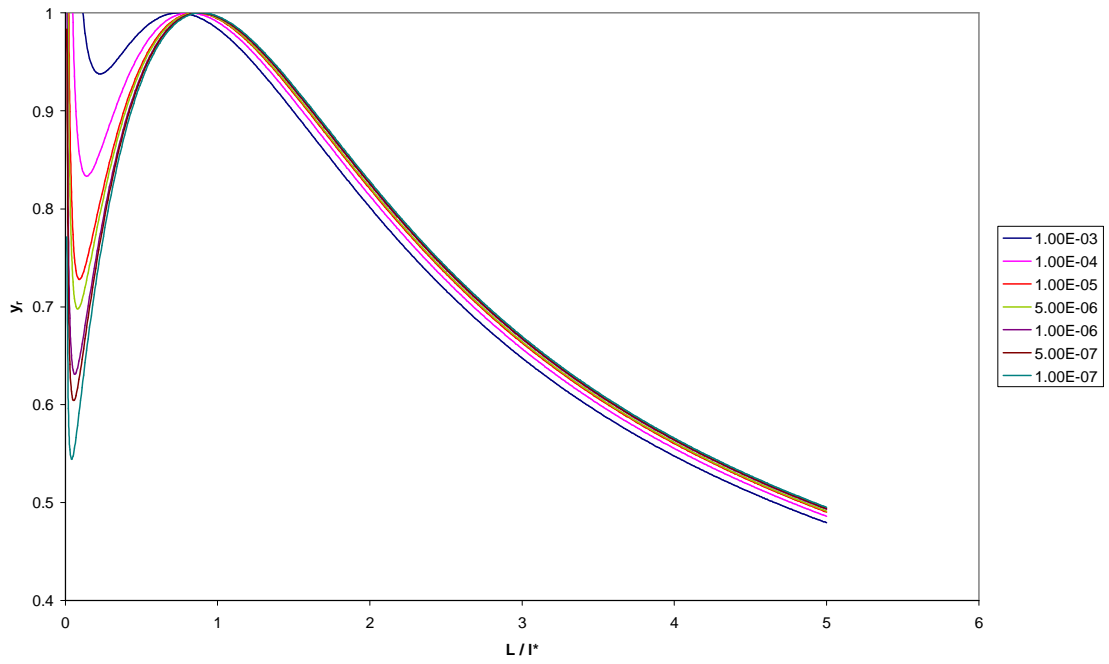


Figura 5.37. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

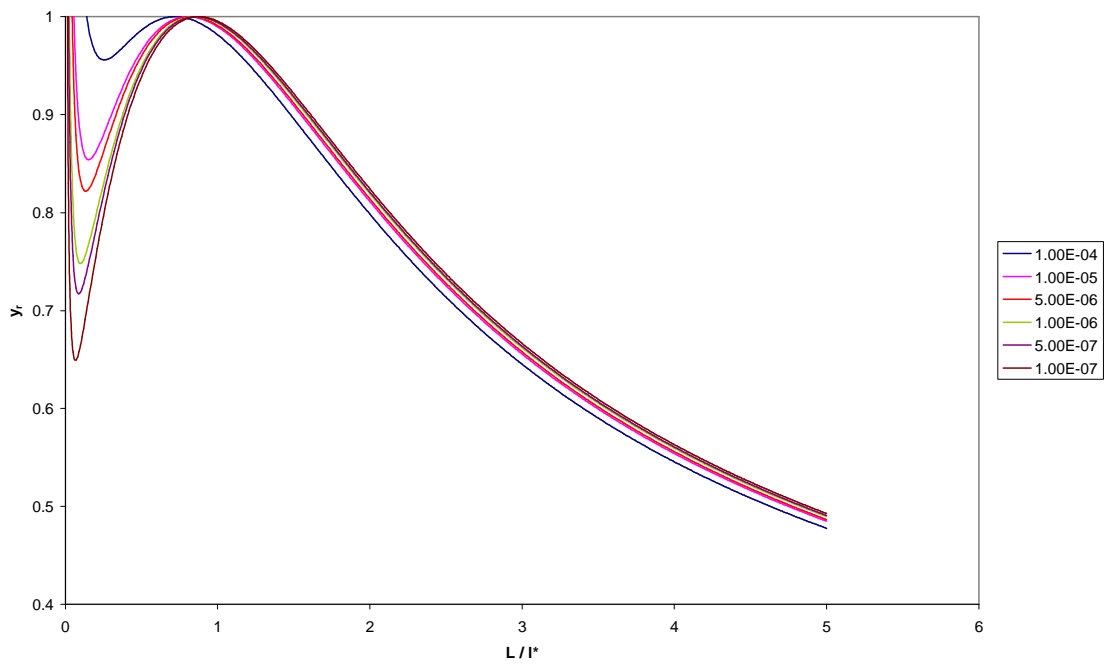


Figura 5.38. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

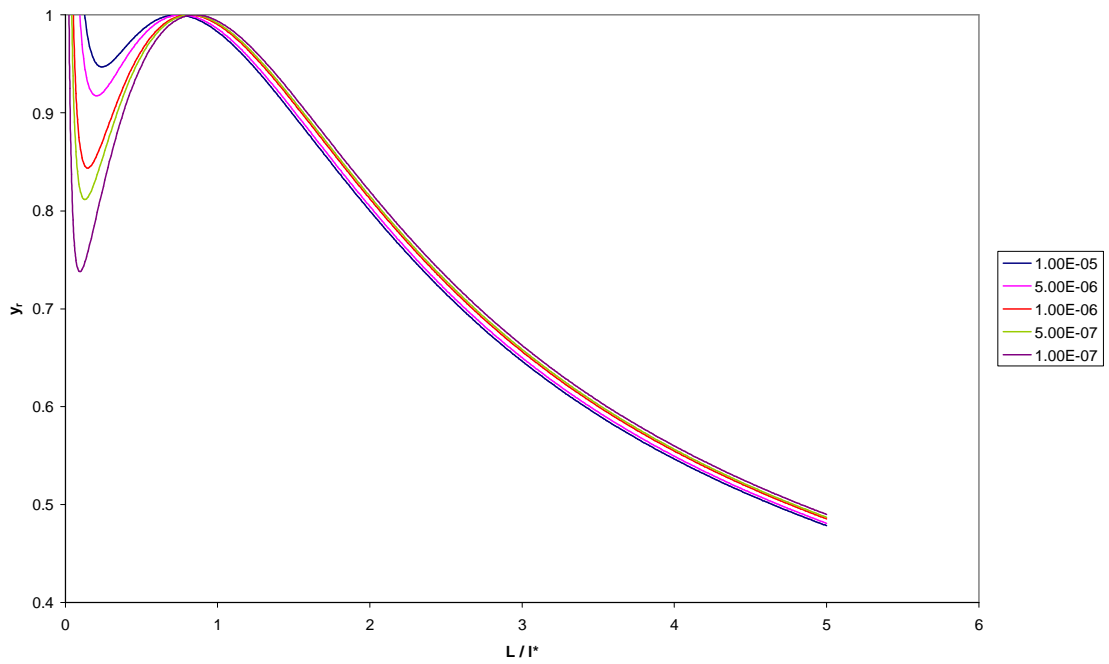


Figura 5.39. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

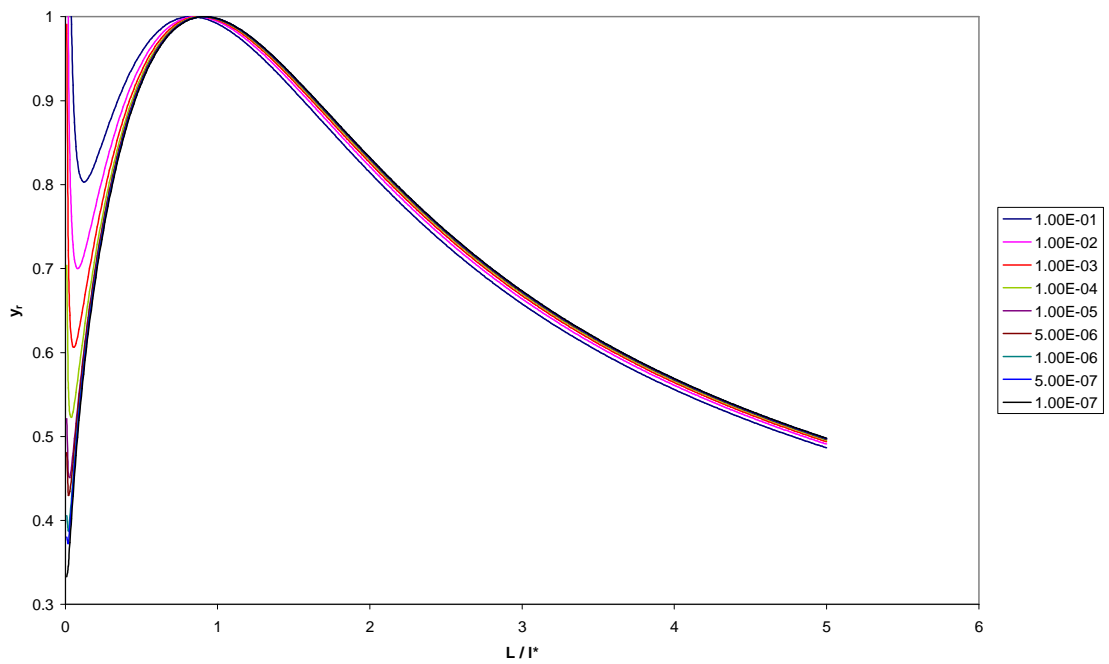


Figura 5.40. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

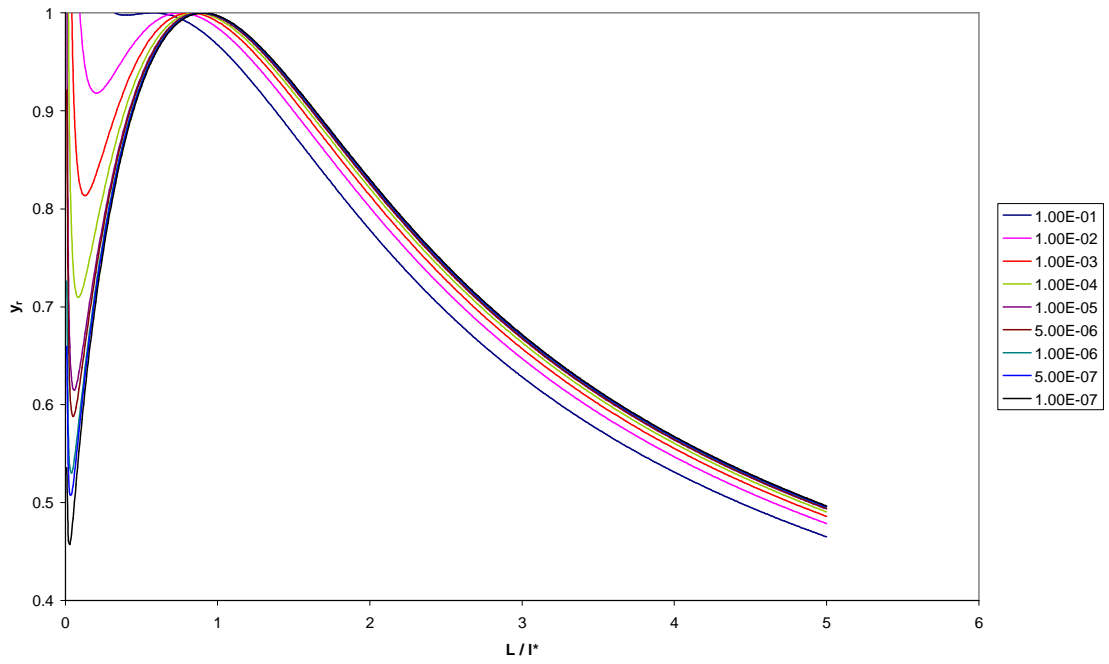


Figura 5.41. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

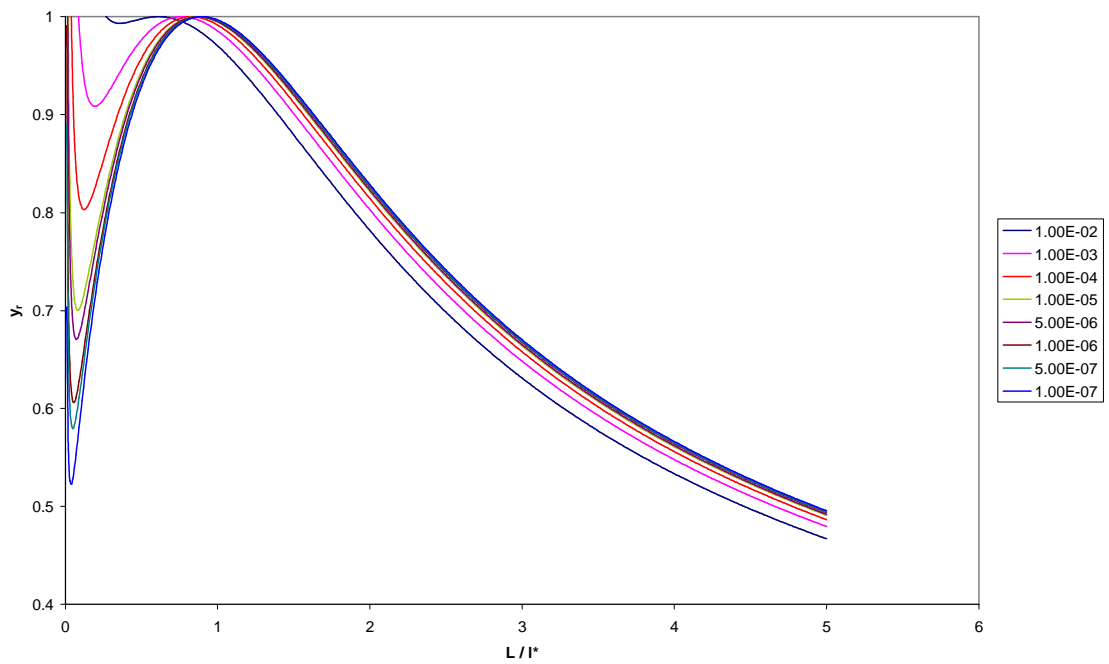


Figura 5.42. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

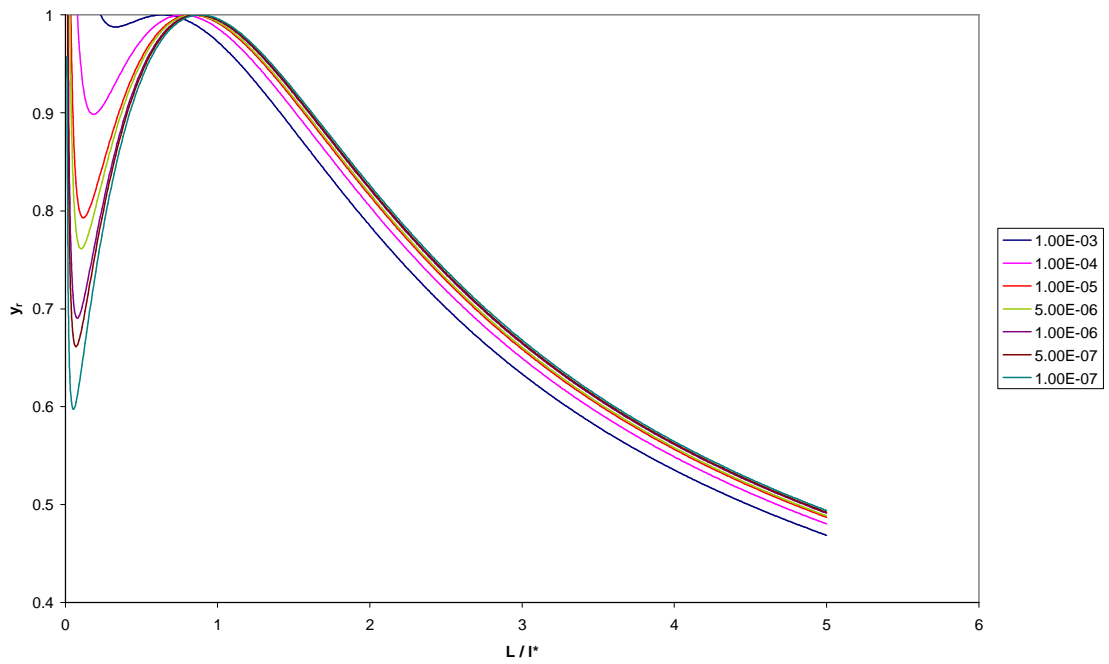


Figura 5.43. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

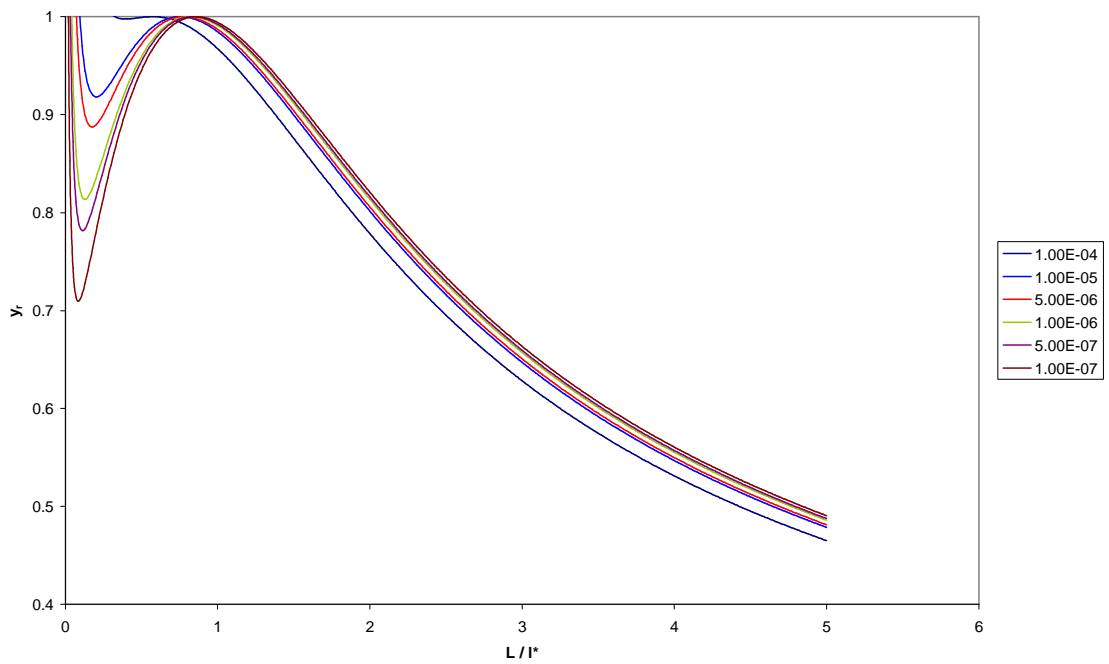


Figura 5.44. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

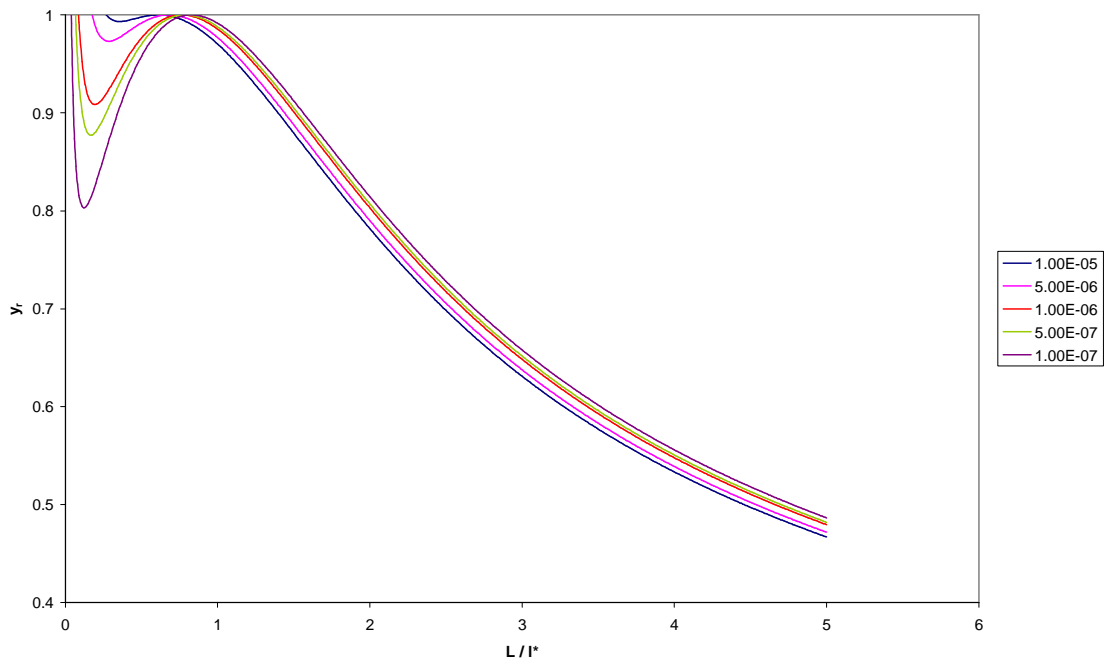


Figura 5.45. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

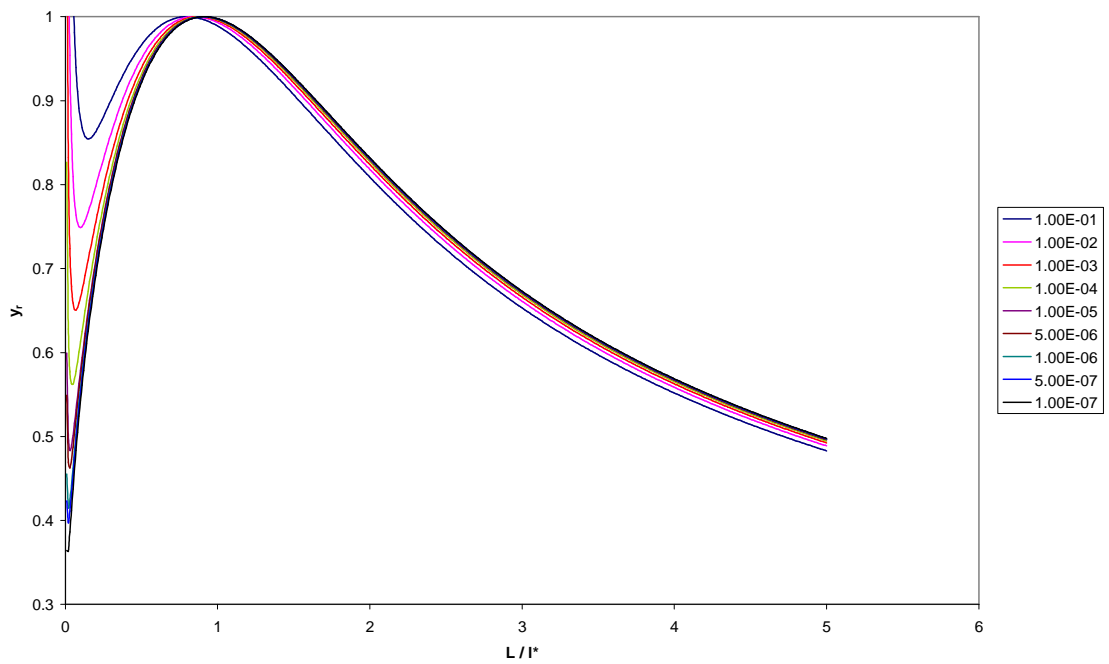


Figura 5.46. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

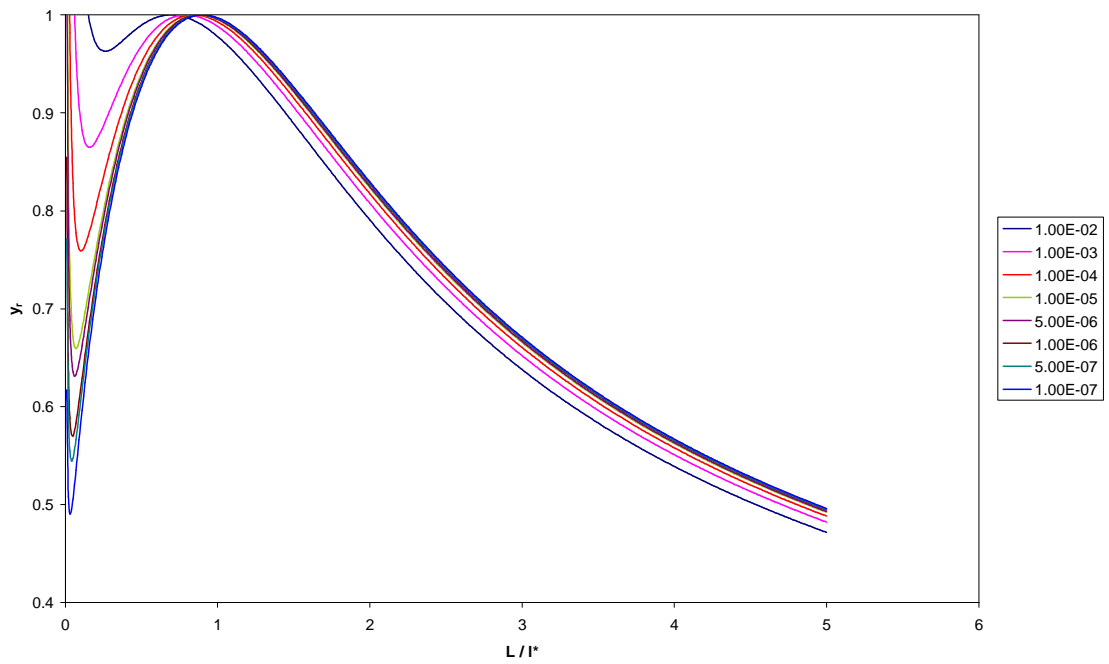


Figura 5.47. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

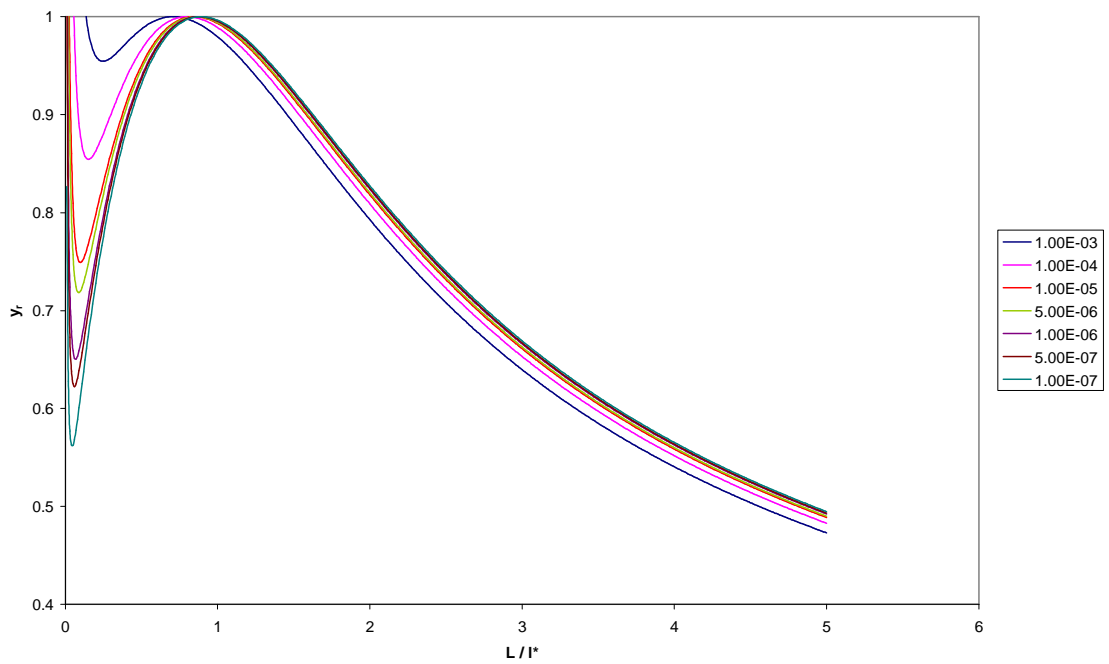


Figura 5.48. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

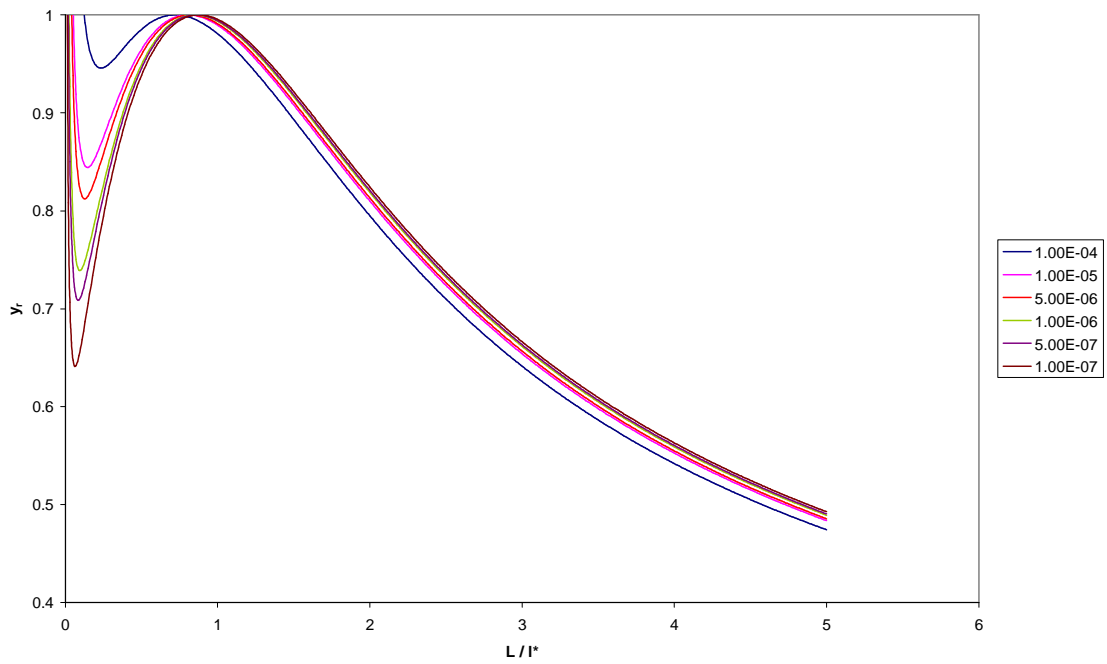


Figura 5.49. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

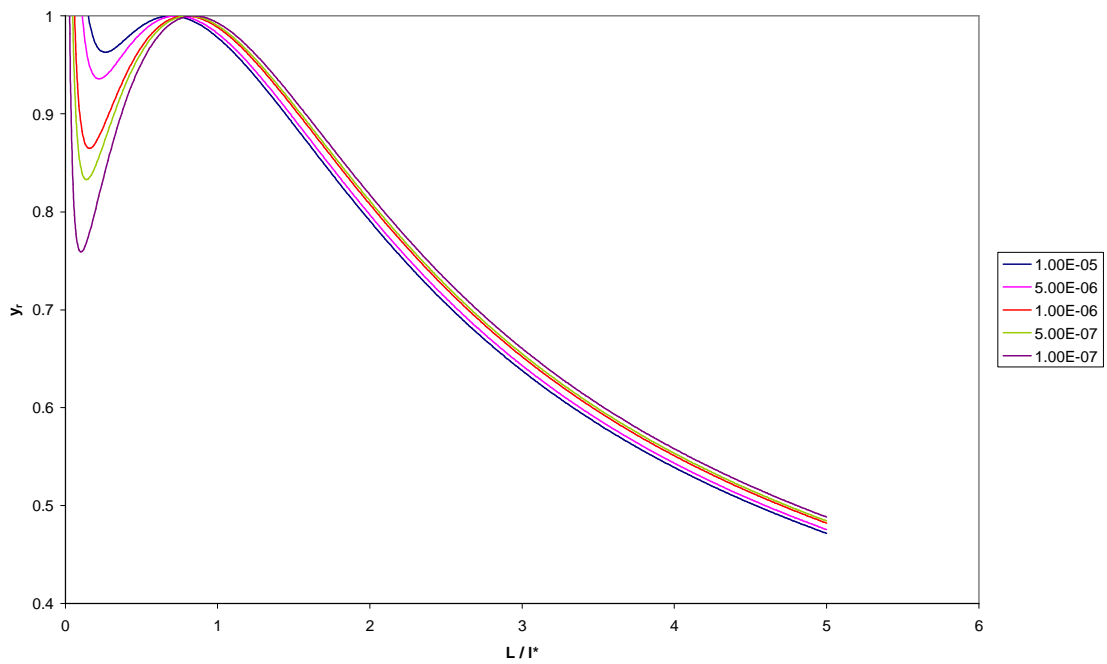


Figura 5.50. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

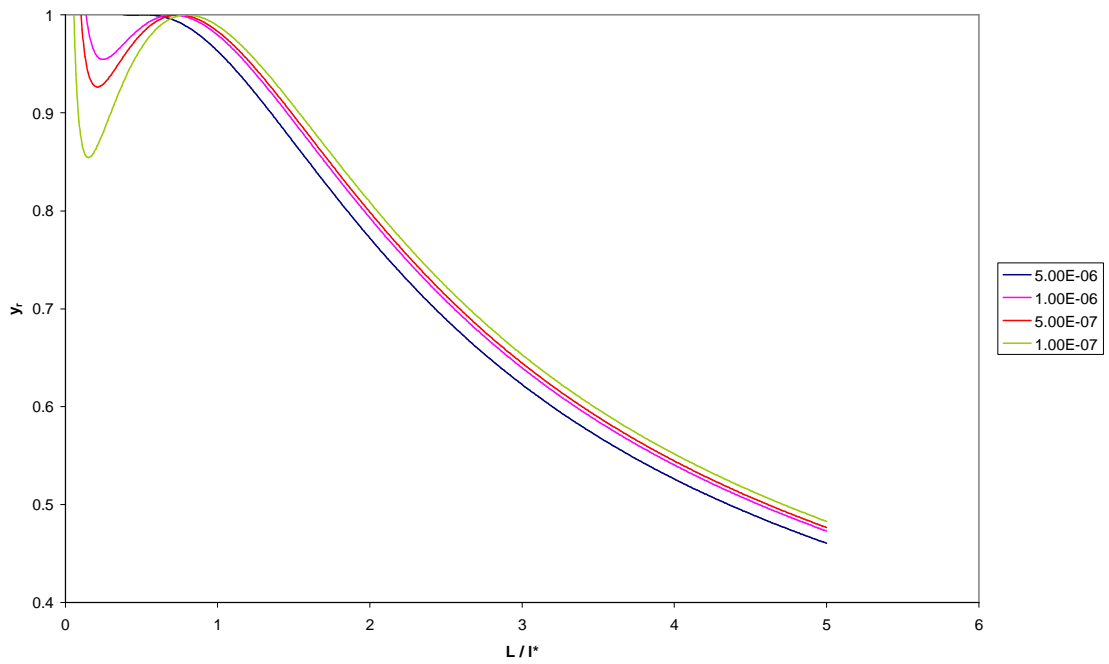


Figura 5.51. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

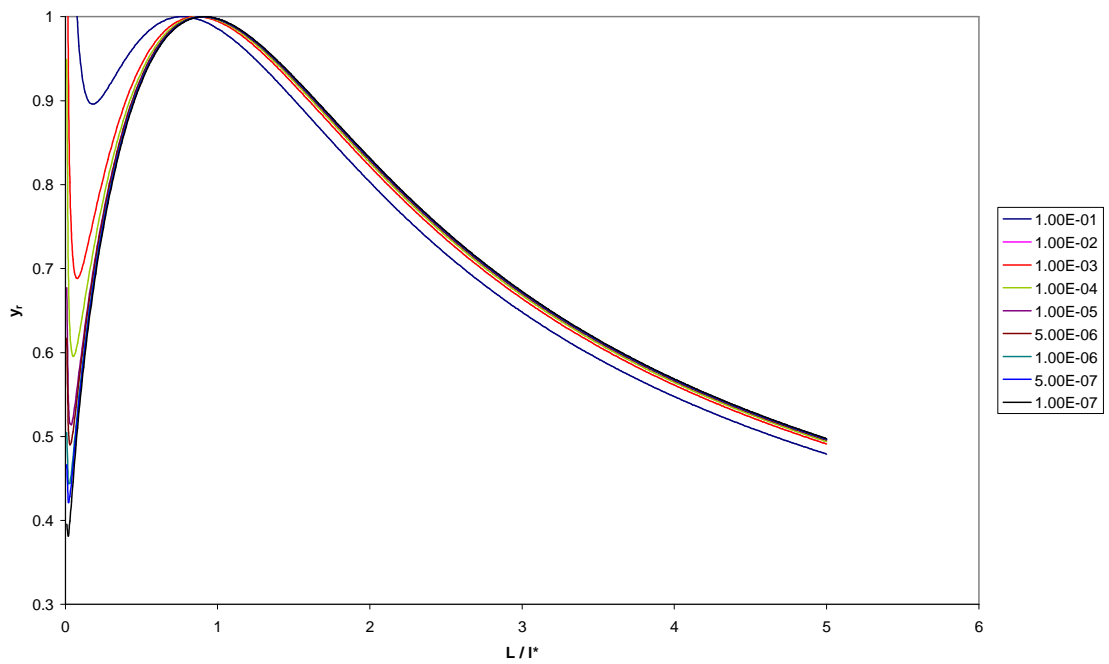


Figura 5.52. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

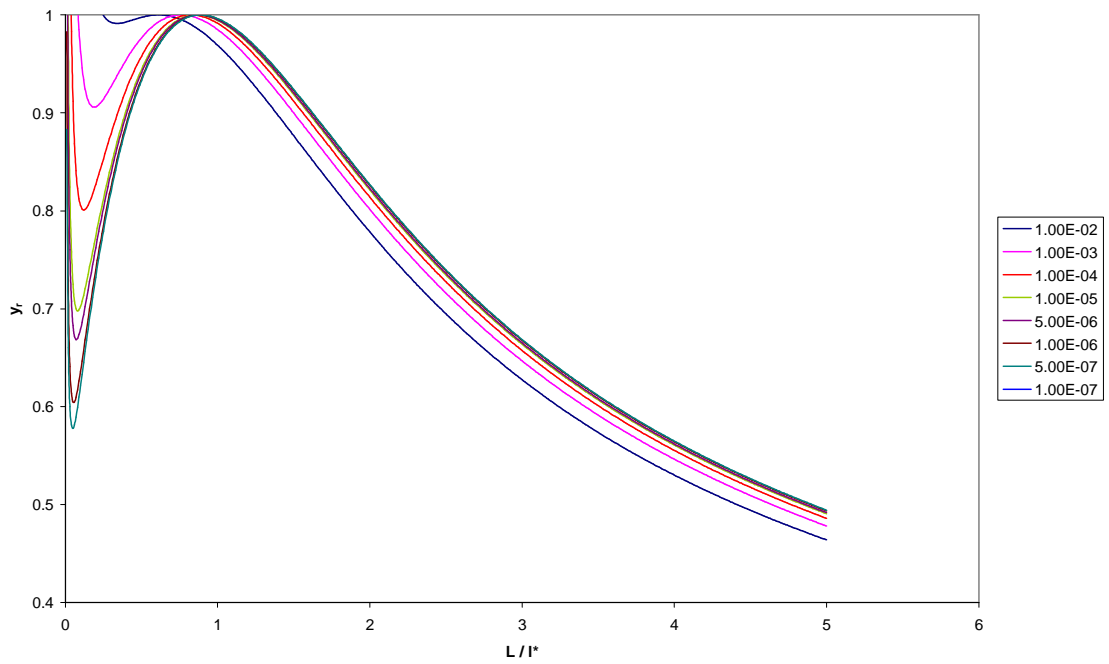


Figura 5.53. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

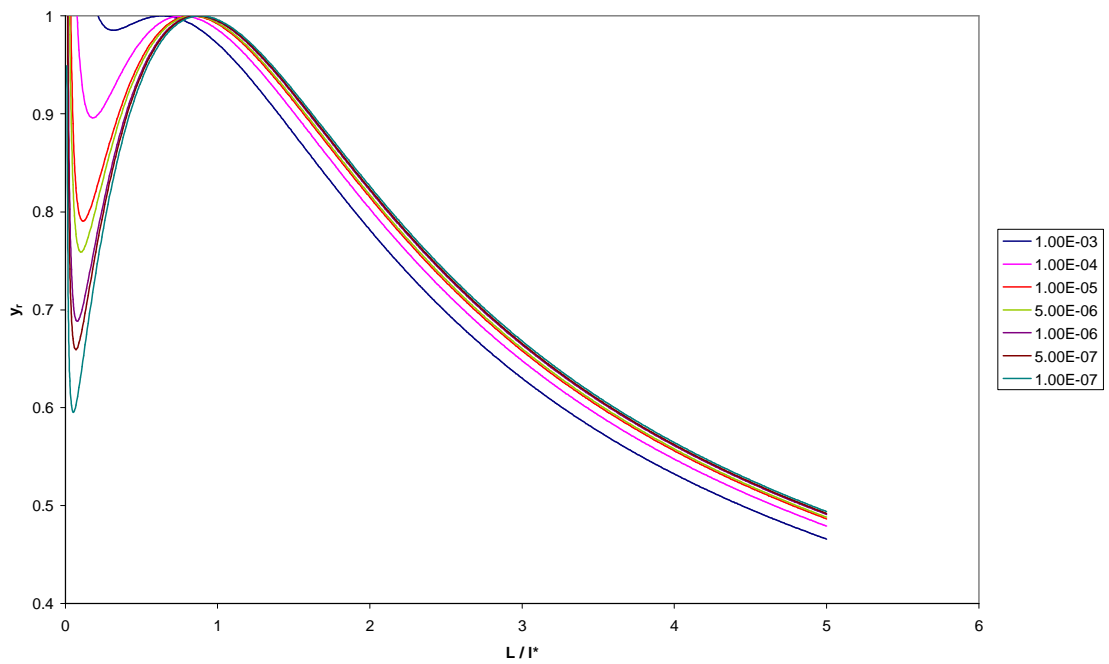


Figura 5.54. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

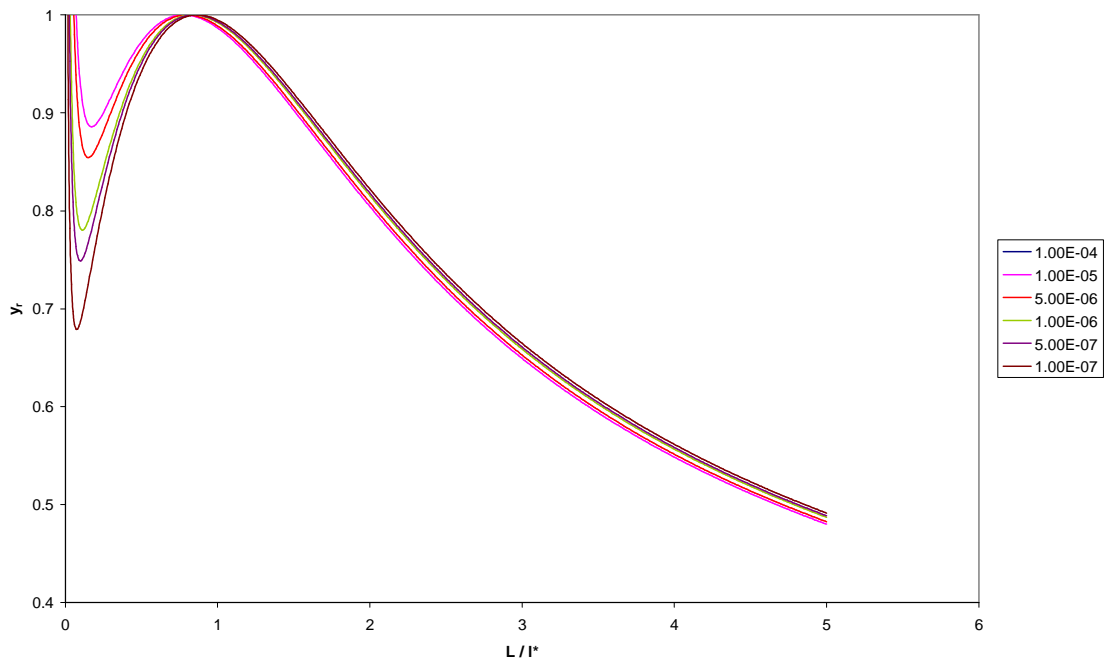


Figura 5.55. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

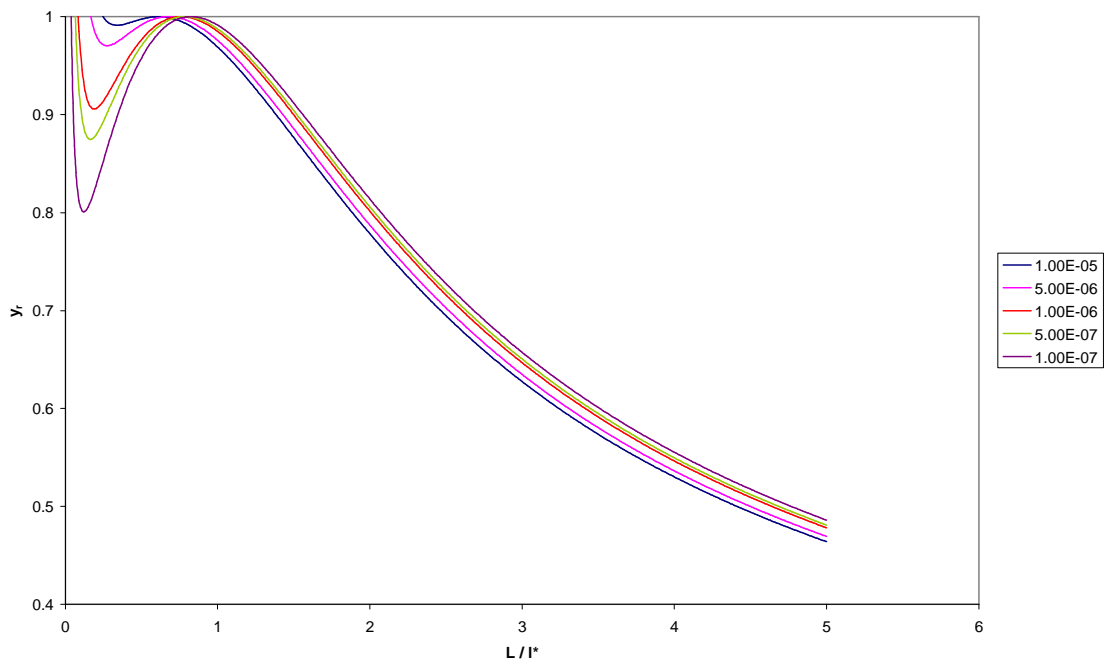


Figura 5.56. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

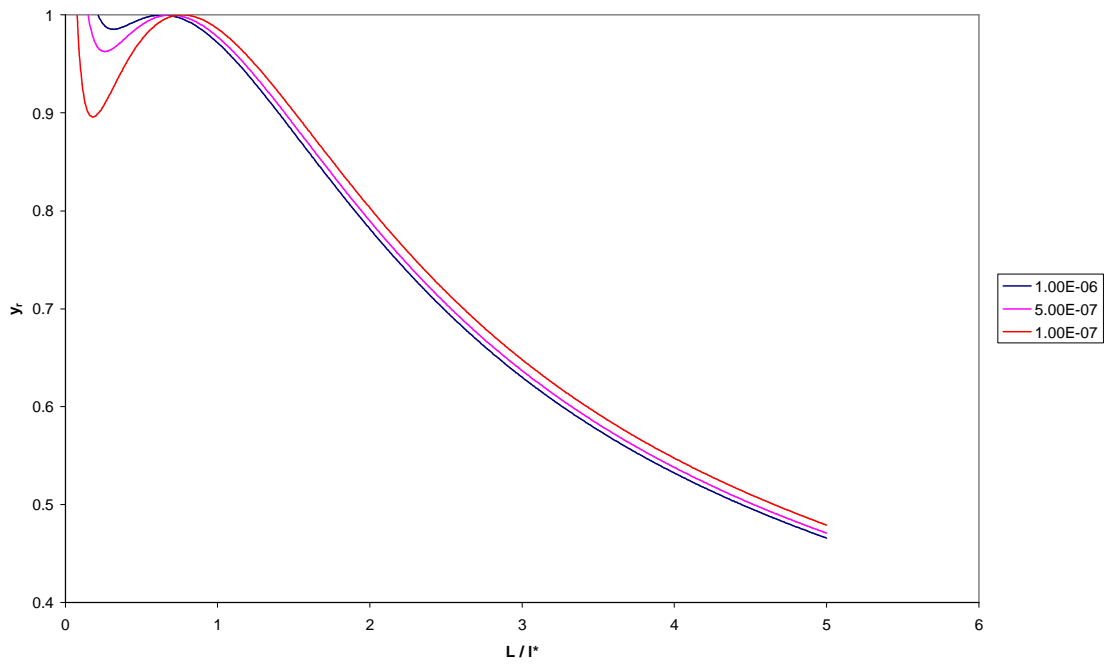


Figura 5.57. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

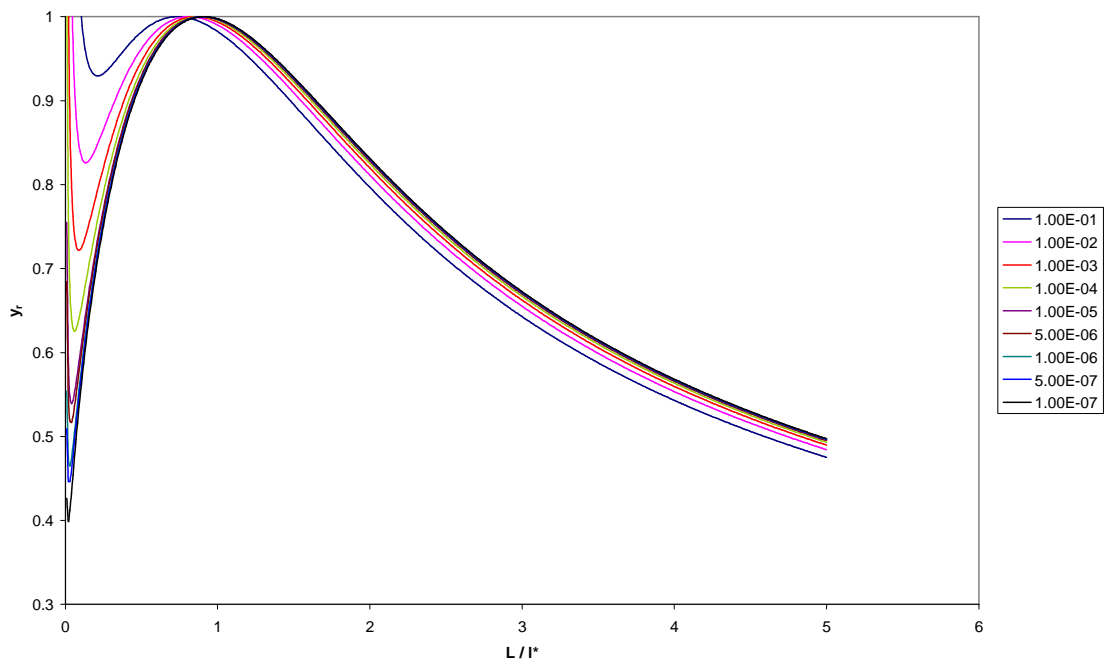


Figura 5.58. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

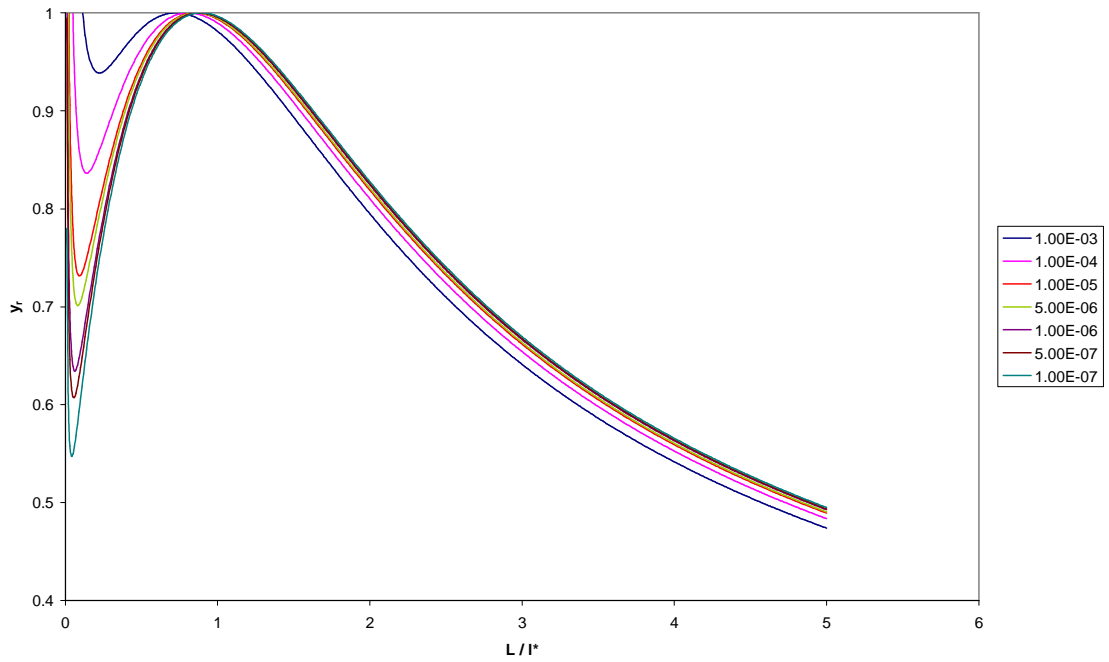


Figura 5.59. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

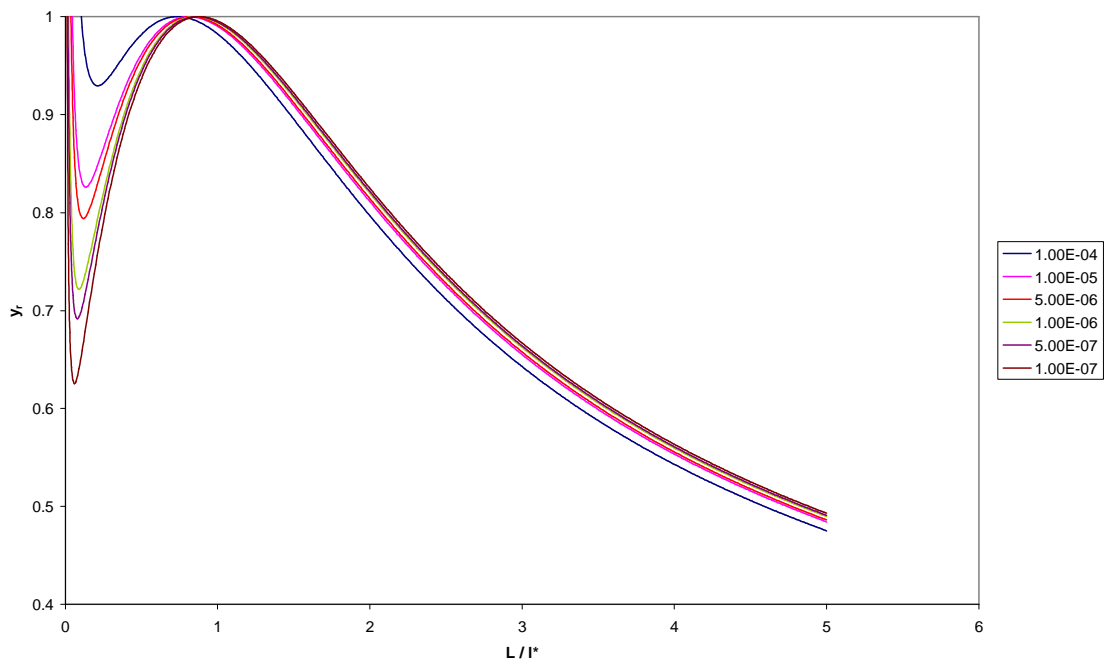


Figura 5.60. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

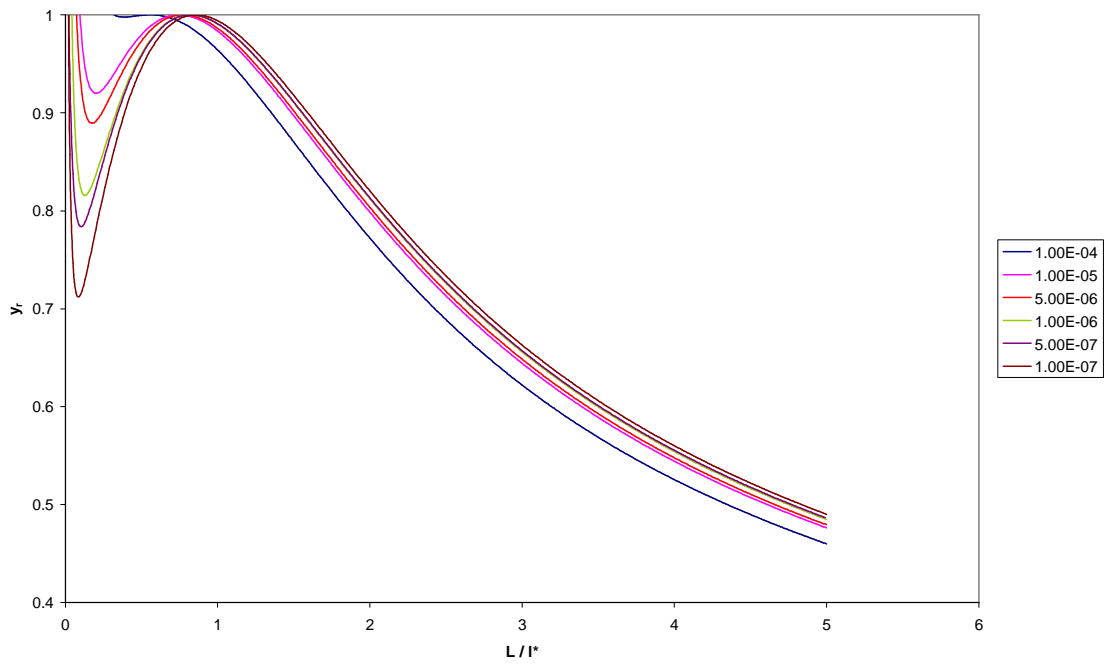


Figura 5.61. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

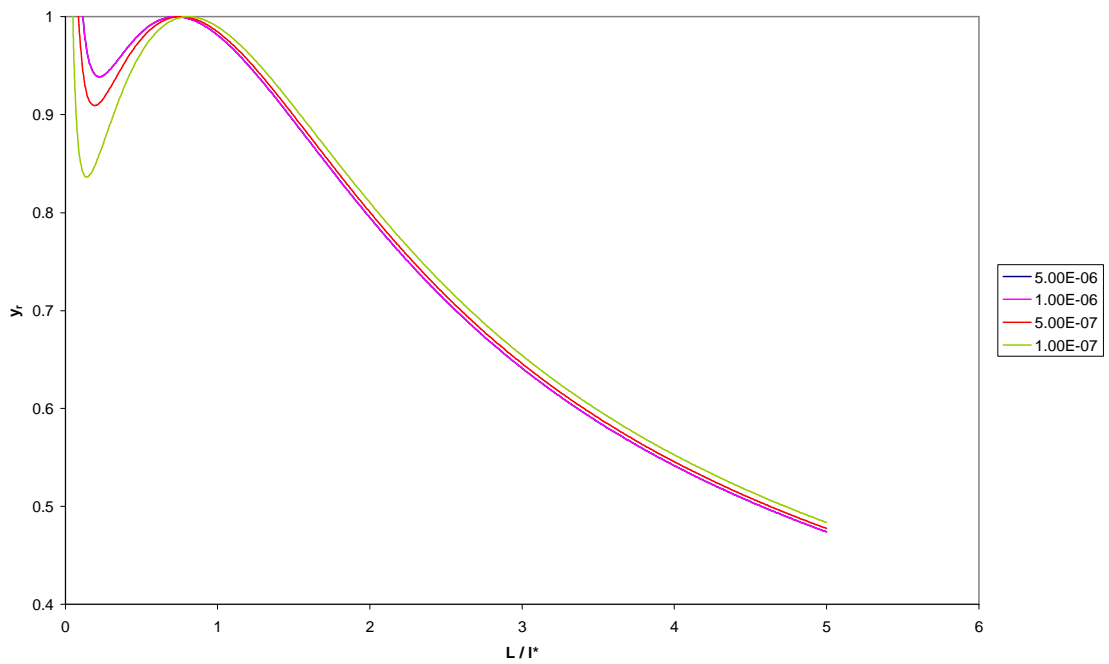


Figura 5.62. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

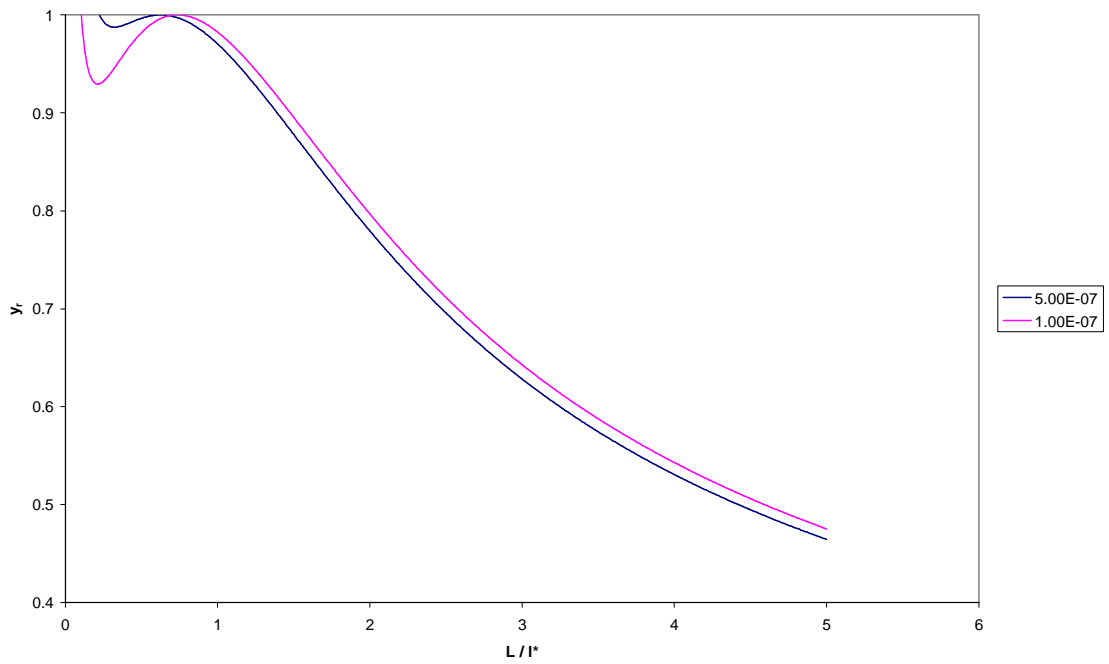


Figura 5.63. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

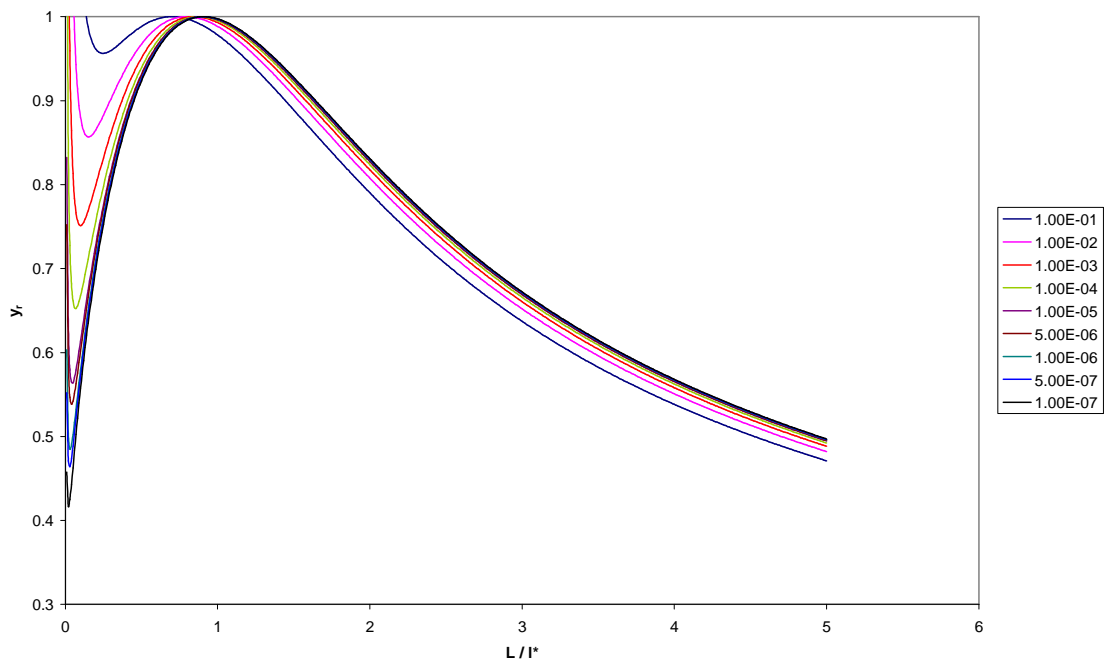


Figura 5.64. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

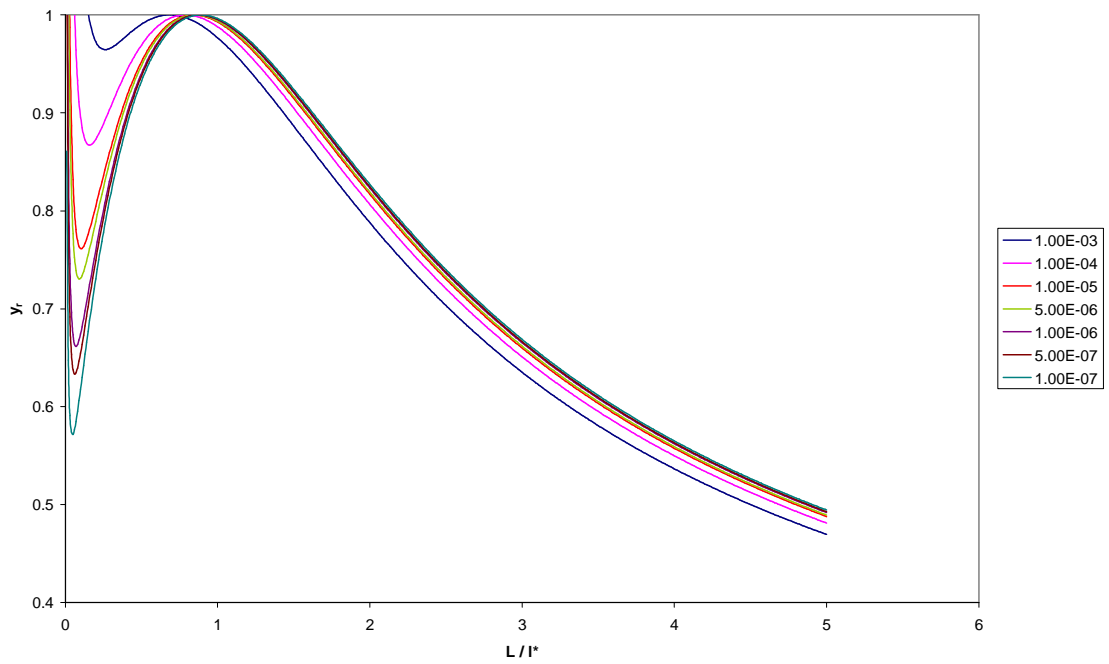


Figura 5.65. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

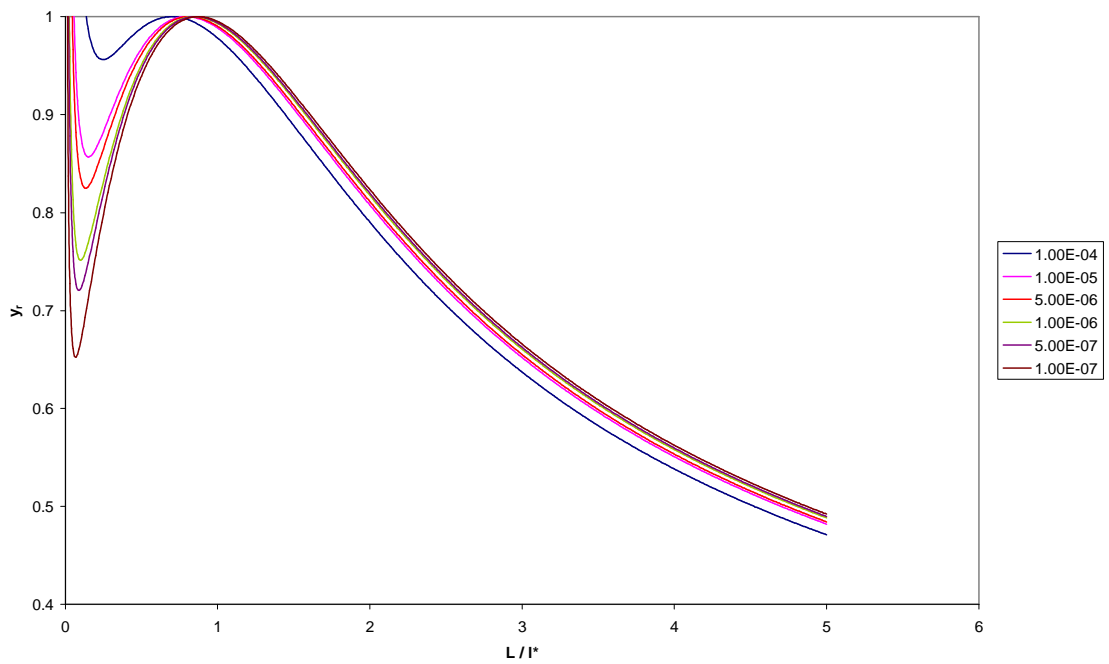


Figura 5.66. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

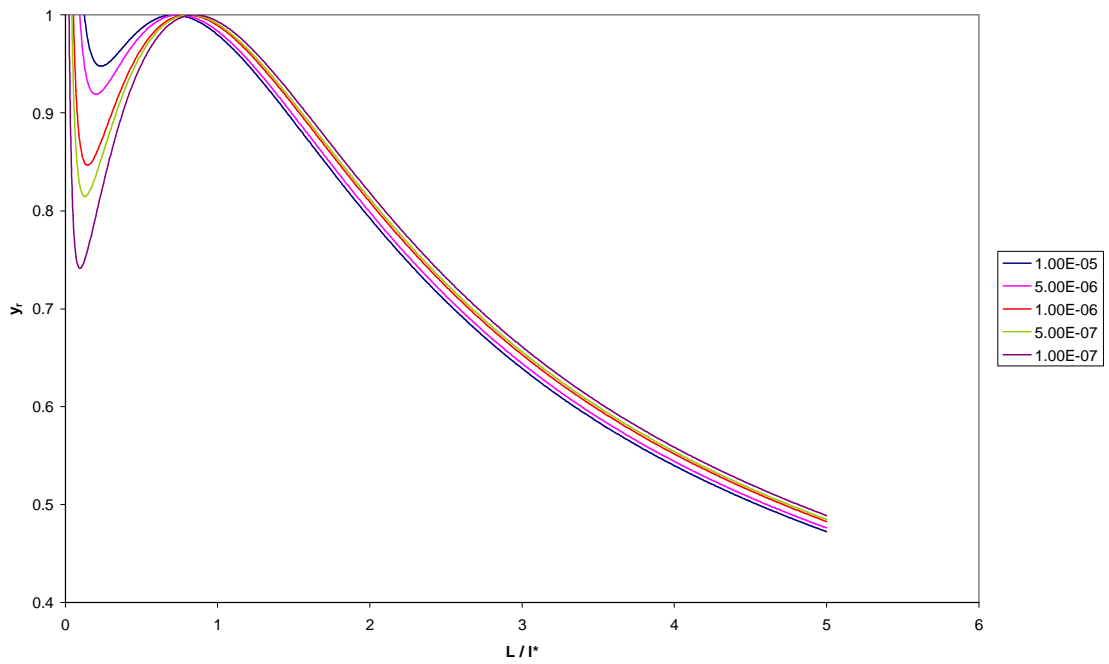


Figura 5.67. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

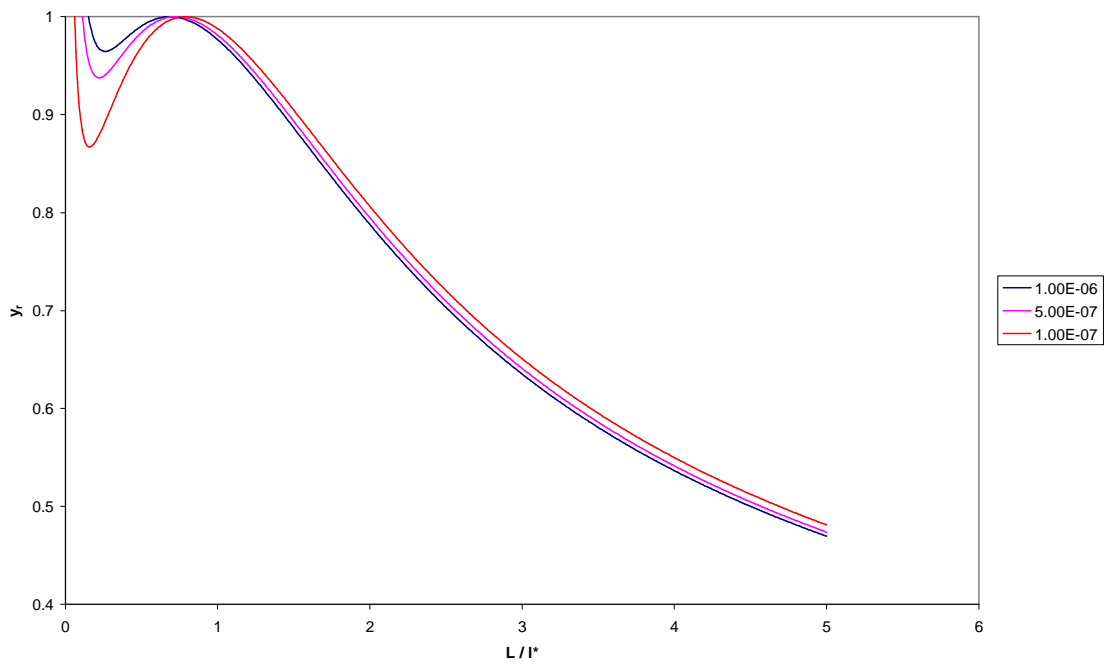


Figura 5.68. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

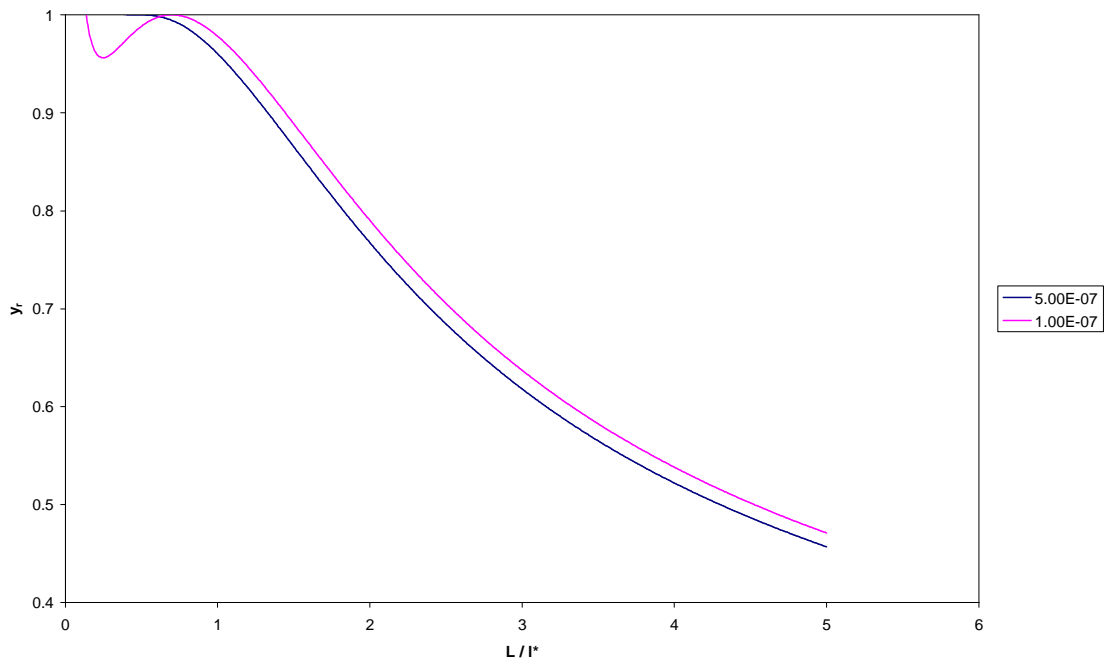


Figura 5.69. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

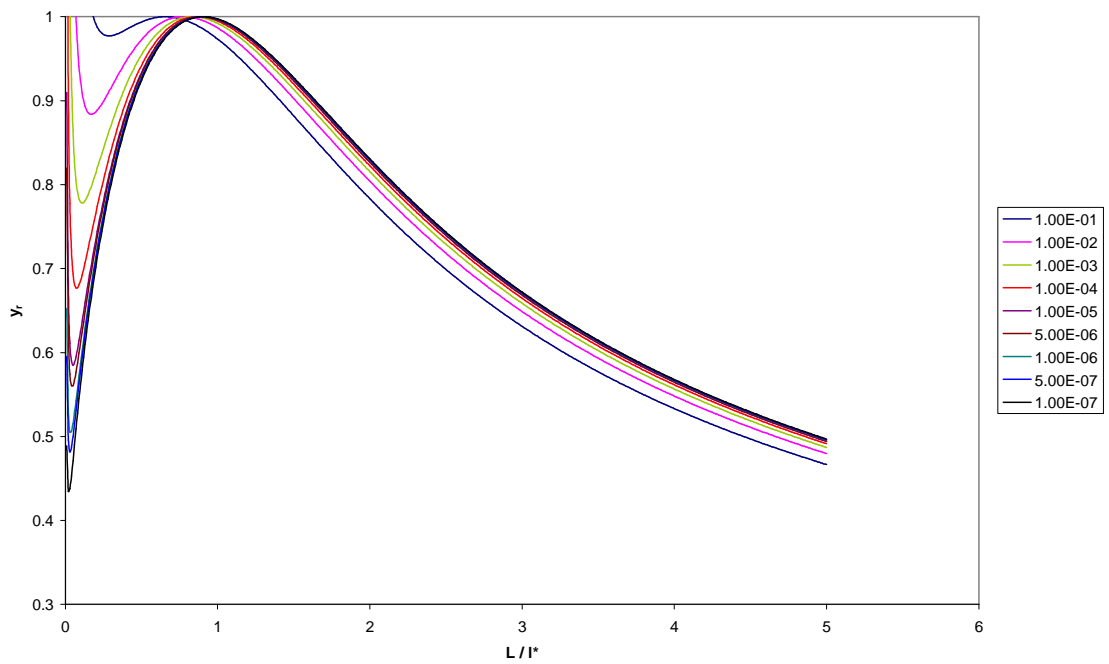


Figura 5.70. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

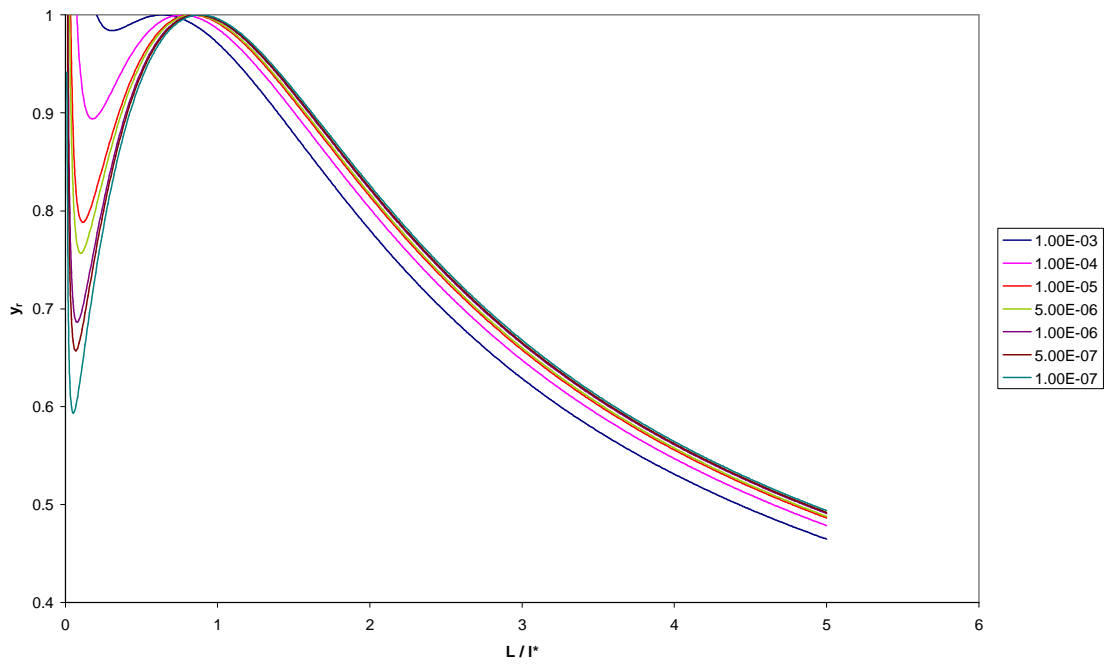


Figura 5.71. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

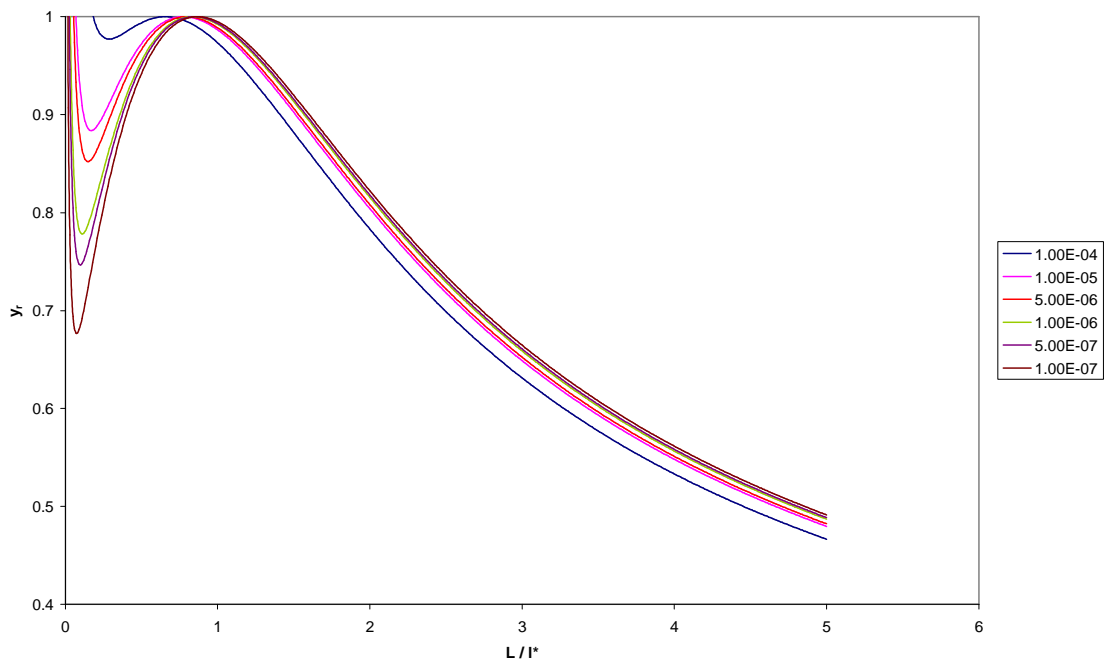


Figura 5.72. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

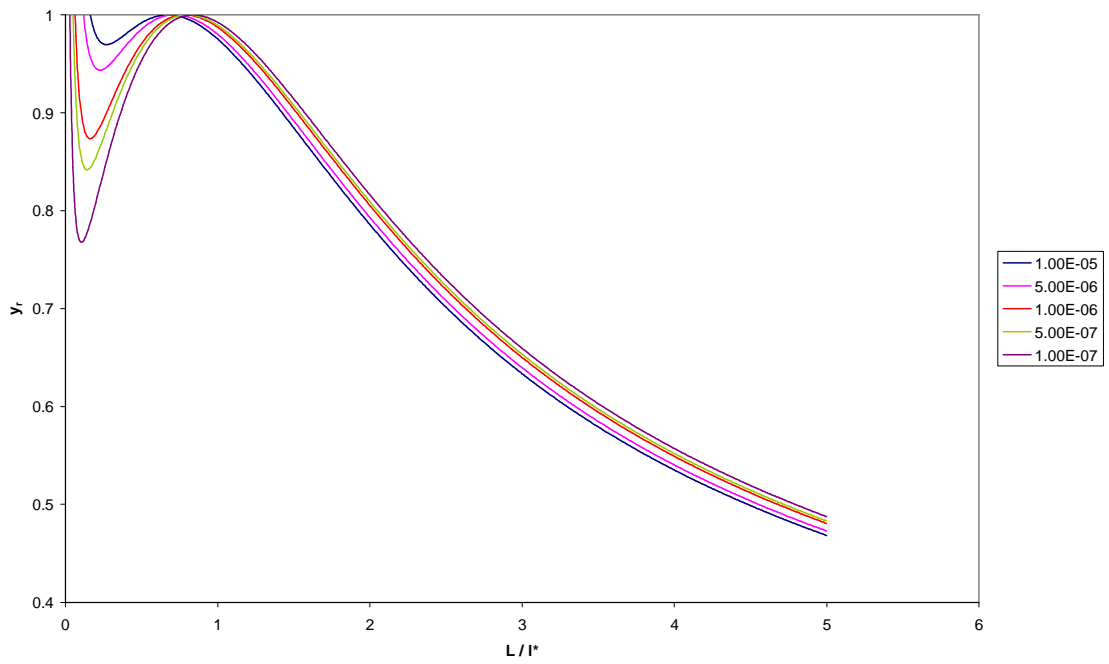


Figura 5.73. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

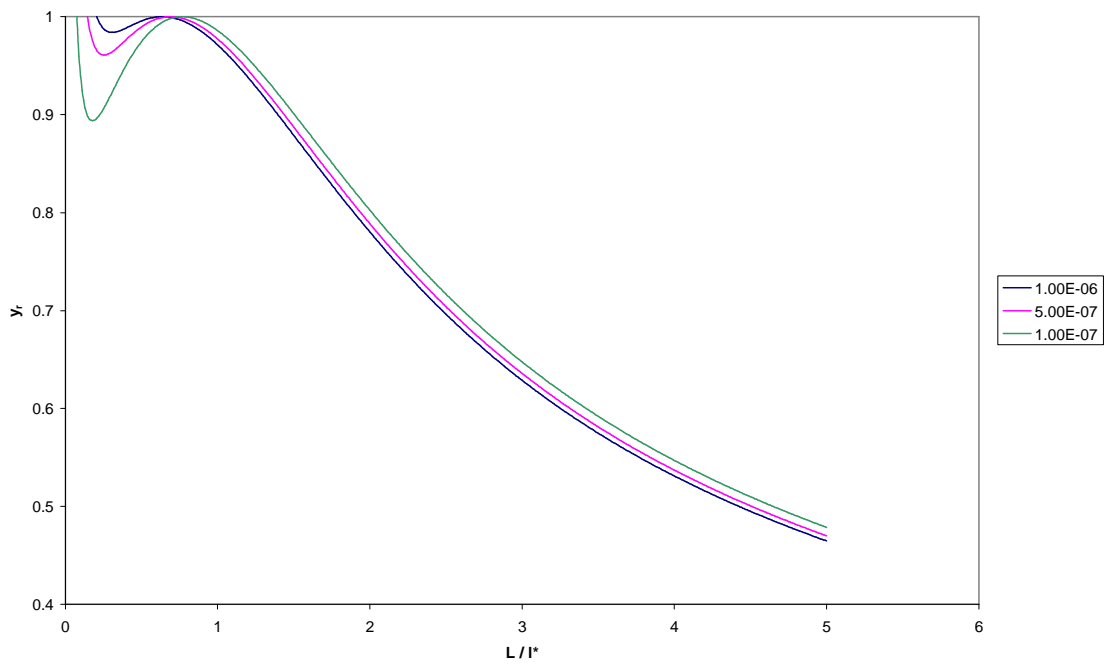


Figura 5.74. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

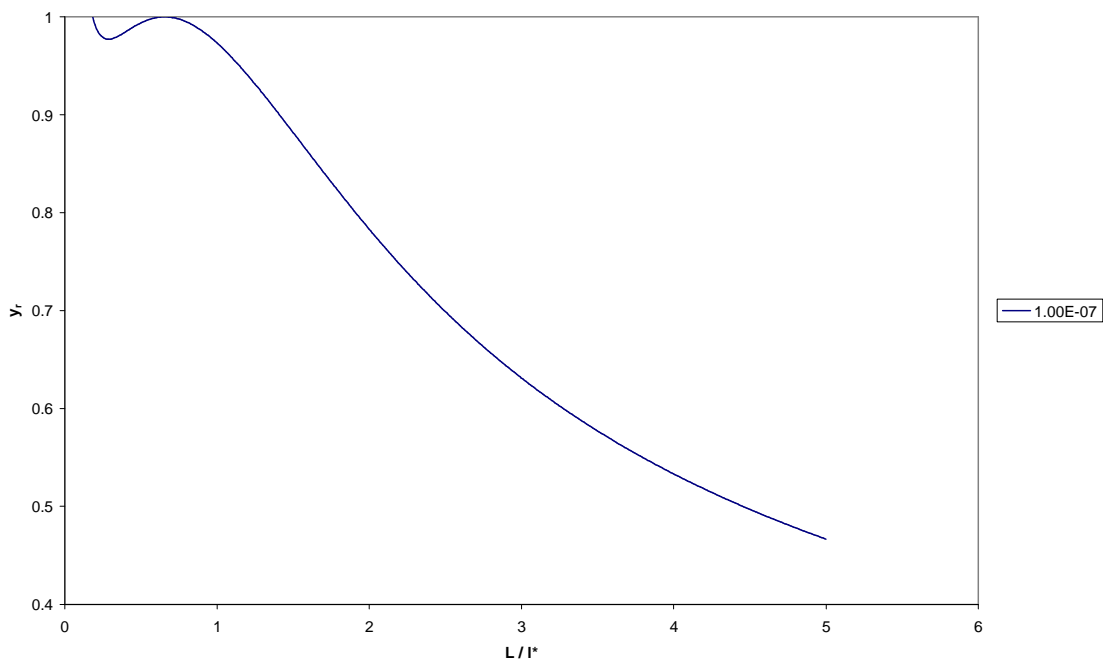


Figura 5.75. ATIR en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

Con la utilización de un paso fino en la zona donde se localizan los máximos de cada curva, determinaremos el punto exacto para el cuál se alcanza el funcionamiento óptimo de la aleta para un volumen constante, que representaremos más adelante en gráficas de $L_{\text{óptima}} / l^*$ frente a volumen de la aleta. Como ejemplo presentamos la posición exacta de los puntos óptimos para una relación $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$:

Volumen	1.00E-07		5.00E-07		1.00E-06		5.00E-06	
Relación	z	Qmax	z	Qmax	z	Qmax	z	Qmax
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 0.1$	0.9108	0.035088845	0.9076	0.092245884	0.9059	0.139887482	0.9007	0.367949396
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 0.5$	0.8969	0.025531156	0.8882	0.067219071	0.8835	0.102017067	0.8694	0.268972248
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 1$	0.8851	0.02229858	0.8717	0.058781277	0.8643	0.089271486	0.8421	0.235840663
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 2$	0.8668	0.019508237	0.8457	0.051524144	0.8339	0.078332335	0.7976	0.207602754
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 5$	0.8252	0.016417429	0.7845	0.04355111	0.7605	0.066377558	0.6763	0.177413344
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 10$	0.7688	0.014487631	0.6917	0.038681578	0.6366	0.059215758		
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 100$								

1.00E-05		1.00E-04		1.00E-03		1.00E-02	
z	Qmax	z	Qmax	z	Qmax	z	Qmax
0.8979	0.558142364	0.8851	2.229857922	0.8643	8.927148819	0.8297	35.86013031
0.8616	0.408527195	0.8252	1.641742826	0.7605	6.637755394	0.6121	27.18322372
0.8297	0.358601272	0.7688	1.448763013	0.6366	5.921576023		
0.7765	0.316239655	0.657	1.290392756				
0.6119	0.271832228						



1.00E-01	
z	Qmax
0.7688	144.8763123

Del análisis de estas curvas se extrae que la posición del punto óptimo varía en función del volumen de la aleta, desplazándose conforme aumenta el volumen cada vez más hacia relaciones de L/l^* más pequeñas, debido claramente a que conforme aumenta el volumen tendremos mayor superficie disipadora.

Otro resultado que podemos ver es que existe un volumen para el cual deja de existir un punto máximo en la curva de ATIR y aparece un punto de inflexión. Este volumen límite va siendo cada vez menor conforme aumenta h_{ce}/h_{cf} . Si analizamos la localización de este volumen límite en función del h_{cf}/k , aparece una dependencia de disminución del volumen límite conforme aumenta este cociente. Nos proponemos encontrar ese volumen límite en las siguientes simulaciones. Para valores por encima de este volumen límite no existe una longitud óptima, ya que no aparecería ningún máximo relativo en la curva de ATIR.

Para encontrar el volumen límite vamos realizando simulaciones variando el volumen para cada una de las relaciones h_{ce}/h_{cf} y h_{cf}/k hasta encontrar el volumen exacto para el cual desaparece el máximo relativo. Por cuestiones prácticas, no se ha realizado la búsqueda del volumen máximo para aquellos casos en los cuales éste resultaría ser mayor de 10^{-1} m^3 , ya que este volumen resulta ser demasiado grande para resultar su construcción válida en la industria actual.

Por ejemplo, para el caso $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$, construimos una tabla del tipo

Puntos límite			
Relación	z	Q	Vol
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 0.1$			
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 0.5$	0.4781	37.80109024	1.70E-02
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 1$	0.4781	9.45027256	2.13E-03
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 2$	0.4783	2.362428188	2.66E-04
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 5$	0.4782	0.378010899	1.70E-05
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 10$	0.4782	0.094502725	2.13E-06
$h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ $h_{cf}/k = 100$			



Conocidos los puntos óptimos para cada volumen y relación, junto con los puntos límite para los cuales deja de existir una longitud óptima, buscamos construir gráficas que representen la localización de los puntos óptimos para las distintas relaciones h_{ce}/h_{cf} y h_{cf}/k . Para conseguir que las curvas obtenidas sean más exactas y por tanto que de ellas se puedan extrapolar datos útiles para diseños posteriores, hemos ampliado el rango de volúmenes, obteniendo así un mayor número de puntos para el trazado.

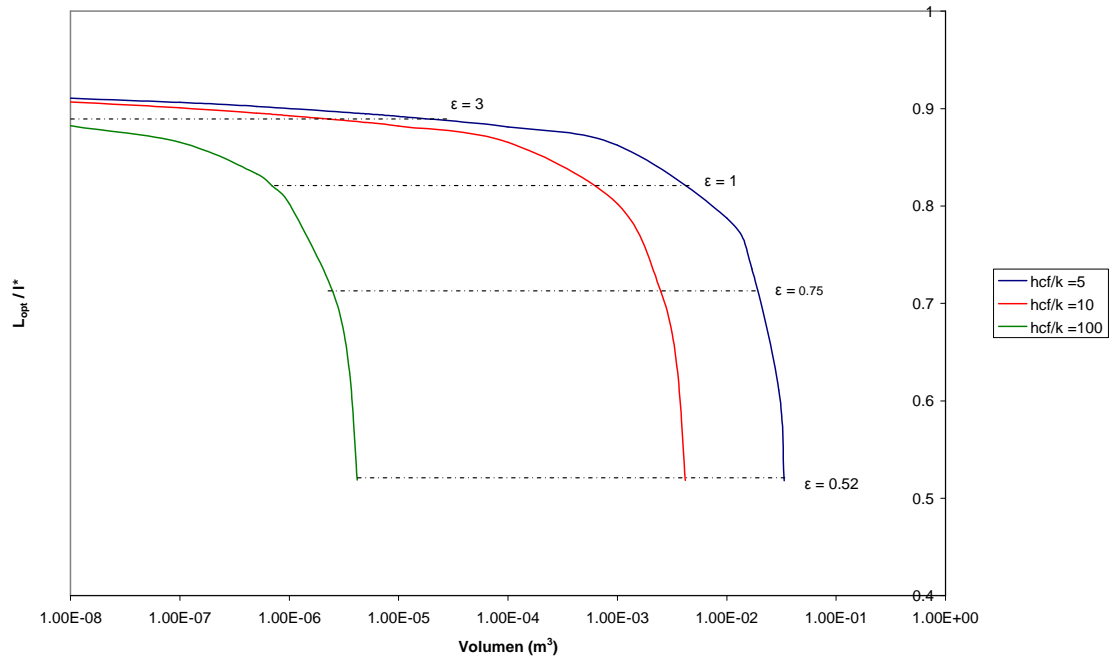


Figura 5.76 . L_{opt} / l^* en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf} / k

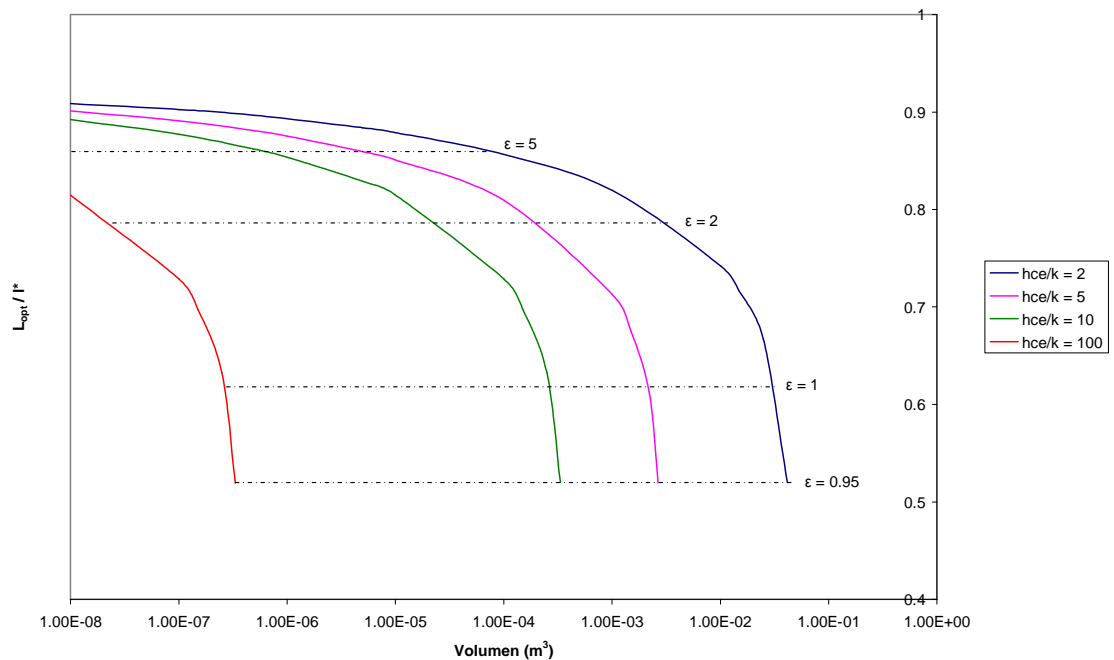


Figura 5.77 . L_{opt} / l^* en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf} / k

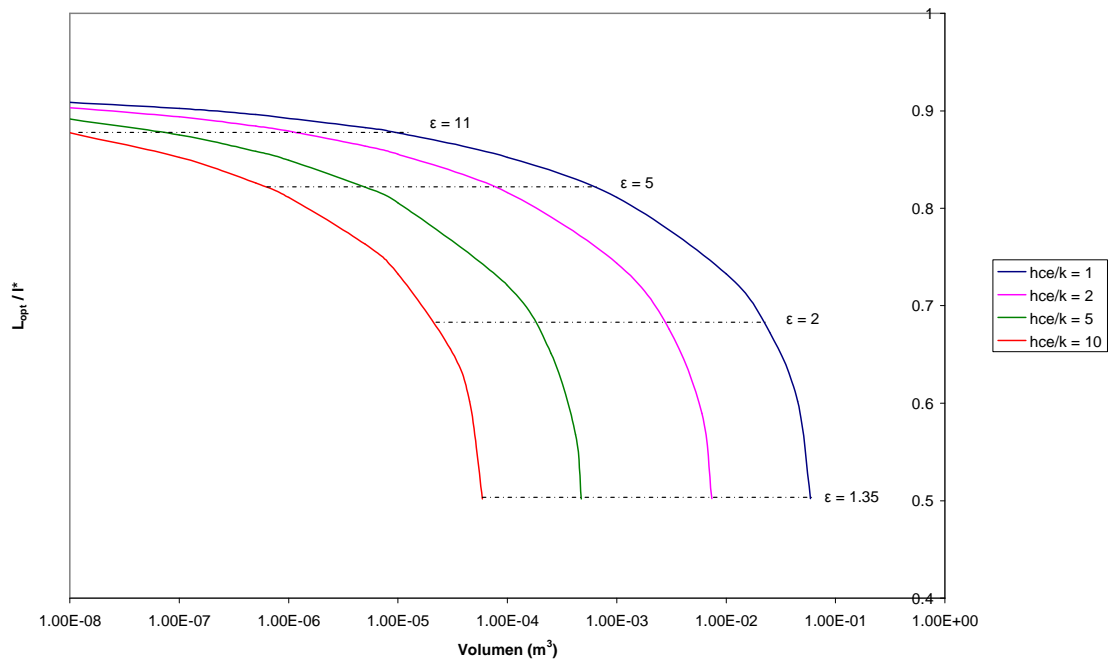


Figura 5.78 . L_{opt}/l^* en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{ce}/k

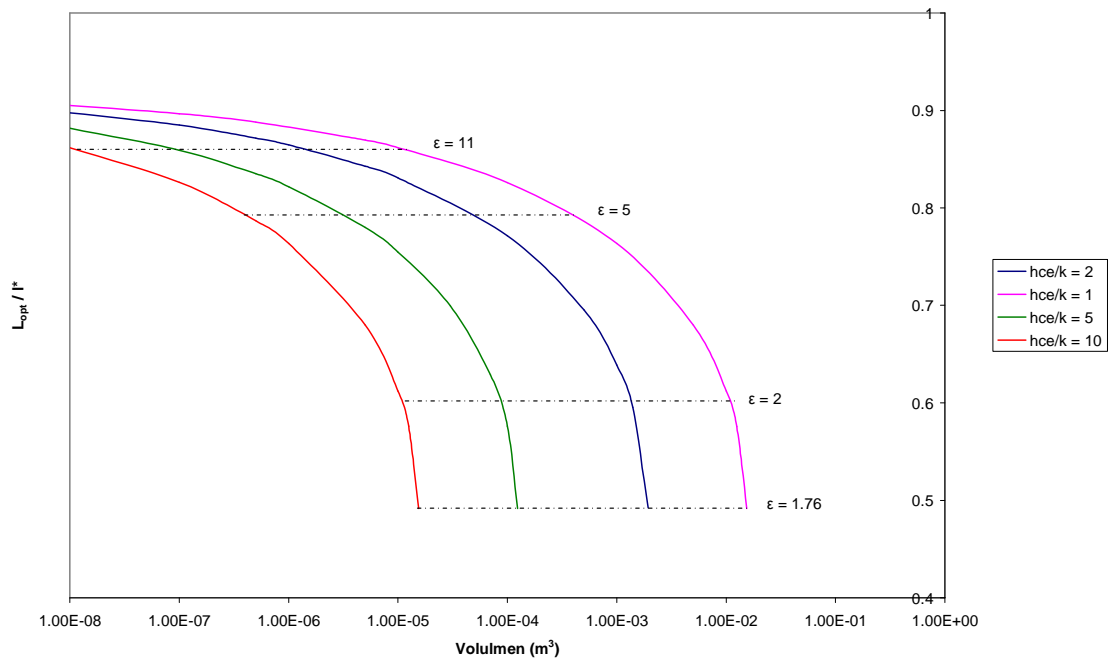


Figura 5.79 . L_{opt}/l^* en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{ce}/k

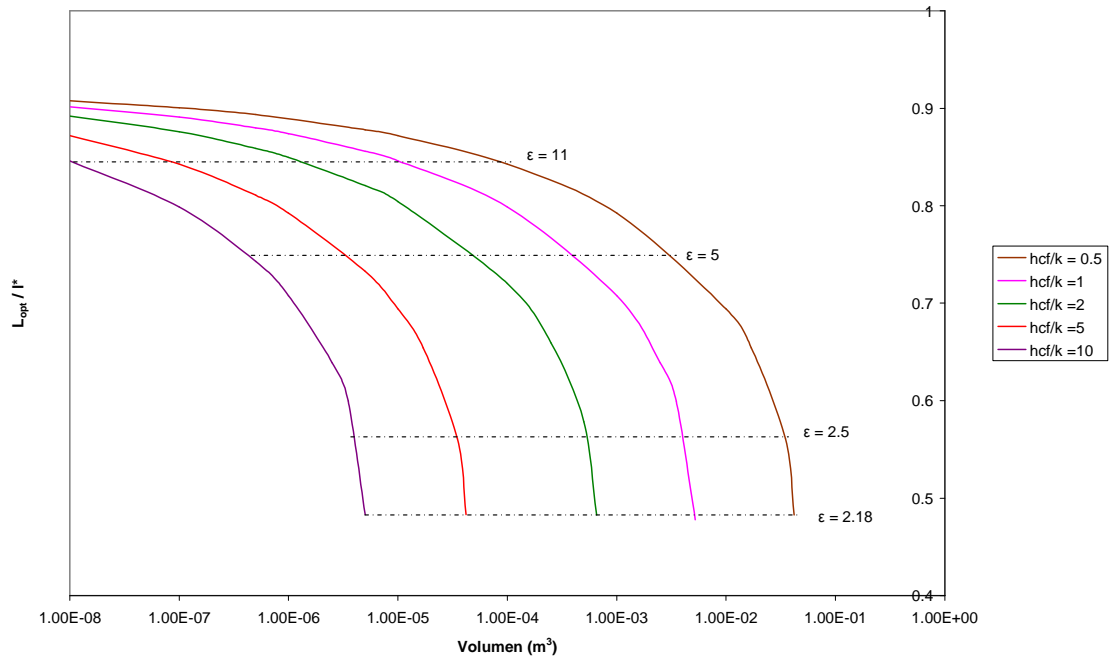


Figura 5.80 . L_{opt}/l^* en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf}/k

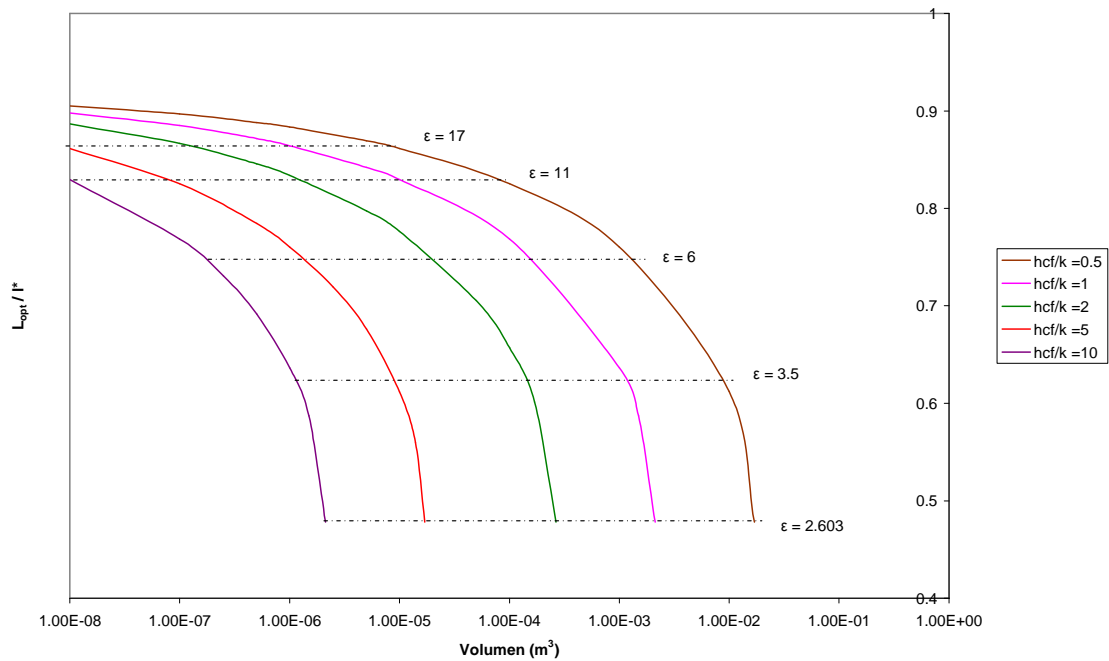


Figura 5.81. L_{opt}/l^* en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf}/k

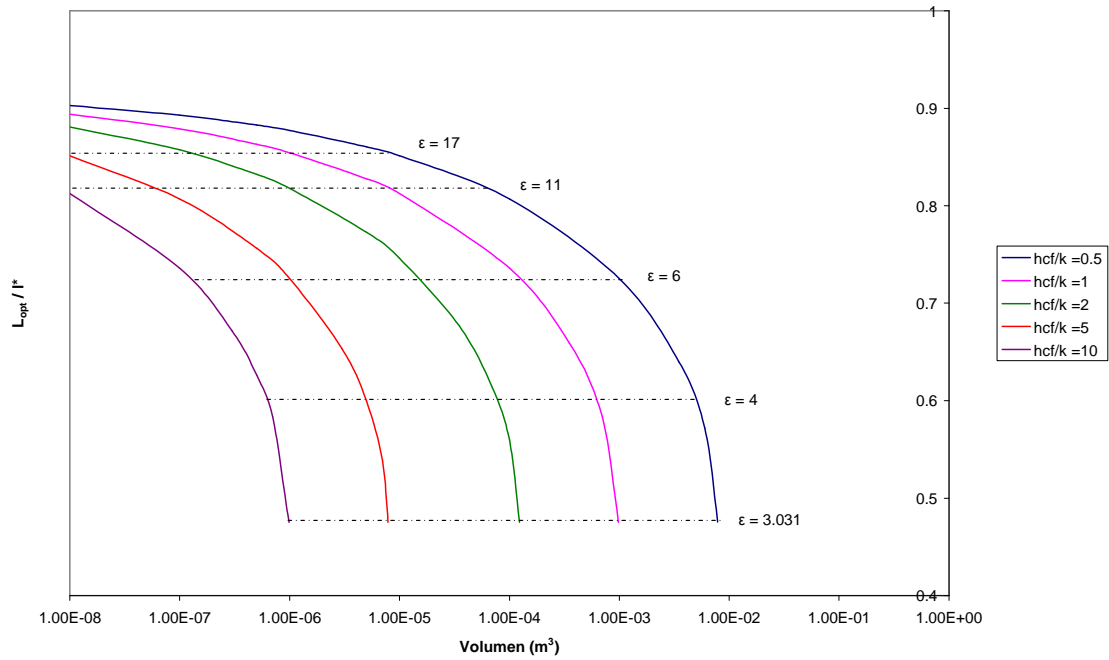


Figura 5.82 . L_{opt} / l^* en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf} / k

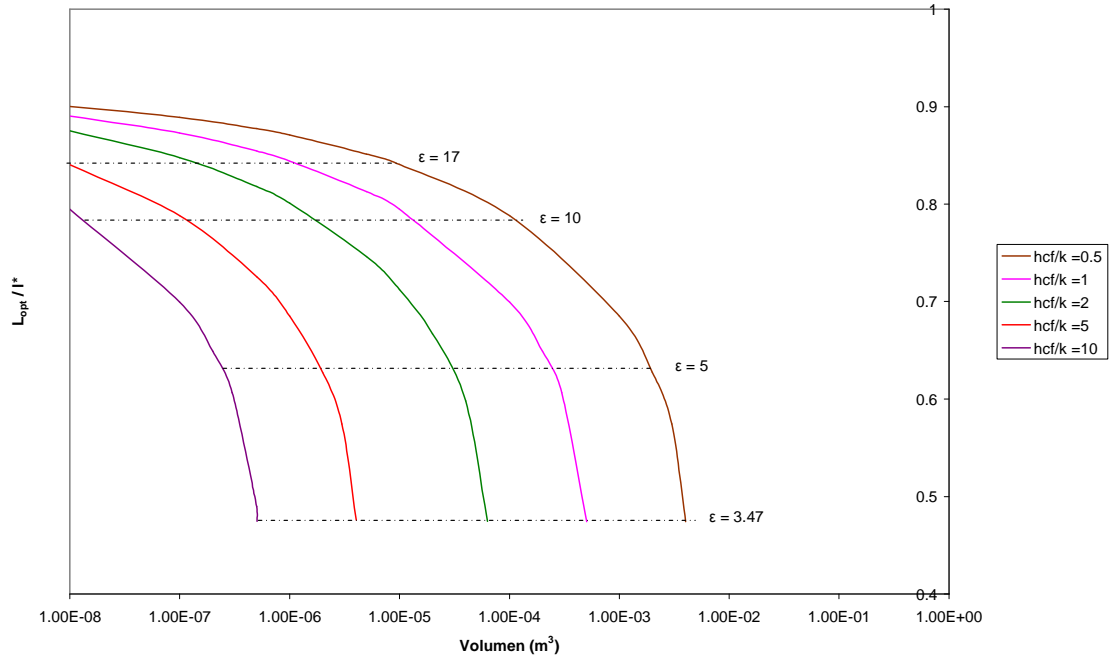


Figura 5.83. L_{opt} / l^* en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf} / k

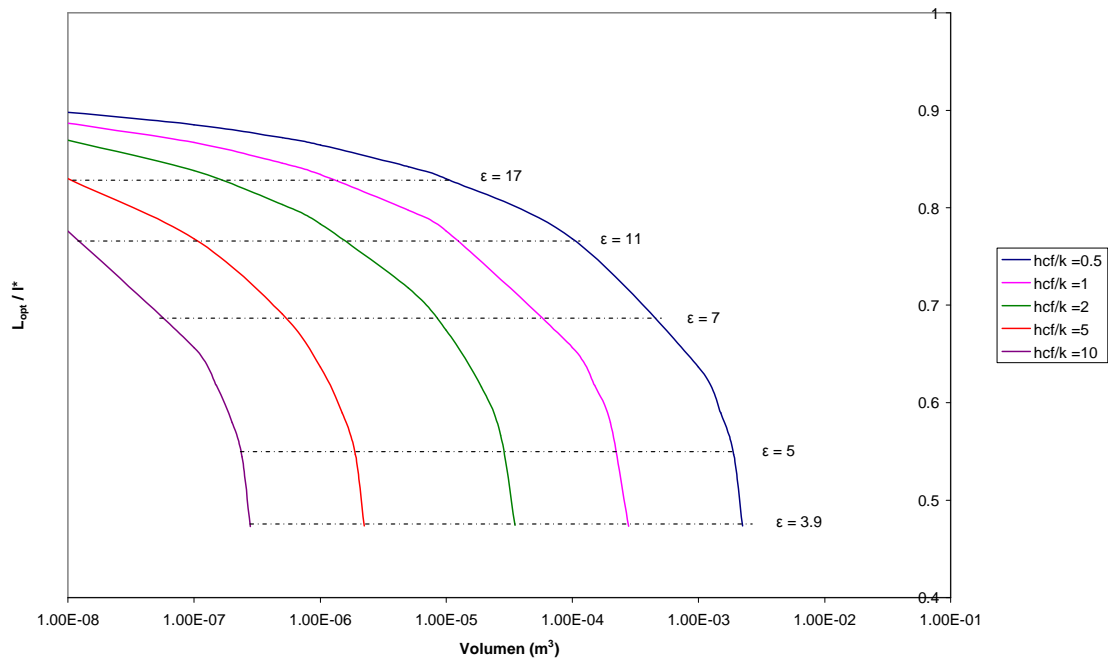


Figura 5.84 . L_{opt} / l^* en EC para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf} / k

Cada una de las gráficas anteriores representa una familia de curvas que indica la localización de los puntos óptimos para las relaciones de h_{cf}/k indicadas. En estas gráficas, hemos añadido líneas de efectividad constante, que pueden servir de guía para el diseño de aletas del tipo estudiado.

Del análisis de las curvas se ve que conforme aumenta la relación h_{cf}/k , el volumen límite es menor. Además podemos observar que los puntos que indican el volumen límite para cada relación h_{ce}/h_{cf} con puntos con un valor de efectividad idéntico, y la relación $L_{óptima}/l^*$ para es la misma independientemente de la relación h_{cf}/k .

Si como límite para decidir si es conveniente la utilización de superficies adicionales tomamos la referencia de que la efectividad sea mayor que 2, es decir, que el calor disipado al colocar la aleta sea como mínimo el doble que el calor que se disiparía si no se coloca la aleta, vemos en los ensayos que los puntos límite cumplen este requisito a partir de la relación $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ en adelante.



5.1.3. Conclusiones

En este apartado hemos realizado un estudio del comportamiento de superficies extendidas disipadoras de tipo espín cilíndrico cuando se las expone a coeficientes convectivos distintos en el extremo y en la superficie lateral, estudiando distintos casos, y siempre con un valor en el extremo menor que el valor en la superficie lateral.

Hemos comenzado por una representación de eficiencia y efectividad, observando la evolución de estos parámetros al ir aumentando la relación h_{ce}/h_{cf} y h_{cf}/k para un espesor constante.

Del análisis de las gráficas de eficiencia hemos extraído que ésta disminuye conforme la relación h_{cf}/k aumenta, debido a que el Bi_t aumenta y que las diferencias entre las curvas de eficiencia para distintos h_{cf}/k dentro de una misma relación h_{ce}/h_{cf} se incrementan a medida que h_{ce}/h_{cf} aumenta. La eficiencia también disminuye al aumentar la longitud de la aleta, indicando que la mayor parte del calor se disipa en los primeros tramos de la aleta.

Hemos llegado además a la conclusión de que el parámetro de eficiencia no resulta válido como parámetro de diseño de superficies adicionales, ya que éste indica que la mayor eficiencia se alcanza para $L/l^* = 0$, lo cual supondría que la aleta más eficiente resultaría ser aquella que no se pone.

En cuanto al parámetro de efectividad, ésta decrece conforme aumenta el cociente h_{cf}/k , lo que conlleva un aumento del Bi_t , obteniendo los mejores resultados para relaciones bajas, es decir, para el rango donde se puede aplicar la teoría unidimensional para el análisis del proceso. La efectividad crece rápidamente para relaciones L/l^* pequeñas hasta llegar a un punto donde la pendiente de la curva decrece y se hace mínima, indicando que para longitudes muy largas se desaprovecha parte de la aleta.

Con la representación de la longitud característica generalizada, hemos determinado el valor de Bi_t a partir del cual la teoría que explica la transmisión de calor a lo largo de una sola dimensión deja de ser válida, teniendo que ser considerada entonces la teoría bidimensional. El valor límite de aplicación de la teoría unidimensional, tomando como máximo error admisible entre L^*_g y l^* un 5%, es $Bi_t = 0.3$.

La representación de la admitancia térmica inversa relativa para diferentes relaciones h_{ce}/h_{cf} y h_{cf}/k busca encontrar la longitud óptima ($y_r = 1$) dado el volumen de la aleta. Obtenemos la conclusión de que la posición del punto óptimo, fijada la relación h_{cf}/k , varía en función del volumen de la aleta, desplazándose conforme aumenta el volumen cada vez más hacia relaciones de L/l^* más pequeñas, debido claramente a que conforme aumenta el volumen tendremos mayor superficie disipadora y el número de Bi_t será cada vez mayor. El volumen límite se alcanza antes conforme aumenta h_{ce}/h_{cf} y disminuye al aumentar el cociente h_{cf}/k .



Como punto final, hemos representado las familias de curvas que indican la localización de los puntos óptimos para las relaciones de h_{cf}/k indicadas. Del análisis se extrae que los puntos que indican el volumen límite para cada relación h_{ce}/h_{cf} con puntos con un valor de efectividad idéntico, y la relación $L_{\text{óptima}}/l^*$ es la misma independientemente de la relación h_{cf}/k . En las gráficas hemos añadido líneas de efectividad constante, que pueden servir de guía para el diseño de aletas del tipo estudiado, siendo nuestro criterio de elección el considerar que ha de cumplirse como requisito mínimo un valor de efectividad $\varepsilon \geq 2$, con el objetivo de garantizar que se al colocar la aleta se disipe como mínimo el doble de calor que se disiparía en caso de no poner la aleta.



5.2. Aleta desnuda recta rectangular (ADRR)

5.2.1. Eficiencia y efectividad en función de las relaciones h_{ce}/h_{cf} y h_{cf}/k

Realizamos las simulaciones para un circuito con espesor constante, fijando el semiespesor ($e = 0.001$ m). El valor del coeficiente convectivo en el extremos será fijo, $h_{ce} = 10$ W/m².K, y la relación h_{ce}/h_{cf} toma los valores {0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9}. Para cada una de estas relaciones iremos variando también la relación h_{cf}/k , estudiando los casos en que toma valores {0.1, 0.5, 1, 2, 5, 10, 100}. El parámetro que variará durante la simulación de cada caso será $z = L / l^*$, entre los valores 0.01 y 5.

Los parámetros fundamentales del circuito en el fichero .cir son los siguientes:

* PARÁMETROS FUNDAMENTALES

```
.PARAM e = {1E-03}
.PARAM hh = 1E+10
.PARAM hcn = {hce}
.PARAM hce = 10
.PARAM hcf = {hce/0.2}
.PARAM k = {hcf/2}
.PARAM Lc = {((e*k/hcf)^(1/2))}
.PARAM L = {z*Lc}
.PARAM z = 0.01
```

Con los resultados de las simulaciones construimos las gráficas que nos indican como varía la efectividad y eficiencia de la aleta en función de la longitud de la aleta.

Las gráficas de la evolución de la eficiencia toman la siguiente forma:

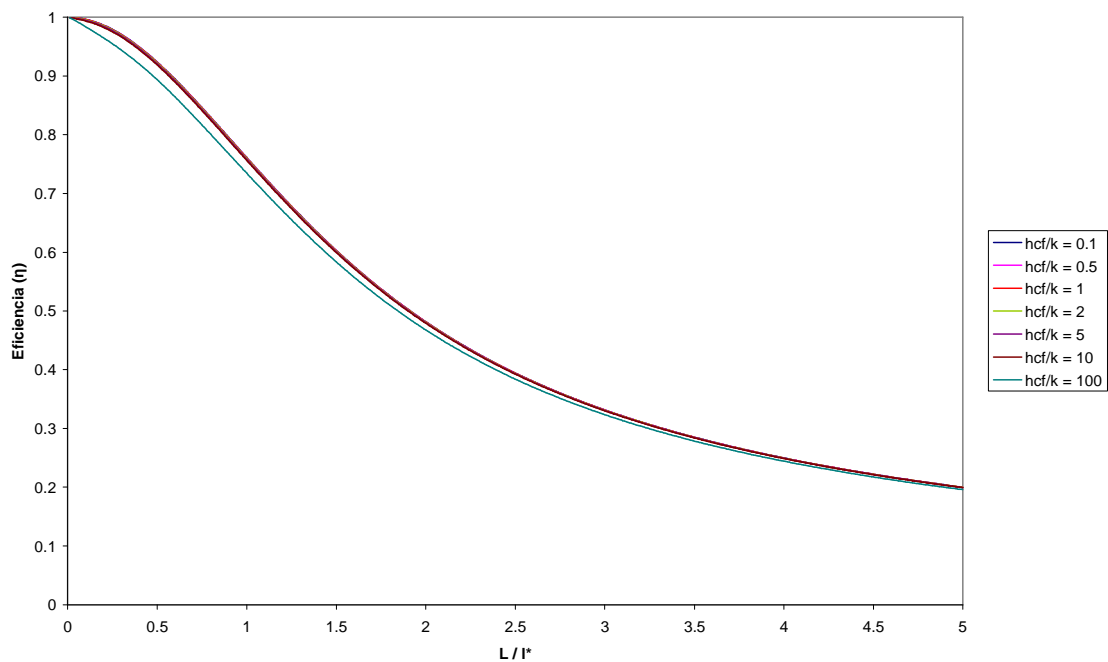


Figura 5.85. Eficiencia en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ en función de L / l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

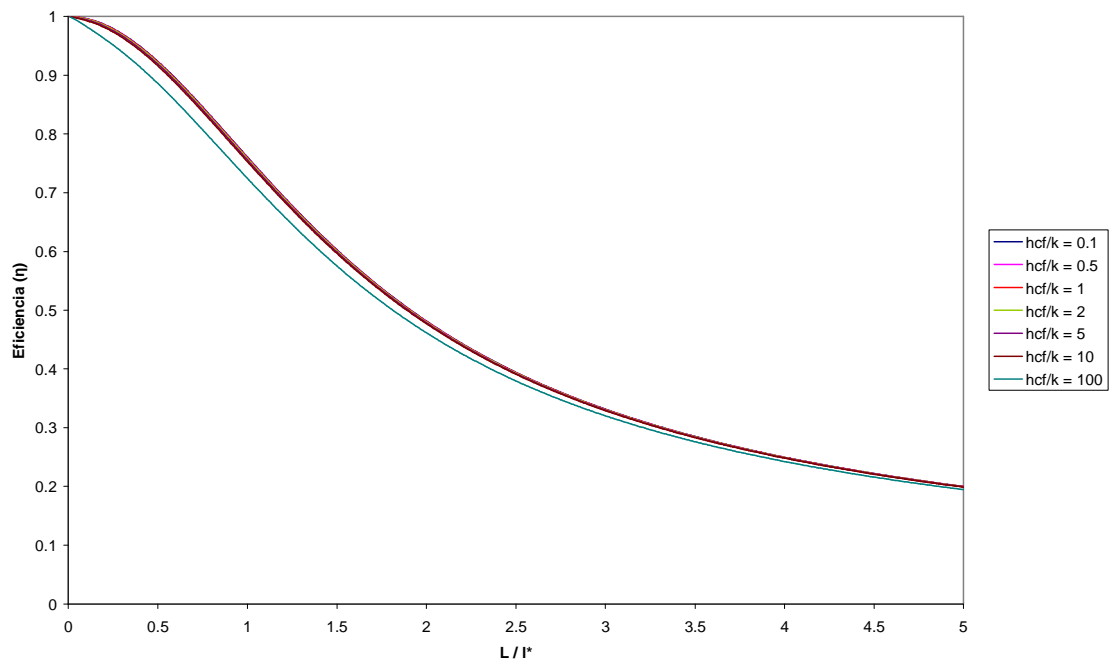


Figura 5.86. Eficiencia en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

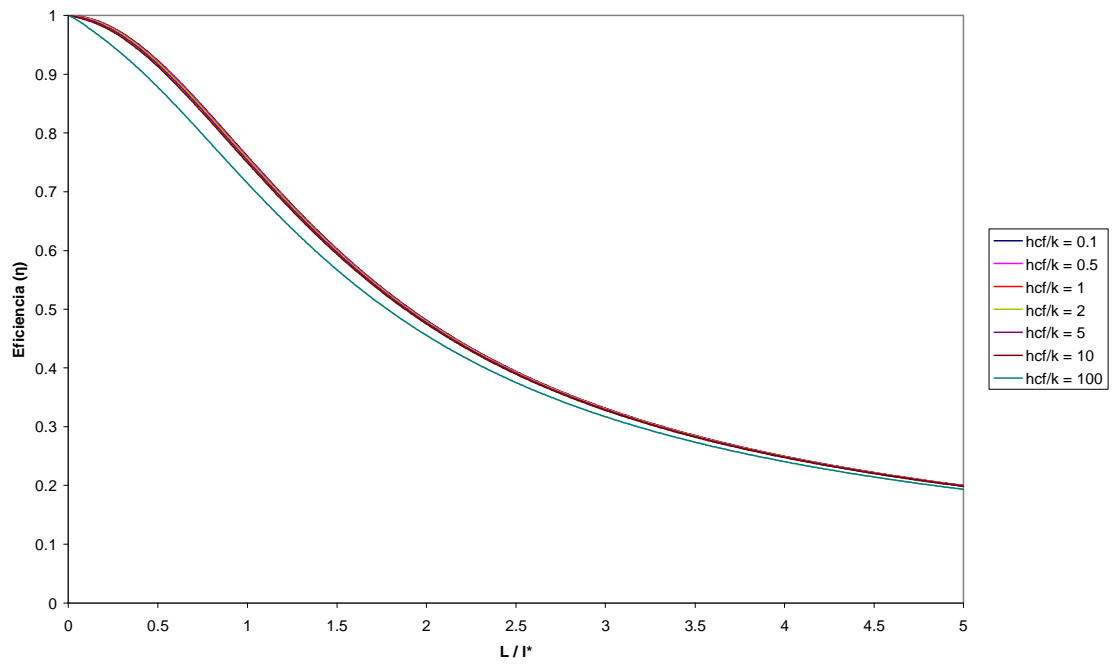


Figura 5.87. Eficiencia en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

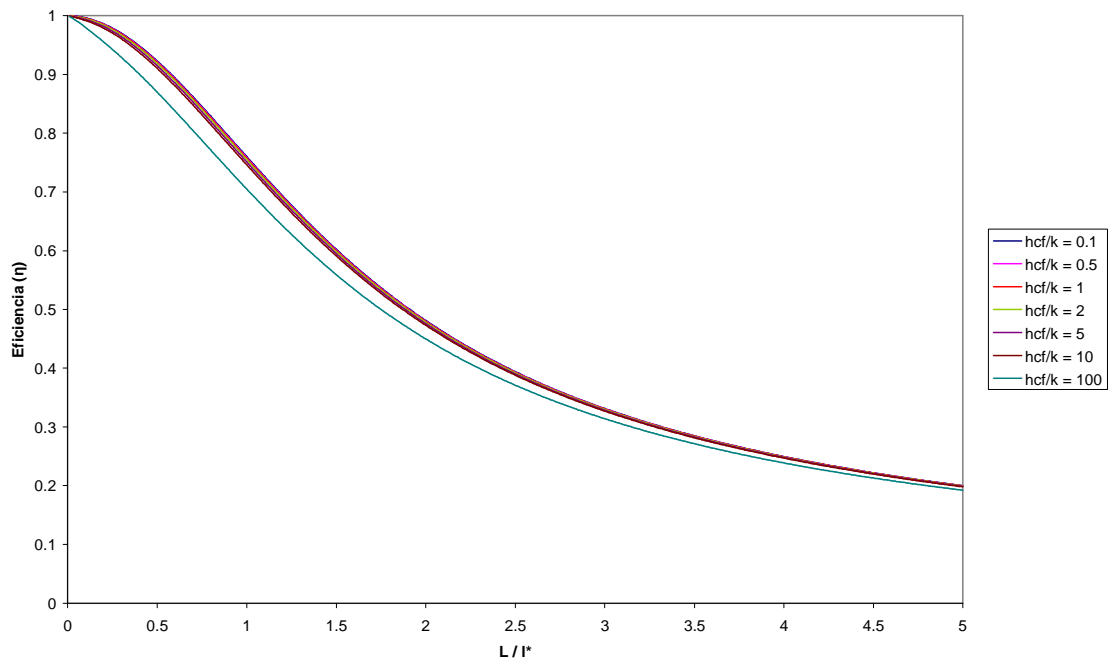


Figura 5.88. Eficiencia en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

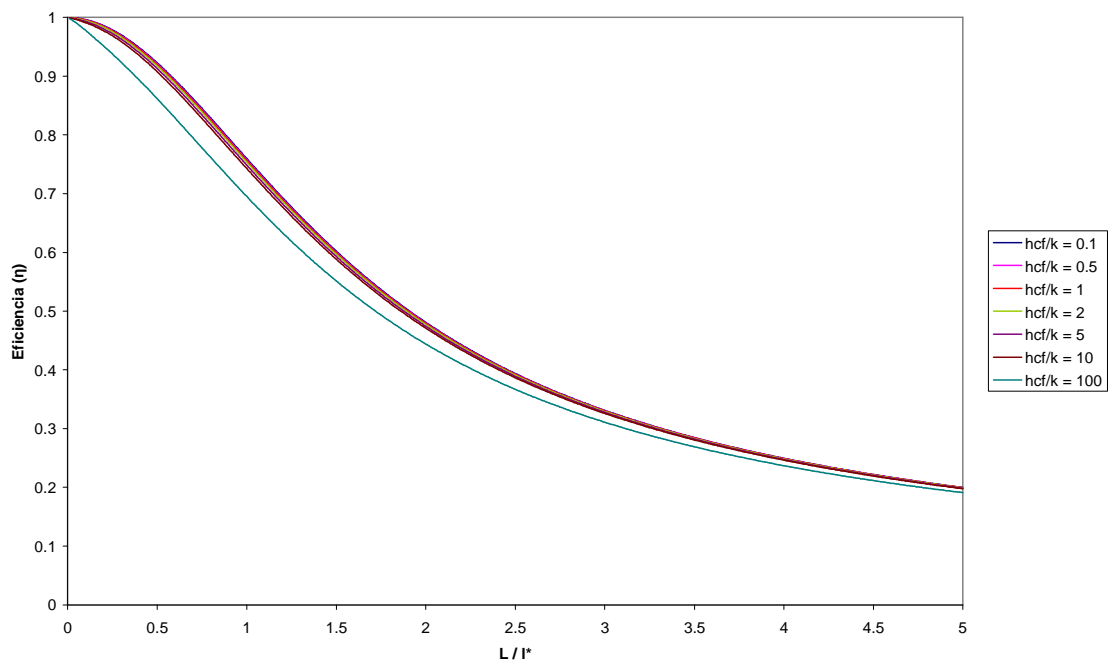


Figura 5.89. Eficiencia en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

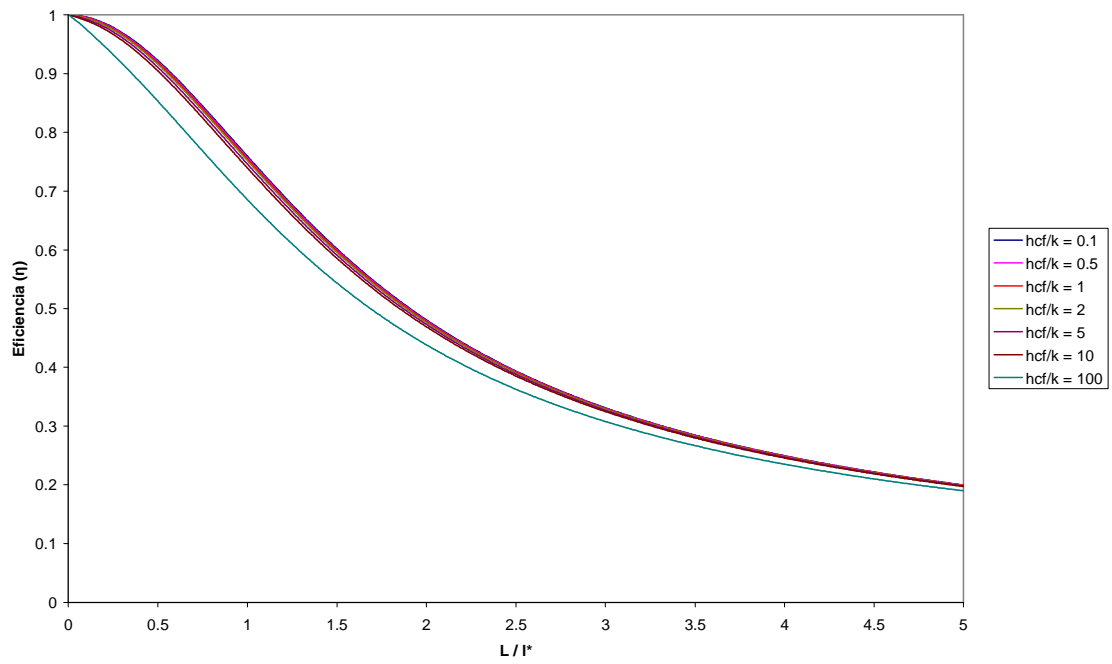


Figura 5.90. Eficiencia en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

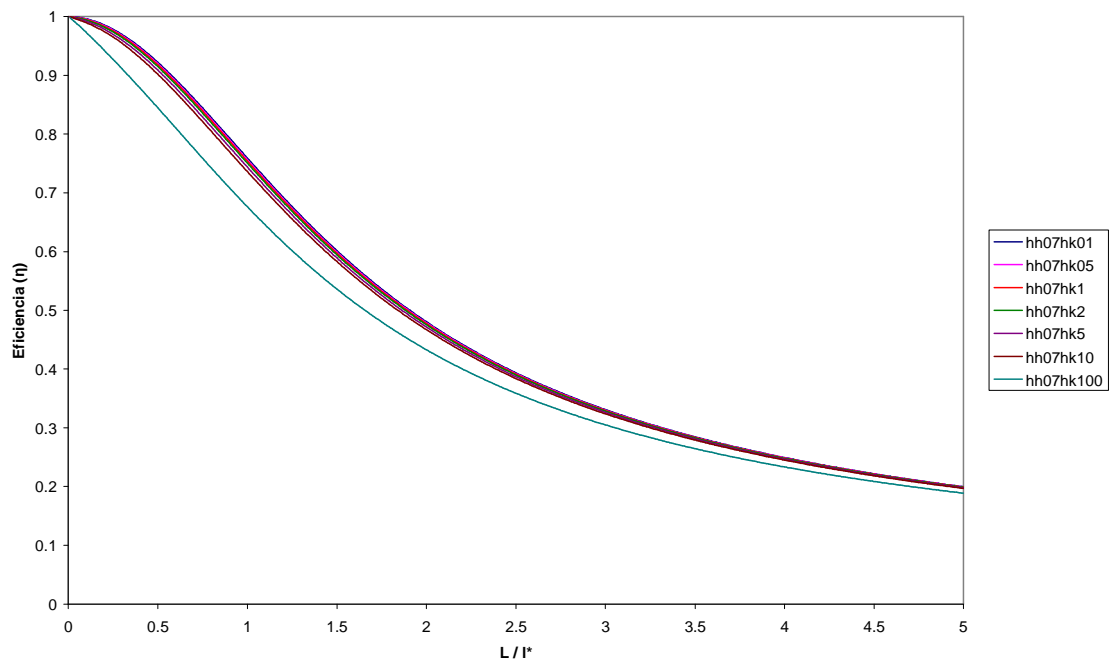


Figura 5.91. Eficiencia en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

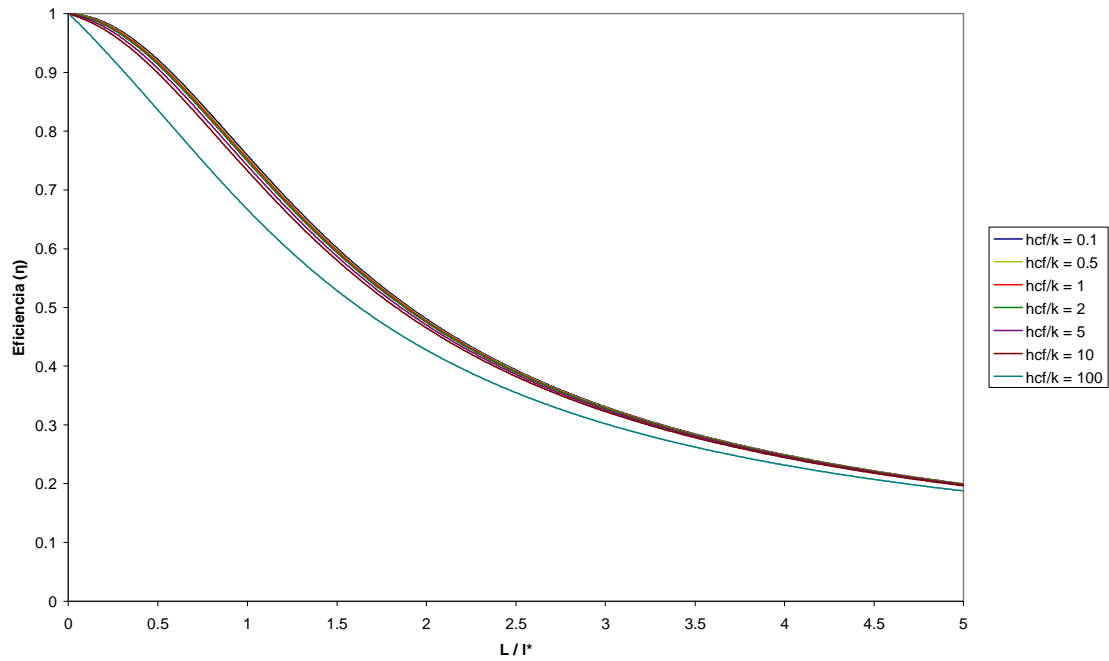


Figura 5.92. Eficiencia en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

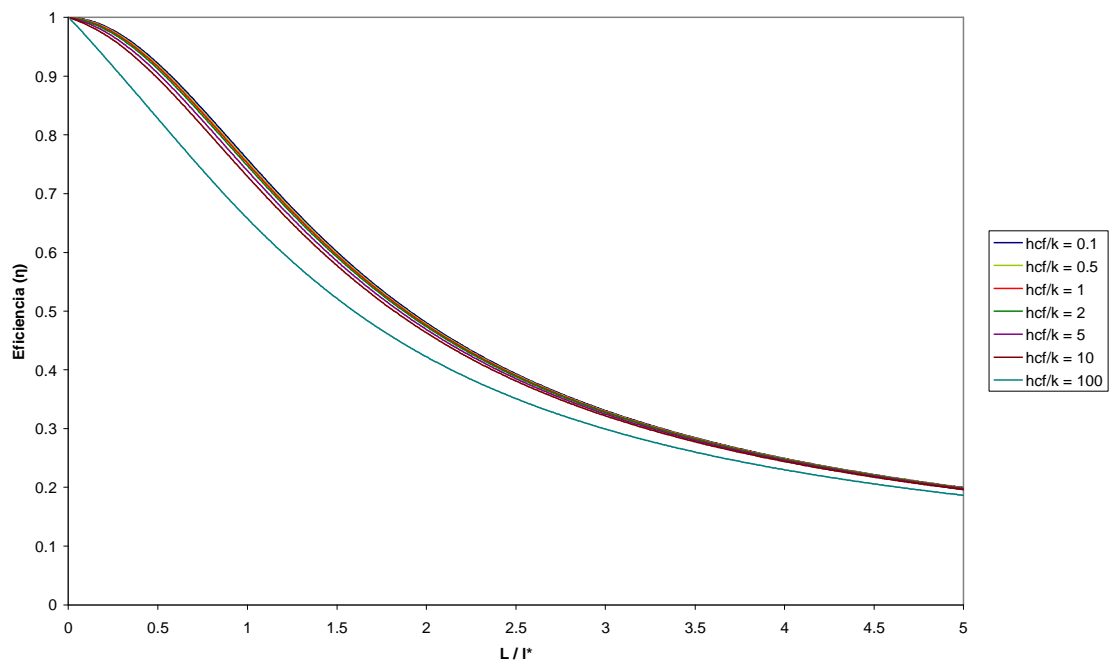


Figura 5.93. Eficiencia en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

Al igual que ocurre en el caso de EC, podemos observar que la eficiencia disminuye conforme la relación h_{cf}/k aumenta. Podemos ver además que las diferencias entre las curvas de efectividad para distintos h_{cf}/k dentro de una misma relación h_{ce}/h_{cf}



se hacen cada vez mayores a medida que h_{ce}/h_{cf} se va incrementando. La eficiencia también disminuye al aumentar la longitud de la aleta, debiéndose esto a que en una aleta muy larga, la mayor parte del calor ha sido disipada en una longitud relativamente pequeña, lo que nos indica que el resto de la aleta no cumple prácticamente ninguna función.

Del análisis de los gráficos podemos extraer que la eficiencia máxima se obtendría para una relación $L/l^* = 0$, lo que supondría que la mayor disipación de calor se consigue cuando no existe la aleta y planteando un resultado no real.

Pasamos ahora al análisis en función de la efectividad de la aleta. Las curvas de efectividad para los casos estudiados son las siguientes:

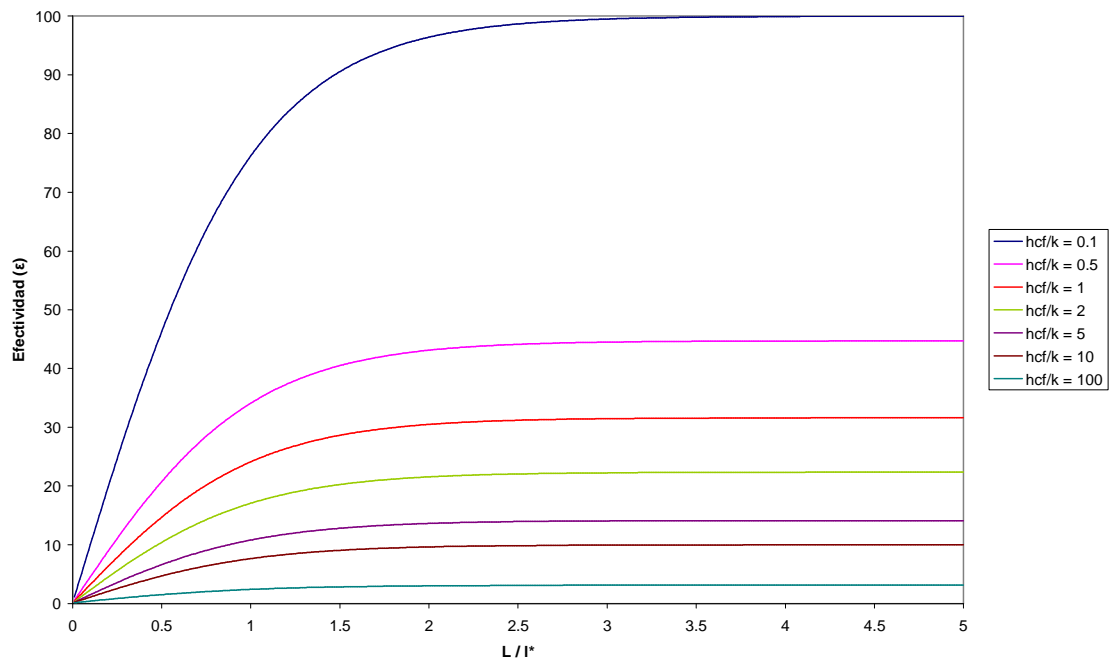


Figura 5.94. Efectividad en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

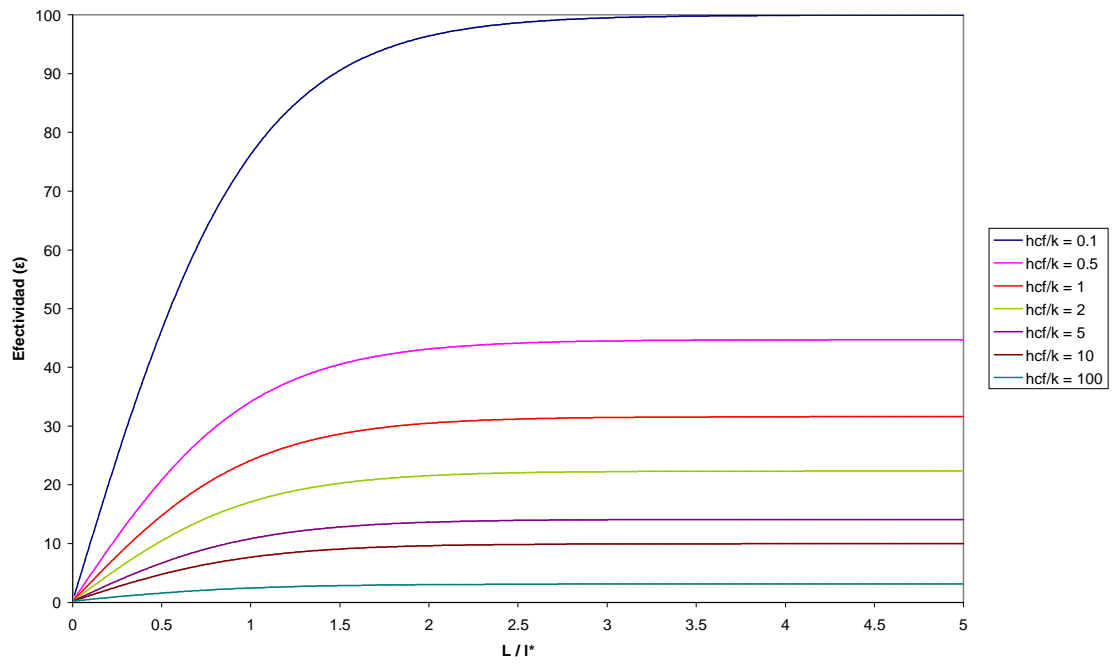


Figura 5.95. Efectividad en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

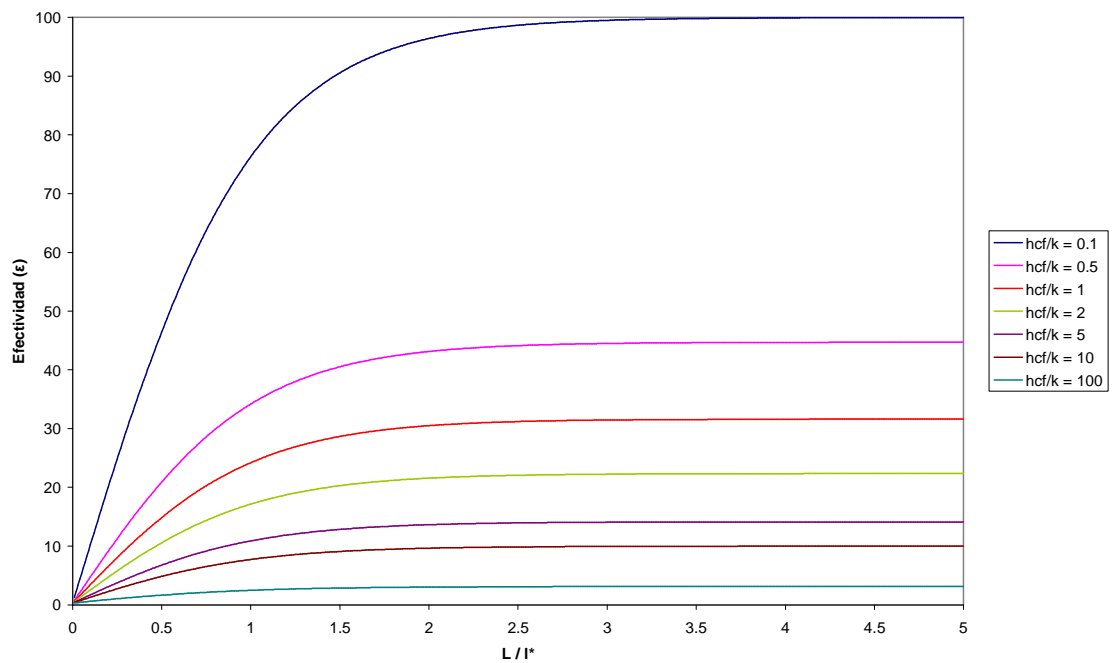


Figura 5.96. Efectividad en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

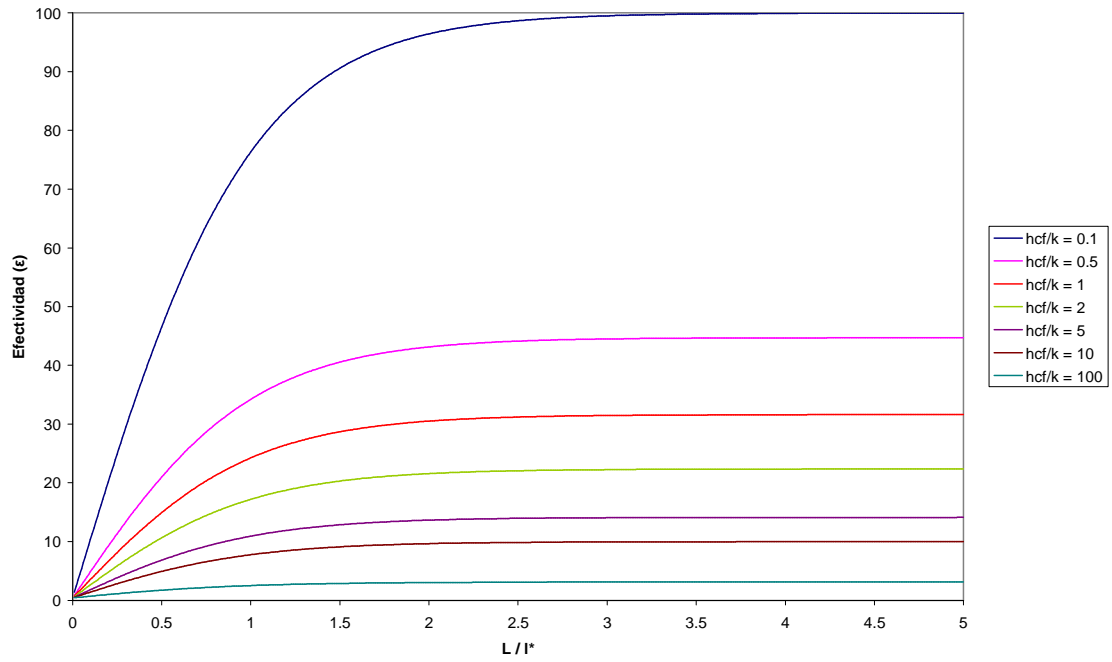


Figura 5.97. Efectividad en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

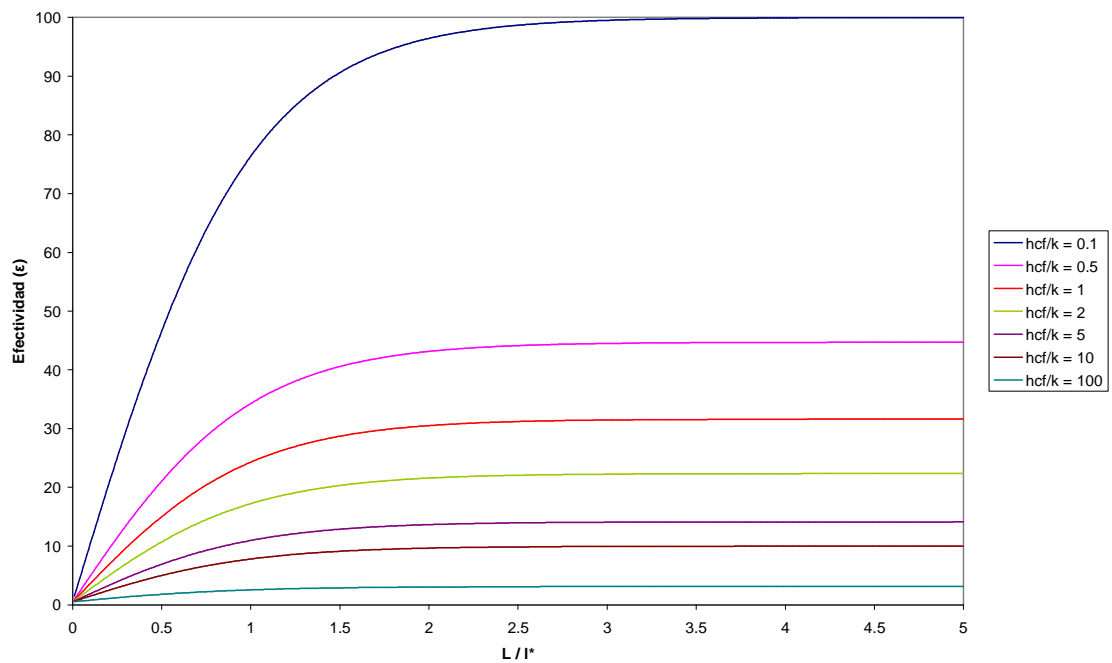


Figura 5.98. Efectividad en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

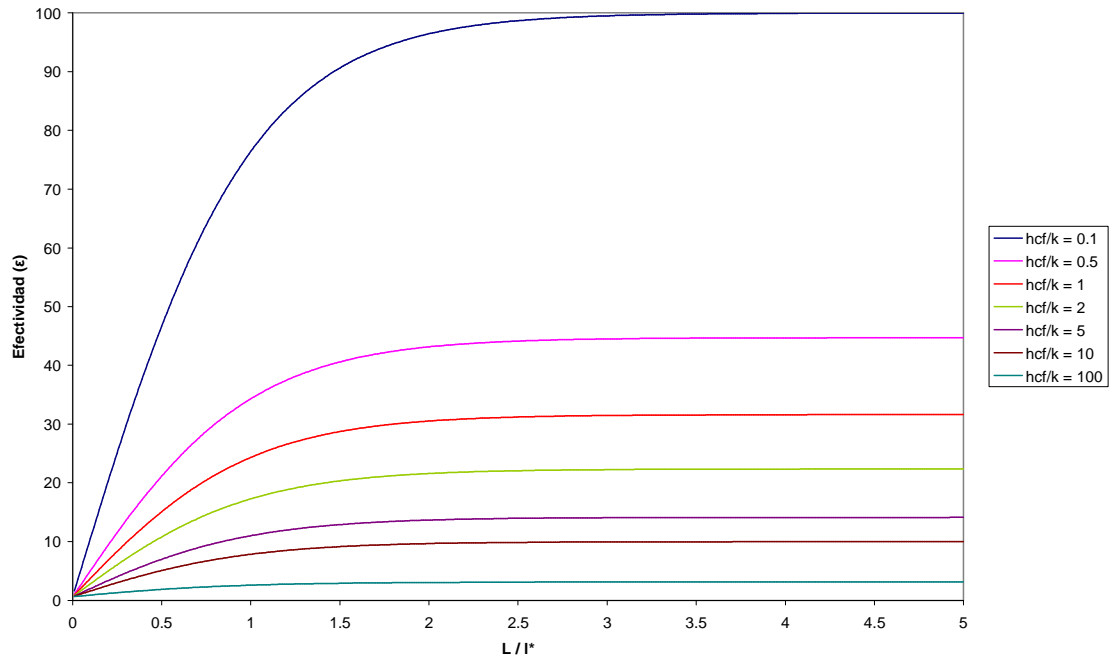


Figura 5.99. Efectividad en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

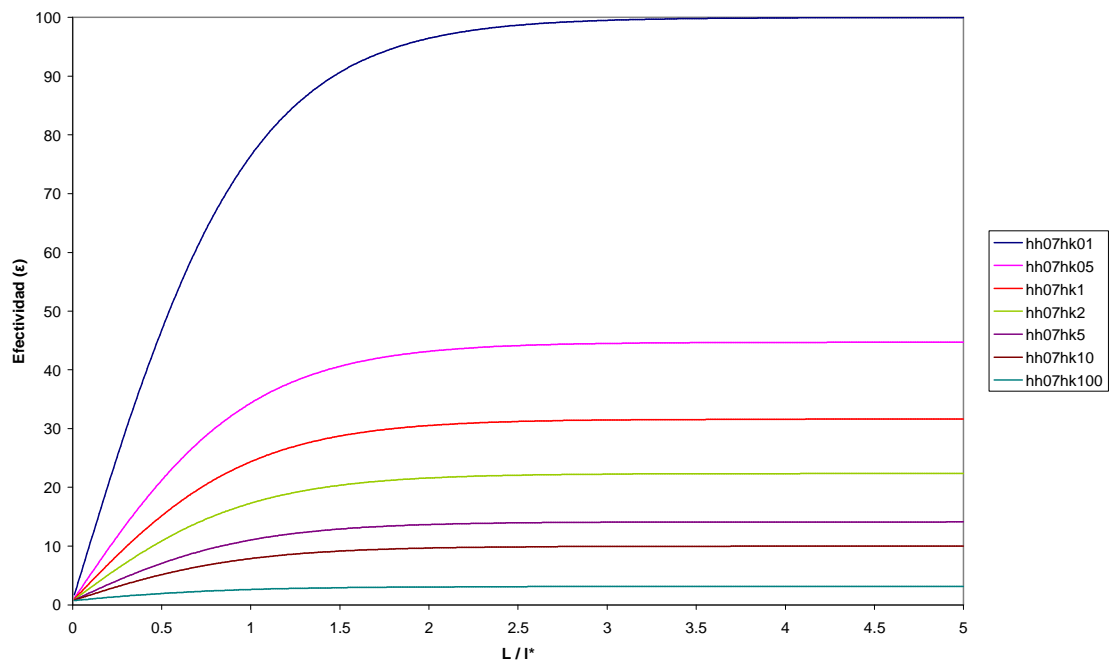


Figura 5.100. Efectividad en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

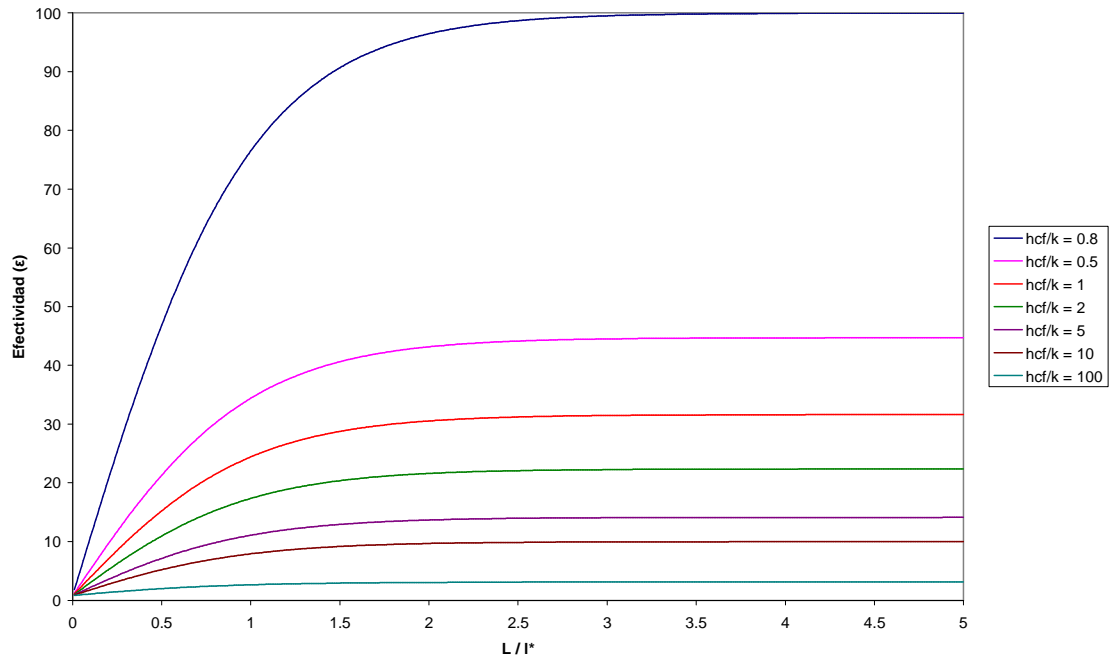


Figura 5.101. Efectividad en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k

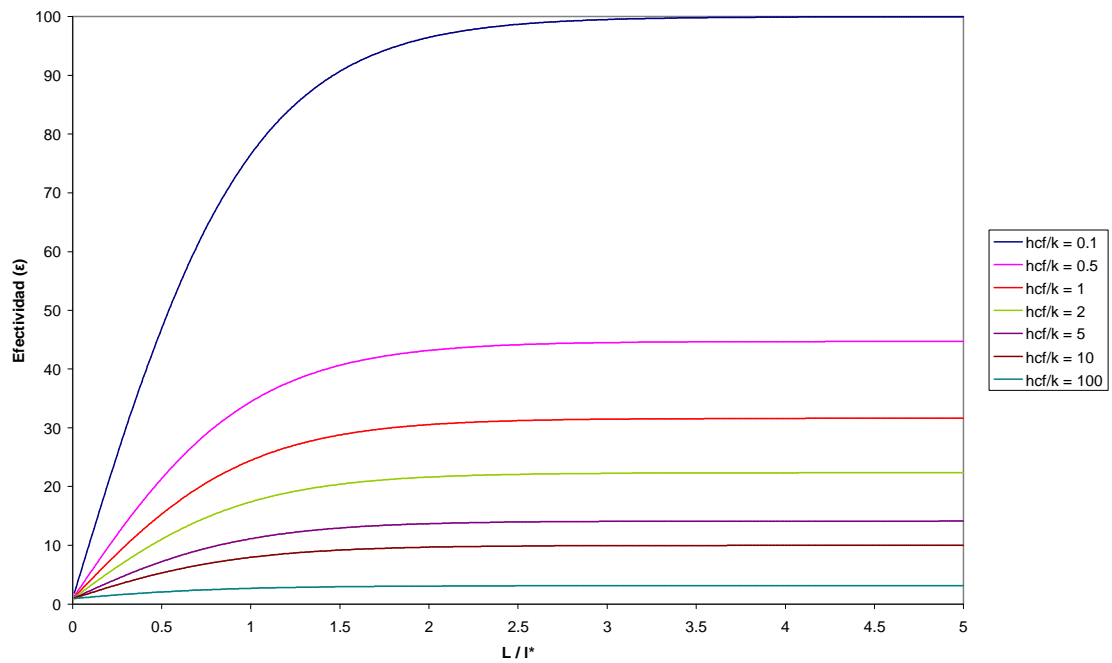


Figura 5.102. Efectividad en ADRR con $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ en función de L/l^* para diferentes relaciones h_{cf}/k



Analizando las gráficas en conjunto, vemos que la efectividad crece rápidamente para relaciones $L/l^* < 1.5$, mientras que a partir de esta relación la pendiente de la curva va disminuyendo rápidamente hasta un valor nulo. Para relaciones $L/l^* > 2$ se observa que por mucho que aumente la longitud de la aleta no se produce ningún aumento en la evacuación de calor, por lo que una vez llegado a este punto no sería práctico alargar la aleta.

Fijándonos en las gráficas individualmente, vemos que la efectividad decrece conforme aumenta el cociente h_{cf}/k , dando los mejores resultados para un valor de esta relación de 0.1.

5.2.2. Limite de aplicación del modelo unidimensional

En este apartado analizamos las condiciones que determinan la utilización de un modelo unidimensional o de un modelo bidimensional. El estudio lo realizamos en función del número de Biot transversal.

En la figura 5.103 se pueden observar los resultados obtenidos cuando los parámetros de estudio toman los valores $h_{ce} = h_{cf} = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ y $h_{cf}/k = 0.1$.

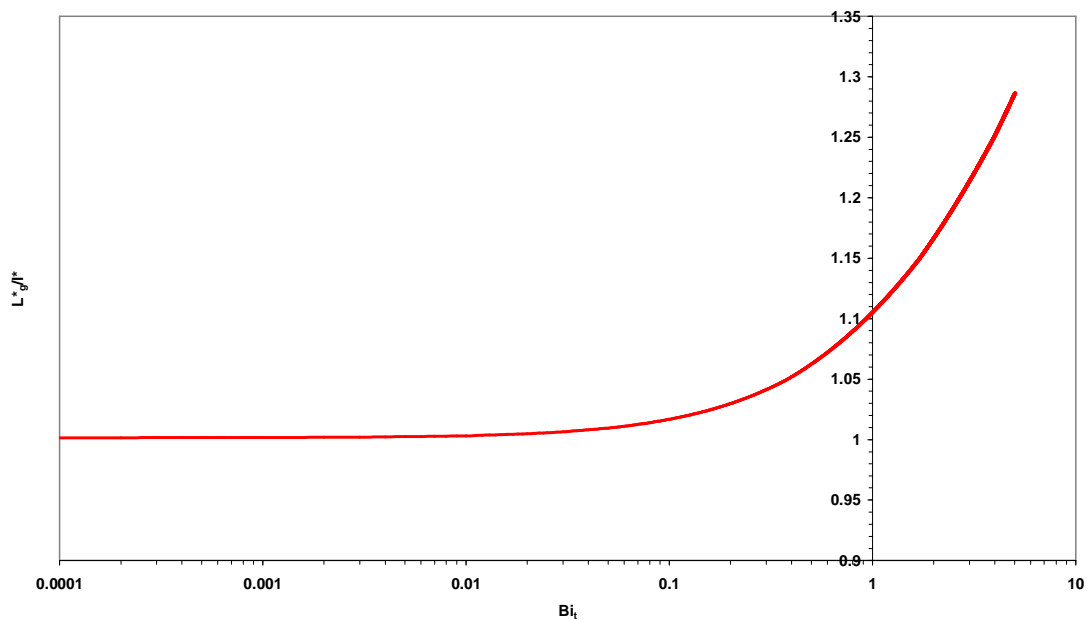


Figura 5.103

La relación L_g^*/l^* se mantiene con valor 1 para valores de Bi_t por debajo de 0.01, y por tanto la longitud característica y la longitud característica generalizada coinciden en su valor, por lo que por debajo de este valor de Bi_t se puede utilizar el modelo 1-D.



Si el valor de Bi_t aumenta, la pendiente de la curva crece notablemente, lo que indica que los valores de longitud característica y longitud característica generalizada serán cada vez más distantes, es decir, el error que se produce al tomar la hipótesis unidimensional es cada vez mayor. Admitiendo como error admisible entre los dos modelos un valor del 5%, vemos que el Bi_t para ese caso sería 0.4. Para asegurarnos de que los resultados obtenidos no contengan errores por el uso de un modelo 1-D, utilizamos en el desarrollo de este proyecto un modelo 2-D.

5.2.3. Optimización del modelo ADRR

Estudiamos las relaciones h_{ce}/h_{cf} y h_{cf}/k expuestas en el apartado anterior, añadiendo ahora un análisis de dichas relaciones variando también el volumen. Realizamos simulaciones para volumen constante donde éste toma los valores:

- $V = 1E-7 \text{ m}^3$
- $V = 5E-7 \text{ m}^3$
- $V = 1E-6 \text{ m}^3$
- $V = 5E-6 \text{ m}^3$
- $V = 1E-5 \text{ m}^3$
- $V = 1E-4 \text{ m}^3$
- $V = 1E-3 \text{ m}^3$
- $V = 1E-2 \text{ m}^3$
- $V = 1E-1 \text{ m}^3$

Estudiamos el proceso para estos volúmenes, introduciendo como variable $z = L/l^*$. Por tanto, los parámetros fundamentales del circuito a estudiar toman la forma:

```
* PARÁMETROS FUNDAMENTALES
.PARAM e = {((Vol/z)*((hcf/k)^(1/2)))^(2/3)}
.PARAM hh = 1E+10
.PARAM Vol = {5E-3}
.PARAM hce = 10
.PARAM hcf = {hce/0.6}
.PARAM k = {hcf/2}
.PARAM L = {Vol/(e)}
.PARAM z = 0.01
```

El parámetro que utilizaremos para analizar el proceso es la admitancia térmica inversa relativa ATIR (y_r). Su valor máximo es la unidad, y se alcanza en el punto óptimo. Además, como ya se indicó en el apartado referido a EC, este parámetro muestra el margen de mejora que se tiene en un diseño concreto.

En las siguientes gráficas presentamos la variación de las curvas de ATIR para las distintas relaciones estudiadas, con el fin de hallar el punto óptimo de funcionamiento, donde $y_r = 1$.

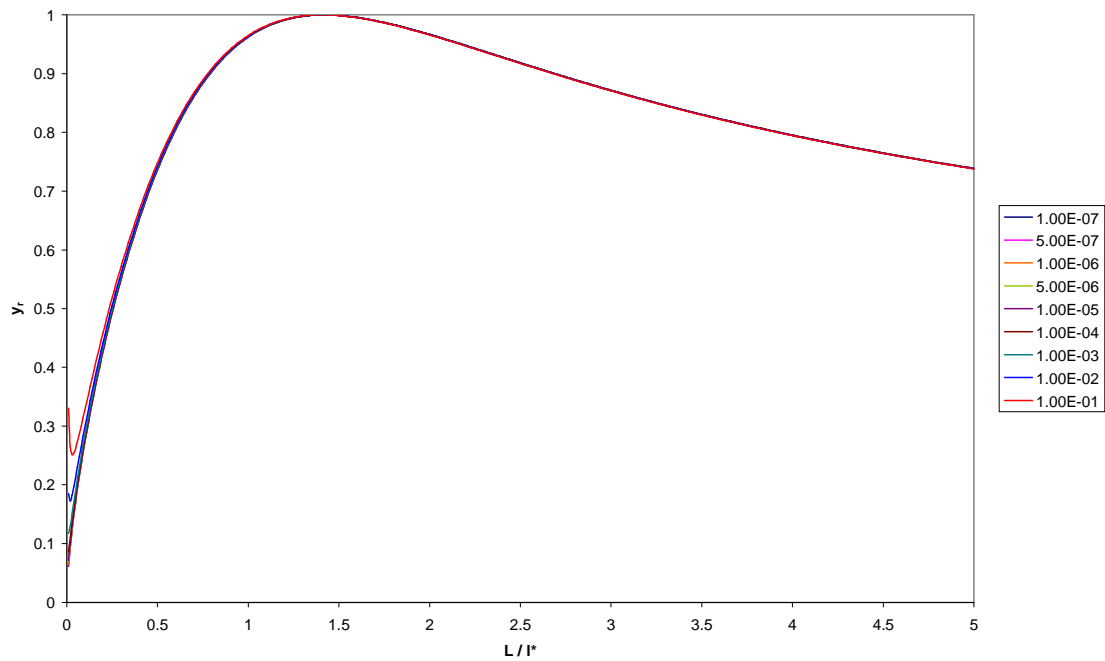


Figura 5.104. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

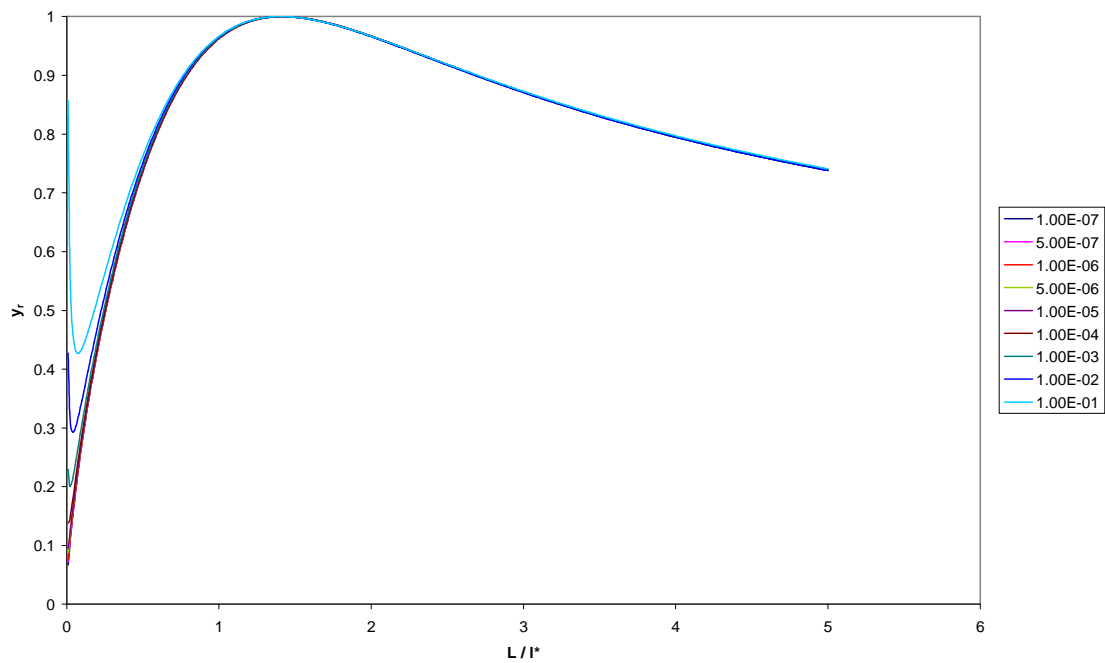


Figura 5.105. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

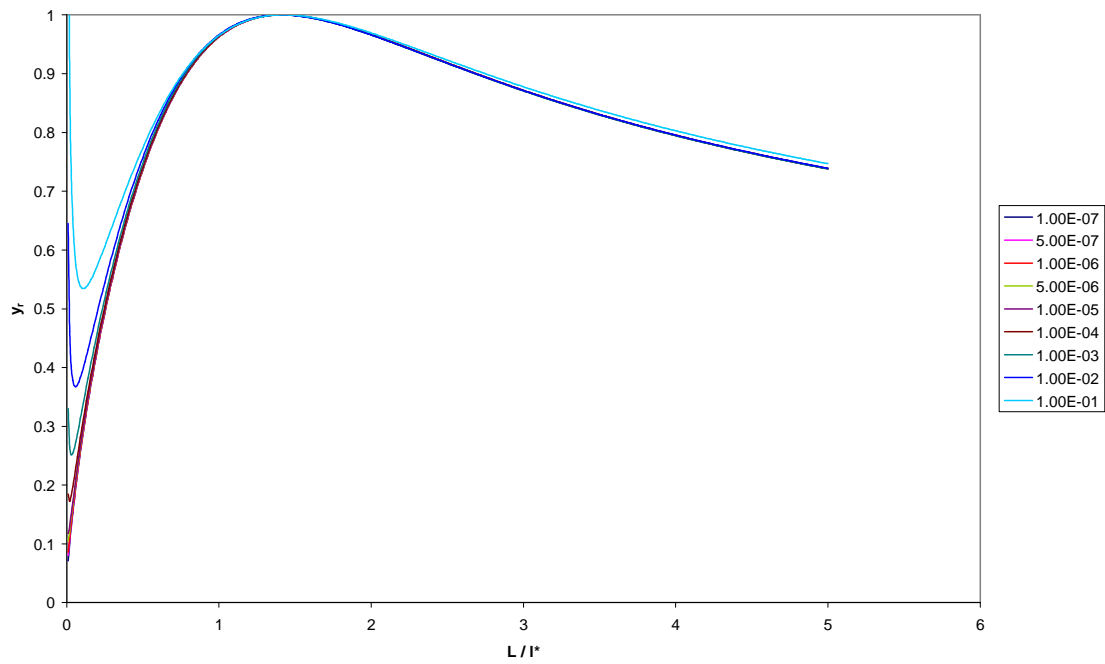


Figura 5.106. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

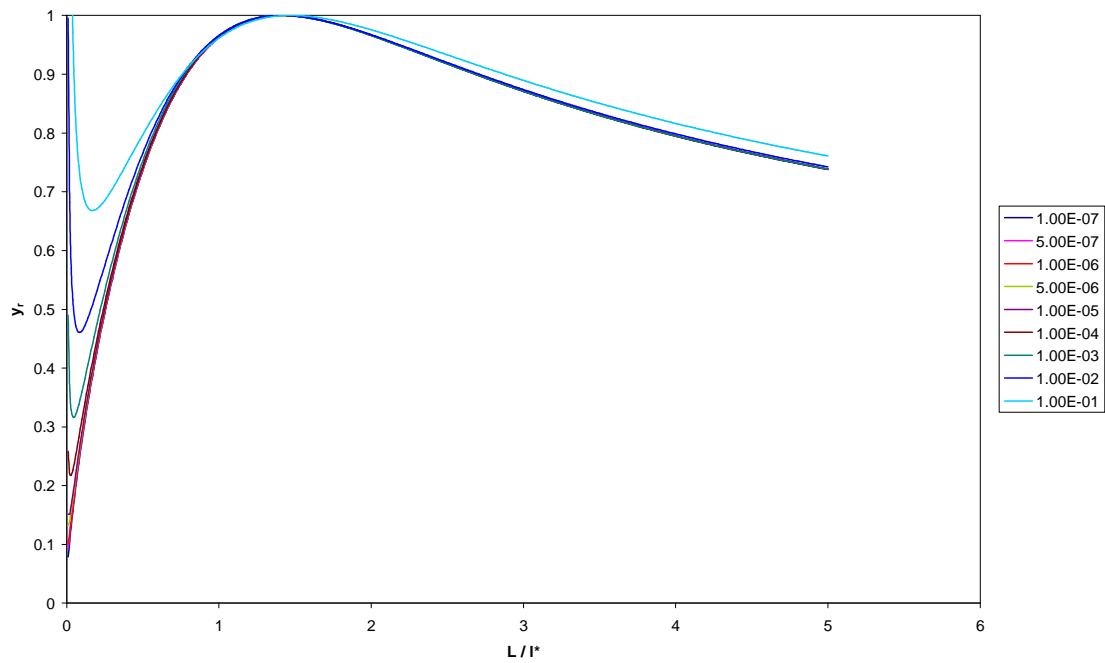


Figura 5.107. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

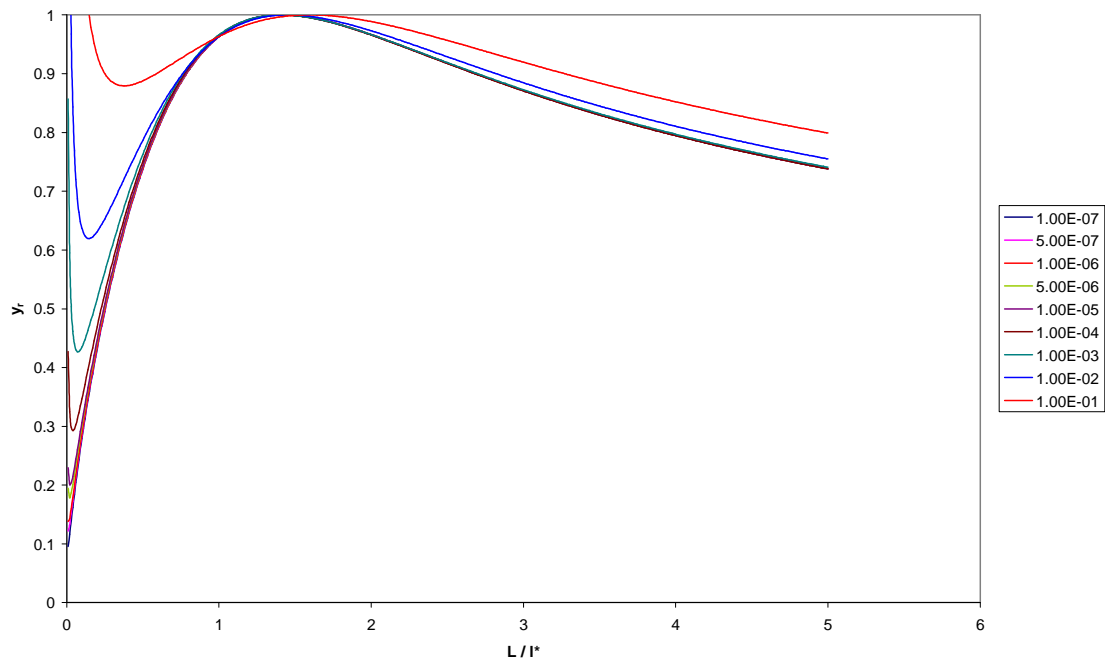


Figura 5.108. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

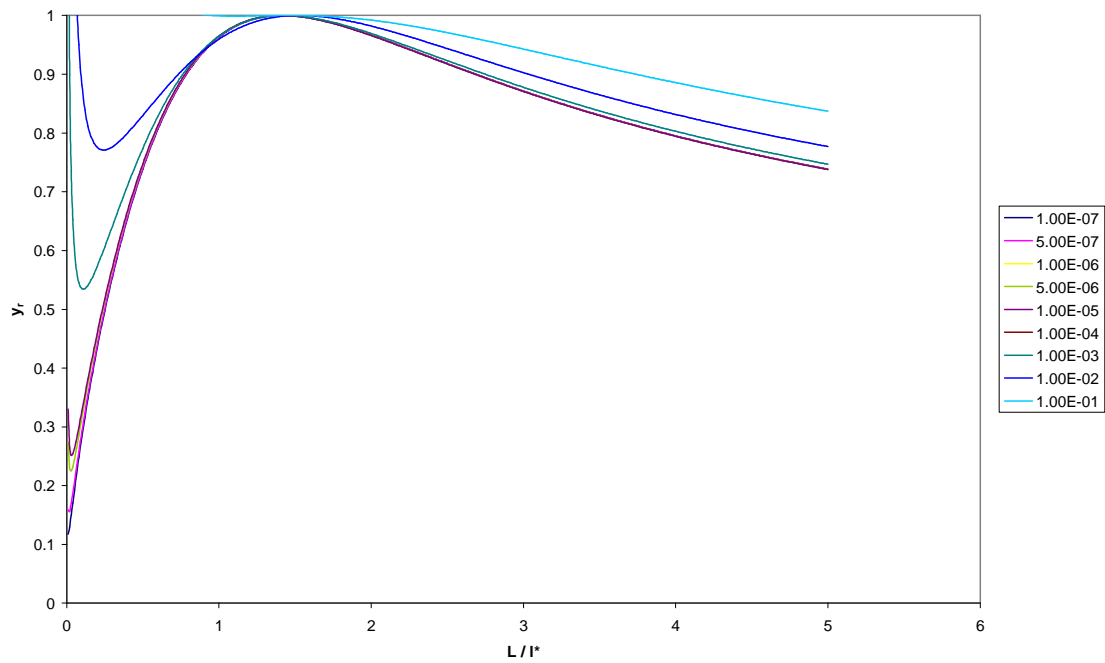


Figura 5.109. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

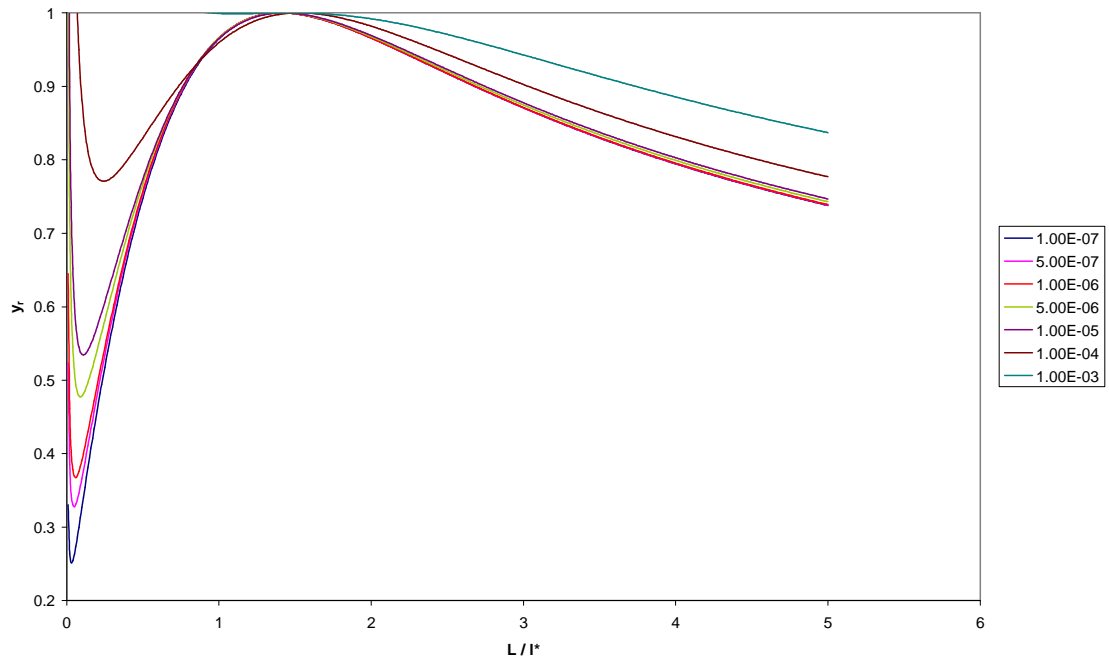


Figura 5.110. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

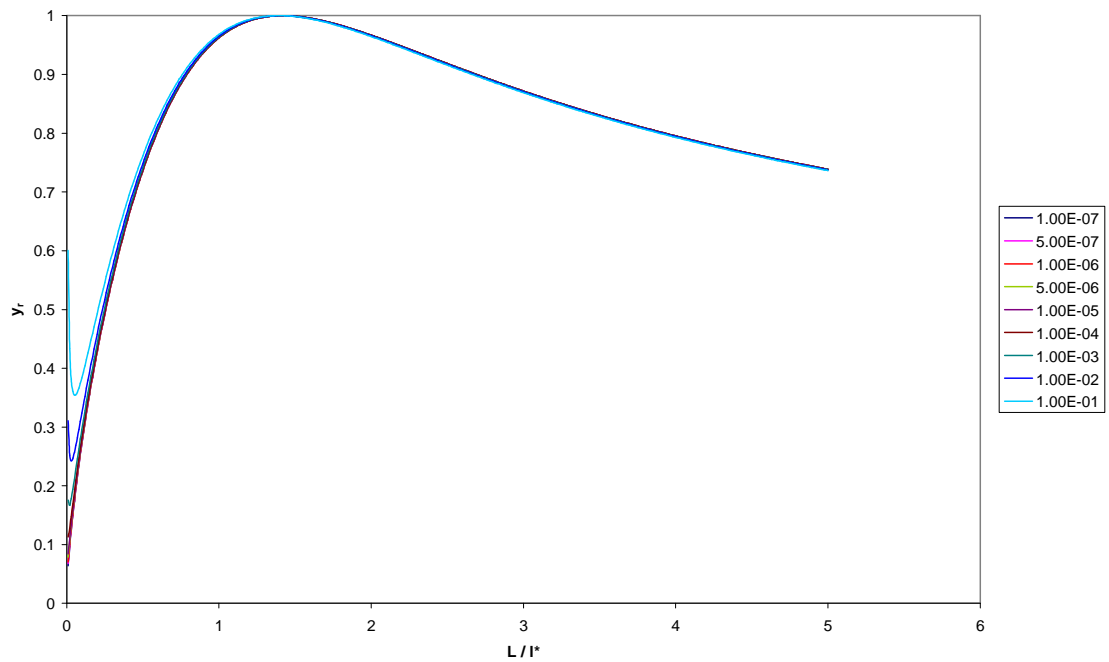


Figura 5.111. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

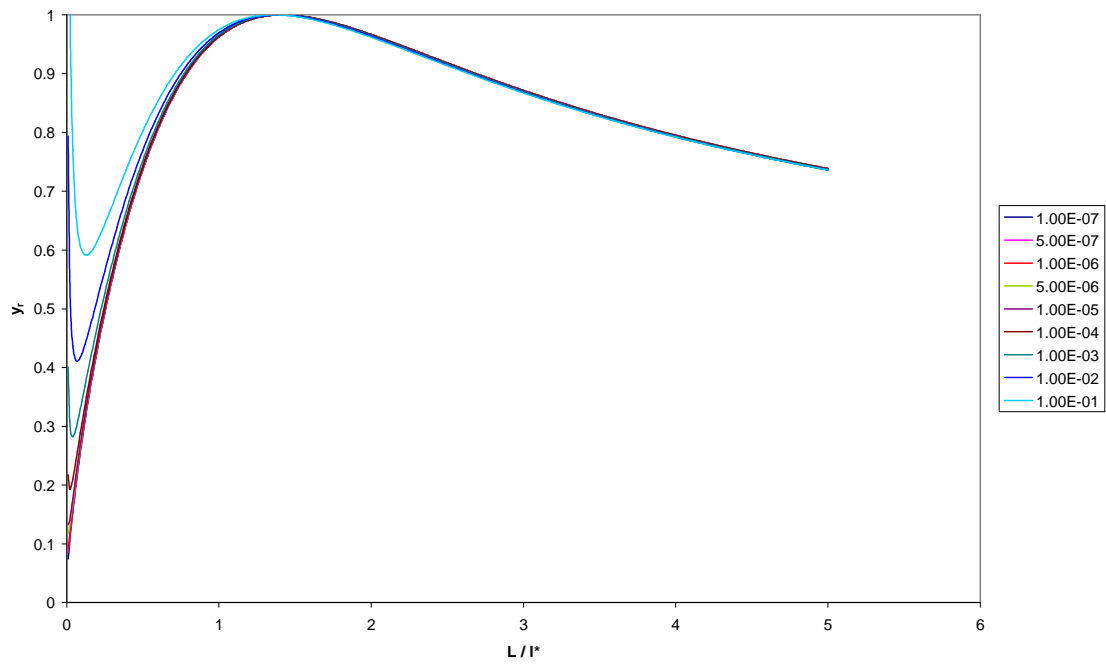


Figura 5.112. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

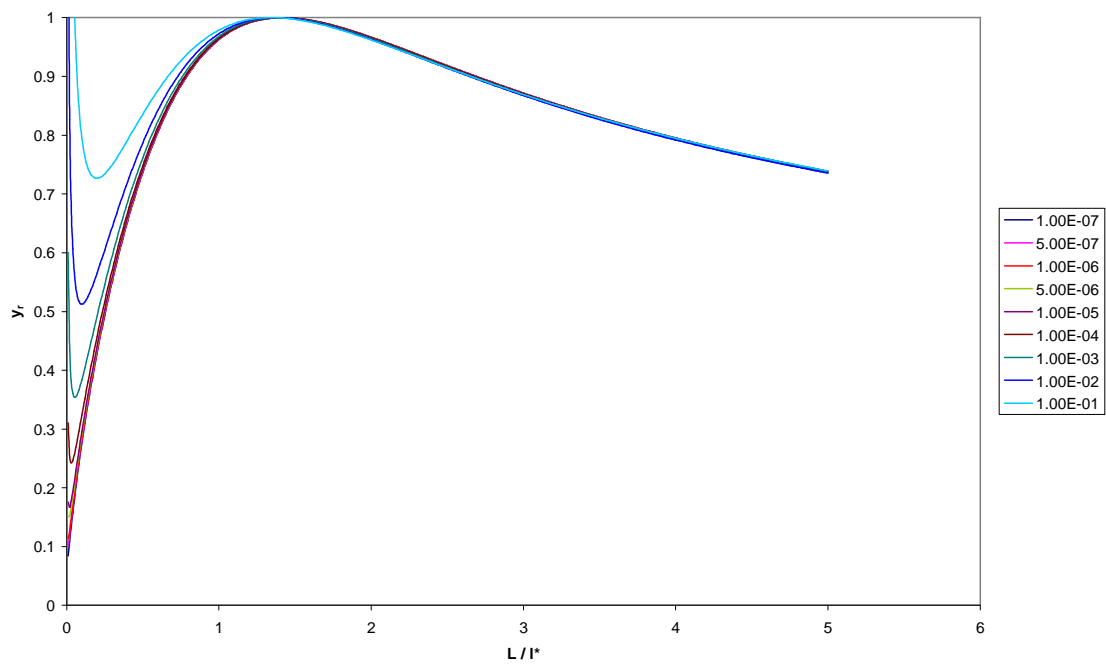


Figura 5.113. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

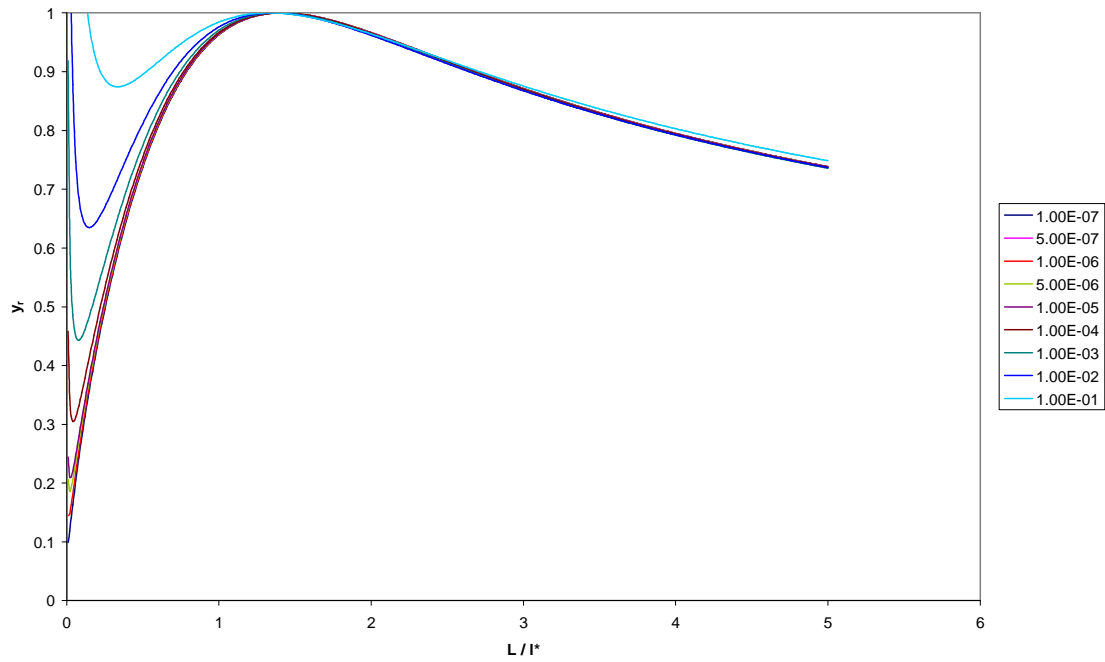


Figura 5.114. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

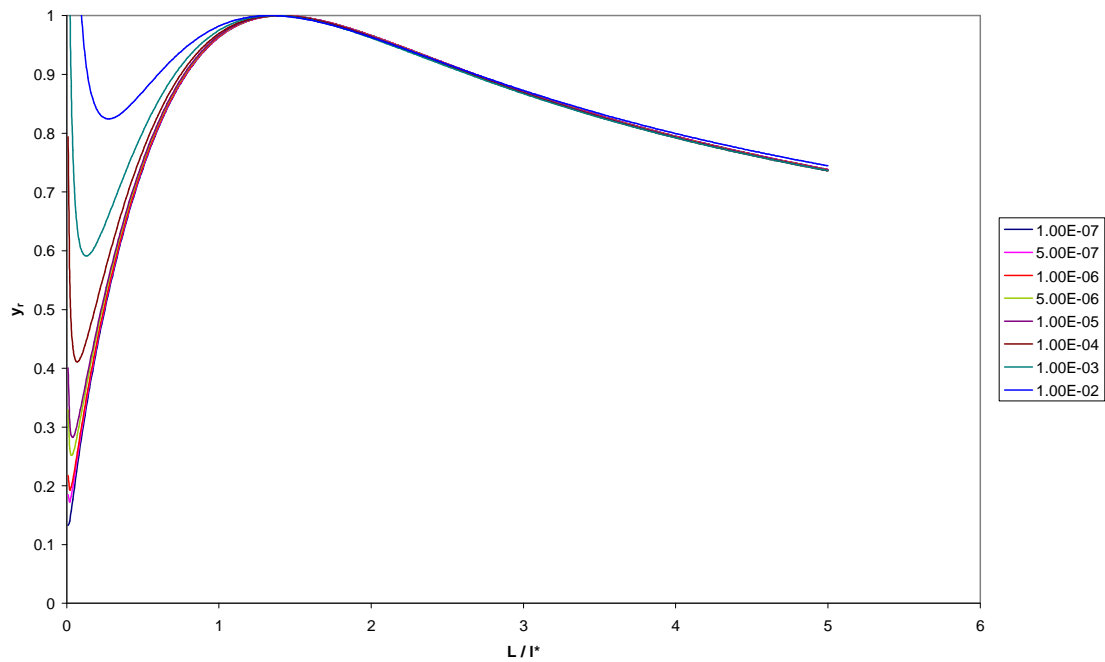


Figura 5.115. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

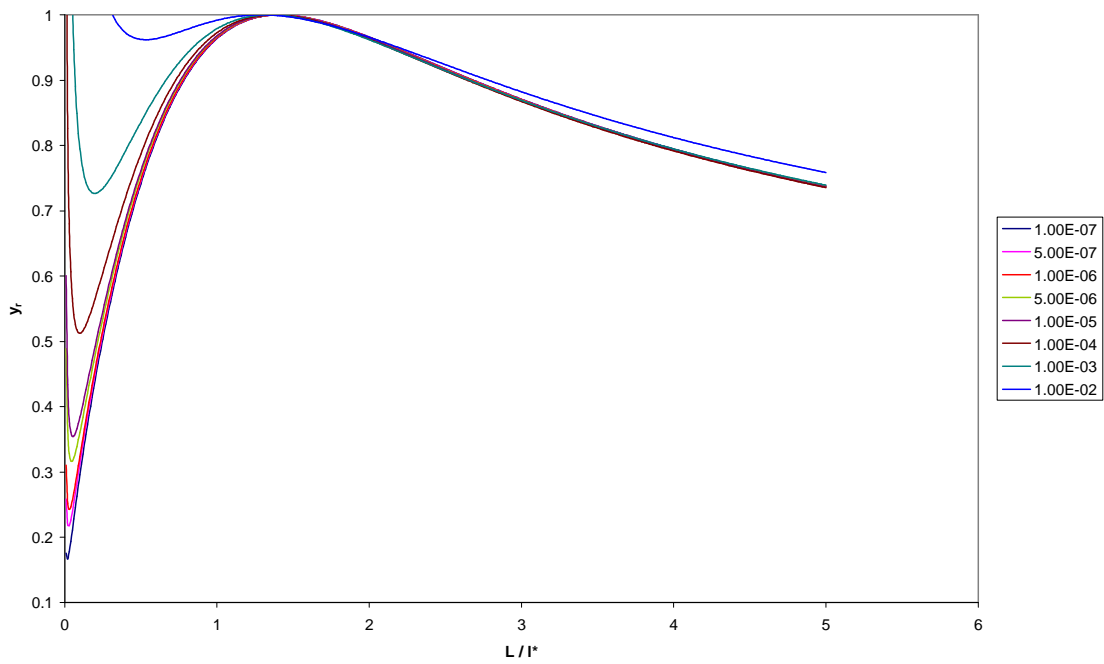


Figura 5.116. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

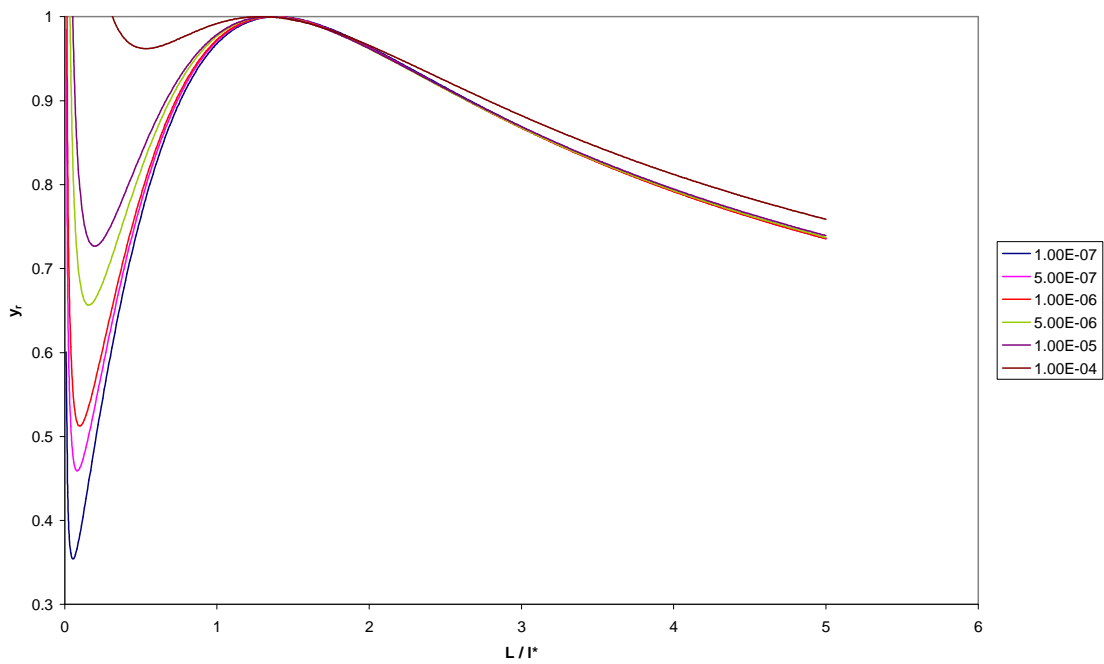


Figura 5.117. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

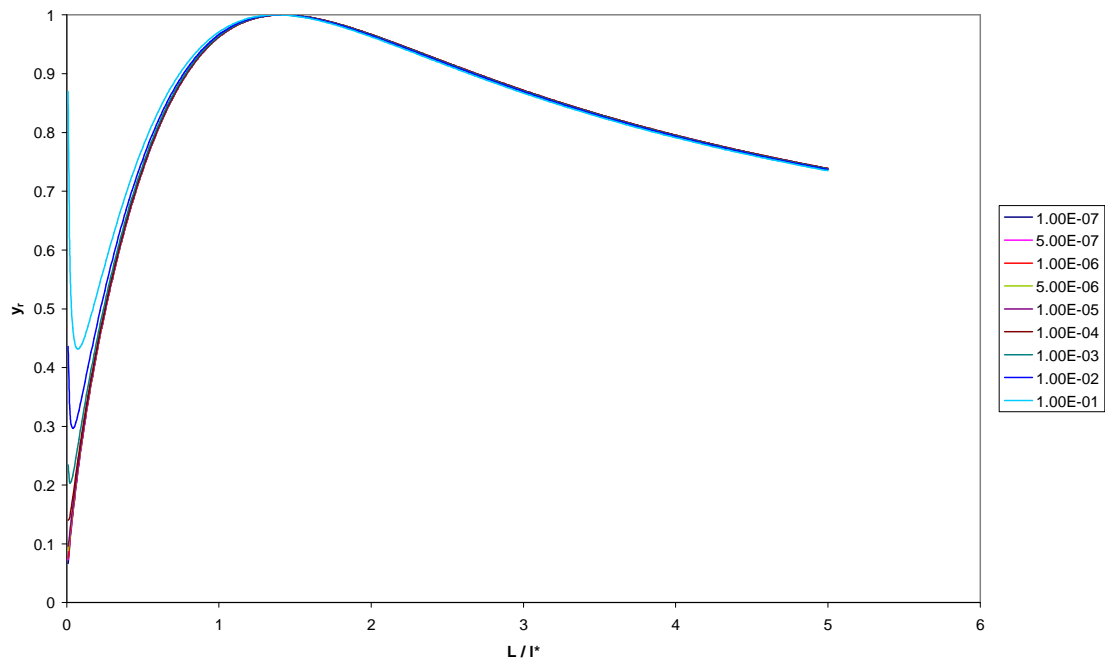


Figura 5.118. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

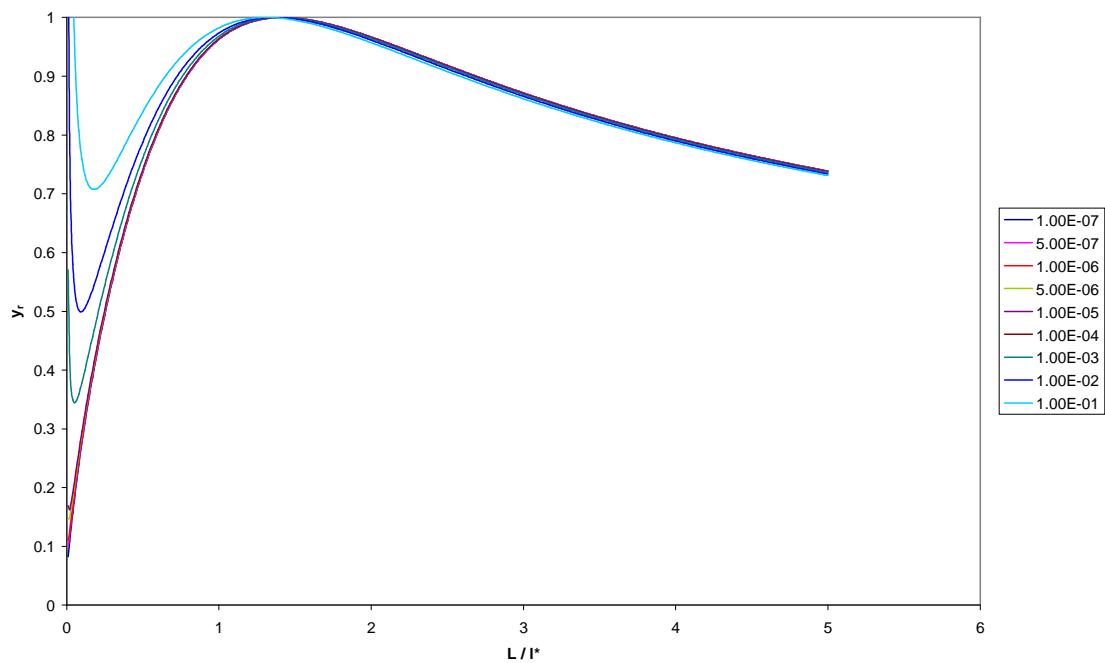


Figura 5.119. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

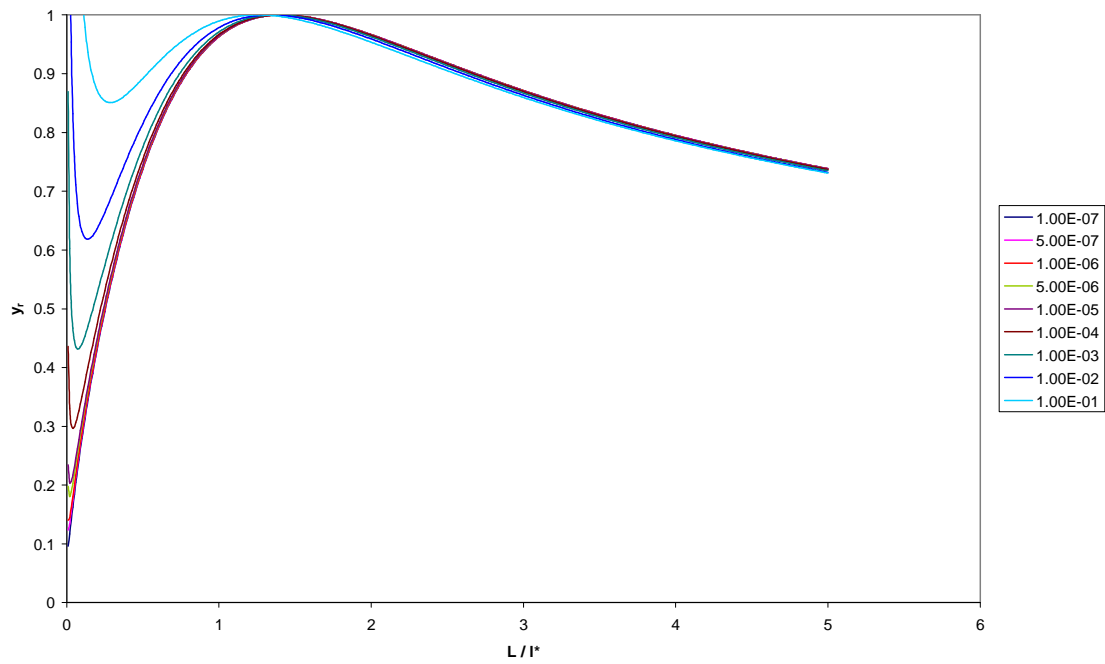


Figura 5.120. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

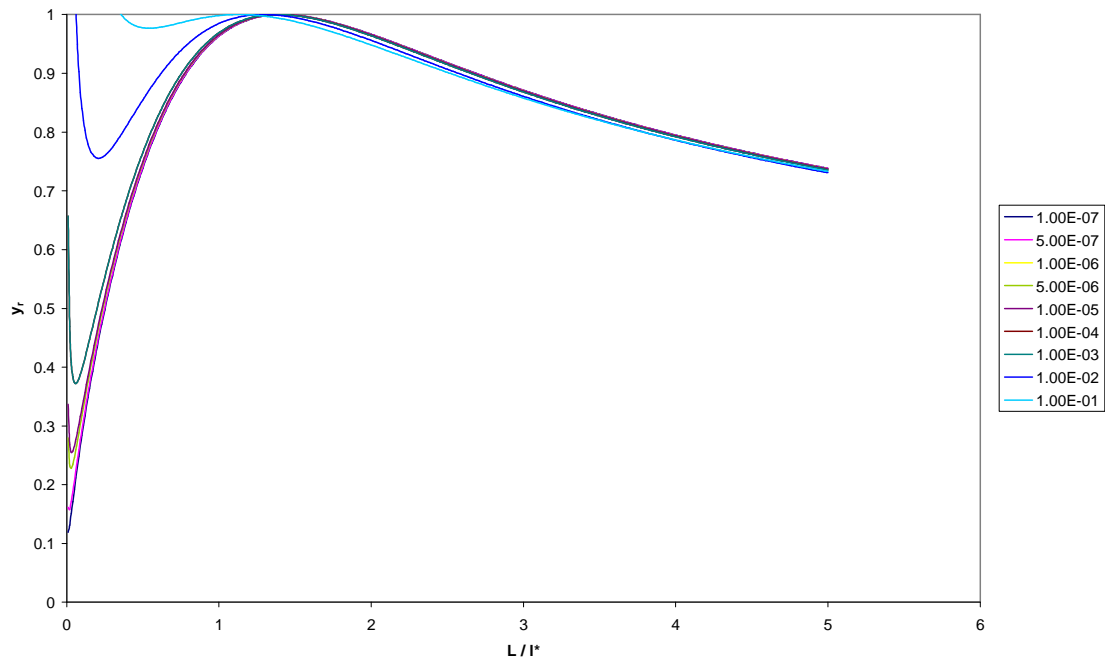


Figura 5.121. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

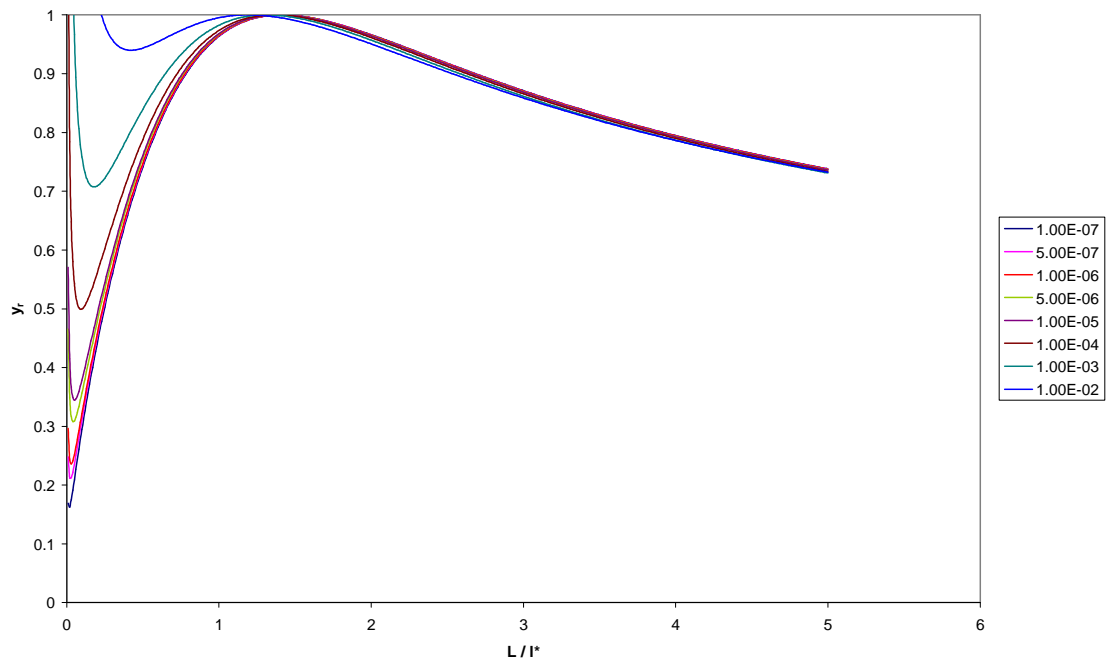


Figura 5.122. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

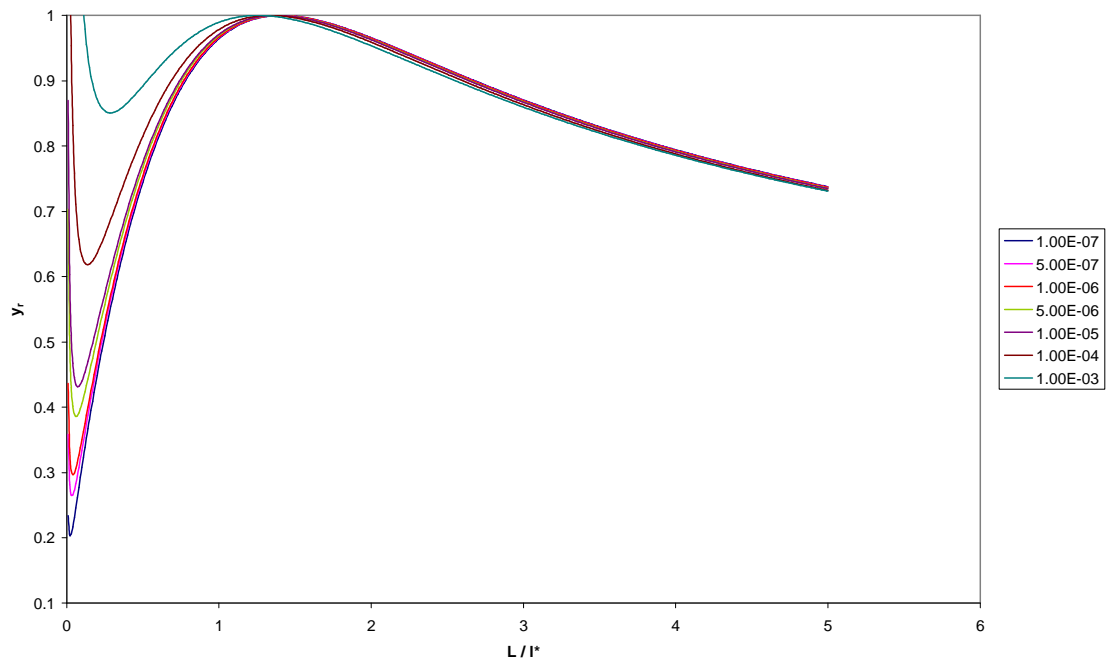


Figura 5.123. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

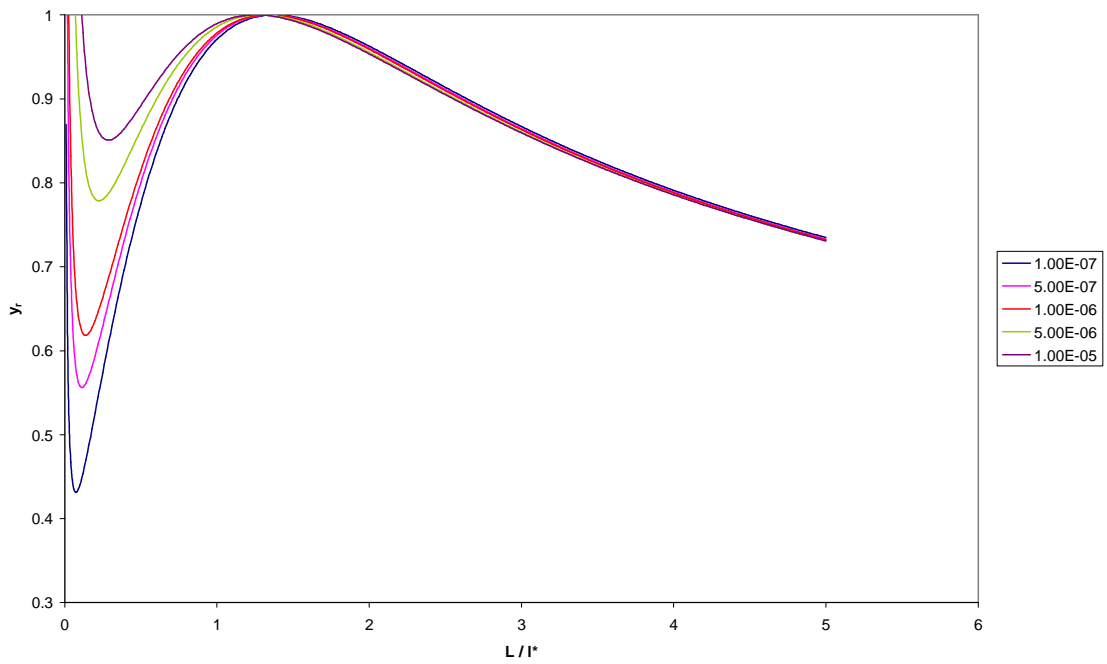


Figura 5.124. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

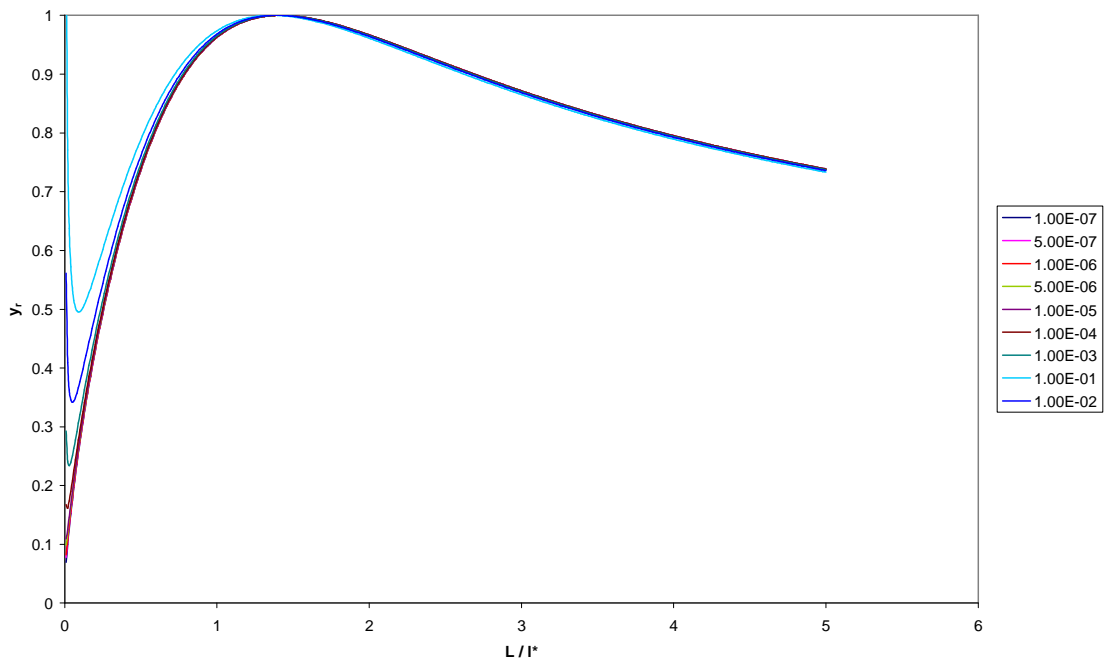


Figura 5.125. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

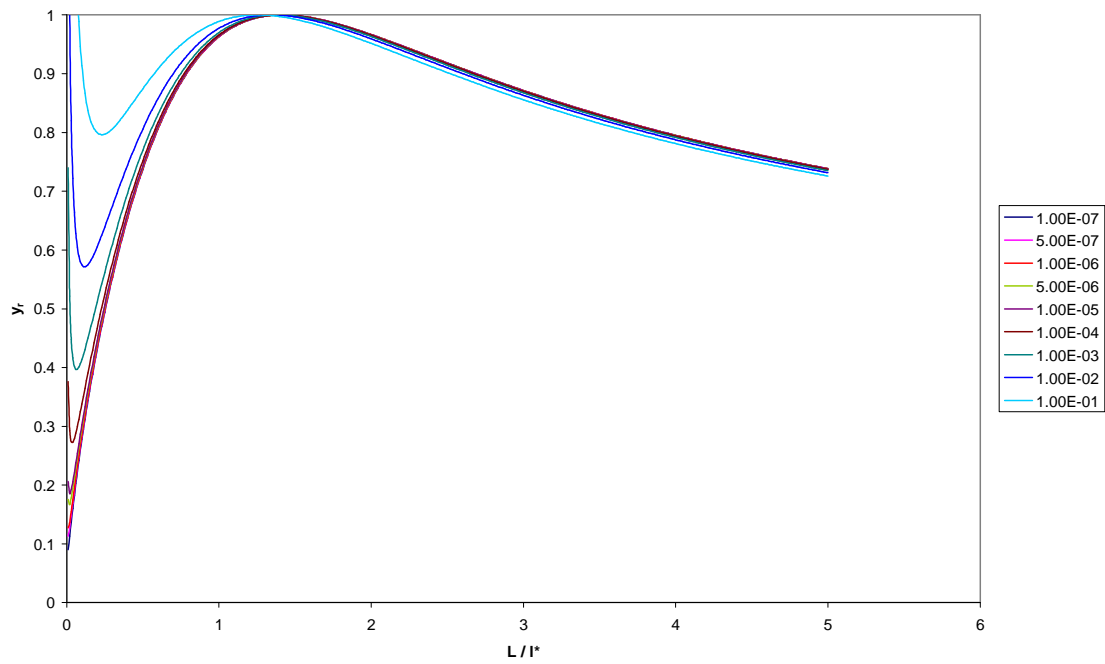


Figura 5.126. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

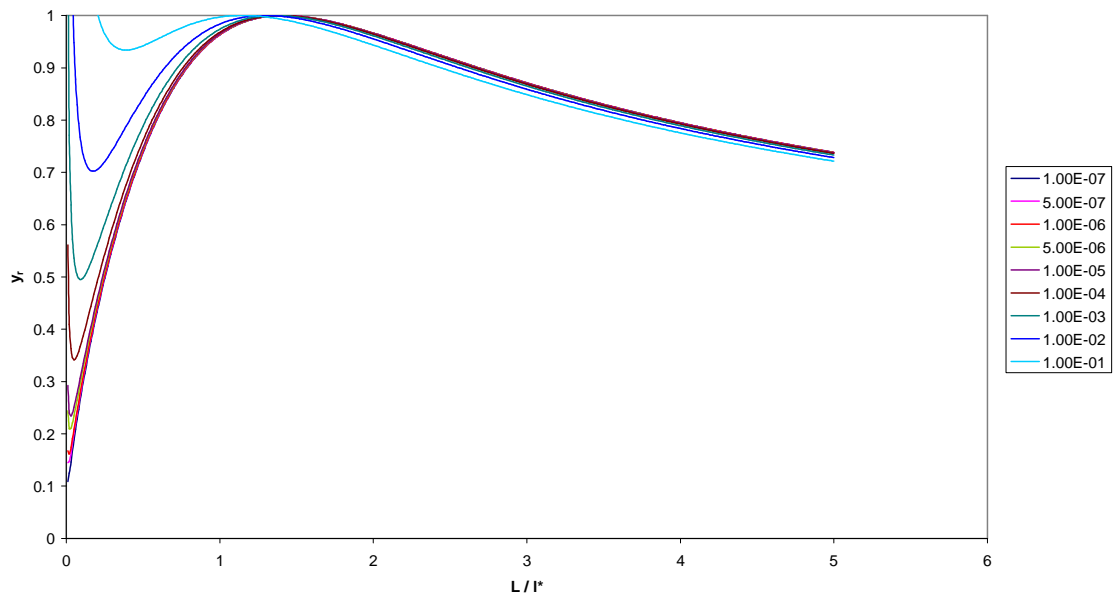


Figura 5.127. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

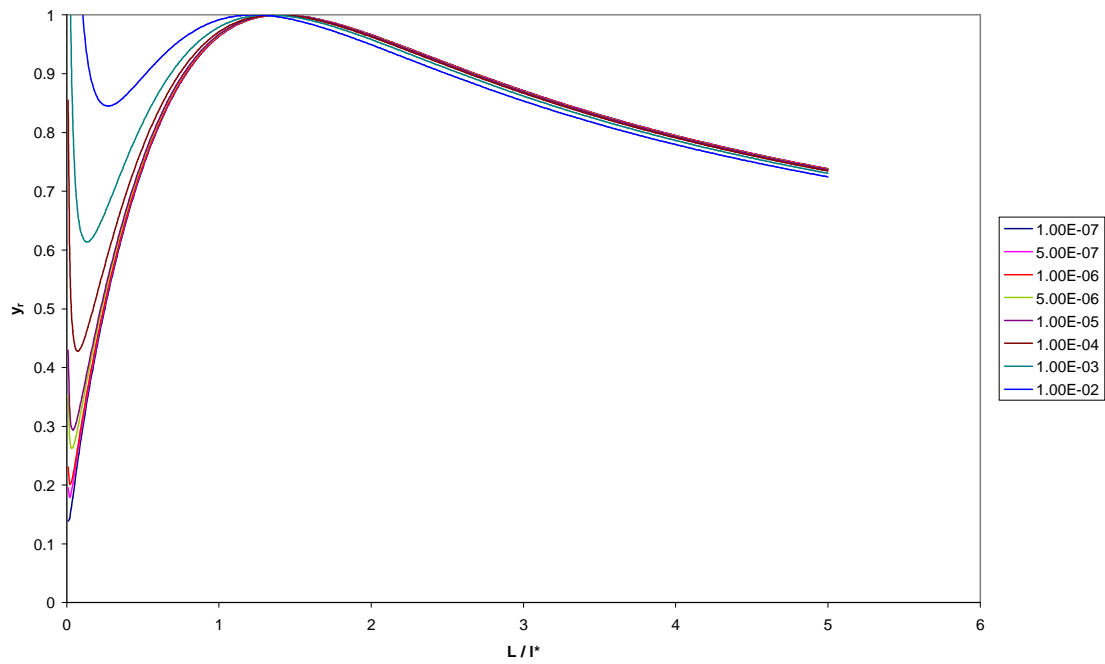


Figura 5.128. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

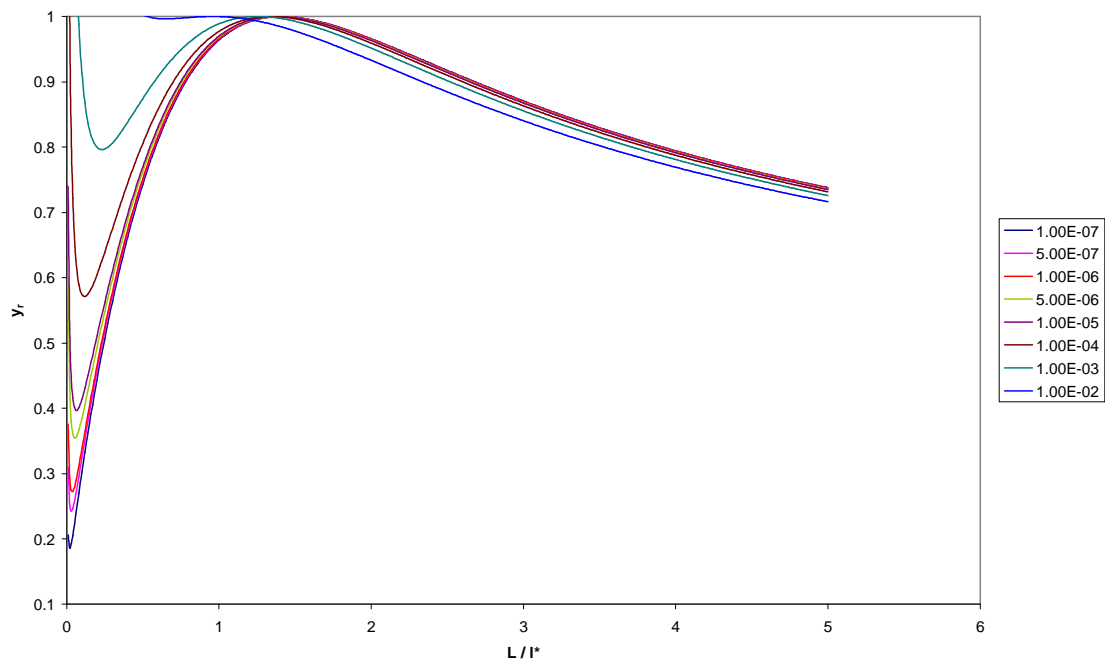


Figura 5.129. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

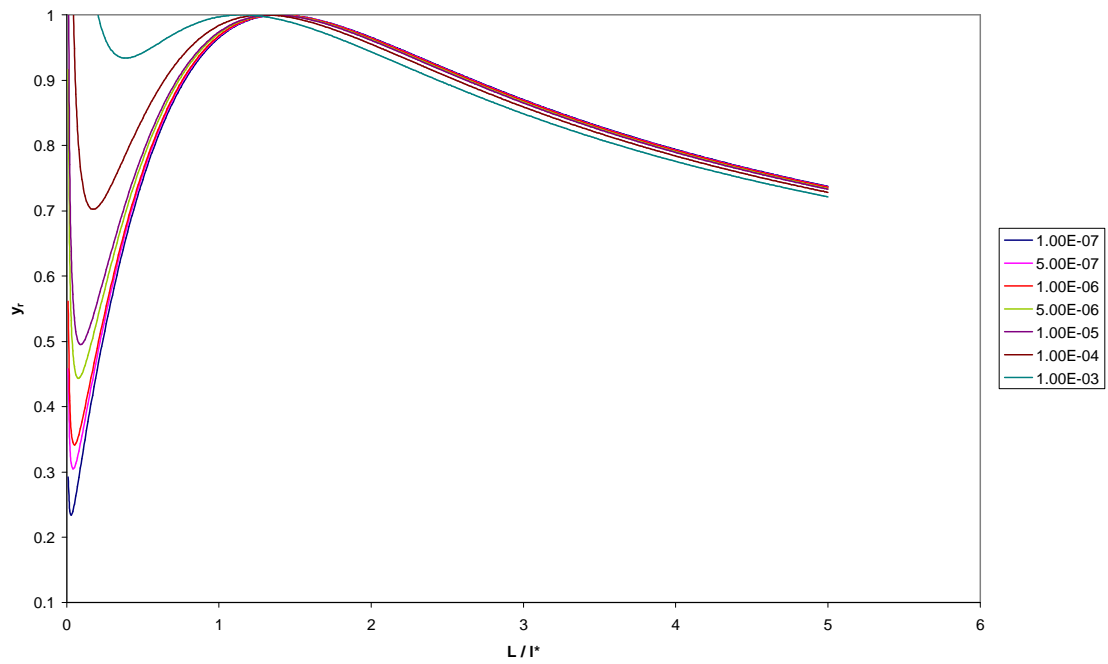


Figura 5.130. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

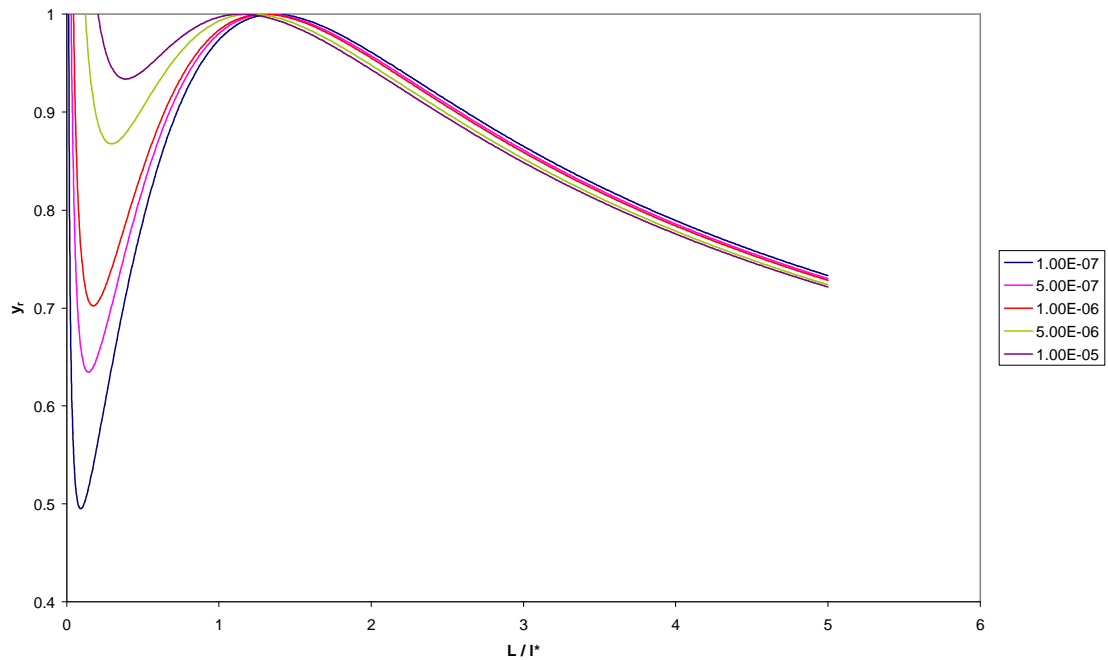


Figura 5.131. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

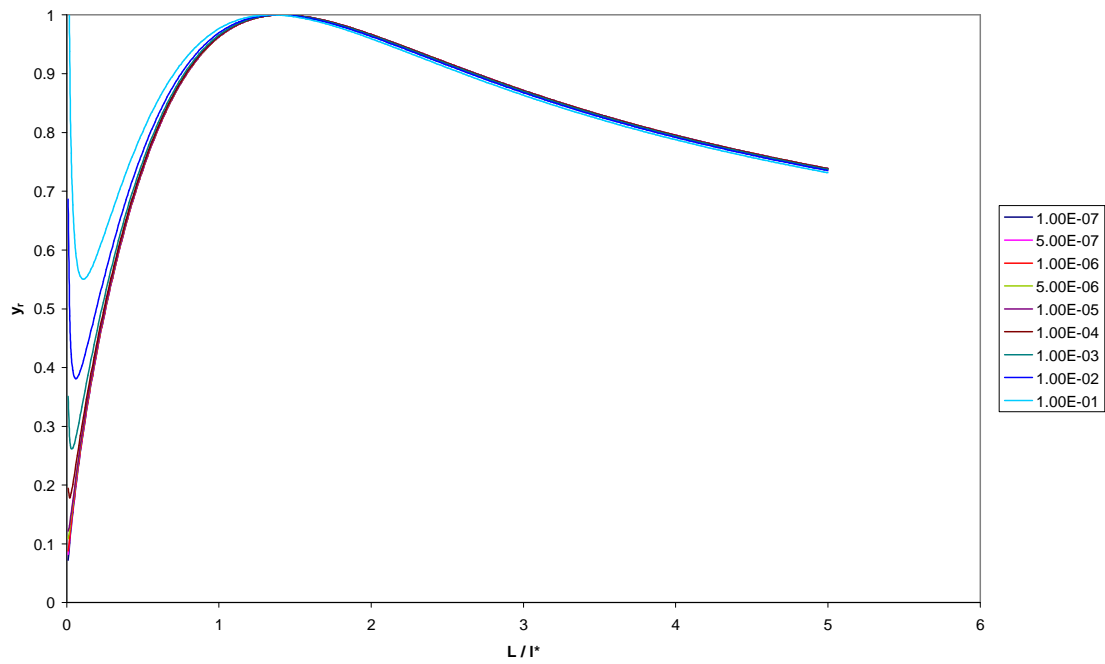


Figura 5.132. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

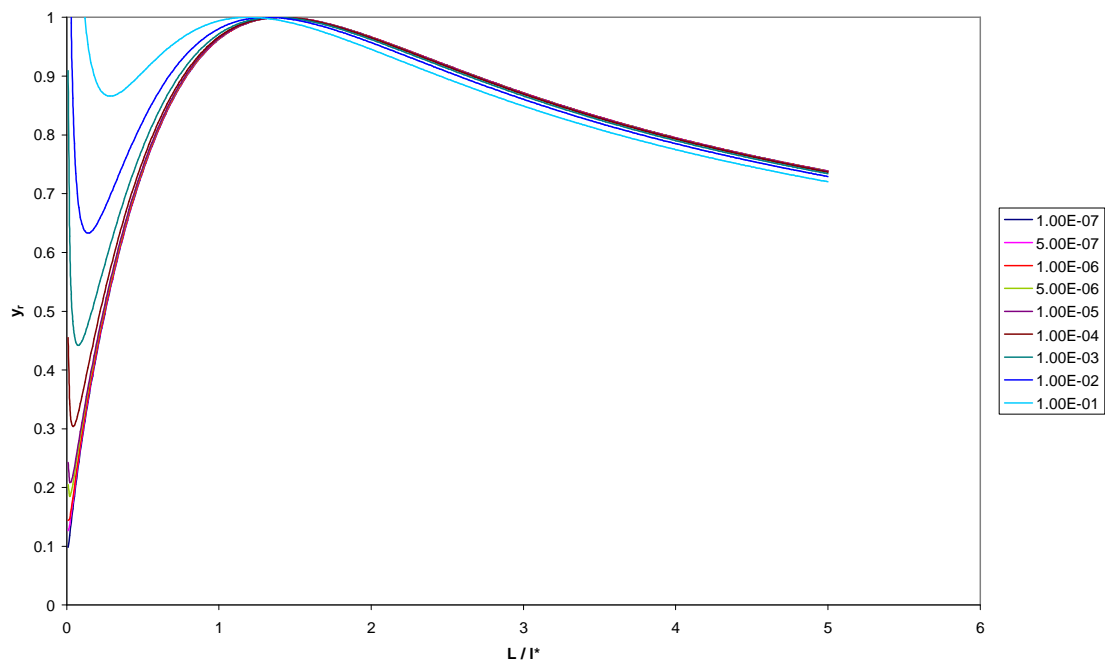


Figura 5.133. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

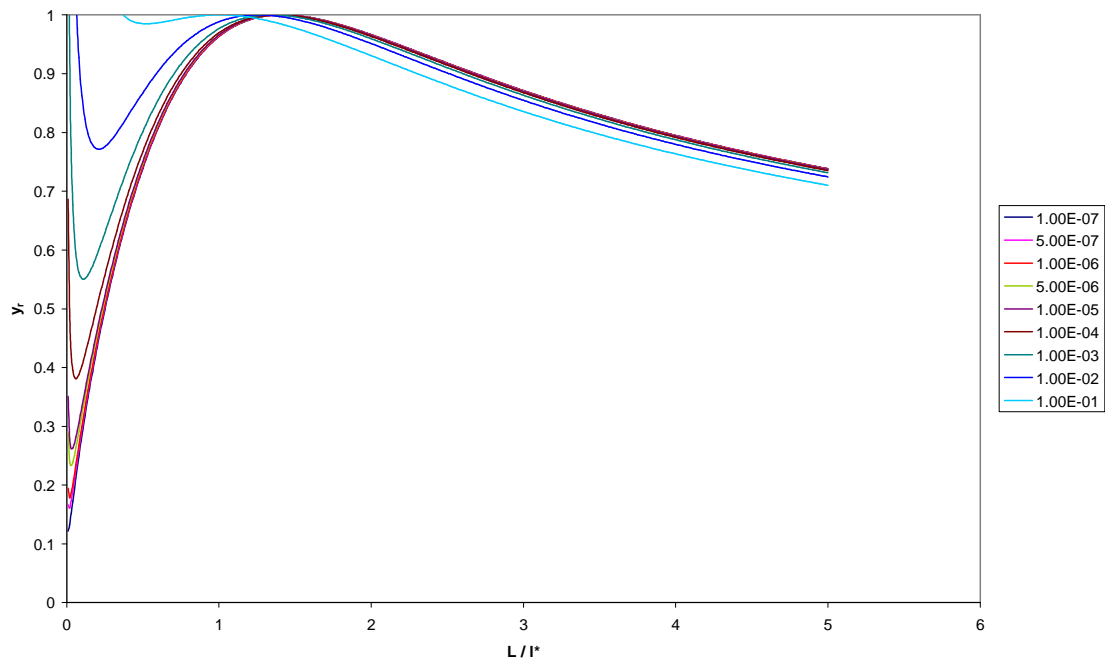


Figura 5.134. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

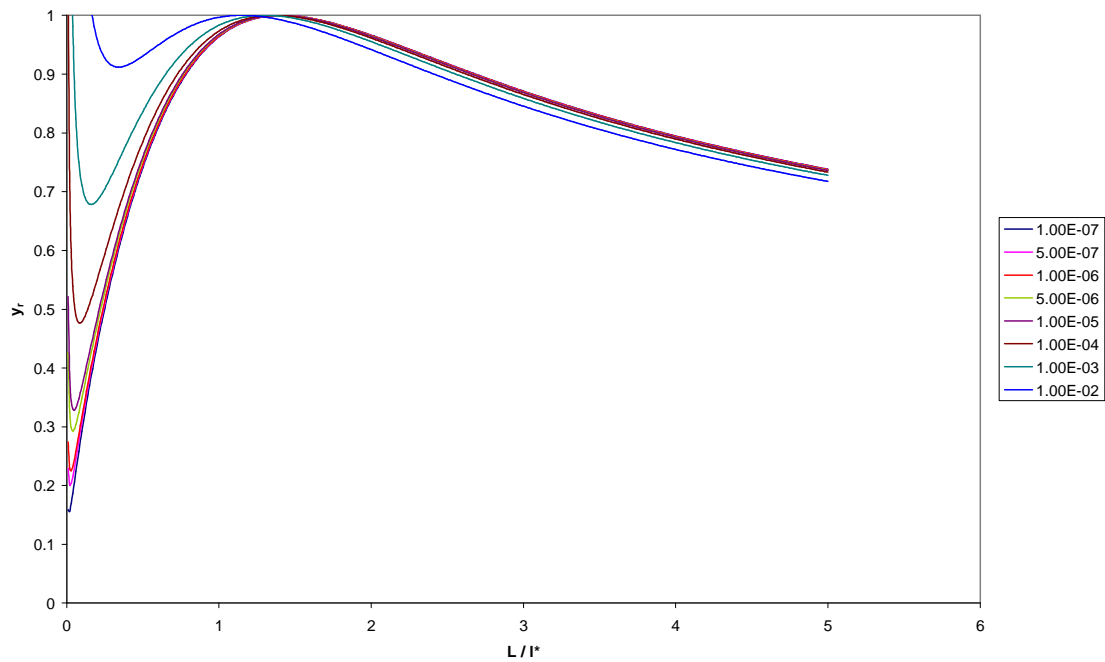


Figura 5.135. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

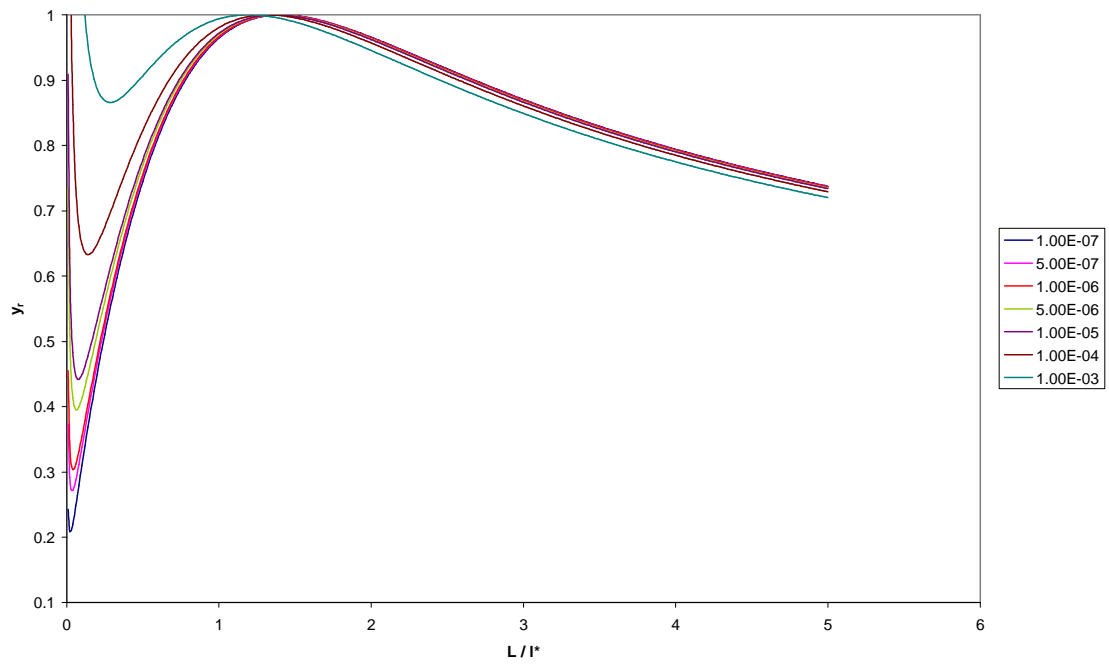


Figura 5.136. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

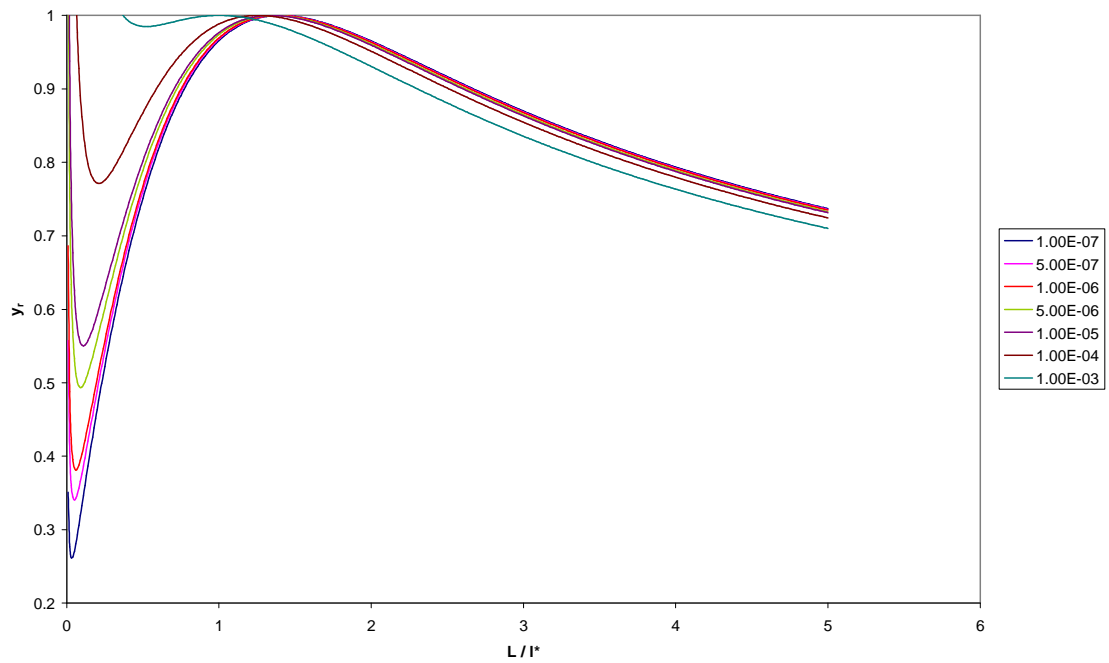


Figura 5.137. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

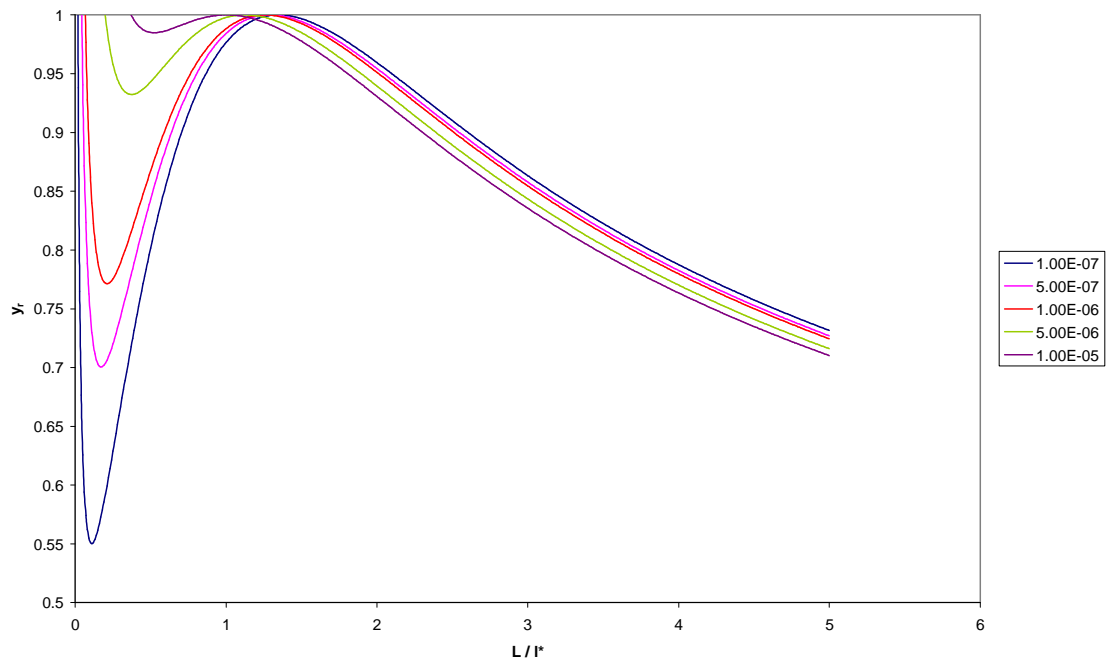


Figura 5.138. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

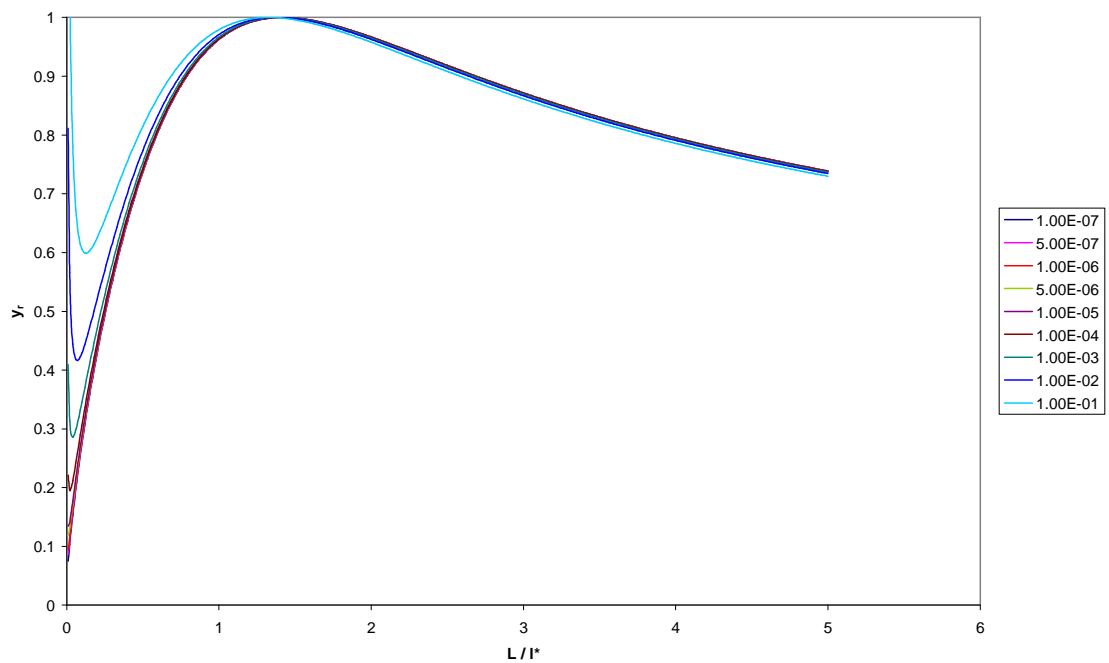


Figura 5.139. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

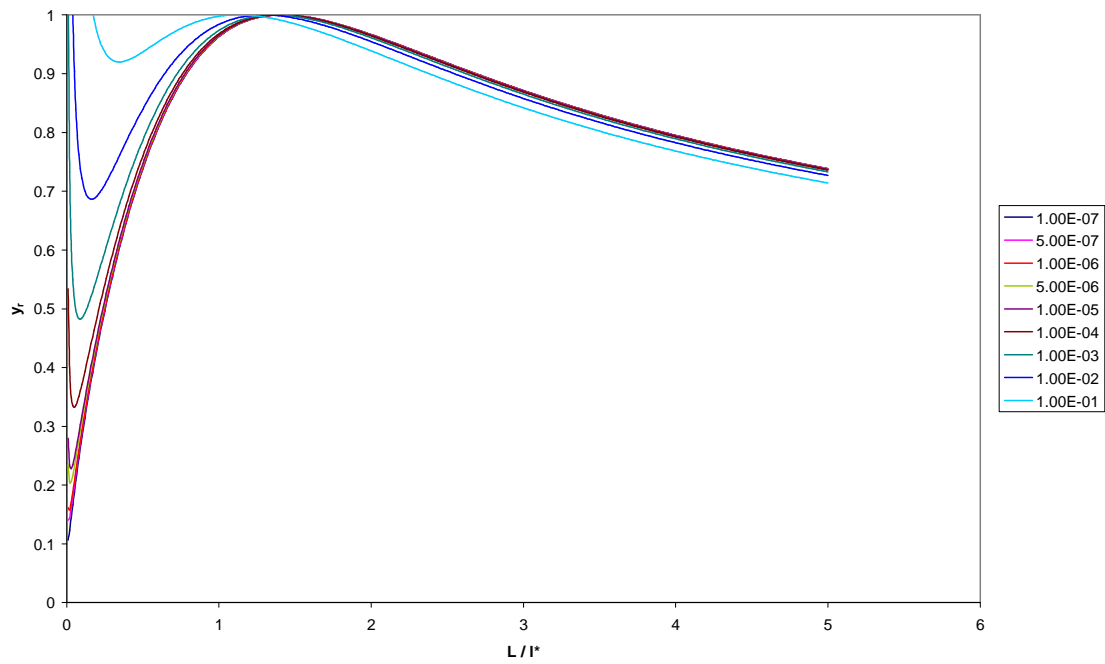


Figura 5.140. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

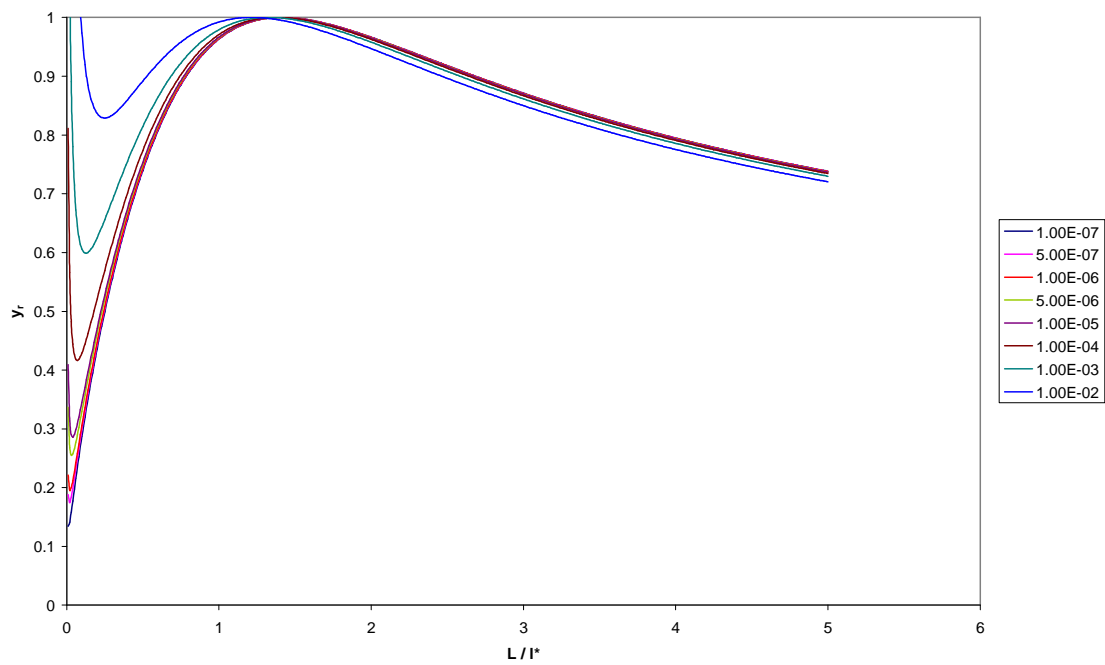


Figura 5.141. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

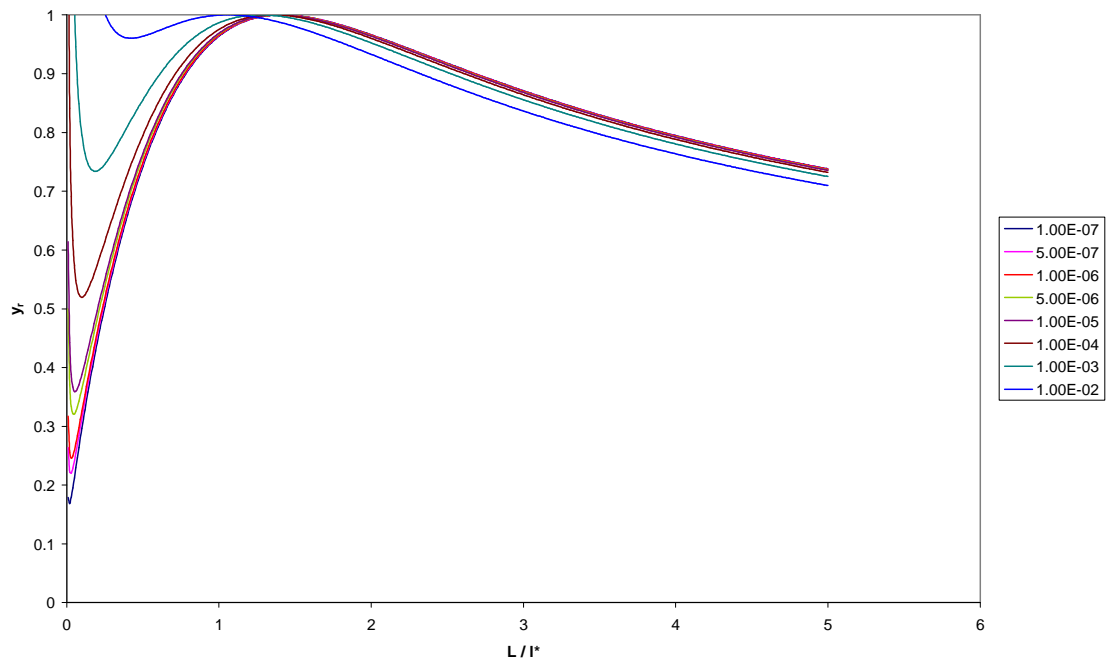


Figura 5.142. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

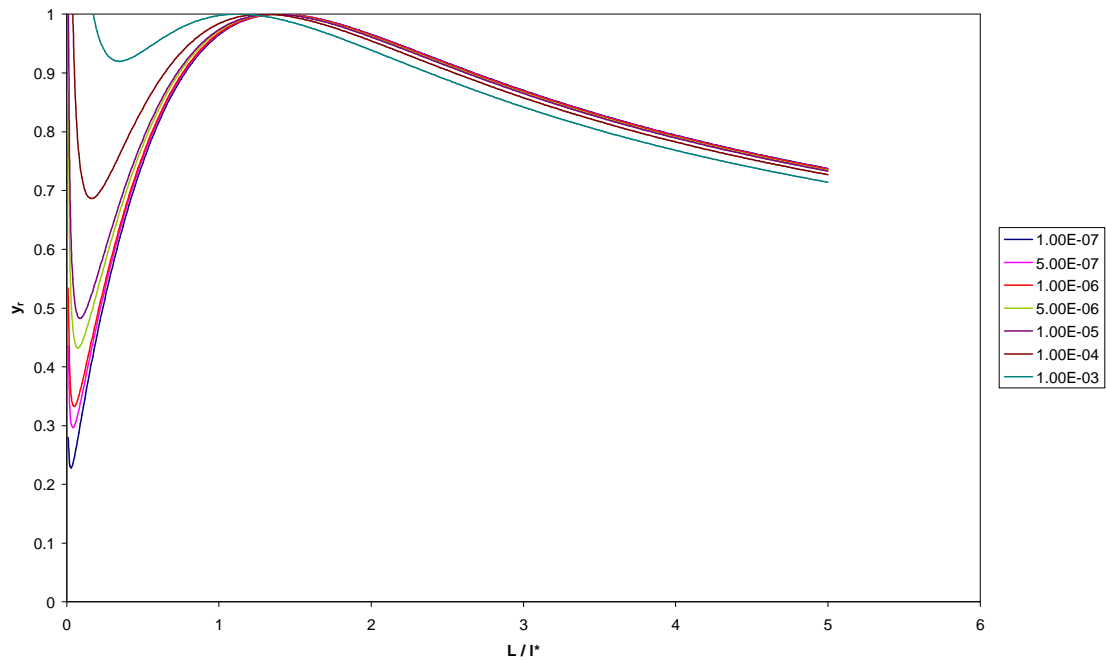


Figura 5.143. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

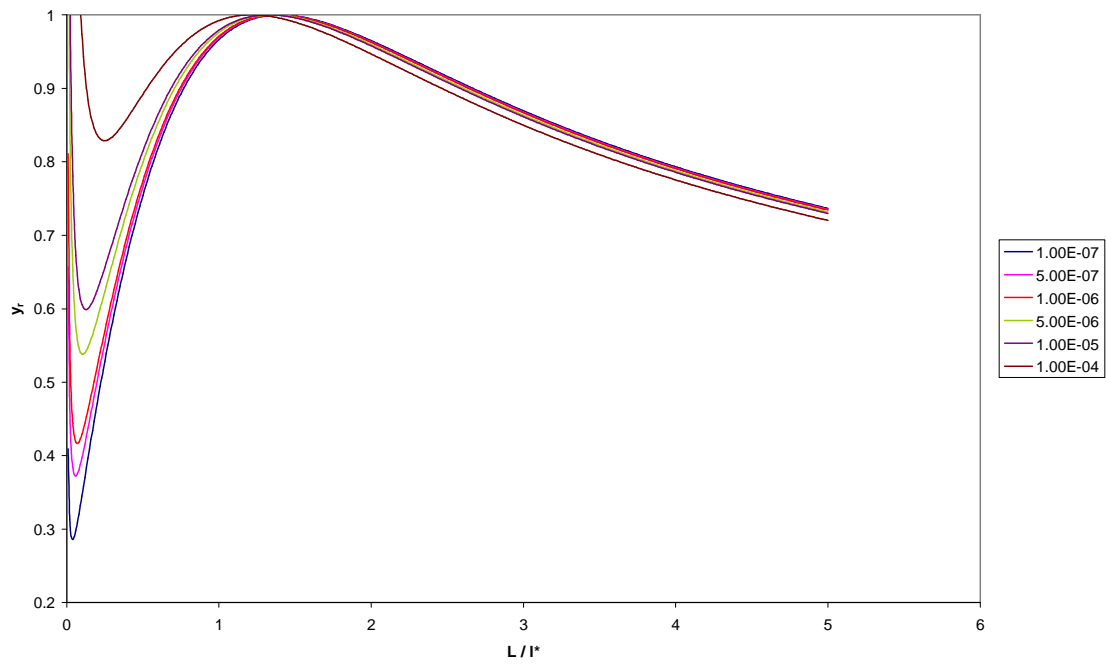


Figura 5.144. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

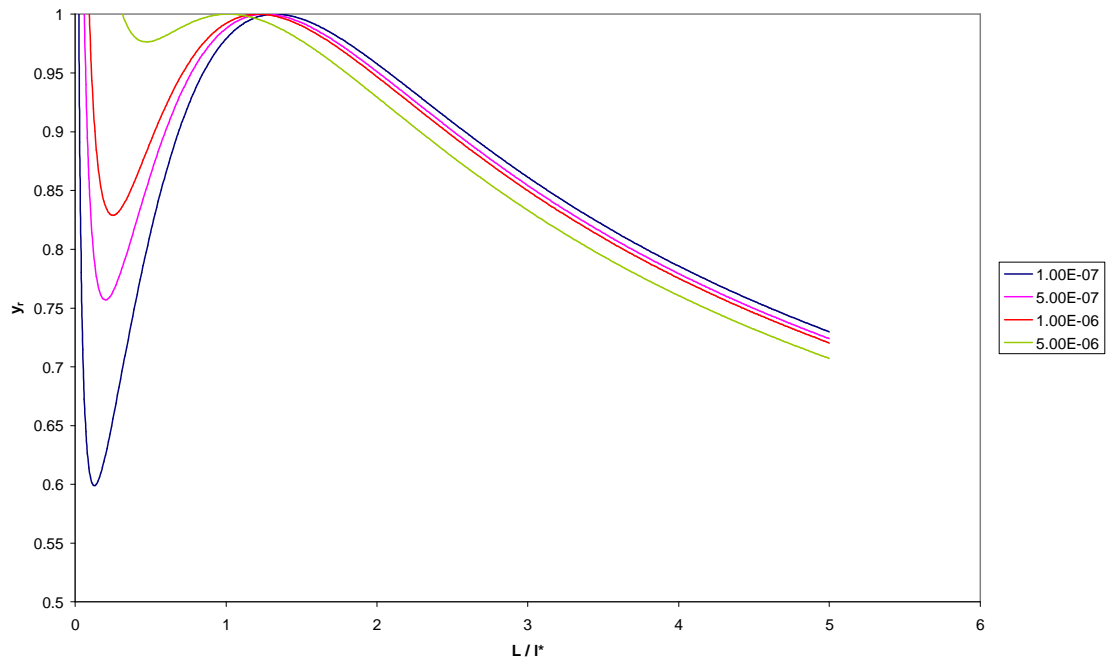


Figura 5.145. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

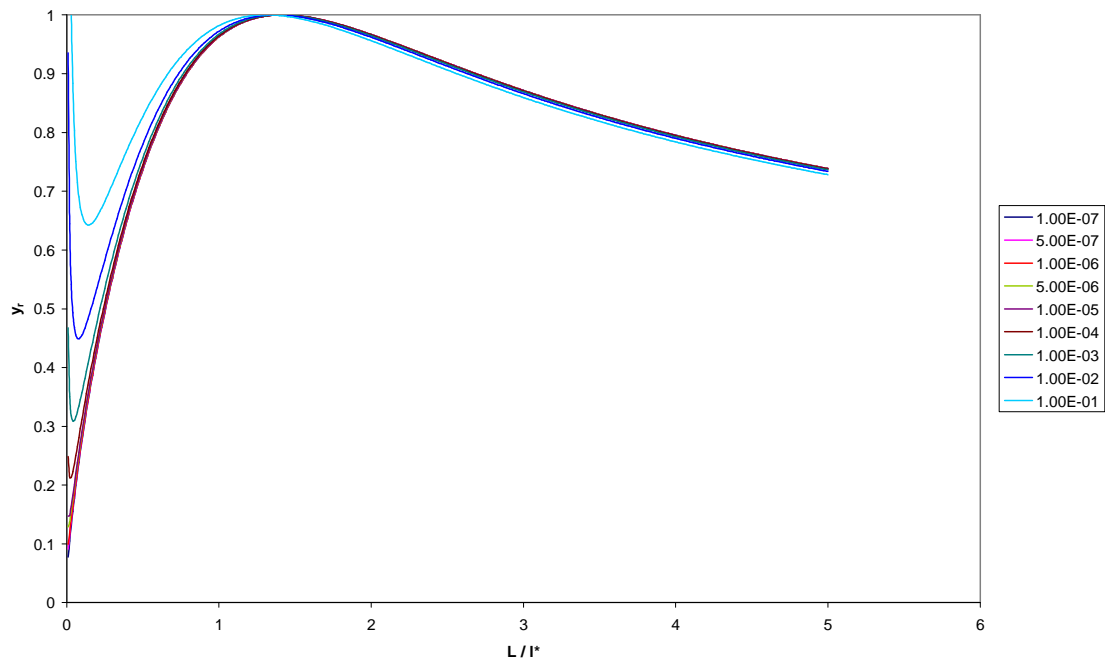


Figura 5.146. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

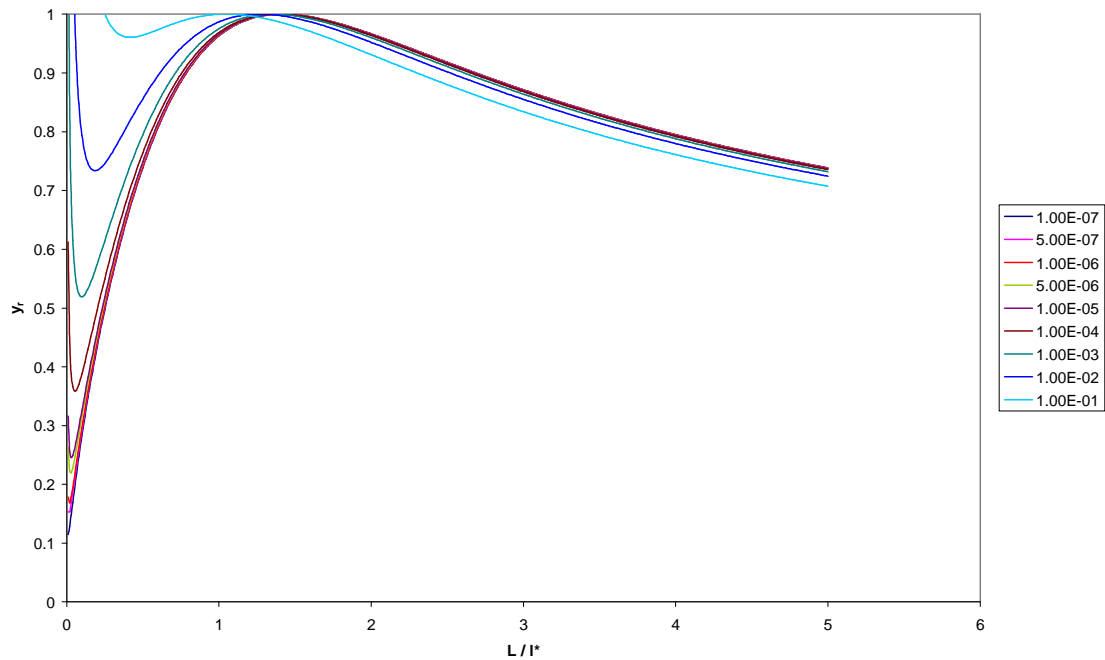


Figura 5.147. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

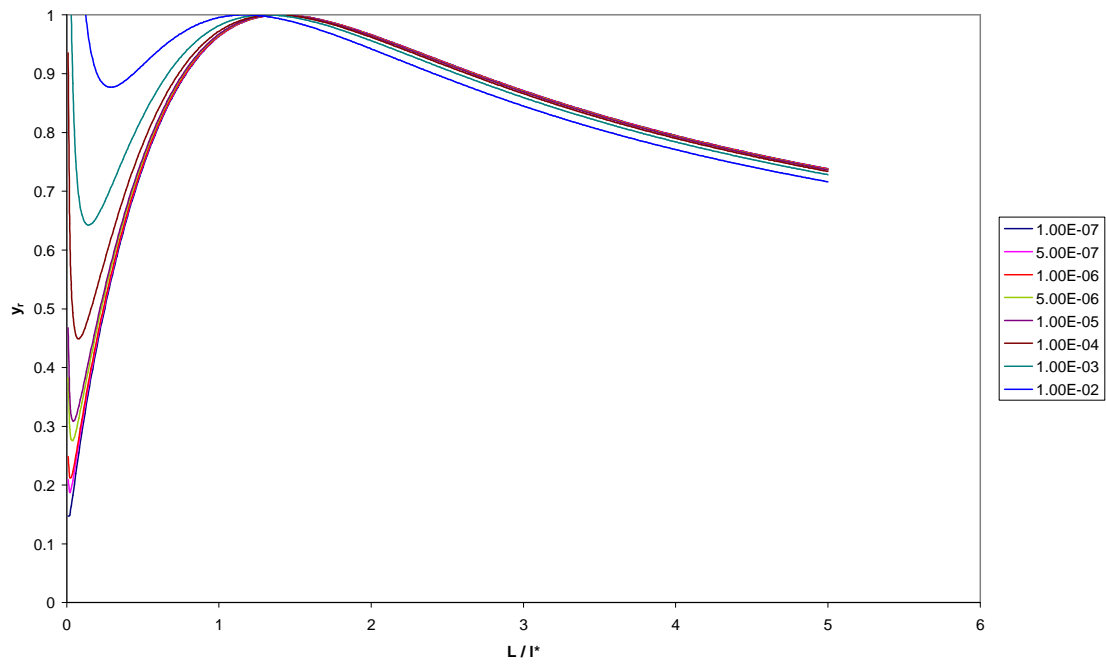


Figura 5.148. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

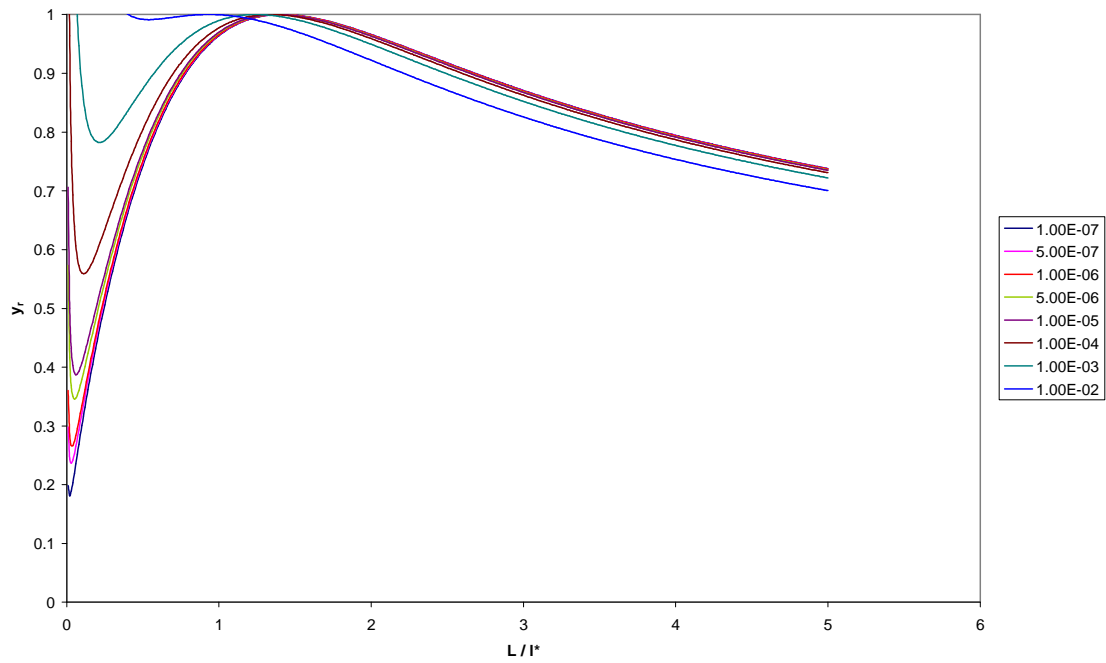


Figura 5.149. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

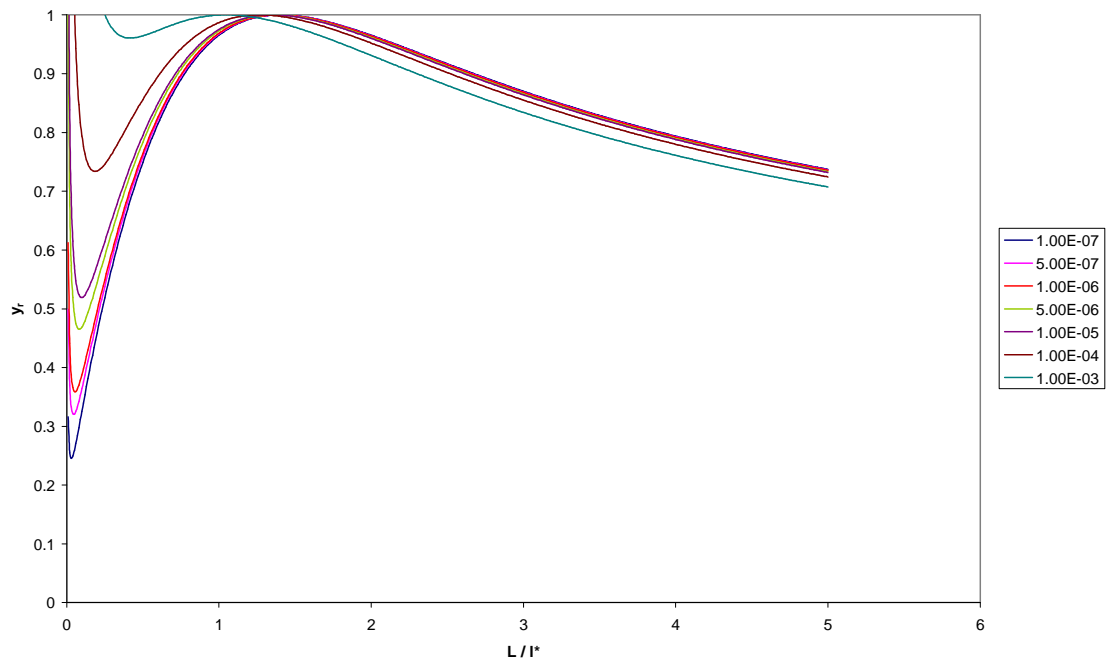


Figura 5.150. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

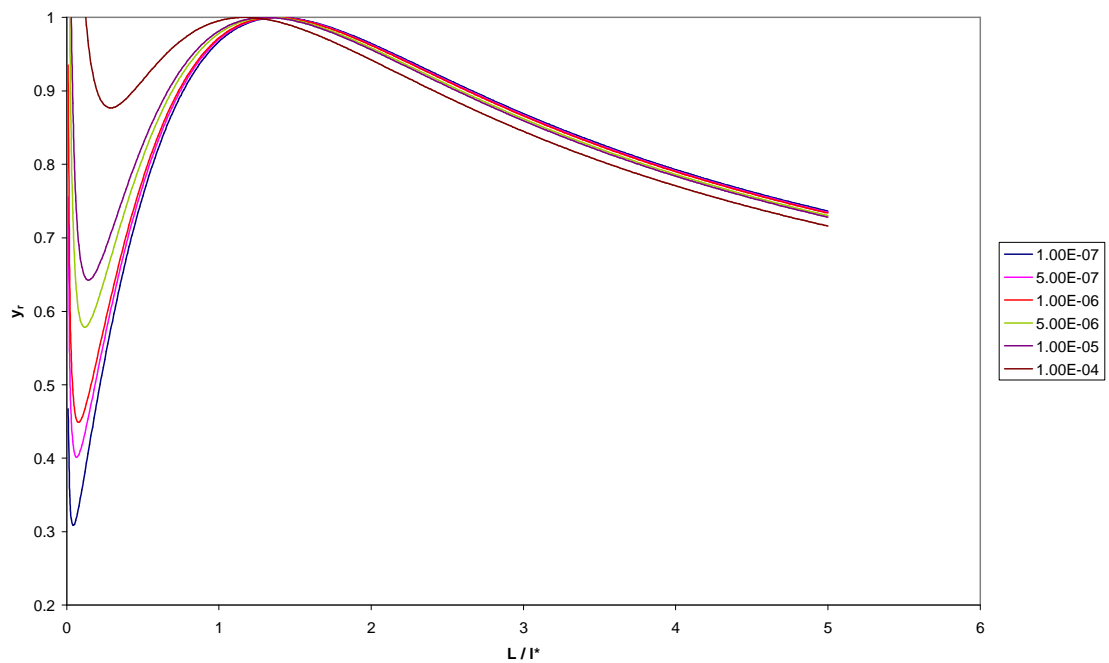


Figura 5.151. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

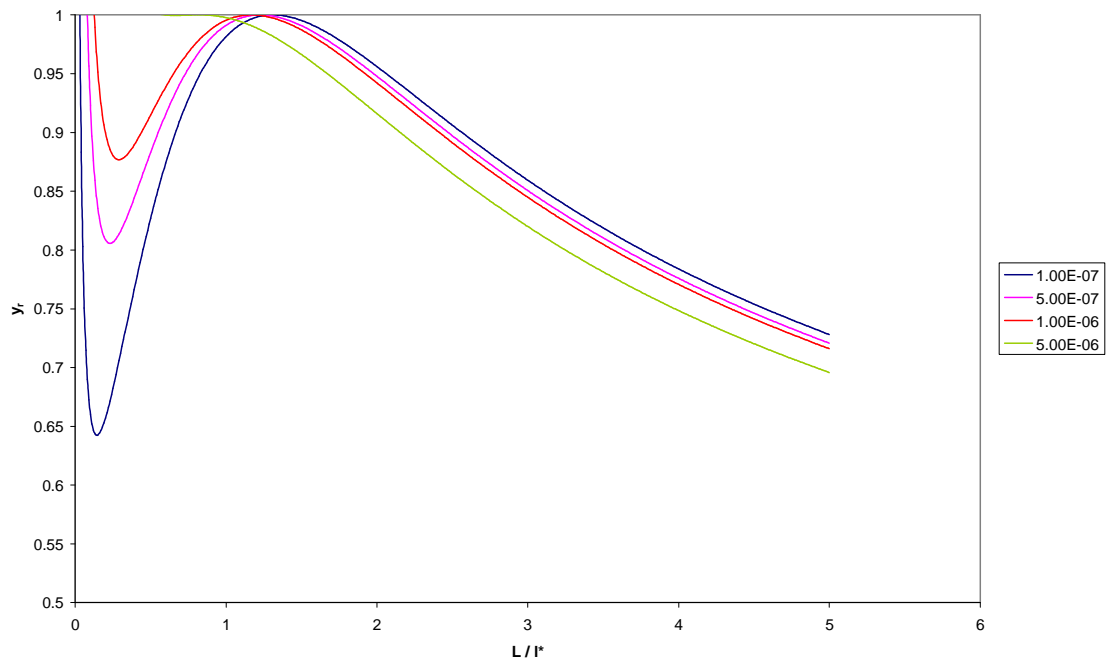


Figura 5.152. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

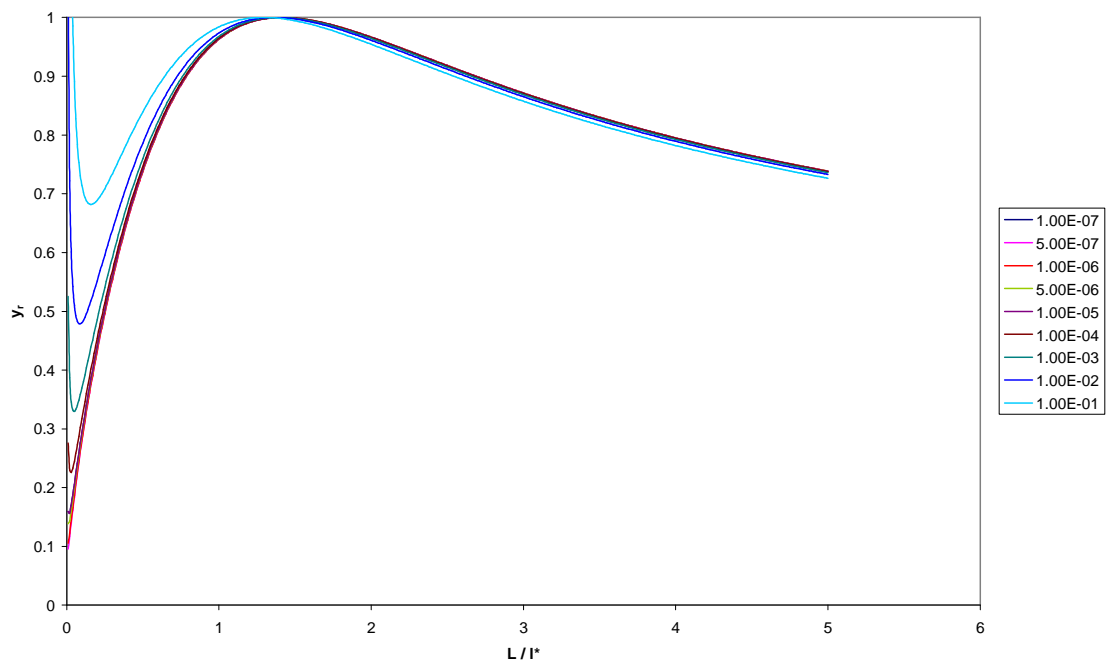


Figura 5.153. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

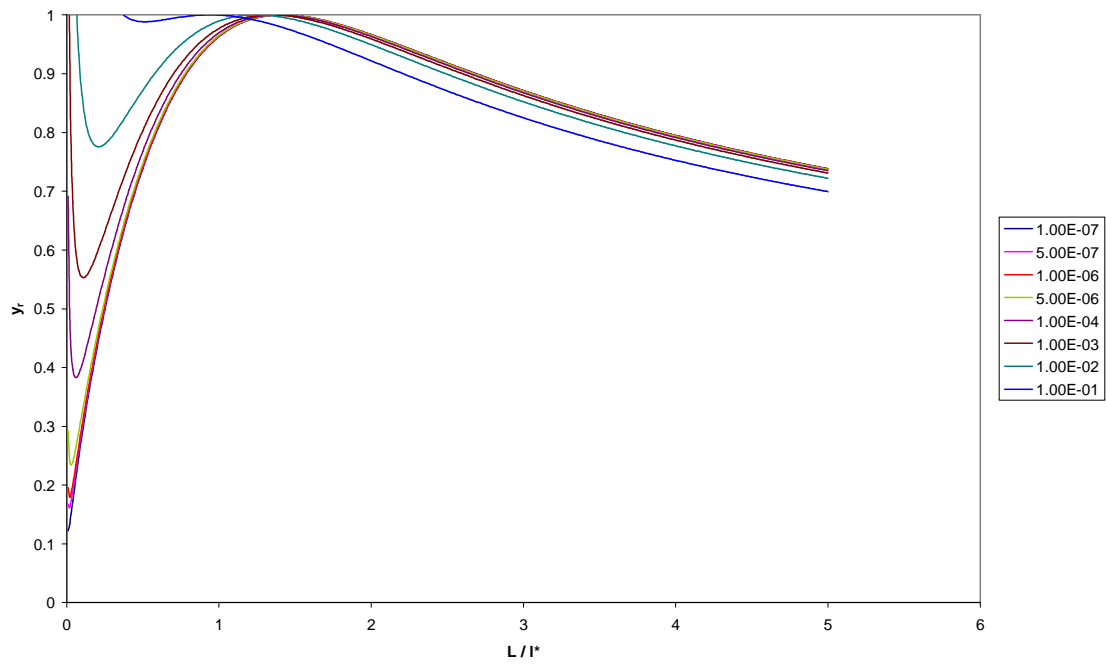


Figura 5.154. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

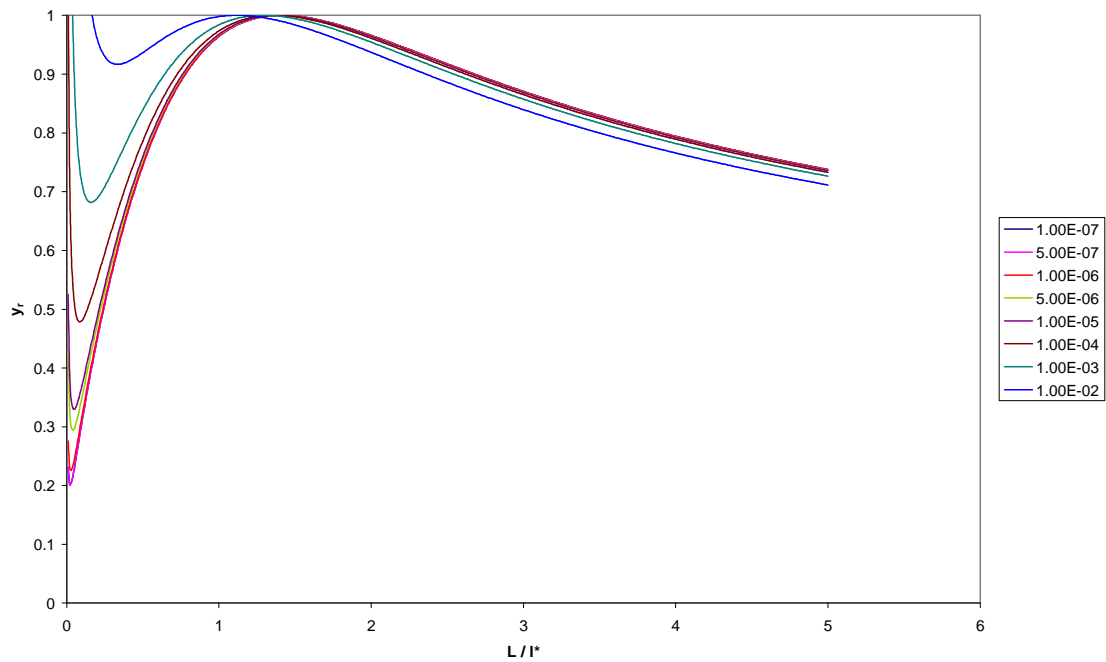


Figura 5.155. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

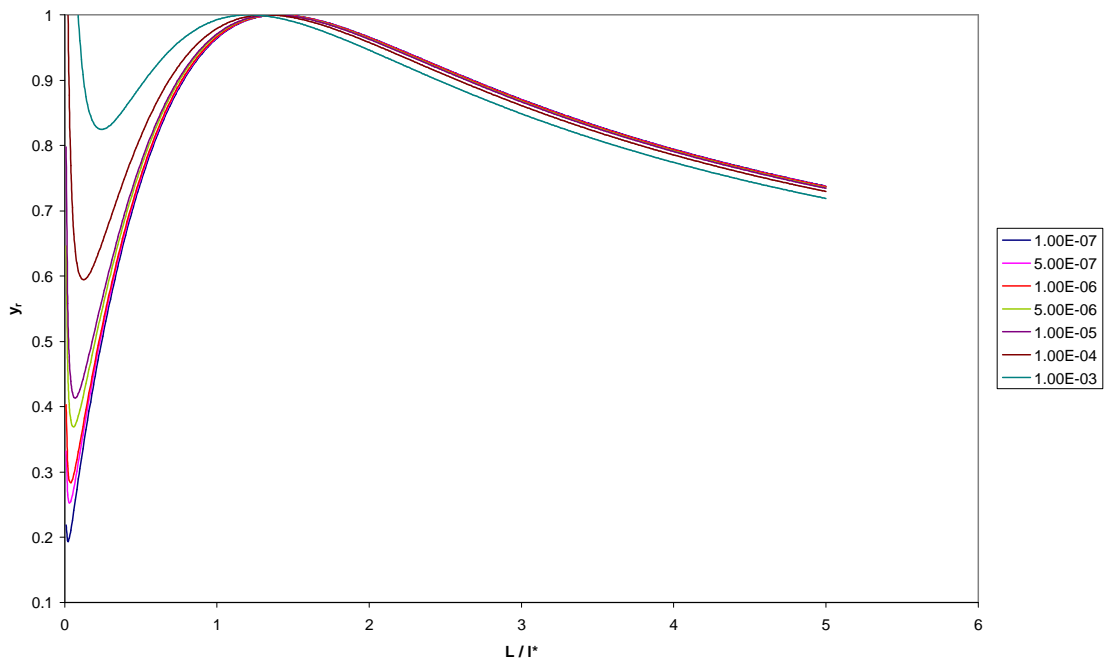


Figura 5.156. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

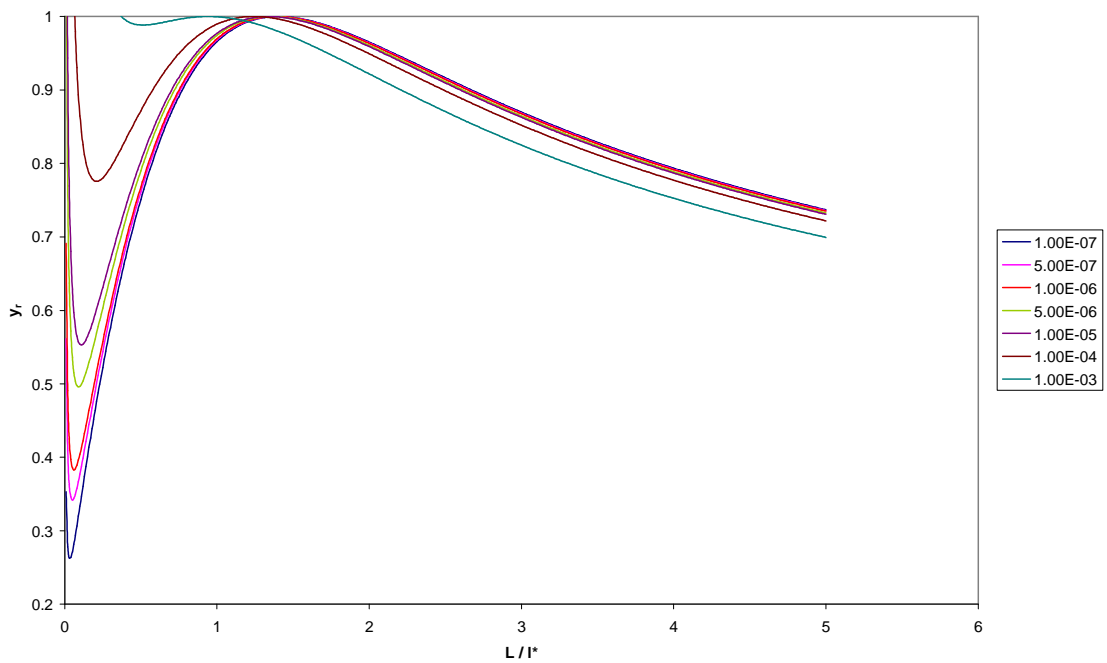


Figura 5.157. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

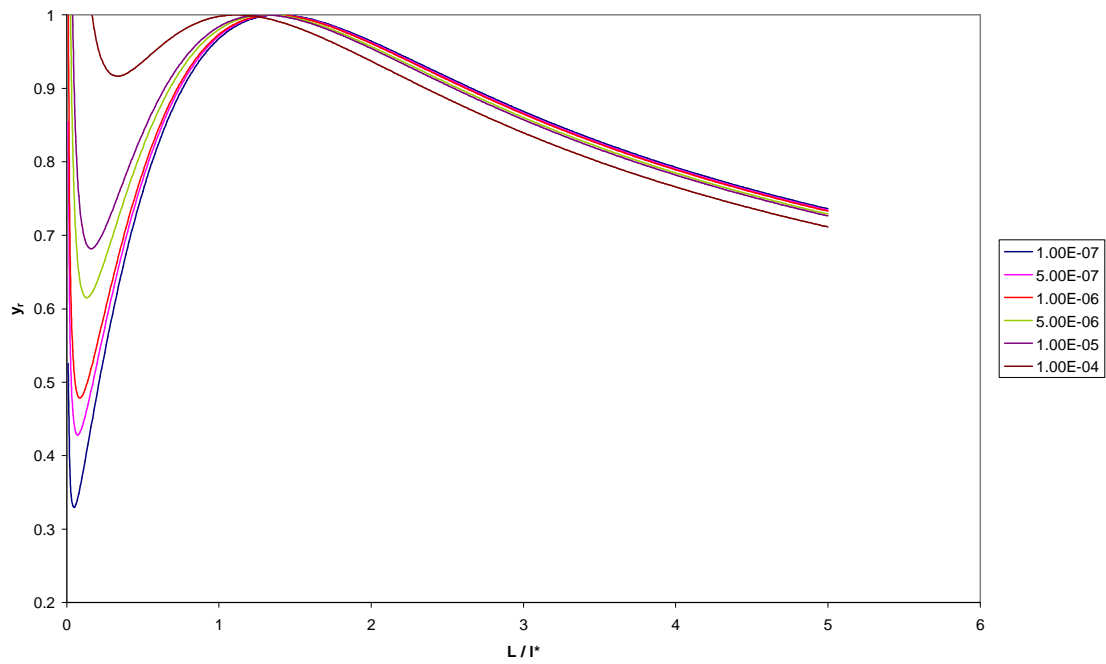


Figura 5.158. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

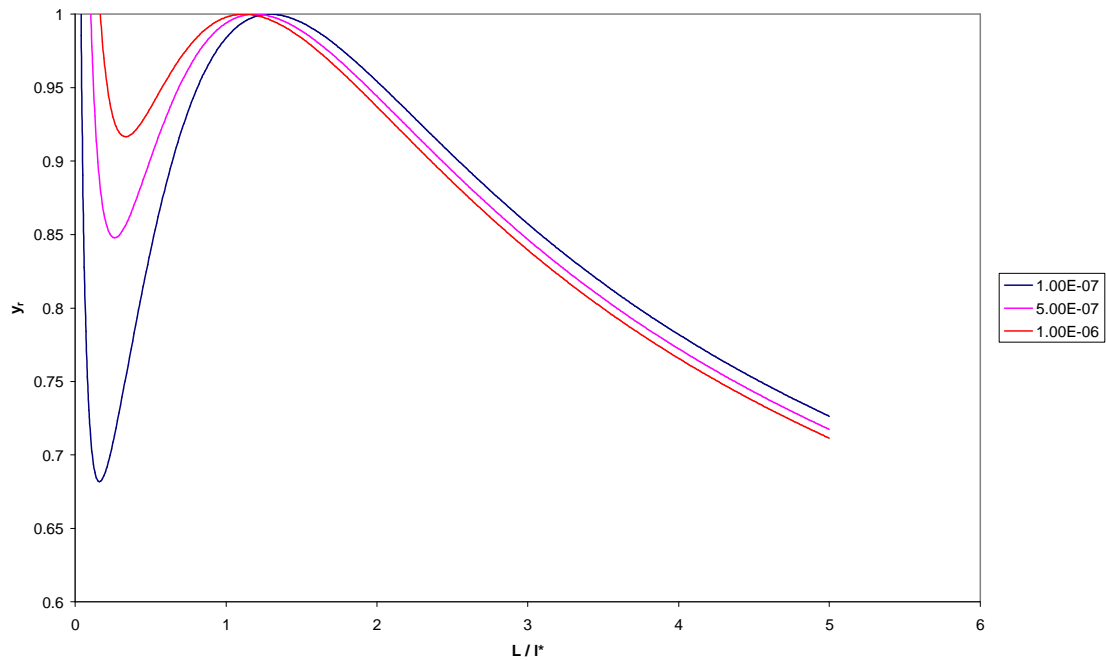


Figura 5.159. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

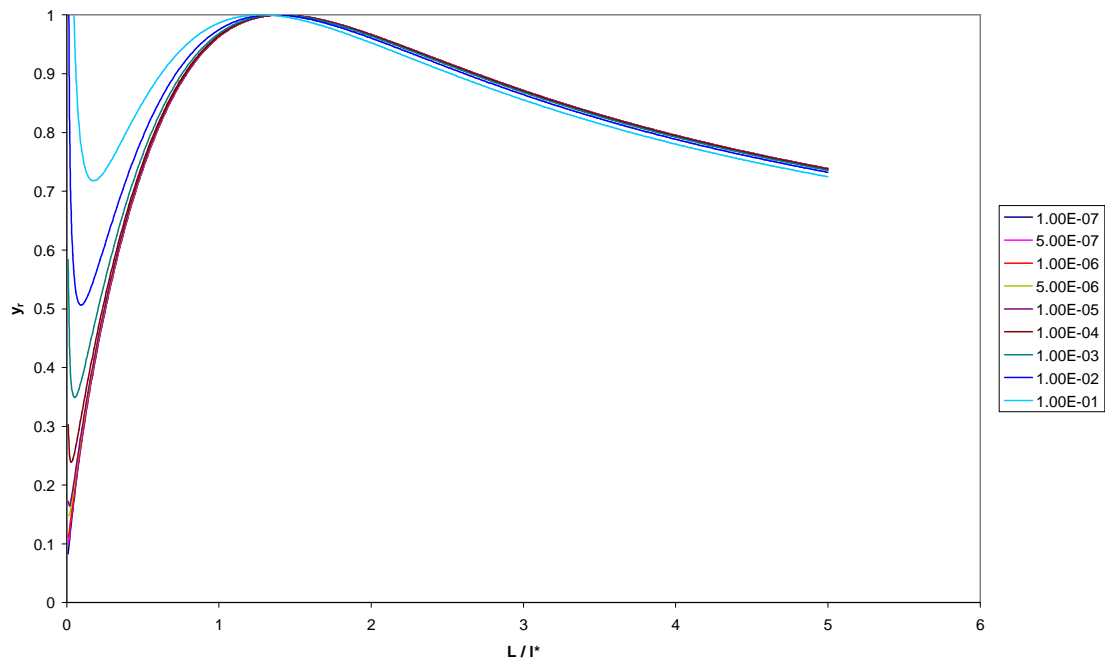


Figura 5.160. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 0.1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

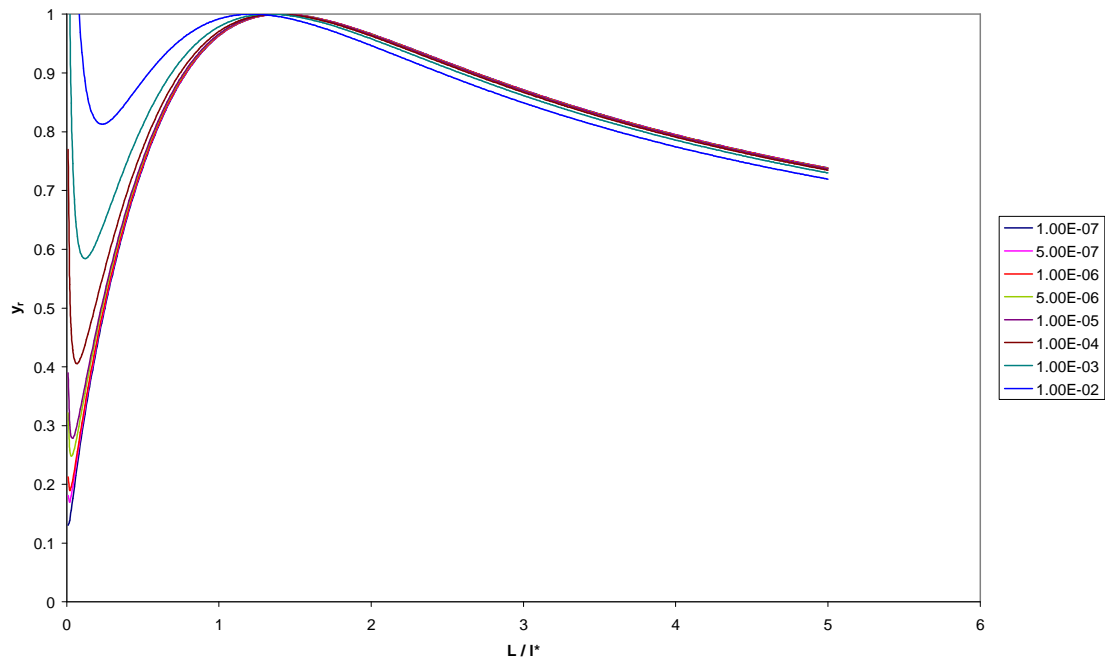


Figura 5.161. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 0.5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

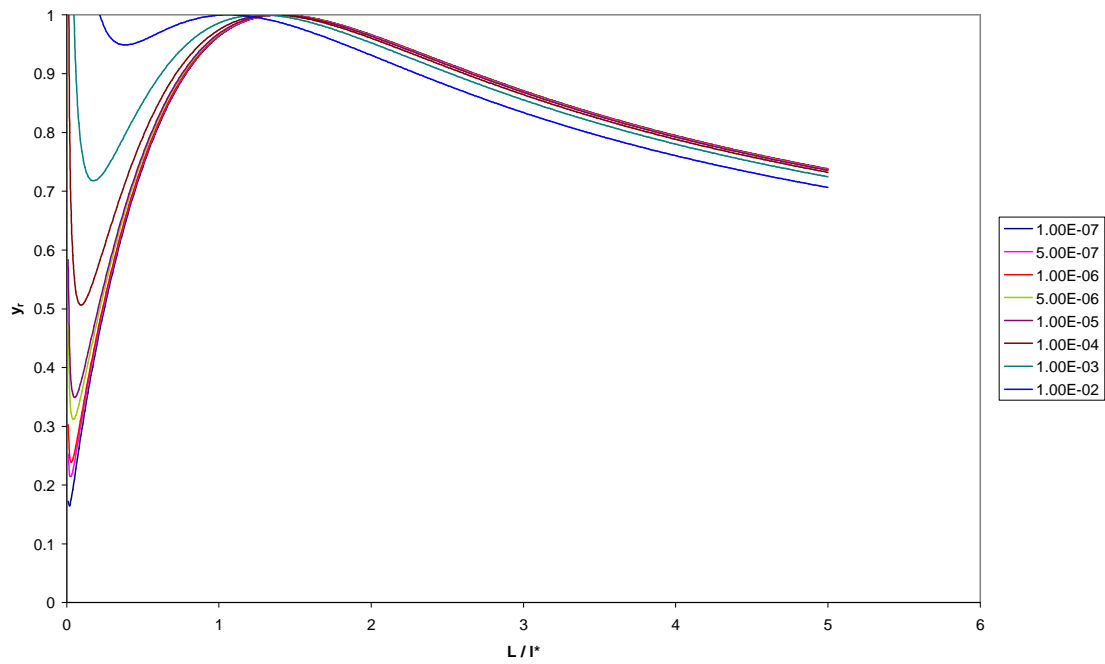


Figura 5.162. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 1$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

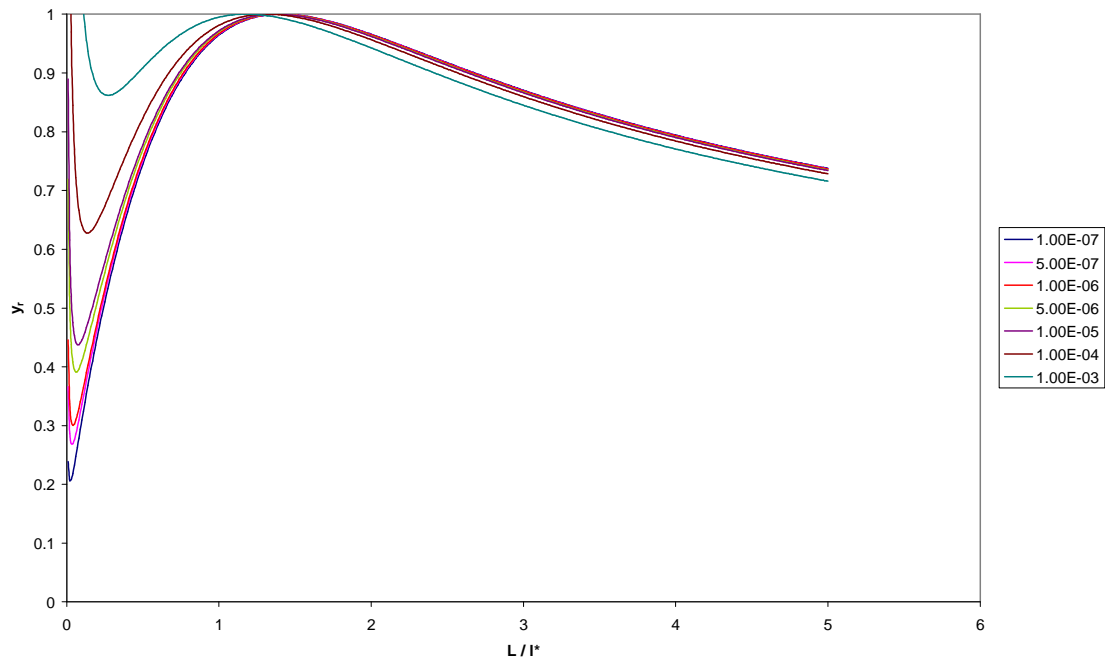


Figura 5.163. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 2$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

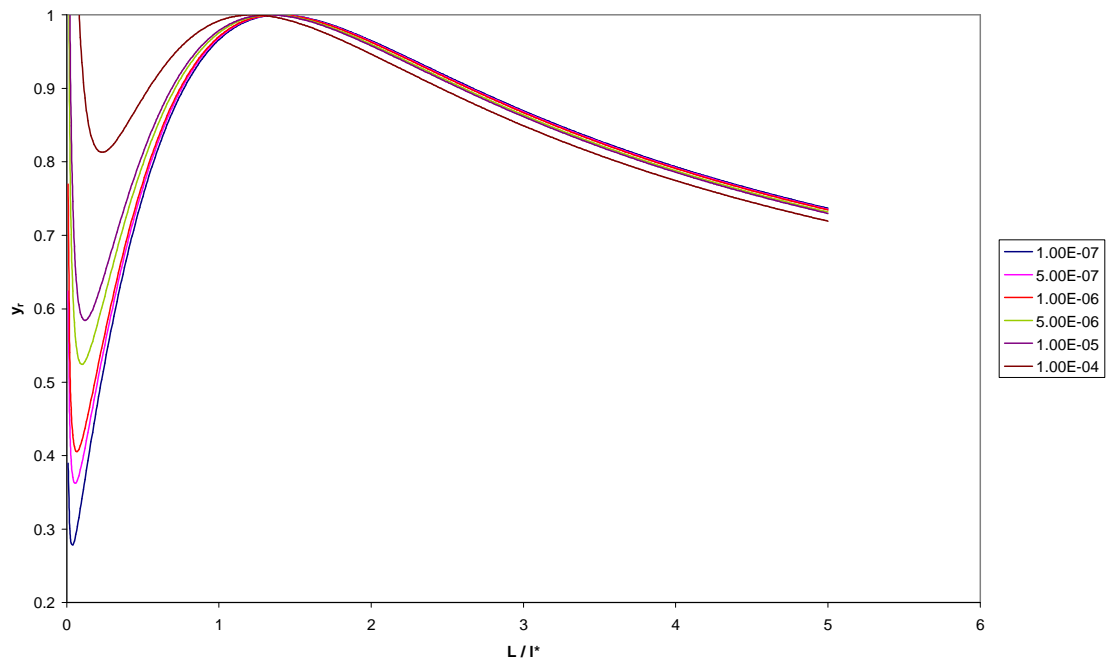


Figura 5.164. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 5$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

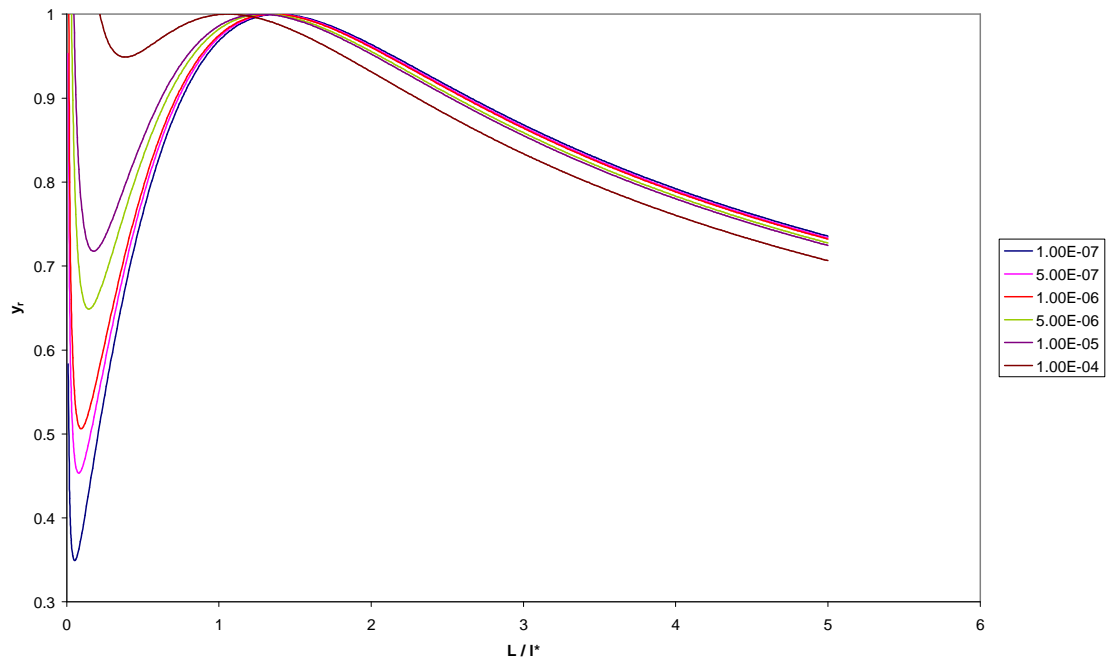


Figura 5.165. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 10$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

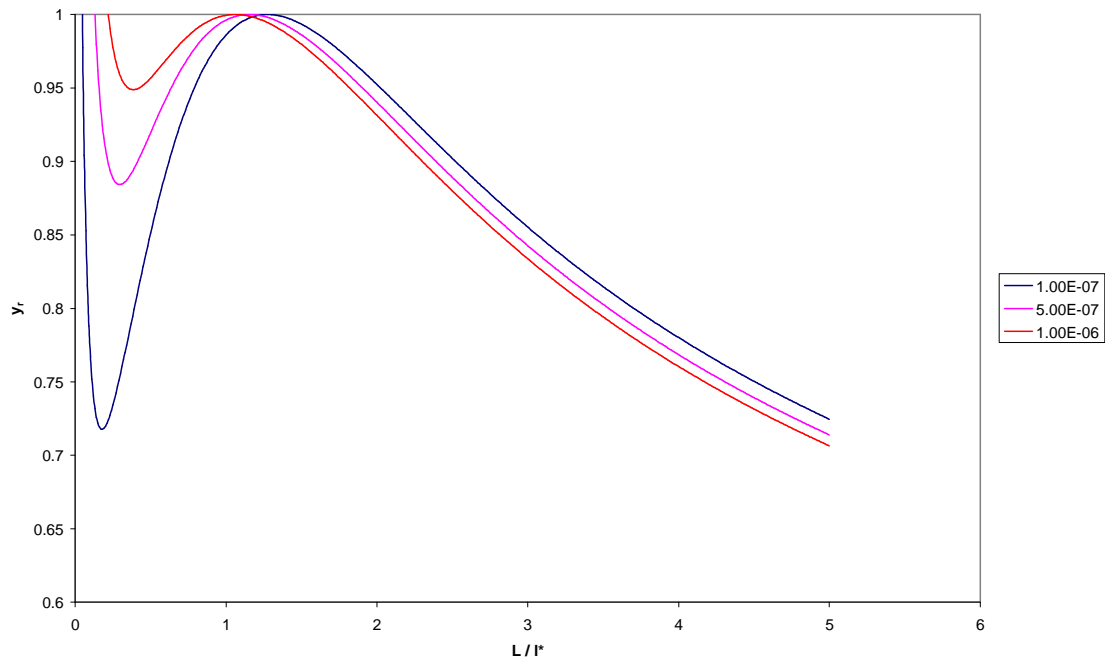


Figura 5.166. ATIR en ADDR para $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ y $h_{cf}/k = 100$, en función de L/l^* y para diferentes volúmenes

Utilizando un paso fino en la simulación en la zona donde se localizan los máximos de cada curva, determinamos el punto exacto para el cuál se alcanza el funcionamiento óptimo de la aleta, que representaremos más adelante en gráficas de $L_{\text{óptima}} / l^*$ frente a volumen de la aleta. Como ejemplo presentamos la posición exacta de los puntos óptimos para una relación $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$:

Volumen	1.00E-07		5.00E-07		1.00E-06		5.00E-06	
Relación	z	Qmax	z	Qmax	z	Qmax	z	Qmax
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 0.1$	1.4172	0.087954499	1.4172	0.150420249	1.4158	0.189533487	1.4172	0.087954499
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 0.5$	1.415	0.051454756	1.4122	0.088020727	1.4104	0.110926233	1.415	0.051454756
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 1$	1.4128	0.040852856	1.40815	0.069900632	1.4052	0.088103354	1.4128	0.040852856
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 2$	1.409	0.032441538	1.4017	0.055528678	1.3972	0.070004649	1.409	0.032441538
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 5$	1.4004	0.023930945	1.3869	0.040995132	1.37845	0.051708799	1.4004	0.023930945
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 10$	1.3892	0.019022346	1.36765	0.032620672	1.354	0.041172784	1.3892	0.019022346
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 100$	1.2742	0.008959538	1.15385	0.015533387	1.06125	0.019758815	1.2742	0.008959538



1.00E-05		1.00E-04		1.00E-03		1.00E-02	
z	Qmax	z	Qmax	z	Qmax	z	Qmax
1.4127	0.408528507	1.40535	0.88103348	1.3892	1.902234077	1.3541	4.117278099
1.4004	0.2393094	1.37845	0.517087936	1.3299	1.121053338	1.2164	2.448593616
1.3892	0.190223411	1.354	0.411727786	1.2741	0.895953357	1.0612	1.9758811
1.3714	0.151337266	1.3141	0.328450769	1.1763	0.719215989		
1.32995	0.11210534	1.21645	0.244859353				
1.2742	0.08959534	1.0611	0.197588116				

1.00E-01	
z	Qmax
1.27415	8.959533691

De las gráficas, obtenemos la conclusión de que la posición del punto óptimo varía en función del volumen de la aleta, desplazándose conforme aumenta el volumen cada vez más hacia relaciones de L/l^* más pequeñas, debido claramente a que conforme aumenta el volumen tendremos mayor superficie disipadora.

Además, vemos que existe un volumen para el cual deja de existir un punto máximo en la curva de ATIR y aparece un punto de inflexión. Este volumen límite se alcanza antes conforme aumenta h_{ce}/h_{cf} . Si analizamos el volumen límite en función de h_{cf}/k , observamos que disminuye conforme aumenta este cociente.

Nos proponemos encontrar el volumen límite en las siguientes simulaciones. Para volúmenes por encima de este volumen límite no existe una longitud óptima, ya que no aparecería ningún máximo relativo en la curva de ATIR. Para encontrar el volumen límite para cada una de los casos estudiados, vamos realizando simulaciones variando el volumen para cada una de las relaciones h_{ce}/h_{cf} y h_{cf}/k hasta encontrar el volumen exacto para el cual desaparece el máximo relativo. No realizamos la búsqueda del volumen máximo para aquellos casos en los cuales éste resulta ser mayor de 10^{-1} m^3 , ya que no resulta útil como estudio, debido al gran tamaño que supondría una aleta con dimensiones tan grandes.

Por ejemplo, para el caso $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$, construimos una tabla del tipo:



Puntos límite			
Relación	z	Q	Vol
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 0.1$			
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 0.5$	0.7267	5.393483162	9.55E-02
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 1$	0.731	2.696527481	2.39E-02
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 2$	0.7285	1.348306537	5.97E-03
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 5$	0.7271	0.539348304	9.55E-04
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 10$	0.7313	0.269652754	2.39E-04
$h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ $h_{cf}/k = 100$	0.7299	0.026965279	2.39E-06

Conocidos los puntos óptimos para cada volumen y relación, junto con los puntos límite para los cuales deja de existir una longitud óptima, construimos gráficas del siguiente modo (hemos ampliado las simulaciones a un mayor rango de volúmenes, con el fin de obtener un mayor número de puntos que nos ofrezcan curvas más exactas):

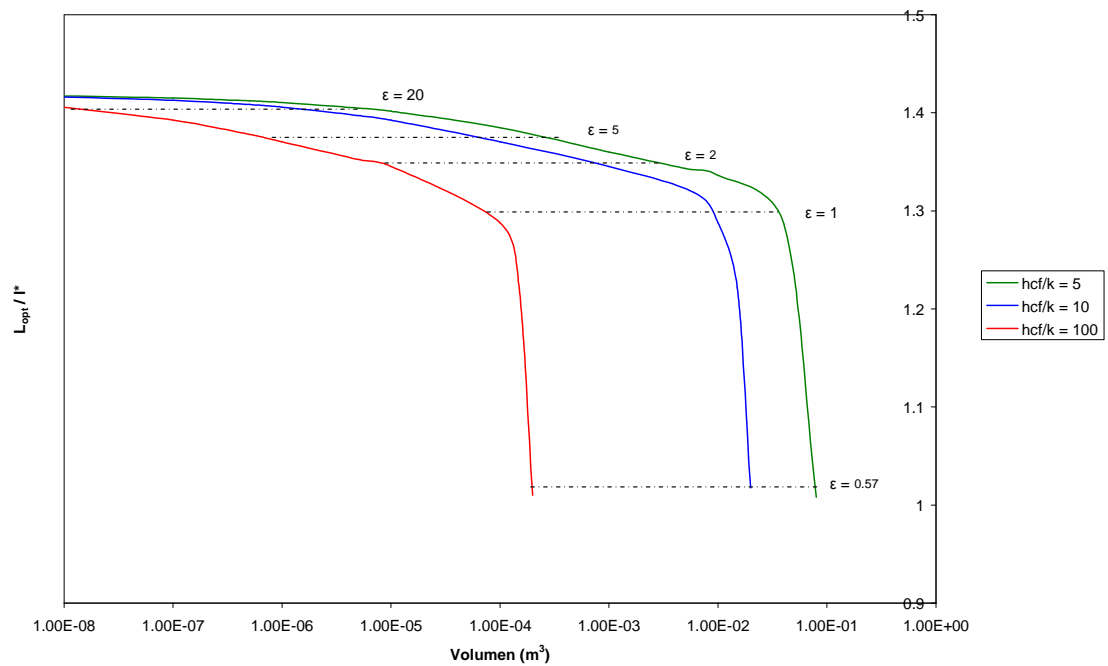


Figura 5.167. L_{opt} / l^* en ADRR $h_{ce}/h_{cf} = 0.1$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf} / k

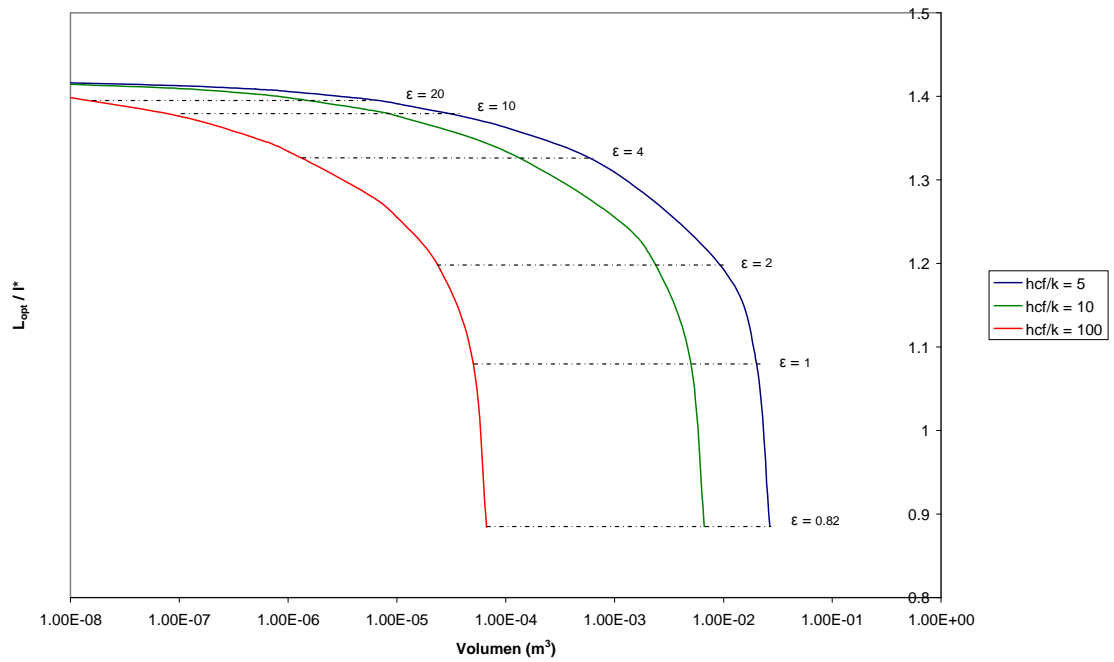


Figura 5.168. L_{opt}/l^* en ADRR $h_{ce}/h_{cf} = 0.2$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf}/k

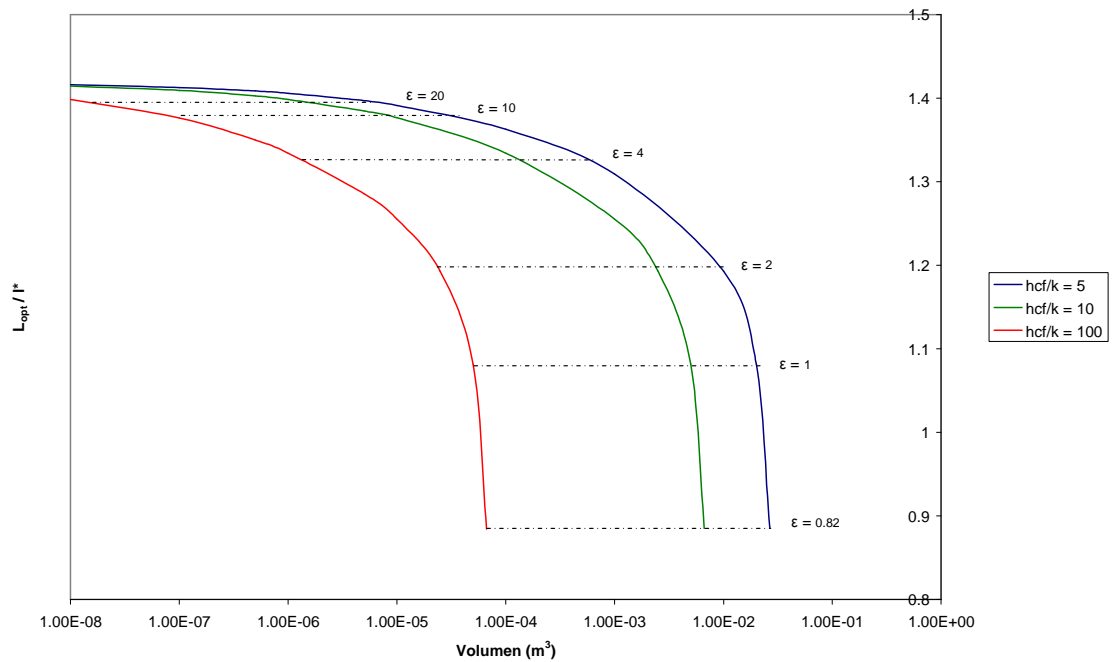


Figura 5.169. L_{opt}/l^* en ADRR $h_{ce}/h_{cf} = 0.3$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf}/k

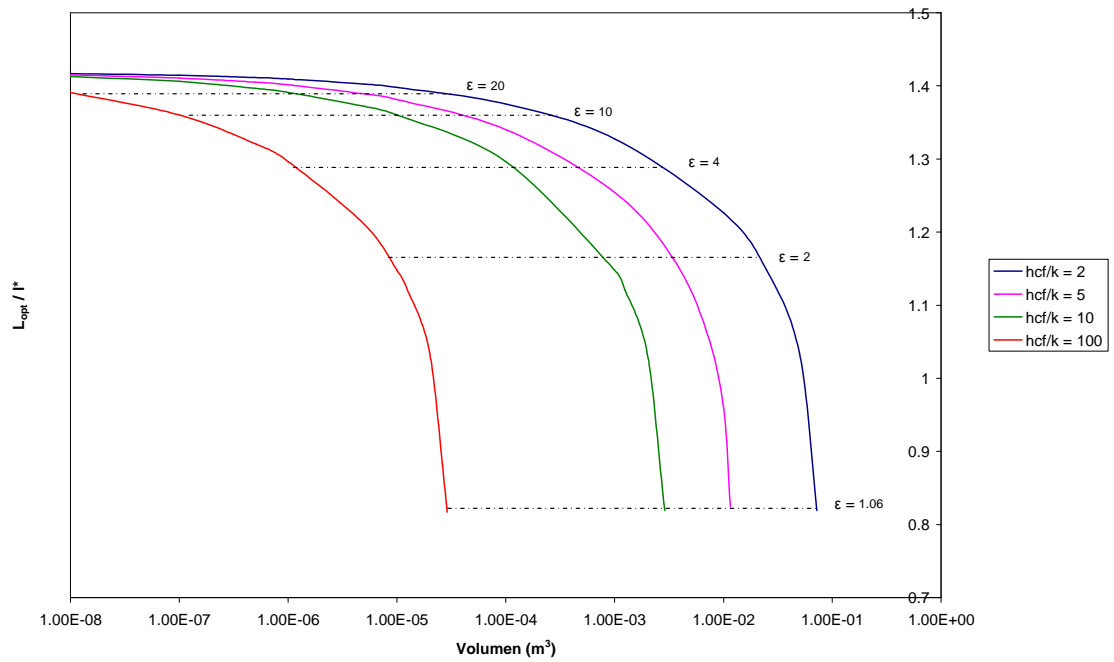


Figura 5.170. L_{opt}/l^* en ADRR $h_{ce}/h_{cf} = 0.4$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf}/k

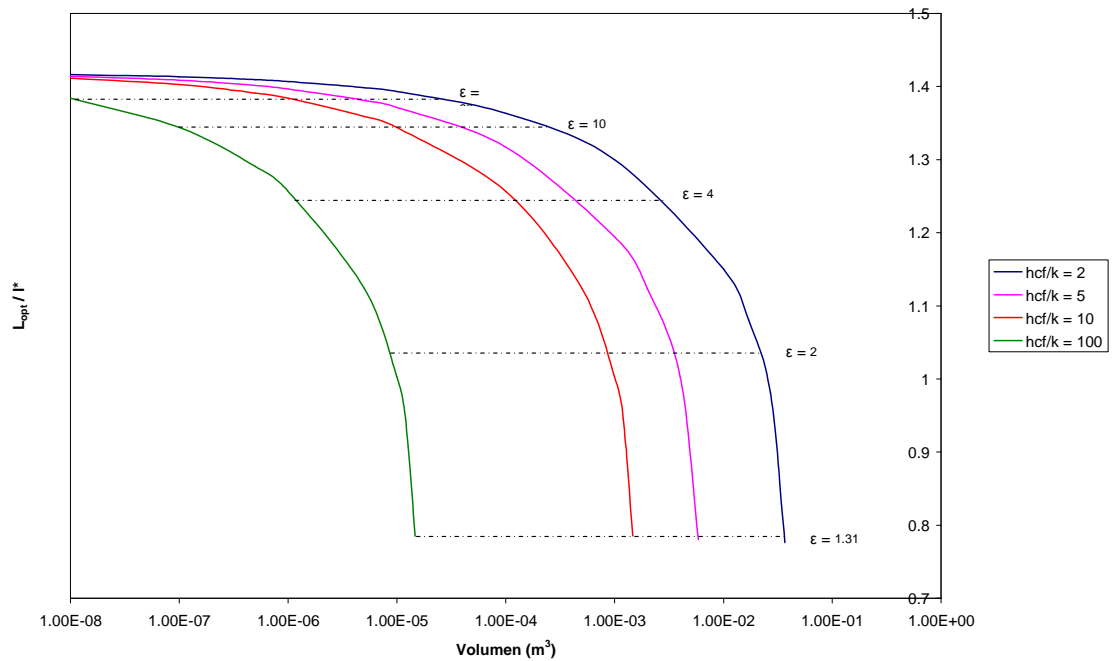


Figura 5.171. L_{opt}/l^* en ADRR $h_{ce}/h_{cf} = 0.5$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf}/k

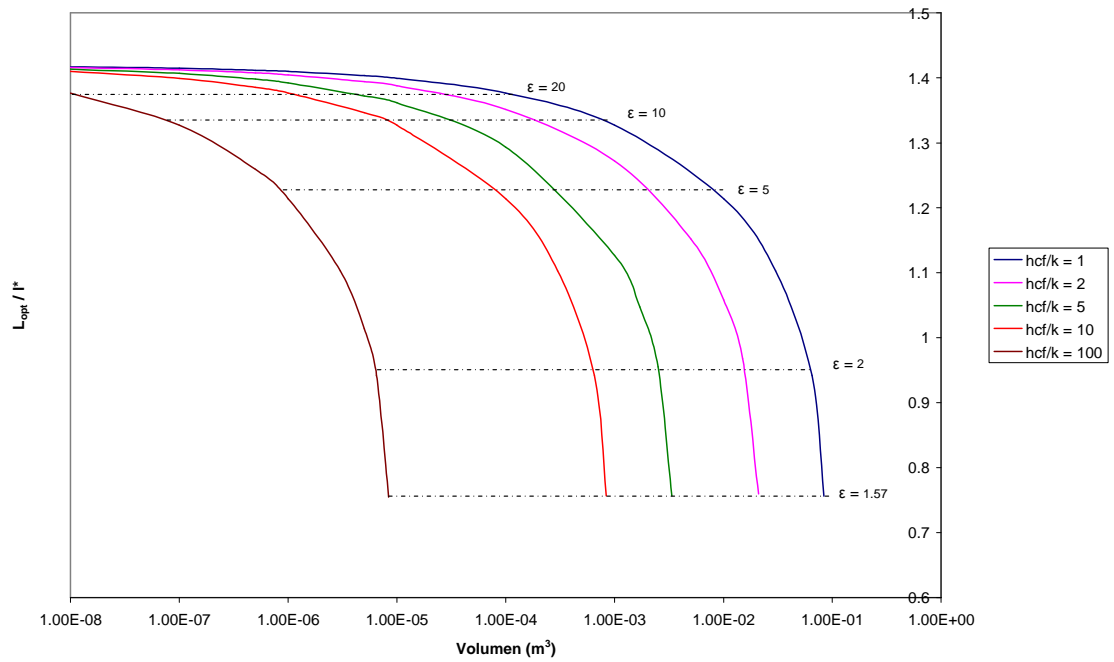


Figura 5.172. L_{opt}/l^* en ADRR $h_{ce}/h_{cf} = 0.6$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf}/k

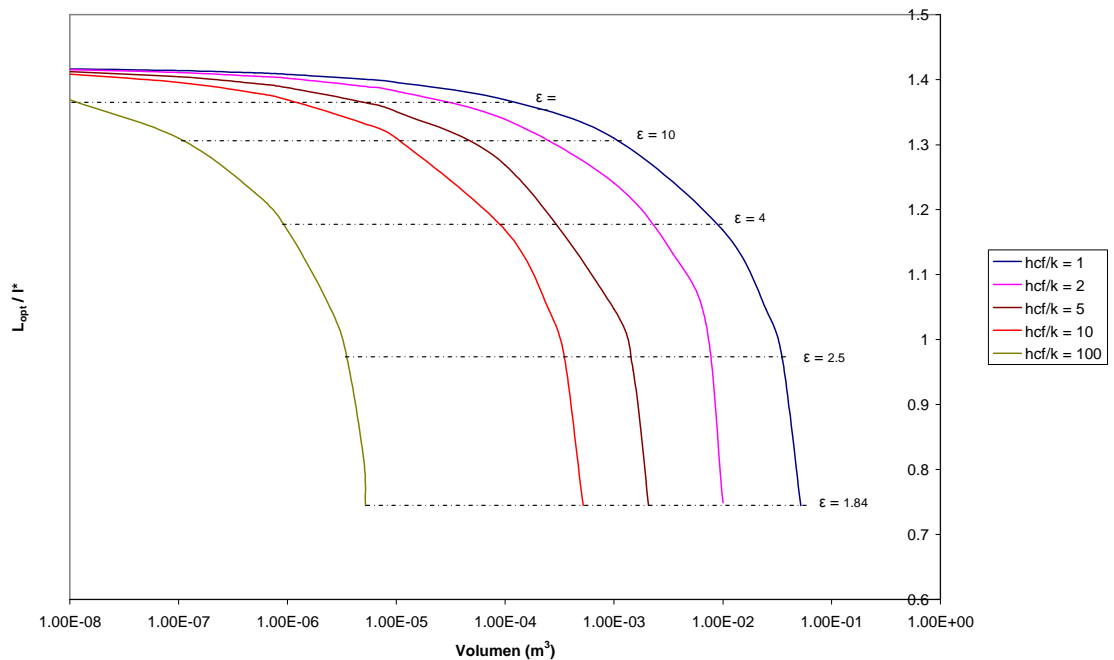


Figura 5.173. L_{opt}/l^* en ADRR $h_{ce}/h_{cf} = 0.7$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf}/k

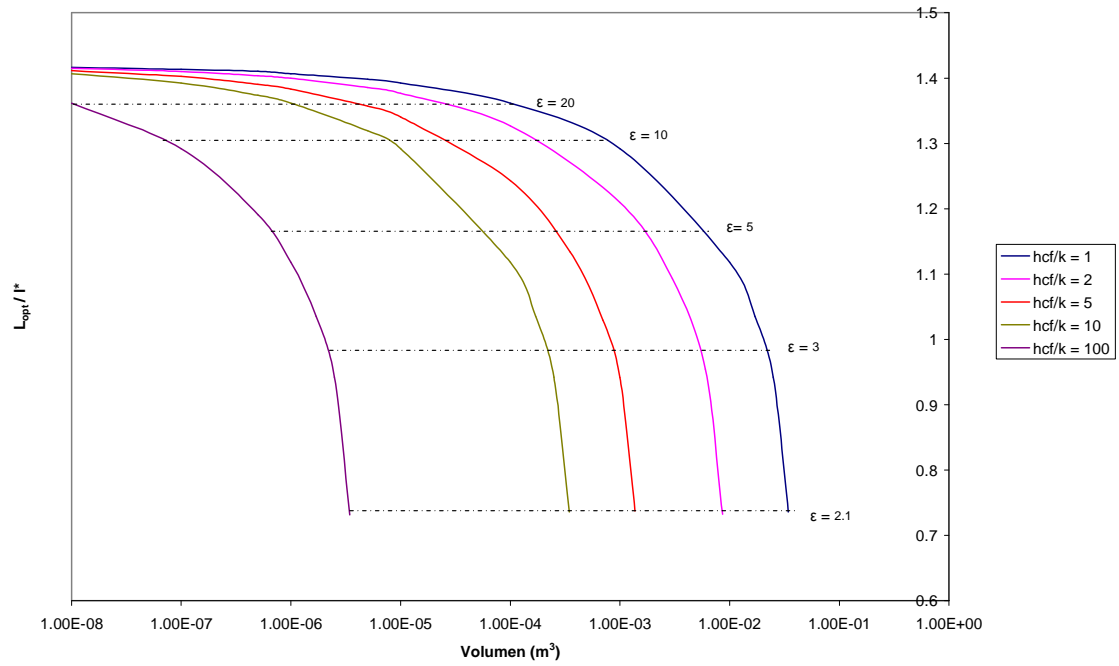


Figura 5.174. L_{opt}/l^* en ADRR $h_{ce}/h_{cf} = 0.8$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf}/k

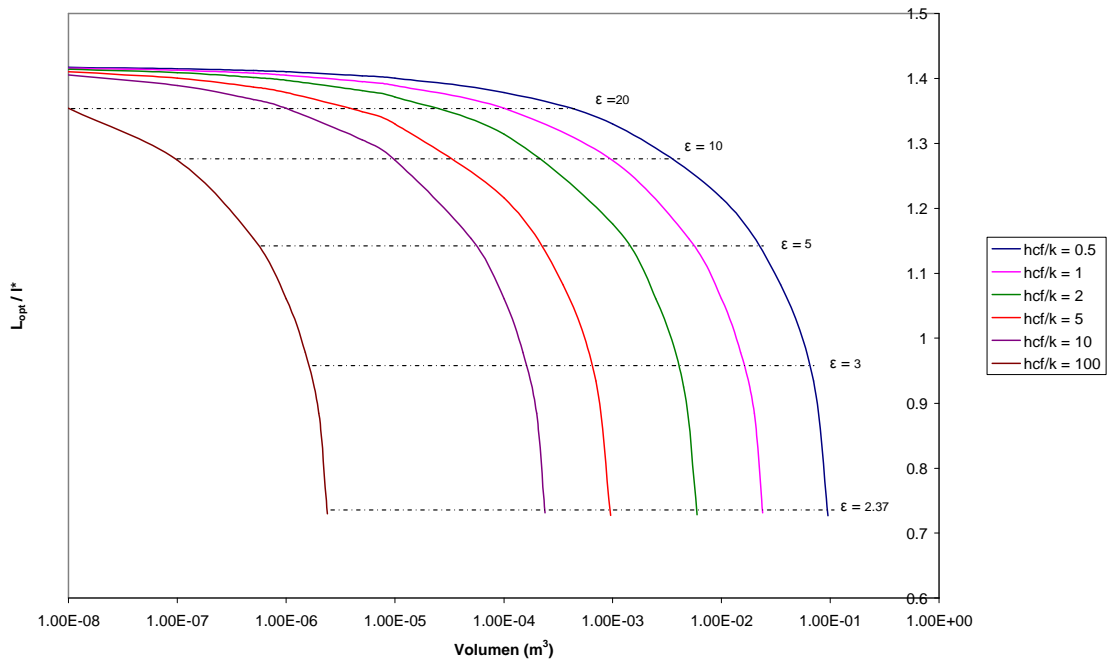


Figura 5.175. L_{opt}/l^* en ADRR $h_{ce}/h_{cf} = 0.9$ en función del volumen y para diferentes relaciones h_{cf}/k



Cada una de las gráficas anteriores representa una familia de curvas que indica la localización de los puntos óptimos para las relaciones de h_{cf}/k indicadas. En estas gráficas, hemos añadido líneas de efectividad constante, que pueden servir de guía para el diseño de aletas del tipo estudiado.

Del análisis de las curvas se ve que como conforme aumenta la relación h_{cf}/k , el volumen límite es menor. Además podemos observar que los puntos que indican el volumen límite para cada relación h_{ce}/h_{cf} con puntos con un valor de efectividad idéntico, y la relación $L_{\text{óptima}}/l^*$ es la misma independientemente de la relación h_{cf}/k .

Si como límite para decidir si es conveniente la utilización de superficies adicionales tomamos la referencia de que la efectividad sea mayor que 2, es decir, que el calor disipado al colocar la aleta sea como mínimo el doble que el calor que se disiparía si no se coloca la aleta, vemos en los ensayos que los puntos límite cumplen este requisito solo para las dos últimas relaciones h_{ce}/h_{cf} .



5.2.4. Conclusiones

En este apartado hemos hecho un estudio del comportamiento de la aleta desnuda recta rectangular cuando está sometida a coeficientes convectivos distintos en el extremo y en el resto de la superficie disipadora de calor, siendo el coeficiente en el extremo siempre el menor y estudiando distintos casos.

Comenzando por una representación de eficiencia y efectividad, hemos observado la evolución de estos parámetros al ir aumentando la relación h_{ce}/h_{cf} y h_{cf}/k para un espesor constante.

Analizando las gráficas de eficiencia concluimos que ésta disminuye a medida que aumenta la relación h_{cf}/k dentro de cada caso. Las diferencias entre las curvas de eficiencia para distintos h_{cf}/k dentro de una misma relación h_{ce}/h_{cf} se hacen cada vez mayores conforme el cociente entre los coeficientes convectivos en el extremo y en el resto de la superficie se va incrementando, como consecuencia de que el Bi_t aumenta al hacerlo esta relación. La eficiencia también disminuye a medida que aumenta la longitud de la aleta, siendo esto debido a que en una aleta muy larga, la mayor parte del calor ha sido disipada en una longitud relativamente pequeña, lo que nos indica que el resto de la aleta no cumple prácticamente ninguna función.

Este estudio revela que el parámetro de eficiencia no resulta válido como parámetro de diseño debido a que éste indica que la mayor eficiencia se alcanza para $L/l^* = 0$, lo cual supondría que la mayor disipación de calor se consigue cuando no existe aleta.

Del análisis de la efectividad resaltamos que ésta decrece a medida que aumenta la relación h_{cf}/k , lo que conlleva un aumento del Bi_t , obteniendo los mejores resultados para relaciones bajas, es decir para valores Bi_t donde la teoría unidimensional sería aplicable. La efectividad crece rápidamente para relaciones L/l^* pequeñas y a partir de $L/l^* > 2$ la pendiente es prácticamente nula, lo que indica que un aumento de la longitud de la aleta no reflejará como aumento de la evacuación de calor.

Con la representación de la longitud característica generalizada, hemos determinado el valor de Bi_t a partir del cual la teoría que explica la transmisión de calor a lo largo de una sola dimensión deja de ser válida, teniendo que ser considerada entonces la teoría bidimensional. El valor límite de aplicación de la teoría unidimensional, tomando como máximo error admisible entre L^*_g y l^* un 5%, es $Bi_t = 0.4$.

La representación de la admitancia térmica inversa relativa para diferentes relaciones h_{ce}/h_{cf} y h_{cf}/k busca encontrar la longitud óptima ($y_r = 1$) dado el volumen de la aleta. Como conclusión obtenemos que la posición del punto óptimo, fijada la relación h_{cf}/k , varía en función del volumen de la aleta, desplazándose conforme aumenta el volumen cada vez más hacia relaciones de L/l^* más pequeñas, debido claramente a que conforme aumenta el volumen tendremos mayor superficie disipadora. El volumen límite se alcanza antes conforme aumenta h_{ce}/h_{cf} y disminuye al aumentar el cociente h_{cf}/k .



En la parte final y como síntesis de nuestro trabajo, hemos construido las familias de curvas que indican la localización de los puntos óptimos para las relaciones de h_{cf}/k indicadas. Analizando estas gráficas se extrae que los puntos que indican el volumen límite para cada relación h_{ce}/h_{cf} son puntos con un valor de efectividad idéntico, y la relación $L_{\text{óptima}}/l^*$ es la misma independientemente de la relación h_{cf}/k .

Estas últimas curvas, a las cuales añadimos líneas de efectividad constante, servirán de guía para el diseño de aletas del tipo ADRR. Como criterio de elección para un diseño óptimo consideramos que se ha de cumplir como requisito que la efectividad sea mayor o igual a 2, es decir, que la colocación de la aleta garantice que como mínimo se disipará el doble de calor que en caso de no ponerla.