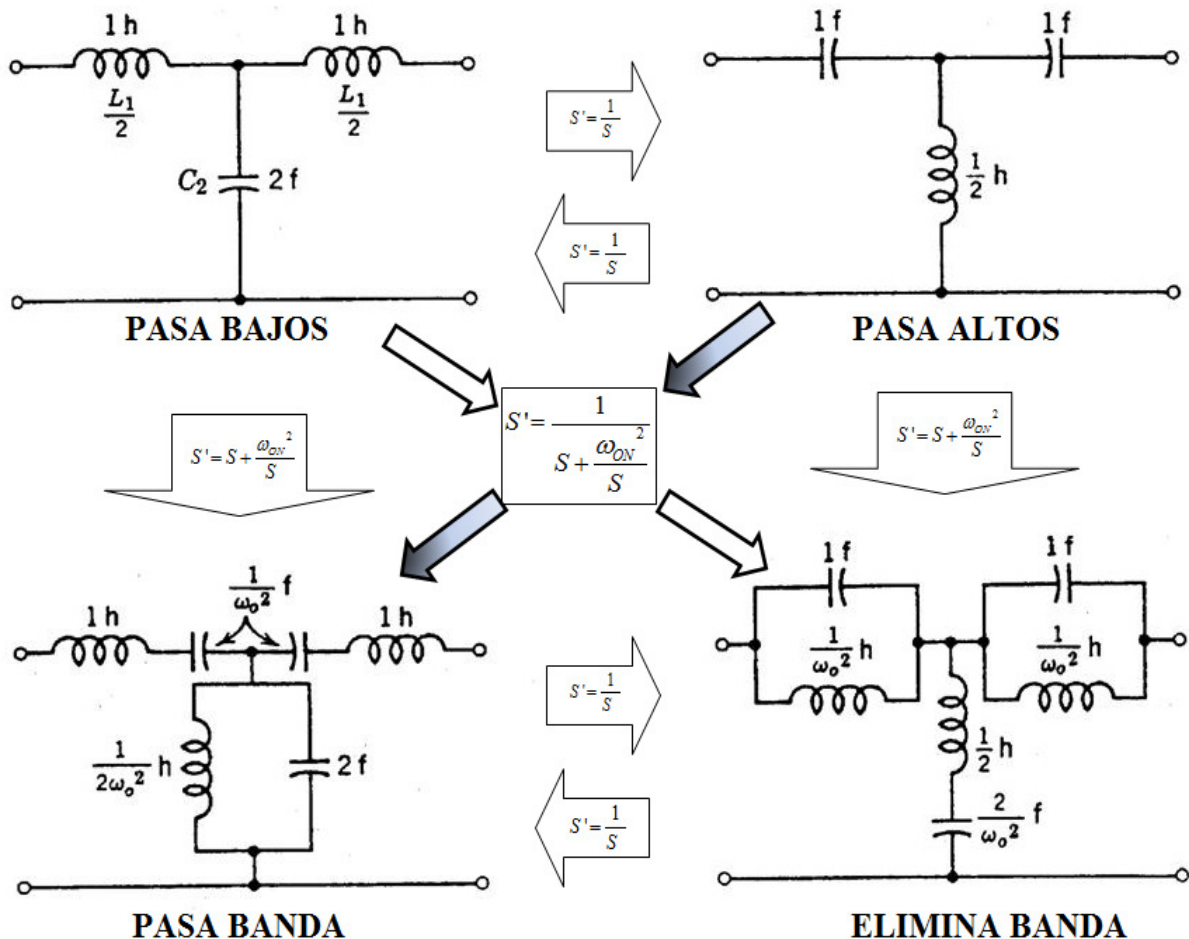


## EJEMPLOS DE DISEÑO DE FILTROS COMPUESTOS PASA-BAJOS, PASA-ALTOS, PASA-BANDA Y ELIMINA-BANDA – APLICANDO MATLAB

Se presentan cuatro ejemplos de diseño de filtros compuestos, empleando tres programas del tipo “script” que corren en MATLAB. Estos tres programas ejecutan en forma secuencial, los mismos cálculos que realizaríamos manualmente con papel y lápiz. A continuación se dan los pasos a seguir, a partir de los requerimientos de diseño de un filtro determinado :

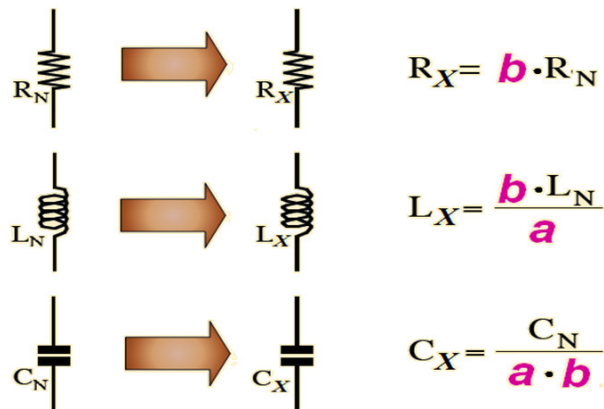
1° Calcule el Filtro prototipo Kcte. solicitado, partiendo del filtro pasa bajos normalizado. Recuerde las siguientes transformaciones:



2° Aplicando teoría de normalización y transformación de frecuencias, desnormalice el filtro propuesto aplicando las siguientes expresiones :

$$b = Z_o = R_o$$

$$a = \begin{cases} Wc & \text{PASA-BAJOS} \\ & \text{PASA-ALTOS} \\ BW & \text{PASA-BANDA} \\ & \text{ELIMINA-BANDA} \end{cases}$$



3° Luego de haber obtenido el filtro Kcte prototipo, calcule el Filtro m-derivado correspondiente, con un valor de m que cumpla con el requerimiento de la frecuencia para la cual la atenuación  $\alpha$  debe ser infinita. Para el cálculo de "m", recuerde las siguientes expresiones :

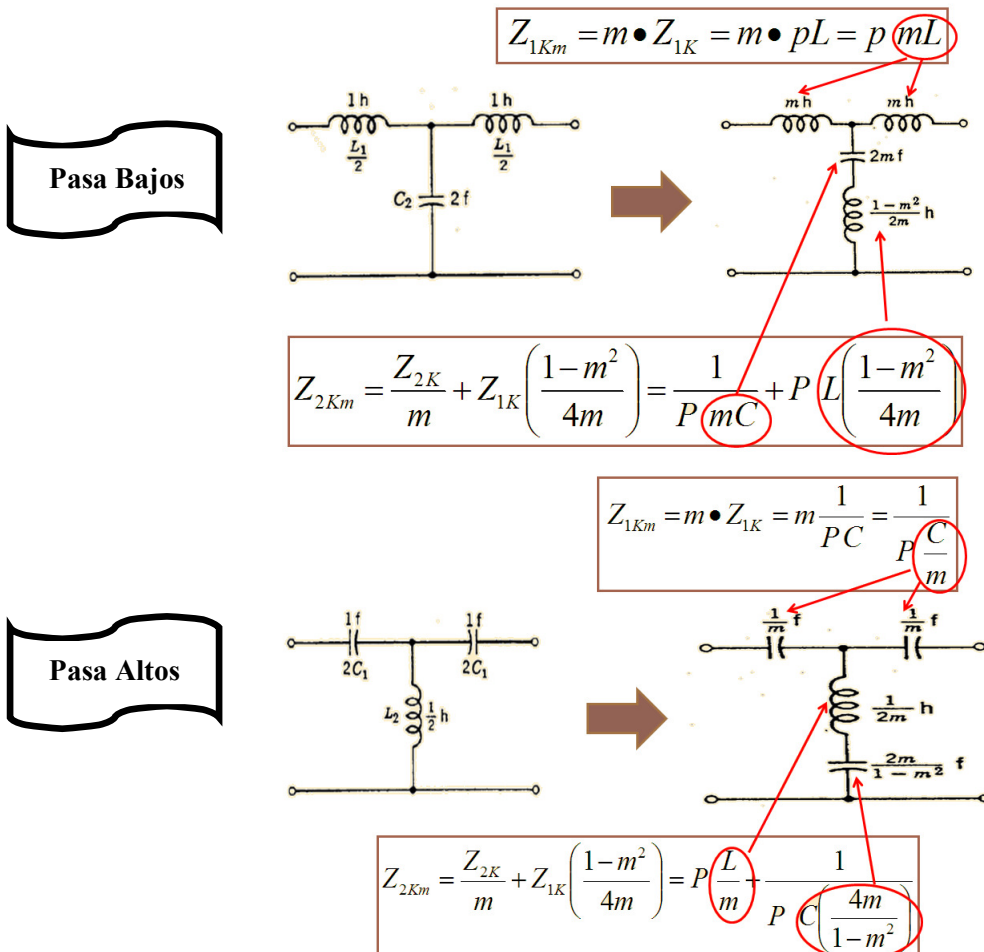
$$m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_{\infty}}{f_c}\right)^2} \rightarrow \text{En Filtros pasa - bajos}$$

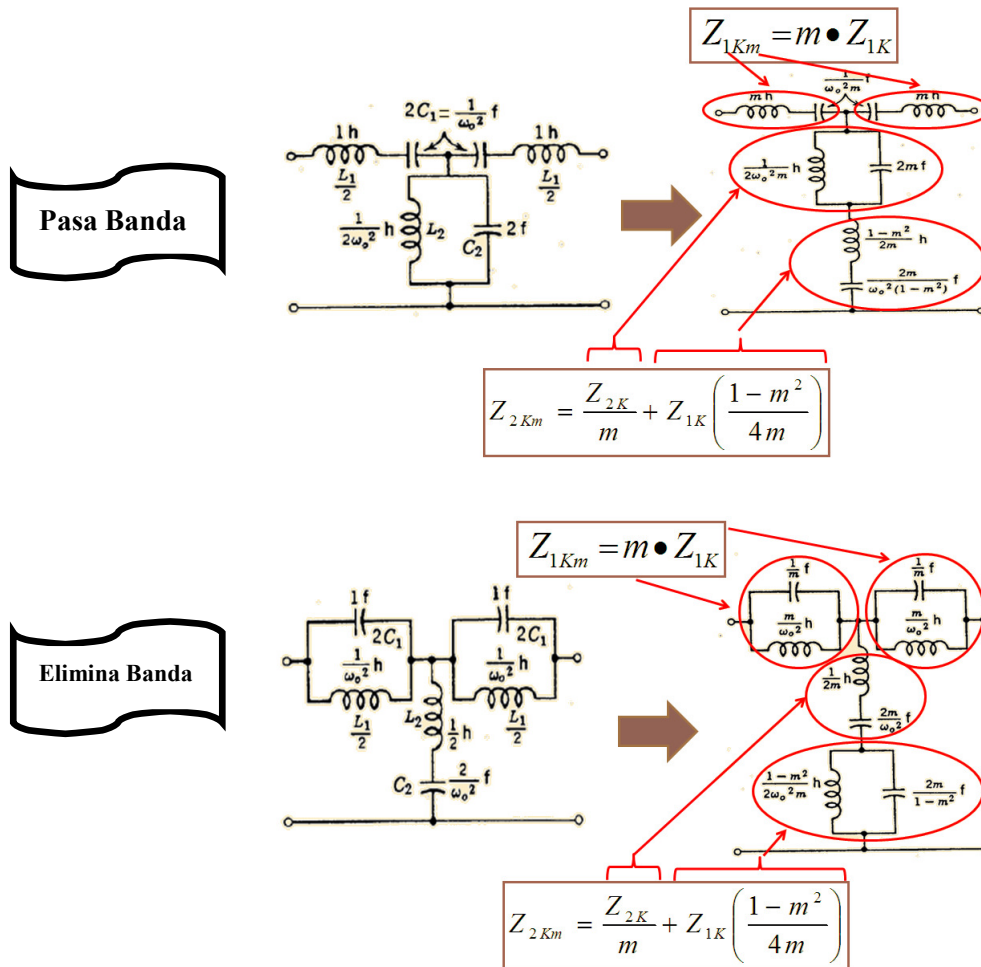
$$m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f_{\infty}}\right)^2} \rightarrow \text{En Filtros pasa - altos}$$

$$m = \sqrt{1 - \left(\frac{BW}{BW_{\infty}}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{C2} - \omega_{C1}}{\omega_{C2} * \frac{\omega_{\infty 2}}{\omega_{C2}} - \frac{\omega_{C1}}{\frac{\omega_{\infty 2}}{\omega_{C2}}}}\right)^2} \rightarrow \text{En Filtros Pasa - Banda}$$

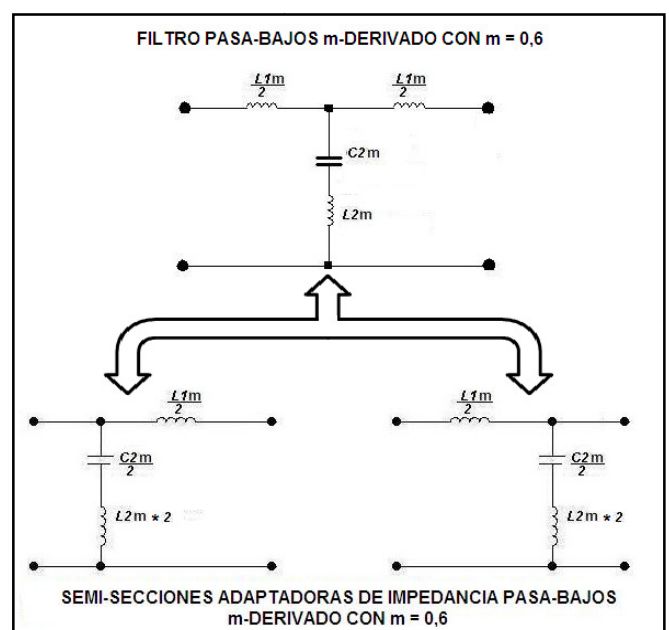
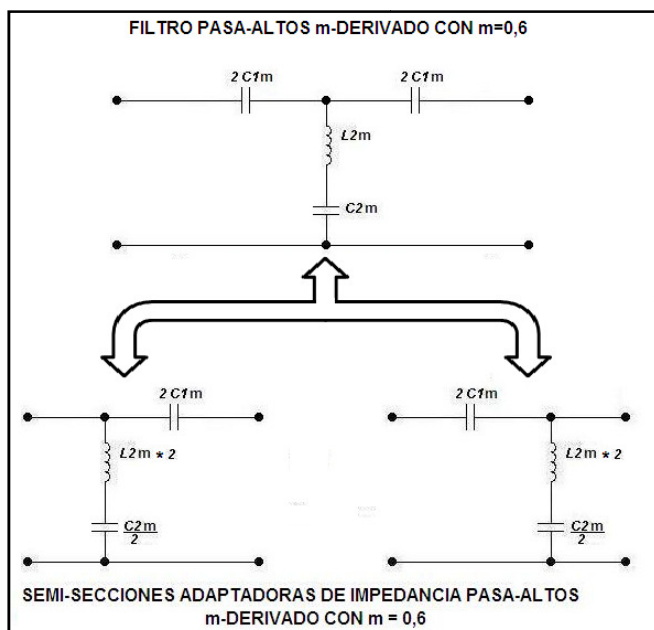
$$m = \sqrt{1 - \left(\frac{BW_{\infty}}{BW}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{C2} * \frac{\omega_{\infty 2}}{\omega_{C2}} - \frac{\omega_{C1}}{\frac{\omega_{\infty 2}}{\omega_{C2}}}}{\omega_{C2} - \omega_{C1}}\right)^2} \rightarrow \text{En Filtros Elimina - Banda}$$

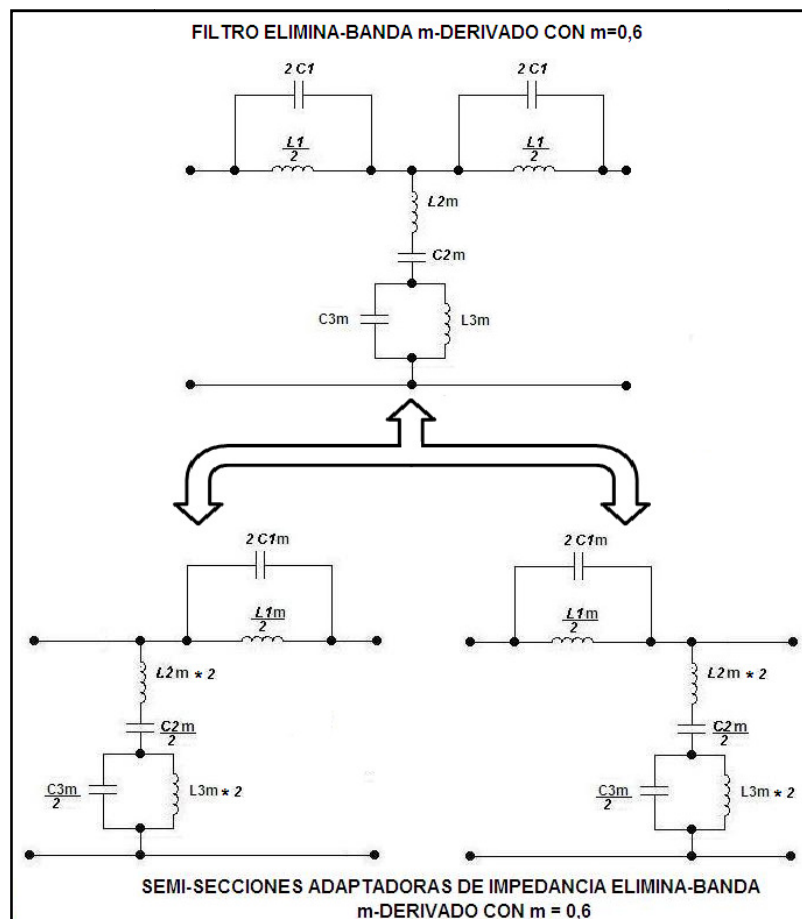
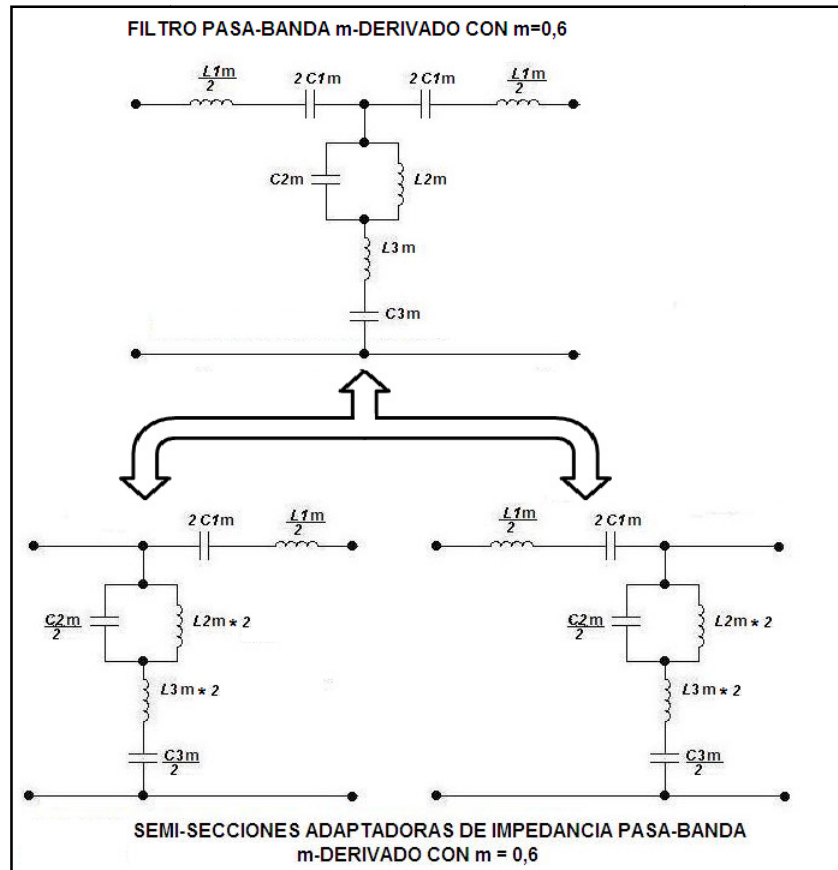
4° Una vez determinado el valor de "m", para pasar del filtro Kcte prototipo, al correspondiente m-derivado, aplique las siguientes expresiones:





5° Calcule las semisecciones de adaptación de impedancia m-derivado con  $m=0,6$ . Aplique el mismo procedimiento realizado en el paso 4° empleando  $m=0,6$ . Recuerde Usted está calculando un cuadripolo tipo "T", para pasarlo a "IT" realice la siguiente transformación :





## EJEMPLO DE DISEÑO DE FILTRO COMPUESTO PASA BAJOS

Diseñar un filtro Compuesto pasa-bajos, para trabajar con una carga de 300 Ω , una frecuencia de corte de 5000 Hz y una frecuencia de atenuación pico de 5500 Hz . Calcular además las semi-secciones de adaptación de impedancia para m=0,6.

Calculamos en primer lugar el valor de m a utilizar en el filtro m-derivado:

$$m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f_\infty}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{5000}{5500}\right)^2} = 0,4165978$$

Valor de m = 0,416

### Resultados Filtro Pasa Bajos Kcte

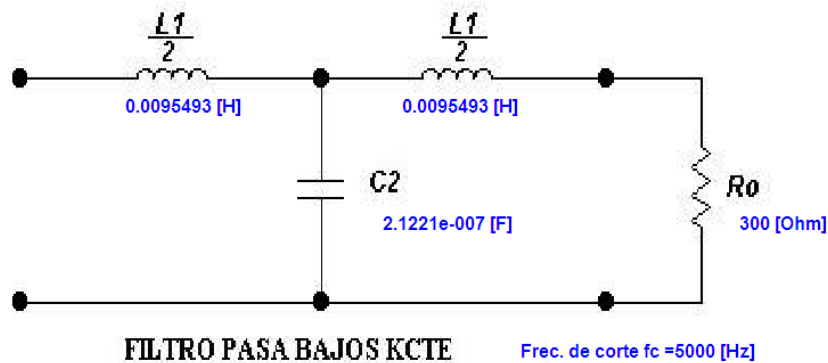
La frecuencia de corte  $f_c$  es 5000.0000 [Hertz]

La pulsación de corte  $\omega_c$  es 31415.9265 [rad/seg]

La Impedancia de carga es  $R_o = 300.0000$  [Ohms]

El valor del inductor serie en el filtro Kcte, es  $L1/2(Kcte) = 9.549297$  [mH]

El valor del capacitor paralelo en el filtro Kcte, es  $C2(Kcte) = 0.212206590789$  [uF]



### Resultados Filtro Pasa Bajos m Derivado

La frecuencia de corte  $f_c$  es 5000.0000 [Hertz]

La pulsación de corte  $\omega_c$  es 31415.9265 [rad/seg]

La Impedancia de carga es  $R_o = 300.0000$  [Ohms]

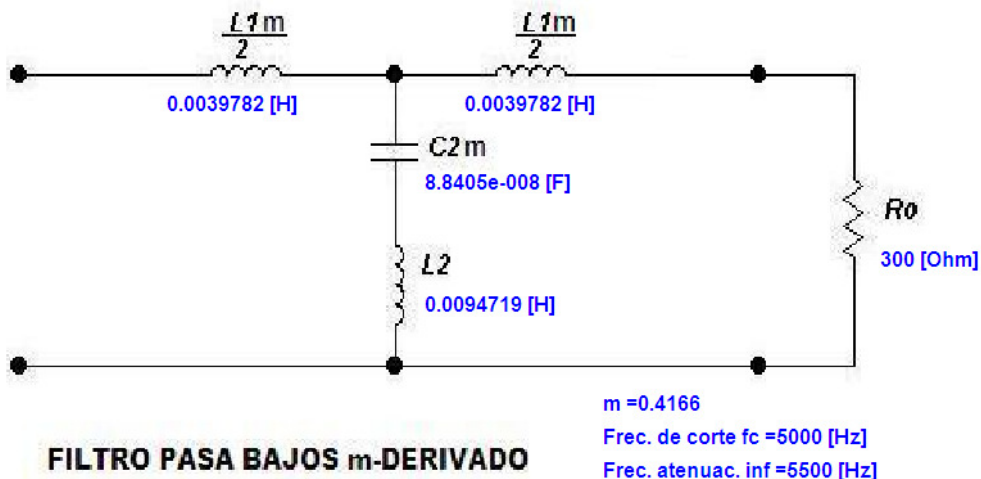
El valor del inductor serie en el filtro m\_Derivado, es  $L1/2(m-Der) = L1/2(Kcte) * m = 3.978216$  [mH]

El valor del capacitor paralelo en el filtro m\_Derivado, es  $C2(m-Der) = C2(Kcte) * m = 0.088404796842$  [uF]

El valor del Inductor paralelo en el filtro m\_Derivado, es  $L2(m-Der) = L1/2(Kcte) * (1-m^2)/(2*m) = 9.471942518766$  [mH]

El valor de la pulsación para atenuación infinita, es  $\omega_{inf} = \omega_c * 1/(\sqrt{1-m^2}) = 34557.519189487728$  [[rad/seg]]

El valor de la pulsación para atenuación infinita, es  $\omega_{inf} = 1/(\sqrt{L2(m-Der) * C2(m-Der)}) = 34557.5191$  [[rad/seg]]



### **Resultados semi-secciones adaptadoras de Z , Pasa Bajos m Derivado con m=0,6**

La frecuencia de corte  $f_c$  es 5000.0000 [Hertz]

La pulsación de corte  $\omega_c$  es 31415.9265 [rad/seg]

La Impedancia de carga es  $R_o = 300.0000$  [Ohms]

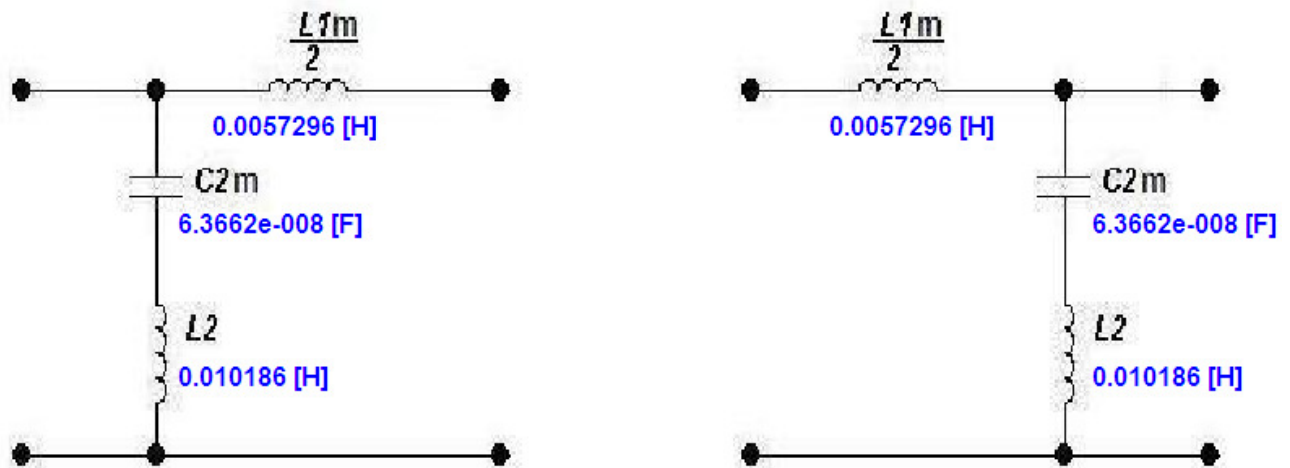
El valor del inductor serie de la semisección adaptadora  $m\_Derivado$ , con  $m=0,6$ , es  $L1/2(m-Der) = L1/2(Kcte) * m = 5.729578$  [mH]

El valor del capacitor paralelo de la semisección adaptadora  $m\_Derivado$ , con  $m=0,6$ , es  $C2(m-Der) = (C2(Kcte) * m)/2 = 0.063661977237$  [uF]

El valor del Inductor paralelo de la semisección adaptadora  $m\_Derivado$ , con  $m=0,6$ , es  $L2(m-Der) = (L1/2(Kcte) * (1-m^2)/(2*m))^2 = 10.185916357881$  [mH]

El valor de la pulsación para atenuación infinita, es  $\omega_{inf} = \omega_c * 1/(\sqrt{1-m^2}) = 39269.908169872419$  [[rad/seg]]

El valor de la pulsación para atenuación infinita, es  $\omega_{inf} = 1/(\sqrt{L2(m-Der) * C2(m-Der)}) = 39269.908169872419$  [[rad/seg]]



**SEMI-SECCIONES ADAPTADORAS DE IMPEDANCIA PASA-BAJOS  
m-DERIVADO CON  $m = 0,6$**



## EJEMPLO DE DISEÑO DE FILTRO COMPUESTO PASA ALTOS

Diseñar un filtro compuesto pasa-altos, para trabajar con una carga de  $600 \Omega$ , una frecuencia de corte de  $1200 \text{ Hz}$  y una frecuencia de atenuación pico de  $1100 \text{ Hz}$ . Calcular además las semi-secciones de adaptación de impedancia para  $m=0,6$ .

Calculamos en primer lugar el valor de  $m$  a utilizar:

$$m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_{\infty}}{f_c}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{1100}{1200}\right)^2} = 0,3996526269427267$$

Valor de  $m = 3.996526269427267\text{e-}001$

### Resultados Filtro Pasa Altos Kcte

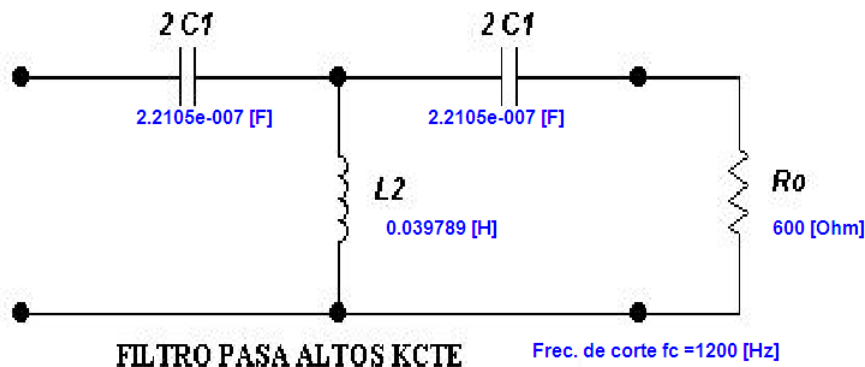
La frecuencia de corte  $f_c$  es  $1200.0000 \text{ [Hertz]}$

La pulsación de corte  $\omega_c$  es  $7539.8224 \text{ [rad/seg]}$

La Impedancia de carga es  $R_o = 600.0000 \text{ [Ohms]}$

El valor del capacitor serie en el filtro Kcte,  $2 C1(Kcte)$  es de  $0.442097 \text{ [uF]}$

El valor del inductor paralelo en el filtro Kcte,  $L2(Kcte)$  es de  $39.788735772974 \text{ [mH]}$



### Resultados Filtro Pasa Altos m Derivado

La frecuencia de corte  $f_c$  es  $1200.0000 \text{ [Hetz]}$

La pulsación de corte  $\omega_c$  es  $7539.8224 \text{ [rad/seg]}$

La Impedancia de carga es  $R_o = 600.0000 \text{ [Ohms]}$

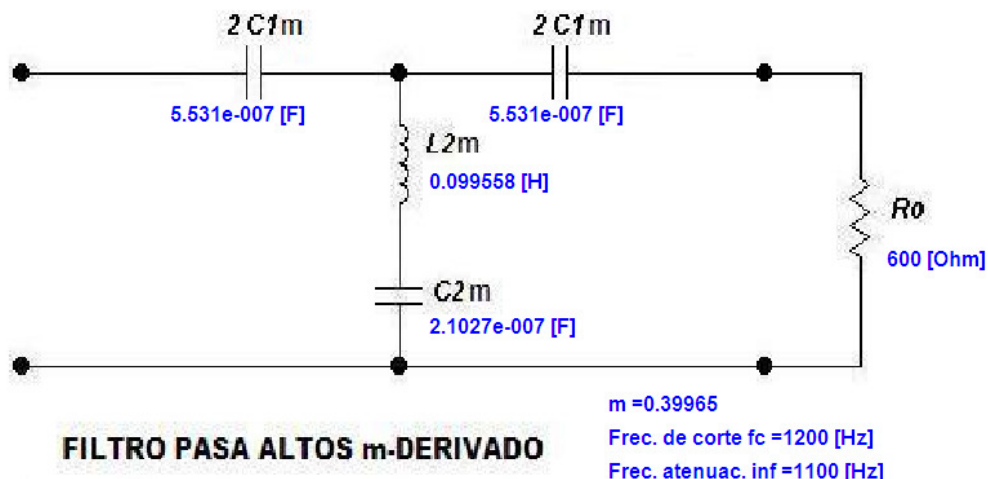
El valor del capacitor serie en el filtro  $m\_Derivado$ , es  $2 C1(m-Der) = 2 C1(Kcte) / m = 0.553102 \text{ [uF]}$

El valor del Inductor paralelo en el filtro  $m\_Derivado$ , es  $L2(m-Der) = L2(Kcte) / m = 99.558299109281 \text{ [mH]}$

El valor del capacitor paralelo en el filtro  $m\_Derivado$ , es  $C2(m-Der) = 2 C2(Kcte) * (2*m) / (1-m^2) = 0.210270053215 \text{ [uF]}$

El valor de la pulsación para atenuación infinita, es  $\omega_{\infty} = \omega_c * \sqrt{1-m^2} = 6911.503837897545 \text{ [[rad/seg]]}$

El valor de la pulsación para atenuación infinita, es  $\omega_{\infty} = 1/(\sqrt{L2(m-Der) * C2(m-Der)}) = 6911.503837897545 \text{ [[rad/seg]]}$



### Resultados Semi-secciones adaptadoras de Z , Pasa Altos m Derivado con m=0,6

La frecuencia de corte  $f_c$  es 1200.0000 [Hertz]

La pulsación de corte  $\omega_c$  es 7539.8224 [rad/seg]

La Impedancia de carga es  $R_o = 600.0000$  [Ohms]

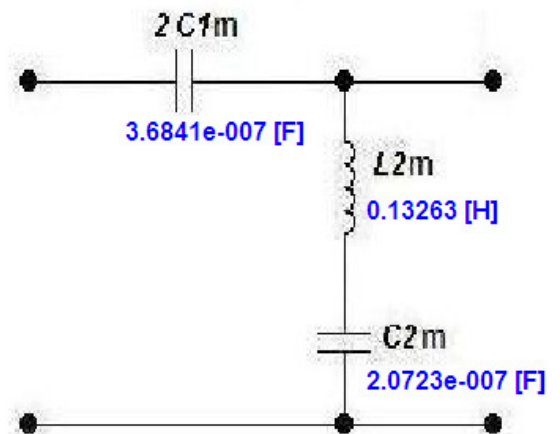
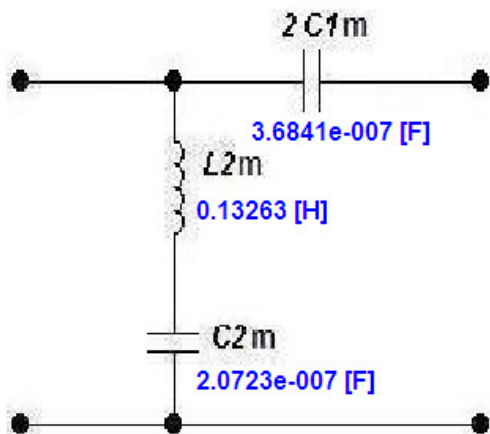
El valor del capacitor serie de la semisección adaptadora  $m\_Derivado$ , con  $m=0,6$ , es  $2 C1(m-Der) = 2 C1(Kcte) / m = 0.368414$  [ $\mu F$ ]

El valor del Inductor paralelo de la semisección adaptadora  $m\_Derivado$ , con  $m=0,6$ , es  $L2(m-Der) = (L2(Kcte) * 2 / m) * 2 = 132.629119243246$  [mH]

El valor del capacitor paralelo de la semisección adaptadora  $m\_Derivado$ , con  $m=0,6$ , es  $C2(m-Der) = (C2(Kcte) * (2*m) / (1-m^2))/2 = 0.207232998818$  [ $\mu F$ ]

El valor de la pulsación para atenuación infinita, es  $\omega_{inf} = \omega_c * \sqrt{1-m^2} = 6031.857894892404$  [[rad/seg]]

El valor de la pulsación para atenuación infinita, es  $\omega_{inf} = 1/(\sqrt{L2(m-Der) * C2(m-Der)}) = 6031.857894892403$  [[rad/seg]]



### **SEMI-SECCIONES ADAPTADORAS DE IMPEDANCIA PASA-ALTOS $m$ -DERIVADO CON $m = 0,6$**



## EJEMPLO DE DISEÑO DE FILTRO COMPUESTO PASA BANDA

Diseñar un filtro compuesto Pasa Banda, para trabajar con una carga de  $600 \Omega$ , una frecuencia de corte inferior de  $3500 \text{ Hz}$ , una frecuencia de corte superior de  $7000 \text{ Hz}$ . Diseñar el filtro m-derivado para que la frecuencia para atenuación infinita superior sea de  $7300 \text{ Hz}$ . Calcular además las semi-secciones de adaptación de impedancia para  $m=0,6$ .

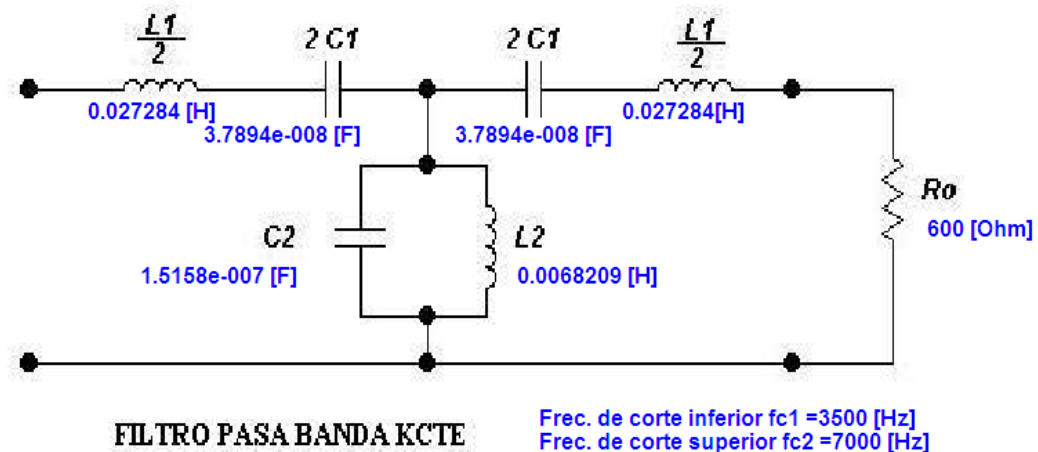
Calculamos en primer lugar el valor de  $m$  a utilizar en el filtro m-derivado :

$$m = \sqrt{1 - \left( \frac{BW}{BW_{\infty}} \right)^2} = \sqrt{1 - \left( \frac{\omega_{c2} - \omega_{c1}}{\omega_{c2} * \frac{\omega_{\infty 2}}{\omega_{c2}} - \frac{\omega_{c1}}{\omega_{\infty 2}}} \right)^2} = \sqrt{1 - \left( \frac{7000 - 3500}{7000 * \frac{7300}{7000} - \frac{3500}{7300}} \right)^2} = 0,460882966$$

Valor de  $m$  0,460882966

### Resultados Filtro Pasa Banda Kcte

La pulsación de corte inferior  $\omega_{c1}$  es  $21991.1486 \text{ [rad/seg]}$   
 La pulsación de corte superior  $\omega_{c2}$  es  $43982.2972 \text{ [rad/seg]}$   
 La pulsación de resonancia al cuadrado  $\omega_o^2$  es  $967221231.3068 \text{ [(rad/seg)^2]}$   
 El ancho de banda  $BW$  es de  $21991.1486 \text{ [rad/seg]}$   
 El valor del inductor serie  $L1$  es de  $54.56741 \text{ [mH]}$  ---->  $L1/2$  es de  $27.283705 \text{ [mH]}$   
 El valor del capacitor serie  $C1$  es de  $0.18947017 \text{ [uF]}$  ---->  $2 * C1$  es de  $0.037894034069 \text{ [uF]}$   
 El valor del inductor paralelo  $L2$  es de  $6.820926 \text{ [mH]}$   
 El valor del capacitor paralelo  $C2$  es de  $0.151576136278 \text{ [uF]}$

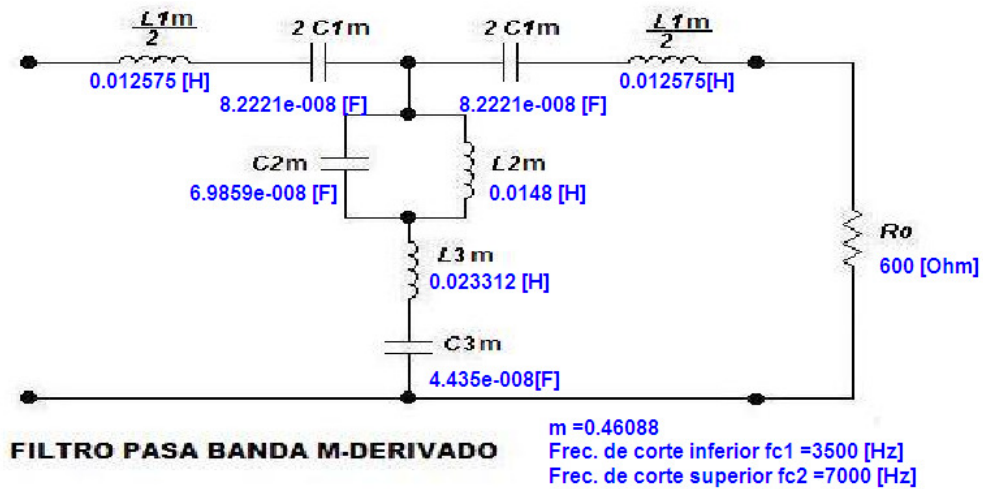


### Resultados Filtro Pasa Banda m\_Derivado con m=

$m =$

La frecuencia de corte inferior  $f_{c1}$  es  $3500.0000 \text{ [Hertz]}$   
 La frecuencia de corte inferior  $f_{c2}$  es  $7000.0000 \text{ [Hertz]}$   
 La pulsación de corte inferior  $\omega_{c1}$  es  $21991.1486 \text{ [rad/seg]}$   
 La pulsación de corte superior  $\omega_{c2}$  es  $43982.2972 \text{ [rad/seg]}$   
 La Impedancia de carga es  $R_o = 600.0000 \text{ [Ohms]}$

El valor del inductor serie en el filtro  $m$ \_Derivado, es  $L1/2(m\text{-Der}) = L1/2(Kcte) * m = 12.574595 \text{ [mH]}$   
 El valor del capacitor serie en el filtro  $m$ \_Derivado, es  $2 C1(m\text{-Der}) = 2 C1(Kcte) / m = 0.082221 \text{ [uF]}$   
 El valor del inductor paralelo en el filtro  $m$ \_Derivado, es  $L2(m\text{-Der}) = L2(Kcte) / m = 14.799692407182 \text{ [mH]}$   
 El valor del capacitor paralelo en el filtro  $m$ \_Derivado, es  $C2(m\text{-Der}) = C2(Kcte) * m = 0.069858859263 \text{ [uF]}$   
 El valor del inductor paralelo en el filtro  $m$ \_Derivado, es  $L3(m\text{-Der}) = L1(Kcte) * (1-m^2)/(2*m) = 23.312087480728 \text{ [mH]}$   
 El valor del capacitor paralelo en el filtro  $m$ \_Derivado, es  $C3(m\text{-Der}) = C1(Kcte) * (2*m) / (1-m^2) = 0.044349937768 \text{ [uF]}$   
 El valor de la pulsación inferior para atenuación infinita, es  $\omega_{\text{inf}1} = 21087.402743992105 \text{ [[rad/seg]]}$   
 El valor de la pulsación superior para atenuación infinita, es  $\omega_{\text{inf}2} = 45867.252740848933 \text{ [[rad/seg]]}$



### Resultados Semi-secciones adaptadoras de Z, Pasa Banda m Derivado con $m=0.6$

La frecuencia de corte inferior  $fc1$  es 3500.0000 [Hertz]  
 La frecuencia de corte inferior  $fc2$  es 7000.0000 [Hertz]  
 La pulsación de corte inferior  $\omega c1$  es 21991.1486 [rad/seg]  
 La pulsación de corte superior  $\omega c2$  es 43982.2972 [rad/seg]  
 La pulsación de resonancia al cuadrado  $\omega o^2 = \omega c2 * \omega c1$  es 967221231.3068 [rad/seg]  
 La Impedancia de carga es  $R_o = 600.0000$  [Ohms]

El valor del inductor serie de la semisección adaptadora m\_Derivado, con  $m=0.6$ , es  $L1/2(m-Der) = L1/2(Kcte) * m = 16.370223$  [mH]

El valor del capacitor serie de la semisección adaptadora m\_Derivado, con  $m=0.6$ , es  $2 C1(m-Der) = 2 C1(Kcte) / m = 0.063157$  [uF]

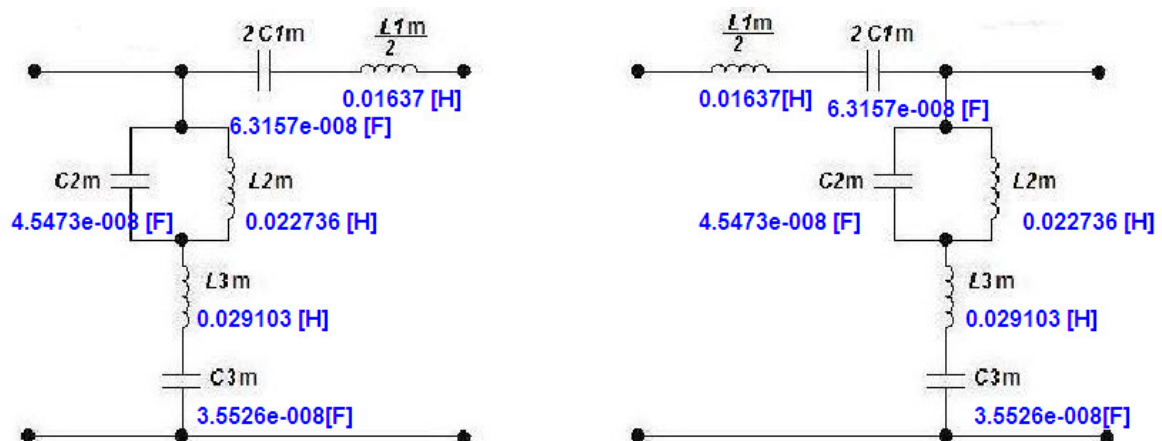
El valor del inductor paralelo de la semisección adaptadora m\_Derivado, con  $m=0.6$ , es  $L2(m-Der) = (L2(Kcte) / m)^2 = 22.736420441699$  [mH]

El valor del capacitor paralelo de la semisección adaptadora m\_Derivado, con  $m=0.6$ , es  $C2(m-Der) = (C2(Kcte) * m) / 2 = 0.045472840883$  [uF]

El valor del inductor paralelo de la semisección adaptadora m\_Derivado, con  $m=0.6$ , es  $L3(m-Der) = (L1(Kcte) * (1-m^2)/(2*m))^2 = 29.102618165375$  [mH]

El valor del capacitor paralelo de la semisección adaptadora m\_Derivado, con  $m=0.6$ , es  $C3(m-Der) = (C1(Kcte) * (2*m) / (1-m^2)) / 2 = 0.035525656940$  [uF]

El valor de la pulsación inferior para atenuación infinita, es  $\omega\_inf1 = 20257.467792009527$  [[rad/seg]]  
 El valor de la pulsación superior para atenuación infinita, es  $\omega\_inf2 = 47746.403510920223$  [[rad/seg]]  
 La pulsación de resonancia al cuadrado  $\omega o^2 = \omega\_inf2 * \omega\_inf1$  es 967221231.3068 [rad/seg]



**SEMI-SECCIONES ADAPTADORAS DE IMPEDANCIA PASA-BANDA  
m-DERIVADO CON  $m = 0.6$**

## EJEMPLO DE DISEÑO DE FILTRO COMPUESTO ELIMINA BANDA

Diseñar un filtro compuesto Elimina Banda, para trabajar con una carga de  $650 \Omega$ , una frecuencia de corte inferior de  $1800 \text{ Hz}$ , una frecuencia de corte superior de  $4800 \text{ Hz}$ . Diseñar el filtro m-derivado para que la frecuencia para atenuación infinita superior sea de  $4700 \text{ Hz}$ . Calcular además las semi-secciones de adaptación de impedancia para  $m=0,6$ .

Calculamos en primer lugar el valor de  $m$  a utilizar:

$$m = \sqrt{1 - \left(\frac{BW_{\infty}}{BW}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{c2} * \frac{\omega_{\infty 2}}{\omega_{c2}} - \frac{\omega_{c1}}{\omega_{\infty 2}}}{\omega_{c2} - \omega_{c1}}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{4800 * \frac{4700}{4800} - \frac{1800}{4700}}{4800 - 1800}\right)^2} = 0,30012237$$

Valor de  $m=0,30012237$

### Resultados Filtro Elimina Banda Kcte

La pulsación de corte inferior  $\omega_{c1}$  es  $11309.7336 \text{ [rad/seg]}$

La pulsación de corte superior  $\omega_{c2}$  es  $30159.2895 \text{ [rad/seg]}$

La pulsación de resonancia al cuadrado  $\omega_{o2}$  es  $341093528.1016 \text{ [(rad/seg)^2]}$

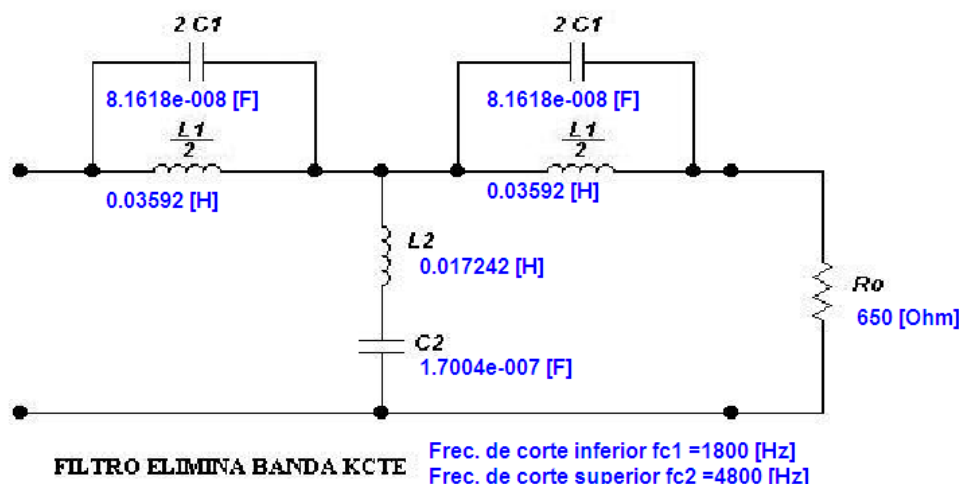
El ancho de banda  $BW$  es de  $18849.5559 \text{ [rad/seg]}$

El valor del inductor serie  $L1$  es de  $71.840773 \text{ [mH]}$  --->  $L1/2$  es de  $35.920386 \text{ [mH]}$

El valor del capacitor serie  $C1$  es de  $0.040808959767 \text{ [uF]}$  --->  $2*C1$  es de  $0.081617919534 \text{ [uF]}$

El valor del inductor paralelo  $L2$  es de  $17.241786 \text{ [mH]}$

El valor del capacitor paralelo  $C2$  es de  $0.170037332363 \text{ [uF]}$



### Resultados Filtro Elimina Banda m Derivado com m= 0.821004315

Valor de  $m = 0.30012237$

La frecuencia de corte inferior  $f_{c1}$  es  $1800.0000 \text{ [Hertz]}$

La frecuencia de corte inferior  $f_{c2}$  es  $4800.0000 \text{ [Hertz]}$

La pulsación de corte inferior  $\omega_{c1}$  es  $11309.7336 \text{ [rad/seg]}$

La pulsación de corte superior  $\omega_{c2}$  es  $30159.2895 \text{ [rad/seg]}$

La Impedancia de carga es  $R_o = 650.0000 \text{ [Ohms]}$

El valor del inductor serie en el filtro  $m$  Derivado, es  $L1/2(m\text{-Der}) = L1/2(Kcte) * m = 10.780512 \text{ [mH]}$

El valor del capacitor serie en el filtro  $m$  Derivado, es  $2 C1(m\text{-Der}) = 2 C1(Kcte) / m = 0.271949 \text{ [uF]}$

El valor del inductor paralelo en el filtro  $m$  Derivado, es  $L2(m\text{-Der}) = L2(Kcte) / m = 57.449184816253 \text{ [mH]}$

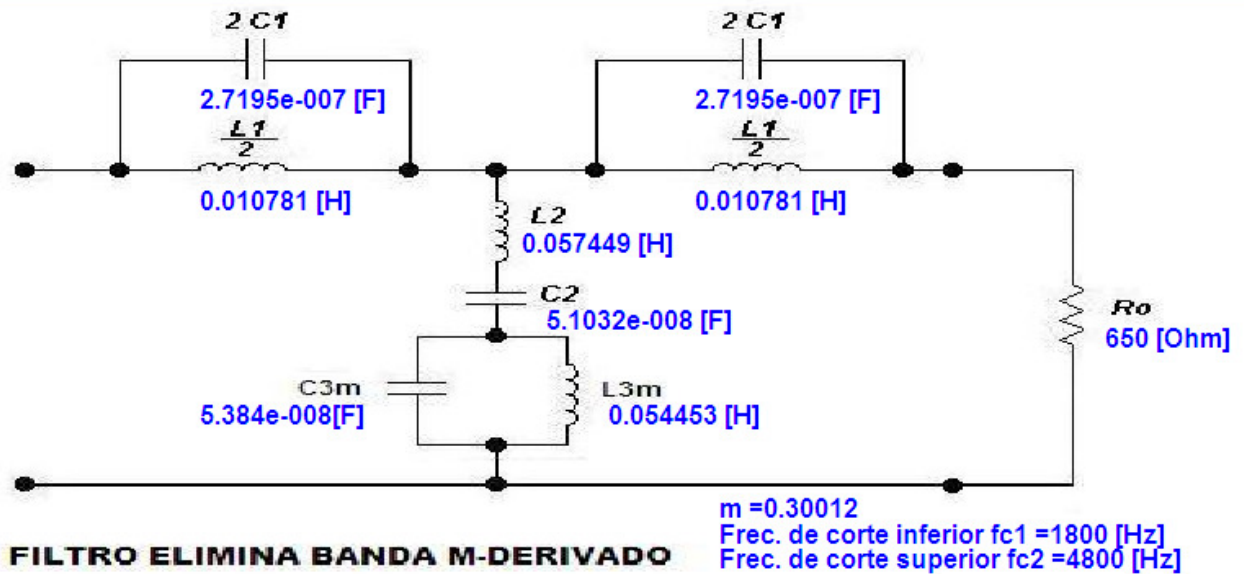
El valor del capacitor paralelo en el filtro  $m$  Derivado, es  $C2(m\text{-Der}) = C2(Kcte) * m = 0.051032007177 \text{ [uF]}$

El valor del inductor paralelo en el filtro  $m$  Derivado, es  $L3(m\text{-Der}) = L1(Kcte) * (1-m^2)/(2*m) = 54.452645092161 \text{ [mH]}$

El valor del capacitor paralelo en el filtro  $m$  Derivado, es  $C3(m\text{-Der}) = C1(Kcte) * (2*m) / (1-m^2) = 0.053840308527 \text{ [uF]}$

El valor de la pulsación inferior para atenuación infinita, es  $\omega_{\text{inf}1} = 11550.366181777097 \text{ [[rad/seg]]}$

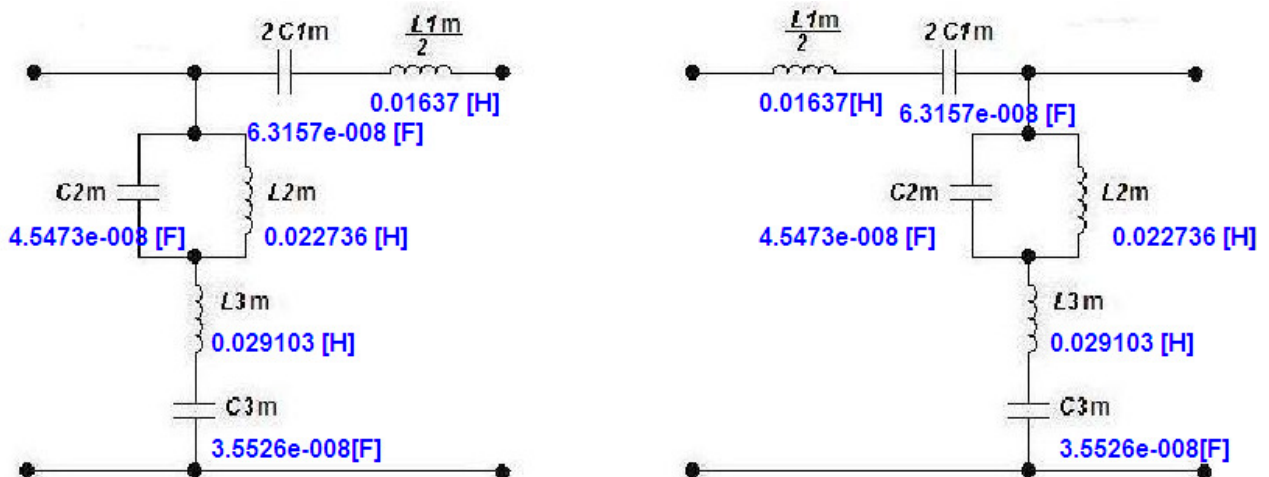
El valor de la pulsación superior para atenuación infinita, es  $\omega_{\text{inf}2} = 29530.970943569584 \text{ [[rad/seg]]}$



#### Resultados Semi-secciones adaptadoras de Z , Pasa BANDA m Derivado con $m=0.6$

La frecuencia de corte inferior  $fc1$  es 1800.0000 [Hertz]  
La frecuencia de corte superior  $fc2$  es 4800.0000 [Hertz]  
La pulsación de corte inferior  $\omega c1$  es 11309.7336 [rad/seg]  
La pulsación de corte superior  $\omega c2$  es 30159.2895 [rad/seg]  
La Impedancia de carga es  $R_o = 650.0000$  [Ohms]

El valor del inductor serie en el filtro  $m$  Derivado, es  $L1/2(m\text{-Der}) = L1/2(Kcte) * m = 10.780512$  [mH]  
El valor del capacitor serie en el filtro  $m$  Derivado, es  $2 C1(m\text{-Der}) = 2 C1(Kcte) / m = 0.271949$  [uF]  
El valor del inductor paralelo en el filtro  $m$  Derivado, es  $L2(m\text{-Der}) = L2(Kcte) / m = 57.449184816253$  [mH]  
El valor del capacitor paralelo en el filtro  $m$  Derivado, es  $C2(m\text{-Der}) = C2(Kcte) * m = 0.051032007177$  [uF]  
El valor del inductor paralelo en el filtro  $m$  Derivado, es  $L3(m\text{-Der}) = L1(Kcte) * (1-m^2)/(2*m) = 54.452645092161$  [mH]  
El valor del capacitor paralelo en el filtro  $m$  Derivado, es  $C3(m\text{-Der}) = C1(Kcte) * (2*m) / (1-m^2) = 0.053840308527$  [uF]  
El valor de la pulsación inferior para atenuación infinita, es  $\omega_{inf1} = 11550.366181777097$  [[rad/seg]]  
El valor de la pulsación superior para atenuación infinita, es  $\omega_{inf2} = 29530.970943569584$  [[rad/seg]]



**SEMI-SECCIONES ADAPTADORAS DE IMPEDANCIA PASA-BANDA  
m-DERIVADO CON  $m = 0,6$**