

## Diseño de RAA basados en RAI con rectificadores de onda completa TIPO (1) ALIMENTACIÓN ASIMÉTRICA

---

### 4. Contenido armónico de alta frecuencia.

**4.1 Factor de mérito  $I_{Fs}^2$**

**4.2 Variación del rizado con la potencia.**

**4.3 Variación del rizado con  $K$**

**4.4. Filtro pasabanda**

**4.5. Tensión a la salida de la LISN incluido el efecto de un filtro en  $p$**

**4.6. Circuito Demodulador**

**4.7. Detector de cuasipico**

**4.8. Simulación de las medidas de EMI conducida para los primeros armónicos de la frecuencia de conmutación.**

---

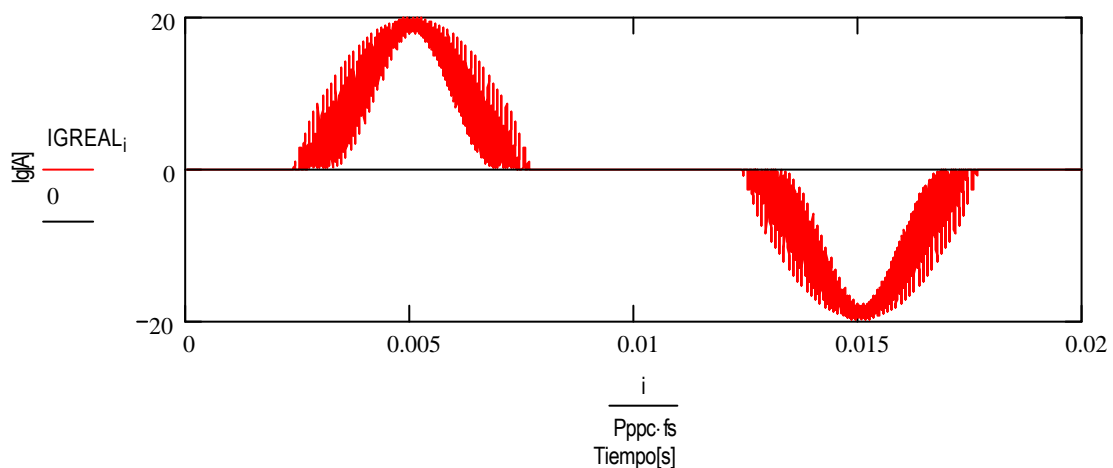
**ÍNDICE**

#### 4.1 Factor de mérito $I_{Fs}^2$

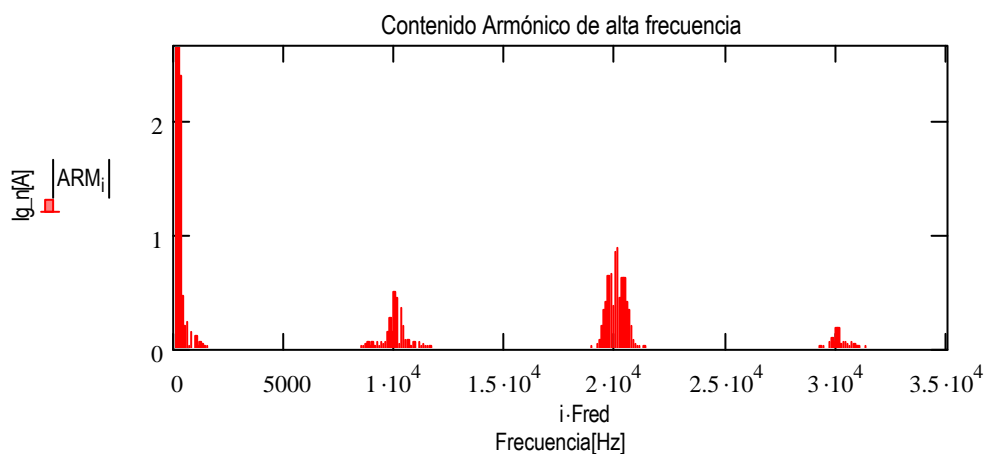
Mediante la función IgReal (Vg,Vc,N13,d,Lr,Lf,Ts,Fs,Pppc,Fred) podrá determinarse de una forma muy aproximada la corriente de entrada al RAA incluyendo el rizado de alta frecuencia. Puede comprobarse que Ts ha sido tomado como 1 para mantener las ventajas de trabajar con valores base y calcular el valor correspondiente a partir de KLF. Sin embargo, ha sido necesario incluir Fs (frecuencia de conmutación) para deeterminar el número de conmutaciones.

$f_s := 10000$        $Pppc := 40$        $Fred := 50$

$IGREAL := IgReal(268, 270, 3, .45, 1, 0.5, 1, f_s, Pppc, Fred)$        $i := 0..rows(IGREAL)$



$ARM := 2 \cdot CFFT(IGREAL)$        $Puntos := rows(IGREAL)$



Para ponderar el rizado a alta frecuencia se calculará la suma cuadrática de los armónicos en los entornos de la frecuencia de conmutación ( $I2f1$ ) y el doble de la frecuencia de conmutación ( $I2f2$ ).

$$I2f1(Vg, Vc, N13, d, Lr, Lf, Ts, fs, Pppc, Fred) := \left| \begin{array}{l} I \leftarrow \lgReal(Vg, Vc, N13, d, Lr, Lf, Ts, fs, Pppc, Fred) \\ \overline{ARM2} \leftarrow \left( \frac{2}{\sqrt{2}} |CFFT(I)| \right)^2 \\ \sum_{i = \text{ceil}\left(\frac{fs}{Fred} - 50\right)}^{\text{ceil}\left(\frac{fs}{Fred} + 50\right)} ARM2_i \end{array} \right|$$

La siguiente función obtendrá el rizado al doble de la frecuencia de conmutación.

$$I2f2(Vg, Vc, N13, d, Lr, Lf, Ts, fs, Pppc, Fred) := \left| \begin{array}{l} I \leftarrow \lgReal(Vg, Vc, N13, d, Lr, Lf, Ts, fs, Pppc, Fred) \\ \overline{ARM2} \leftarrow \left( \frac{2}{\sqrt{2}} |CFFT(I)| \right)^2 \\ \sum_{i = \text{ceil}\left(\frac{fs \cdot 2}{Fred} - 50\right)}^{\text{ceil}\left(\frac{fs \cdot 2}{Fred} + 50\right)} ARM2_i \end{array} \right|$$

#### **4.2 Variación del rizado con la potencia.**

El rizado máximo no se tiene siempre cuando la corriente de entrada es máxima. A continuación podrá comprobarse como disminuir la potencia el rizado puede aumentar. Este fenómeno es debido a que la RAI trabaja más tiempo en MCD.

***Veamos que sucede para N13=3 y K=0.5 para Vgmin***

$$N13 := 3 \quad K := 0.5$$

$$VCinicial := Vgmin \quad VCfinal := VCFINAL(Vgmin, N13)$$

$$PuntosVC := 30$$

$$IncrementoVC := \frac{VCfinal - VCinicial}{PuntosVC}$$

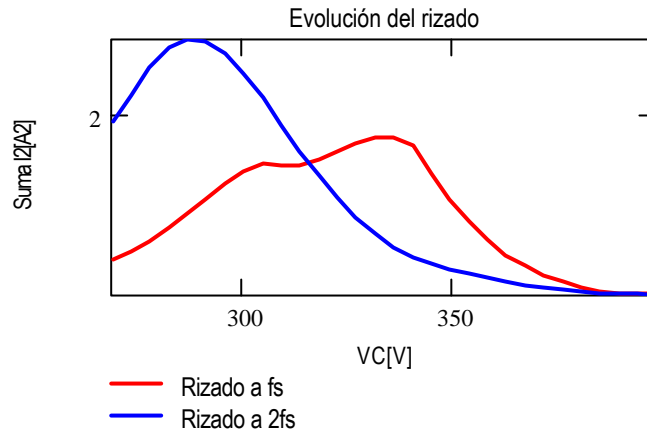
$$i := 0.. PuntosVC - 1$$

$$VCRIZADO_i := VCinicial + i \cdot IncrementoVC$$

$$D1_i := D(VCRIZADO_i, Vgmin, dmax, N13, K)$$

$$RIZADO1_i := I2f1(Vgmin, VCRIZADO_i, N13, D1_i, 1, K, 1, fs, Pppc, Fred)$$

$$RIZADO2_i := I2f2(Vgmin, VCRIZADO_i, N13, D1_i, 1, K, 1, fs, Pppc, Fred)$$



Como puede comprobarse el rizado máximo no se obtiene para la potencia máxima. (Recuérdese que según aumenta el valor de VC disminuye la potencia). Además, el rizado a la frecuencia de conmutación no es despreciable.

**Veamos que sucede para N13=3 y K=1 para Vgmin**

$$N13 := 3 \quad K := 1$$

$$VCinicial := Vgmin \quad VCfinal := VCFINAL(Vgmin, N13)$$

$$PuntosVC := 30$$

$$IncrementoVC := \frac{VCfinal - VCinicial}{PuntosVC}$$

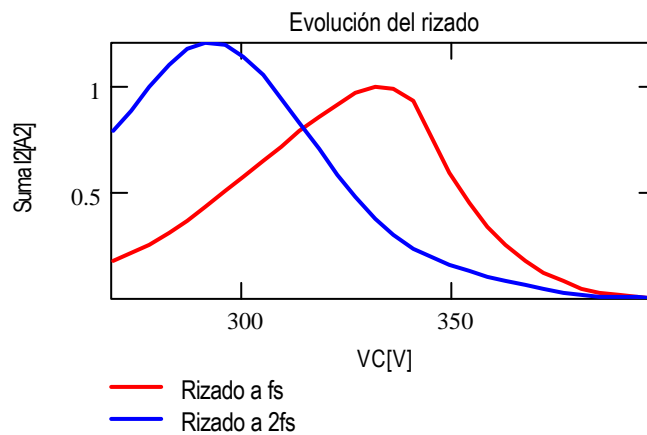
$$i := 0 .. PuntosVC - 1$$

$$VCRIZADO_i := VCinicial + i \cdot IncrementoVC$$

$$D1_i := D(VCRIZADO_i, Vgmin, dmax, N13, K)$$

$$RIZADO1_i := I2f1(Vgmin, VCRIZADO_i, N13, D1_i, 1, K, 1, fs, Pppc, Fred)$$

$$RIZADO2_i := I2f2(Vgmin, VCRIZADO_i, N13, D1_i, 1, K, 1, fs, Pppc, Fred)$$



EMI conducida

Al igual que para el caso anterior el mayor valor de rizado no se da a la mayor potencia.  
El rizado a la frecuencia de conmutación tampoco es despreciable en este caso.

**Veamos que sucede para  $N13=3$  y  $K=1$  para  $V_{gnom}$**

$N13 := 3$        $K := 1$

$VC_{inicial} := V_{gnom}$        $VC_{final} := VCFINAL(V_{gnom}, N13)$

PuntosVC := 30

$IncrementoVC := \frac{VC_{final} - VC_{inicial}}{PuntosVC}$

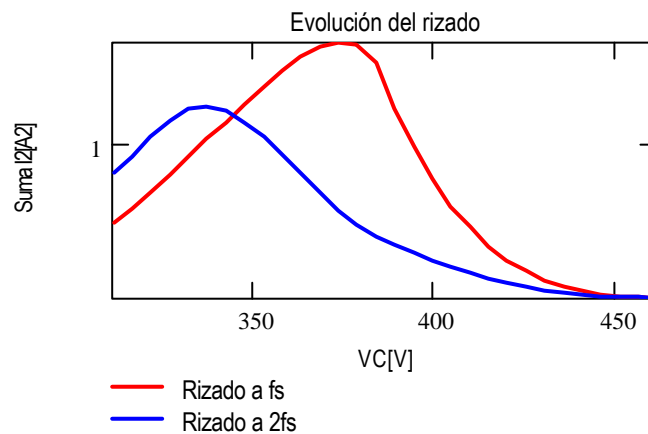
$i := 0.. PuntosVC - 1$

$VC_{RIZADO_i} := VC_{inicial} + i \cdot IncrementoVC$

$D1_i := D(VC_{RIZADO_i}, V_{gmin}, d_{max}, N13, K)$

$RIZADO1_i := I2f1(V_{gnom}, VC_{RIZADO_i}, N13, D1_i, 1, K, 1, f_s, P_{ppc}, F_{red})$

$RIZADO2_i := I2f2(V_{gnom}, VC_{RIZADO_i}, N13, D1_i, 1, K, 1, f_s, P_{ppc}, F_{red})$



A mayor tensión el rizado aumenta, trabaja más tiempo en MCD.

**Veamos que sucede para  $N13=3$  y  $K=0$  para  $V_{gnom}$**

$N13 := 3$        $K := 10^{-9}$

$VC_{inicial} := V_{gnom}$        $VC_{final} := VCFINAL(V_{gnom}, N13)$

PuntosVC := 30

$IncrementoVC := \frac{VC_{final} - VC_{inicial}}{PuntosVC}$

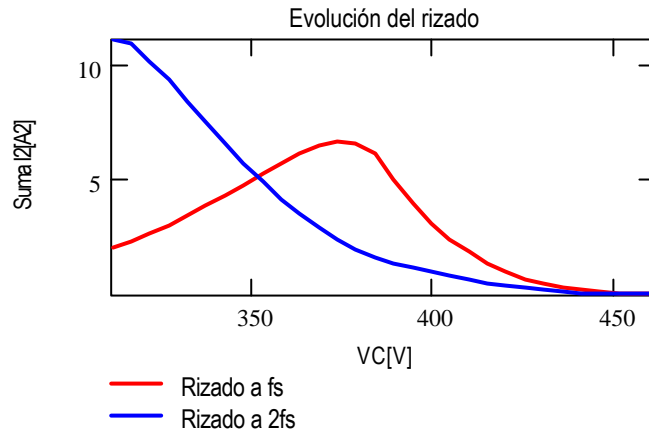
$i := 0.. PuntosVC - 1$

$VC_{RIZADO_i} := VC_{inicial} + i \cdot IncrementoVC$

$$D1_i := D(VCRIZADO_i, Vgmin, dmax, N13, K)$$

$$RIZADO1_i := I2f1(Vgnom, VCRIZADO_i, N13, D1_i, 1, K, 1, fs, Pppc, Fred)$$

$$RIZADO2_i := I2f2(Vgnom, VCRIZADO_i, N13, D1_i, 1, K, 1, fs, Pppc, Fred)$$



*Para  $K=0$  el rizado máximo aparece a potencia máxima*

**Veamos que sucede para  $N13=3$  y  $K=0$  para  $Vgmin$**

$$N13 := 3 \quad K := 10^{-9}$$

$$VCinicial := Vgmin \quad VCfinal := VCFINAL(Vgmin, N13)$$

$$PuntosVC := 30$$

$$IncrementoVC := \frac{VCfinal - VCinicial}{PuntosVC}$$

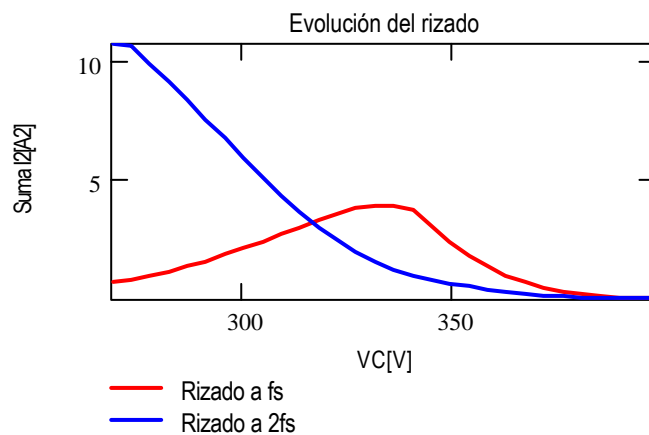
$$i := 0 .. PuntosVC - 1$$

$$VCRIZADO_i := VCinicial + i \cdot IncrementoVC$$

$$D1_i := D(VCRIZADO_i, Vgmin, dmax, N13, K)$$

$$RIZADO1_i := I2f1(Vgmin, VCRIZADO_i, N13, D1_i, 1, K, 1, fs, Pppc, Fred)$$

$$RIZADO2_i := I2f2(Vgmin, VCRIZADO_i, N13, D1_i, 1, K, 1, fs, Pppc, Fred)$$



EMI conducida

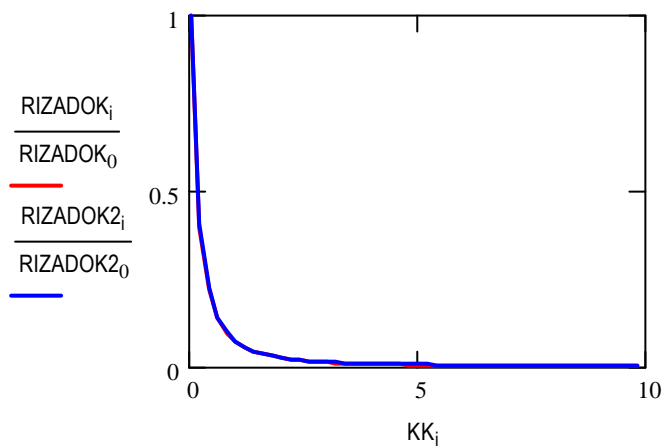
Para  $K=0$  el rizado máximo aparece a potencia máxima

### 4.3 Variación del rizado con K

$$\begin{aligned} K_{\text{inicial}} &:= 10^{-3} & K_{\text{final}} &:= 10 & \text{PuntosK} &:= 50 \\ i &:= 0 \dots \text{PuntosK} - 1 \\ KK_i &:= K_{\text{inicial}} + i \cdot \frac{K_{\text{final}} - K_{\text{inicial}}}{\text{PuntosK}} \end{aligned}$$

$$\text{RIZADOK}_i := \text{I2f2}(\text{Vgmin}, \text{VCINICIAL}(\text{Vgmin}, \text{Vgmin}, \text{dmax}, 3, KK_i), 3, \text{dmax}, 1, KK_i, 1, f_s, \text{Pppc}, \text{Fred})$$

$$\text{RIZADOK2}_i := \text{I2f2}(\text{Vgmin}, \text{VCINICIAL}(\text{Vgmin}, \text{Vgmin}, \text{dmax}, 9, KK_i), 9, \text{dmax}, 1, KK_i, 1, f_s, \text{Pppc}, \text{Fred})$$



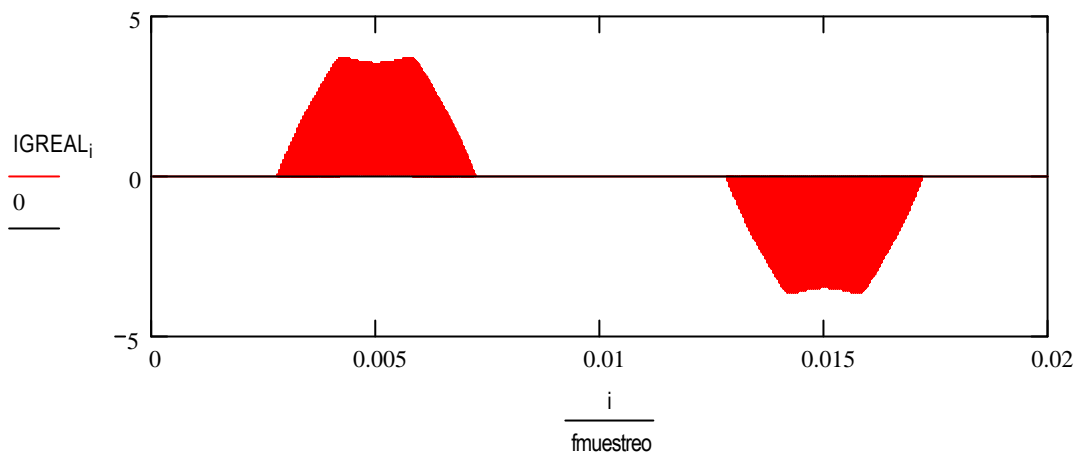
Como puede apreciarse influye poco el valor de N13 en la evolución del rizado cuando el parámetro modificado es la bobina de filtro.

## ÍNDICE

### 4.4. Filtro pasabanda

$$\begin{aligned} L_r &:= 40 \cdot 10^{-6} & V_g &:= V_{\text{gnom}} & V_c &:= 327 & f_s &:= 88000 & \text{Fred} &:= 50 & \text{Pppc} &:= 20 & N13 &:= \frac{30}{8} \\ L_f &:= 207 \cdot 10^{-9} & d &:= 0.23 & f_{\text{muestreo}} &:= f_s \cdot \text{Pppc} \end{aligned}$$

$$\text{IGREAL} := \text{IgReal} \left( V_g, V_c, N13, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}, f_s, \text{Pppc}, \text{Fred} \right) \quad i := 0 \dots \text{rows}(\text{IGREAL})$$



Selección del ancho de banda en función de la frecuencia a estudiar, 9kHz para frecuencias superiores a 150kHz y 200Hz para frecuencias inferiores a 150kHz.

```

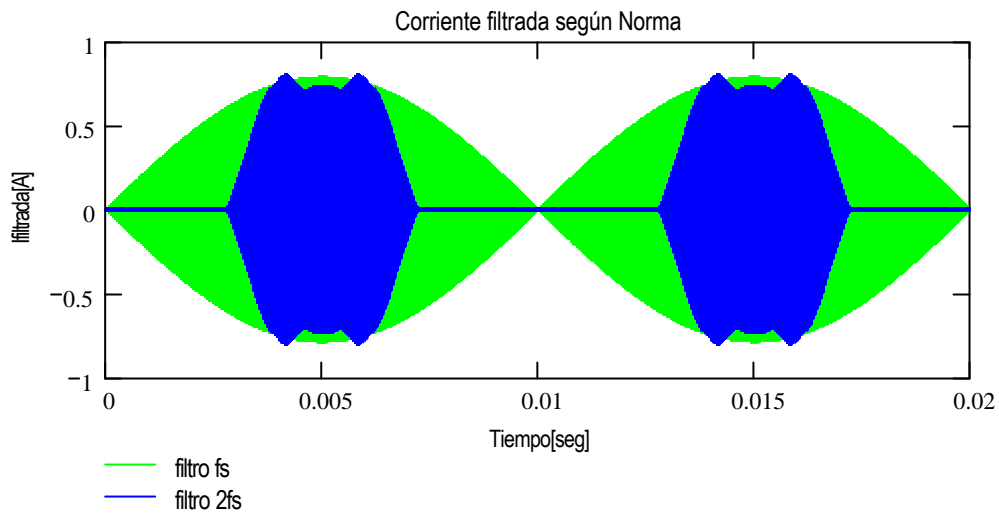
MatrizFiltro(F, Puntos, fmuestreo) :=
    ΔF ← 4500 if F > 150000
    ΔF ← 100 otherwise
    F1 ← F - ΔF
    F2 ← F + ΔF
    F1 ← F1 ·  $\frac{\text{Puntos}}{\text{fmuestreo}}$ 
    F2 ← F2 ·  $\frac{\text{Puntos}}{\text{fmuestreo}}$ 
    for i ∈ 0.. Puntos - 1
        A_i ← 1 if (F1 < i < F2) ∨ (Puntos - F2 < i < Puntos - F1)
        A_i ← 0 otherwise
    A

SeñalFiltrada(Vector, F, fmuestreo) :=
    A ← CFFT(Vector)
    Puntos ← rows(Vector)
    Filtro ← MatrizFiltro(F, Puntos, fmuestreo)
    for i ∈ 0.. Puntos - 1
        A_i ← A_i · Filtro_i
    B ← Re(ICFFT(A))

filtrada1 := SeñalFiltrada(IGREAL, fs, fmuestreo)
filtrada2 := SeñalFiltrada(IGREAL, fs/2, fmuestreo)

```





#### 4.5. Tensión a la salida de la LISN incluido el efecto de un filtro en $\pi$

##### LISN

$$R2 := 5 \cdot 2$$

$$R1 := 50 \cdot 2$$

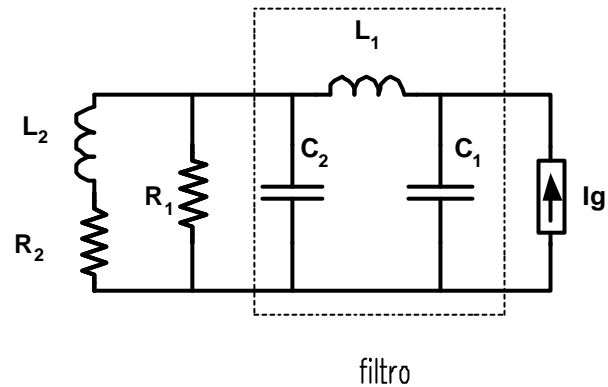
$$L2 := 50 \cdot 2 \cdot 10^{-6}$$

##### FILTRO

$$L1 := 50 \cdot 10^{-6}$$

$$C2 := 200 \cdot 10^{-9}$$

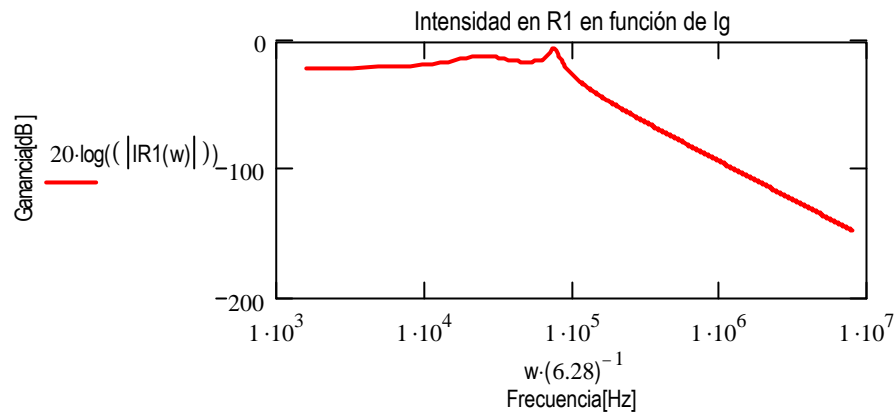
$$C1 := 200 \cdot 10^{-9}$$



Respuesta en frecuencia de la corriente que circula por R1 en función de  $I_g$

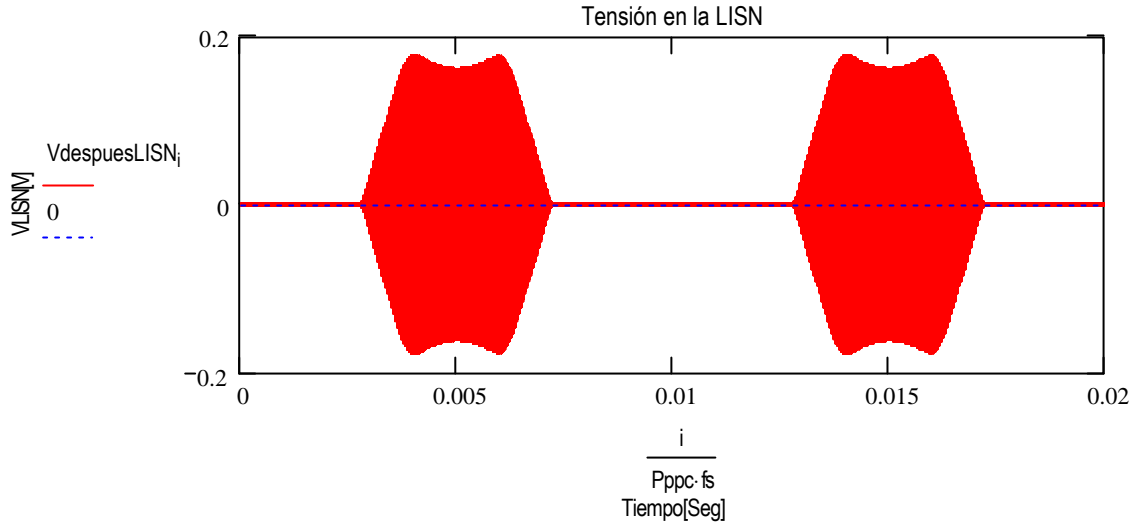
$$IR1(w) := \begin{cases} A \leftarrow (R1 + R2) + (R1 \cdot R2 \cdot C2 + R1 \cdot C1 \cdot R2 + L2) \cdot w \cdot j \\ B \leftarrow (R1 \cdot C1 \cdot L2 + L1 \cdot C1 \cdot R1 + L1 \cdot C1 \cdot R2 + R1 \cdot C2 \cdot L2) \cdot (w \cdot j)^2 \\ C \leftarrow (L1 \cdot C1 \cdot R1 \cdot R2 \cdot C2 + L1 \cdot C1 \cdot L2) \cdot (w \cdot j)^3 + (L1 \cdot C1 \cdot R1 \cdot C2 \cdot L2) \cdot (w \cdot j)^4 \\ \frac{R2 + w \cdot j \cdot L2}{A + B + C} \end{cases}$$

$$w := 10000, 20000 \dots 50000000$$



```
VLISN(IG, R1, R2, L1, L2, C1, C2, fmuestreo) :=
Puntos ← rows(IG)
IR10 ← 0
IR11 ← 0
IR12 ← 0
IR13 ← 0
F ← fmuestreo
A ← R1 + R2
B ← F · (R1 · R2 · C2 + R1 · C1 · R2 + L2)
C ← F2 · (R1 · C1 · L2 + L1 · C1 · R1 + L1 · C1 · R2 + R1 · C2 · L2)
D ← F3 · (L1 · C1 · R1 · R2 · C2 + L1 · C1 · L2)
E ← F4 · (L1 · C1 · R1 · C2 · L2)
An ← A + B + C + D + E
An1 ← B + 2 · C + 3 · D + 4 · E
An2 ← C + 3 · D + 6 · E
An3 ← D + 4 · E
An4 ← E
for n ∈ 4.. Puntos - 1
  A ← R2 · IGn + (IGn - IGn-1) · F · L2 + An3 · IR1n-3
  IR1n ←  $\frac{A + [An1 \cdot IR1_{n-1} - (An2 \cdot IR1_{n-2}) - An4 \cdot IR1_{n-4}]}{An}$ 
IR150
```

VdespuesLISN := VLISN( filtrada2, R1, R2, L1, L2, C1, C2, fmuestreo)



#### 4.6. Circuito Demodulador

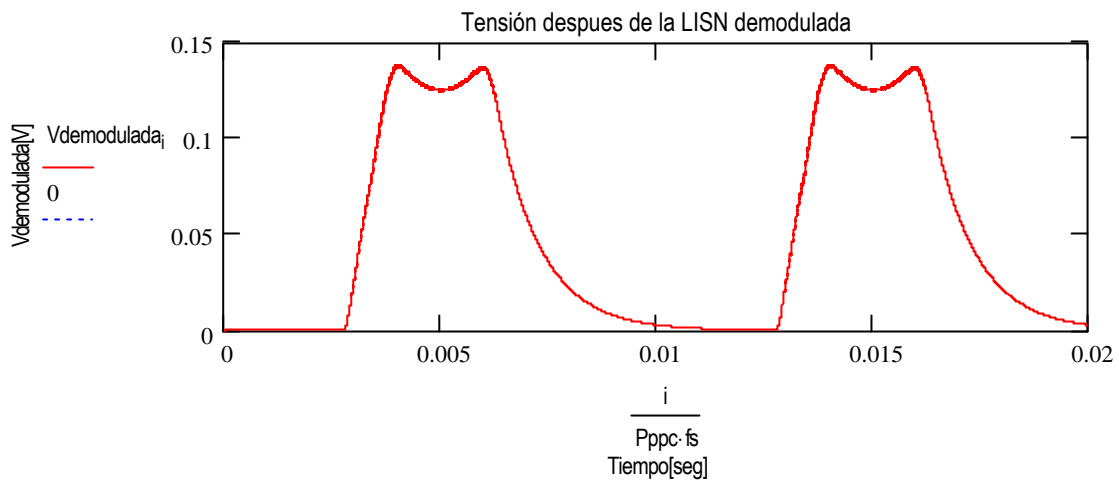
```

VDem(Vector, fmuestreo, F) :=
  VCD0 ← 0
  VD0 ← 0
  Puntos ← rows(Vector)
  if F < 150000
    t1 ← 45 · 10-3
    t2 ← 500 · 10-3
  otherwise
    t1 ← 1 · 10-3
    t2 ← 160 · 10-3
  td ← 10-3
  for n ∈ 0..Puntos - 2
    VCDn+1 ← (Vectorn+1) if VCDn < (Vectorn+1)
    VCDn+1 ← VCDn · (1 - 1 / (fmuestreo · td)) otherwise
    VDn+1 ← VCDn+1 · [ 1 / √2 · (1 + t1 / (t2 - t1)) ]
  VD

```

Vdemodulada := VDem(VdespuesLISN, fmuestreo, fs)

EMI conducida



#### 4.7. Detector de cuasipico

La expresión utilizada es demasiado lenta para aplicarla a un solo periodo de conmutación

```
Vcuasipico(Vector, fmuestreo, F) := [
  Vw0 ← 0
  Puntos ← rows(Vector)
  if F < 150000
    t1 ← 45 · 10-3
    t2 ← 500 · 10-3
  otherwise
    t1 ← 1 · 10-3
    t2 ← 160 · 10-3
  td ← 10-3
  for n ∈ 0.. Puntos - 2
    Vwn ← [ 1 + ( t1 / (t2 - t1) ) ]-1 · Vectorn
  max(Vw)
]
```

Vpico := Vcuasipico(Vdemodulada, fmuestreo, fs)

Vpico = 0.126

$$20 \log(Vpico \cdot 10^6) = 101.995$$

EMI conducida

#### 4.8. Simulación de las medidas de EMI conducida para los primeros armónicos de la frecuencia de conmutación.

Partiendo de un vector donde esté almacenada la forma de corriente simulada se obtendrá la medida que facilitaría un equipo de medida de EMI conducida.

```
EMI(Vector, Fmuestreo, Fs, armonicos, L1, C1, C2) :=
    Puntos ← rows(Vector)
    F ← Fmuestreo
    L2 ← 100 · 10-6
    for n ∈ 1 .. armonicos
        ULSN ← VLISN(Vector, 100, 10, L1, L2, C1, C2, F)
        UFILT ← SeñalFiltrada(ULSN, Fs · n, F)
        UDMOD ← VDem(UFILT, F, Fs · n)
        Un ← Vcuasipico(UDMOD, F, Fs · n)
        dBun ← 20 · log(106 · Un)
    dBu
```

## Diseño k=1, filtrado por condensador C2=1150nF

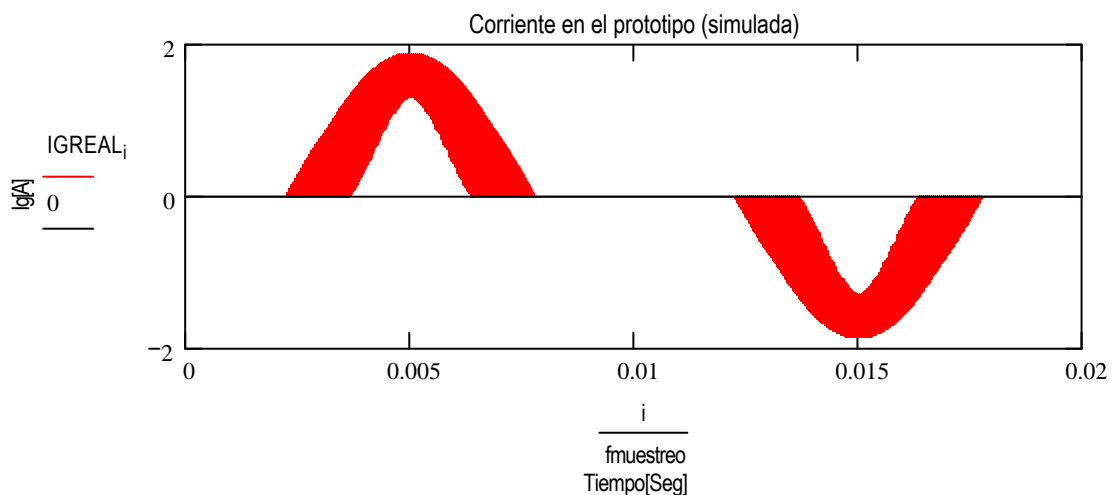
$$\begin{aligned} L_r &:= 76 \cdot 10^{-6} & V_g &:= V_{\text{gnom}} & V_c &:= 318 & f_s &:= 88000 & F_{\text{red}} &:= 50 & P_{\text{ppc}} &:= 20 & N_{13} &:= \frac{30}{11} \\ L_f &:= 76 \cdot 10^{-6} & d &:= 0.23 & f_{\text{muestreo}} &:= f_s \cdot P_{\text{ppc}} \end{aligned}$$

$$\text{IGREAL} := \text{IgReal} \left( V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}, f_s, P_{\text{ppc}}, F_{\text{red}} \right) \quad i := 0 \dots \text{rows}(\text{IGREAL})$$

$$\text{Pot} \left( V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s} \right) = 101.543$$

### Filtro

$$L_1 := 31 \cdot 10^{-9} \quad C_1 := 1 \cdot 10^{-11} \quad C_2 := 1150 \cdot 10^{-9}$$



$$\text{SimuladoK1} := \text{EMI}(\text{IGREAL}, f_{\text{muestreo}}, f_s, 6, L_1, C_1, C_2)$$

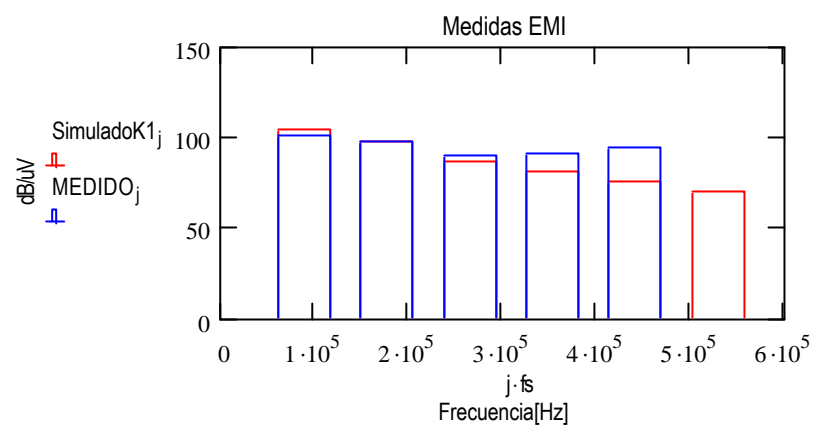
### Comparativa datos experimentales y valores obtenidos mediante simulación. Filtrado mediante condensador.

DATOS EXPERIMENTALES.

$$j := 0 \dots 6$$

$$\text{MEDIDO}_1 := 100.8 \quad \text{MEDIDO}_2 := 97.16 \quad \text{MEDIDO}_3 := 90.28 \quad \text{MEDIDO}_4 := 91.25 \quad \text{MEDIDO}_5 := 94$$

EMI conducida



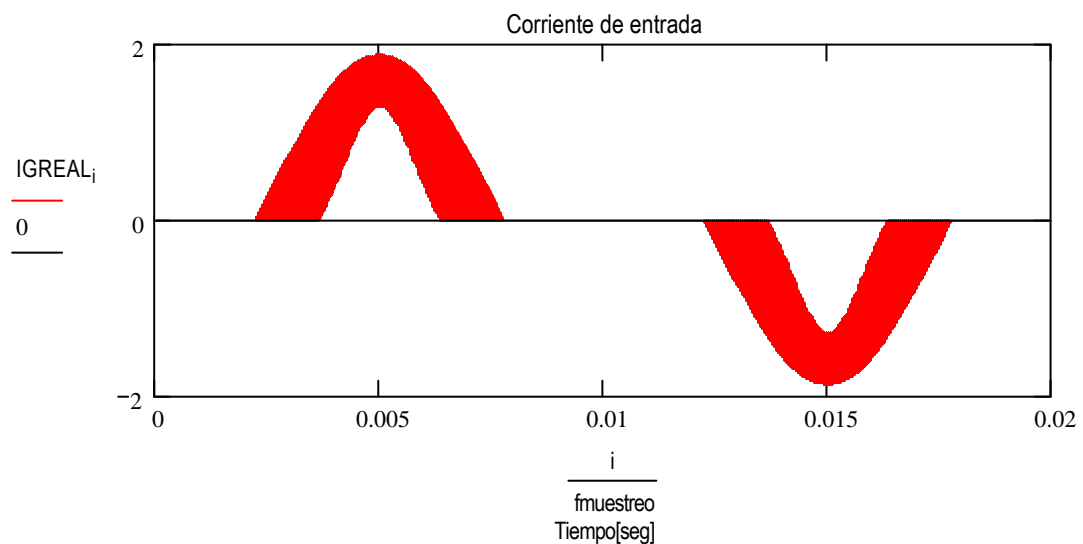
## Diseño k=1, filtro por condensador C2=440nF

$$\begin{aligned} L_r &:= 76 \cdot 10^{-6} & V_g &:= V_{gnom} & V_c &:= 318 & f_s &:= 88000 & F_{red} &:= 50 & P_{ppc} &:= 20 & N_{13} &:= \frac{30}{11} \\ L_f &:= 76 \cdot 10^{-6} & d &:= 0.23 & f_{muestreo} &:= f_s P_{ppc} & i &:= 0 \dots \text{rows}(\text{IGREAL}) \end{aligned}$$

$$\text{IGREAL} := \text{IgReal} \left( V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}, f_s, P_{ppc}, F_{red} \right) \quad \text{Pot} \left( V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s} \right) = 101.543$$

### Filtro

$$L_1 := 31 \cdot 10^{-19} \quad C_1 := 1 \cdot 10^{-11} \quad C_2 := 440 \cdot 10^{-9}$$



$$\text{Puntos} := \text{rows}(\text{IGREAL})$$

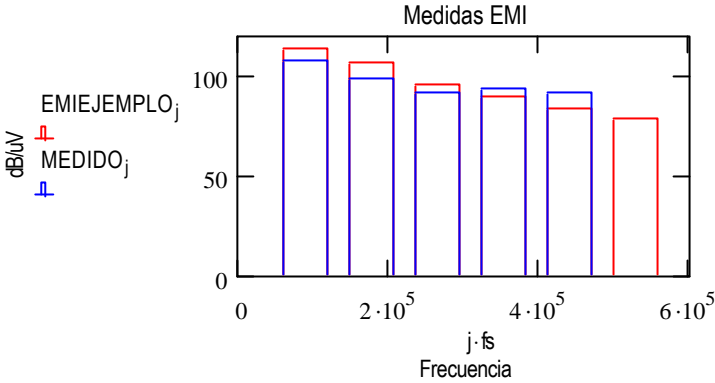
$$\text{EMIEJEMPLO} := \text{EMI}(\text{IGREAL}, f_{muestreo}, f_s, 6, L_1, C_1, C_2)$$

### DATOS EXPERIMENTALES.

$$\text{MEDIDO}_1 := 107.2 \quad \text{MEDIDO}_2 := 98.9 \quad \text{MEDIDO}_3 := 91.25 \quad \text{MEDIDO}_4 := 93.92 \quad \text{MEDIDO}_5 := 92$$



$$\text{EMIEJEMPLO} = \begin{pmatrix} 0 \\ 113.051 \\ 106.42 \\ 95.09 \\ 89.883 \\ 83.876 \\ 78.568 \end{pmatrix}$$



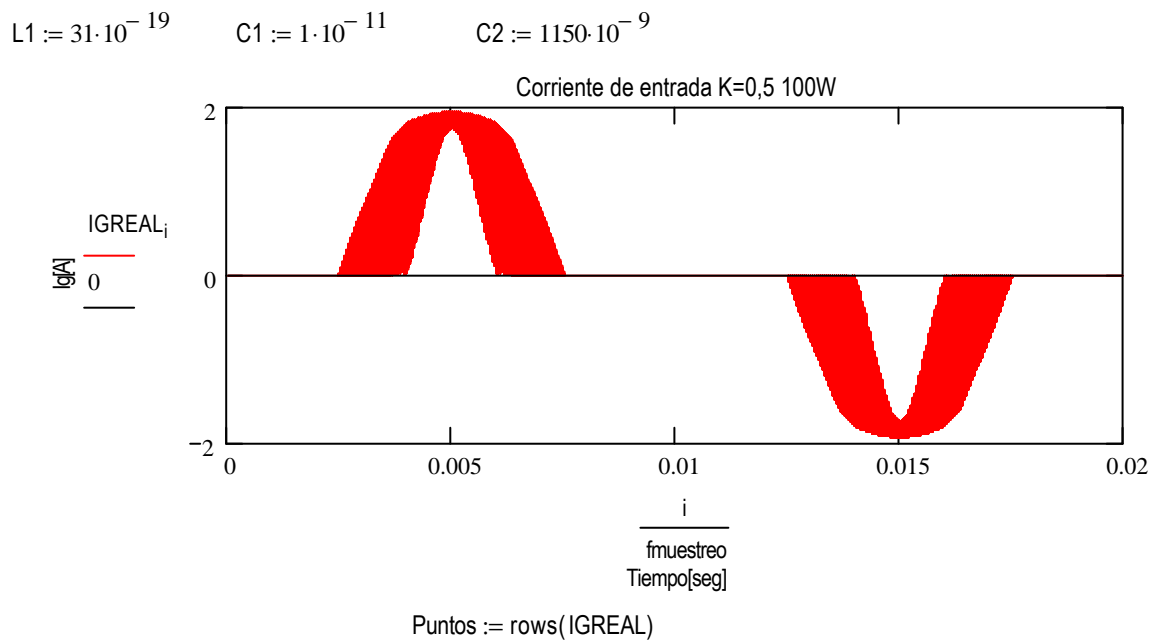
## Diseño k=0.5, filtrado por condensador C2=1150nF

$$\begin{aligned} L_r &:= 63 \cdot 10^{-6} & V_g &:= V_{gnom} & V_c &:= 312 & f_s &:= 88000 & F_{red} &:= 50 & P_{ppc} &:= 20 & N_{13} &:= \frac{30}{9} \\ L_f &:= 36 \cdot 10^{-6} & d &:= 0.23 & f_{muestreo} &:= f_s \cdot P_{ppc} \end{aligned}$$

$$IGREAL := \text{lgReal} \left( V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}, f_s, P_{ppc}, F_{red} \right) \quad i := 0 \dots \text{rows}(IGREAL)$$

$$\text{Pot} \left( V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s} \right) = 107.638$$

### Filtro



$$\text{EMIEJEMPLO} := \text{EMI}(IGREAL, f_{muestreo}, f_s, 6, L_1, C_1, C_2)$$

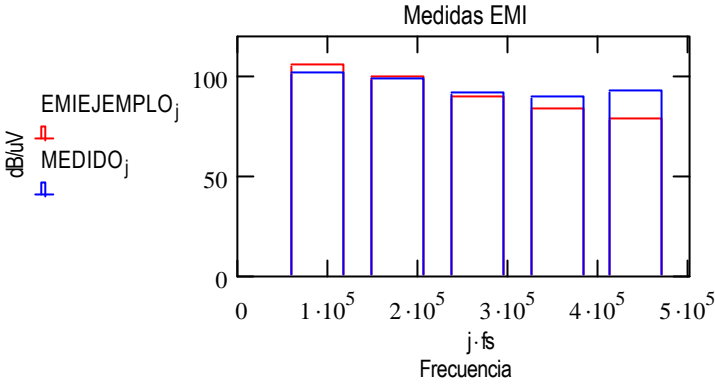
### DATOS EXPERIMENTALES.

$$j := 0 \dots 5$$

$$\text{MEDIDO}_1 := 101.5 \quad \text{MEDIDO}_2 := 98.2 \quad \text{MEDIDO}_3 := 92 \quad \text{MEDIDO}_4 := 90 \quad \text{MEDIDO}_5 := 93$$

EMI conducida

$$\text{EMIEJEMPLO} = \begin{pmatrix} 0 \\ 105.242 \\ 99.864 \\ 89.242 \\ 83.318 \\ 78.043 \\ 72.035 \end{pmatrix}$$



**Diseño k=0, filtrado por condensador C2=440nF**

$L_r := 40 \cdot 10^{-6}$  $V_g := V_{gnom}$  $V_c := 312$  $f_s := 88000$  $F_{red} := 50$  $P_{ppc} := 20$  $N_{13} := \frac{30}{7}$

$L_f := 36 \cdot 10^{-9}$  $d := 0.23$  $f_{muestreo} := f_s \cdot P_{ppc}$

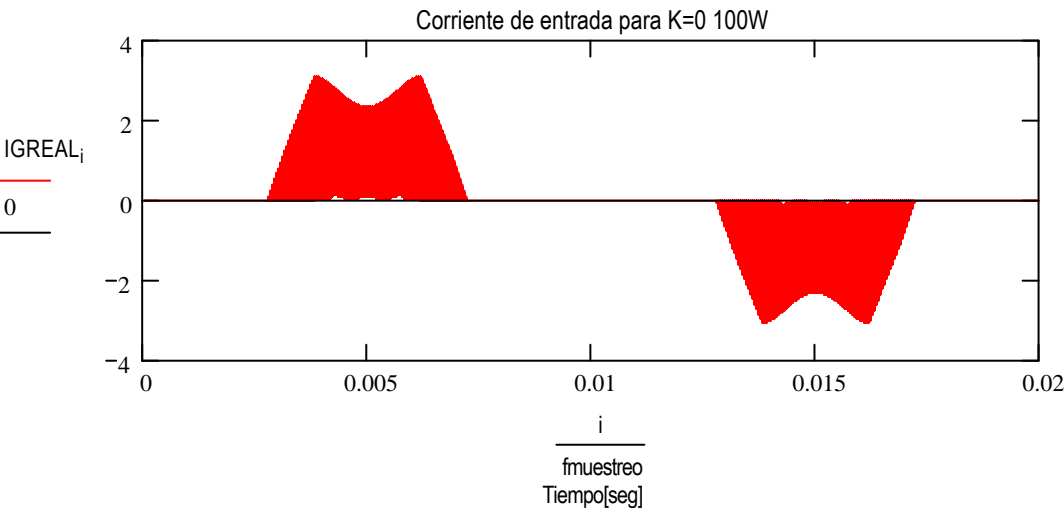
$IGREAL := IgReal\left(V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}, f_s, P_{ppc}, F_{red}\right)$

$i := 0..rows(IGREAL)$

$Pot\left(V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}\right) = 99.52$

**Filtro**

$L_1 := 31 \cdot 10^{-19}$  $C_1 := 1 \cdot 10^{-11}$  $C_2 := 440 \cdot 10^{-9}$



$Puntos := rows(IGREAL)$

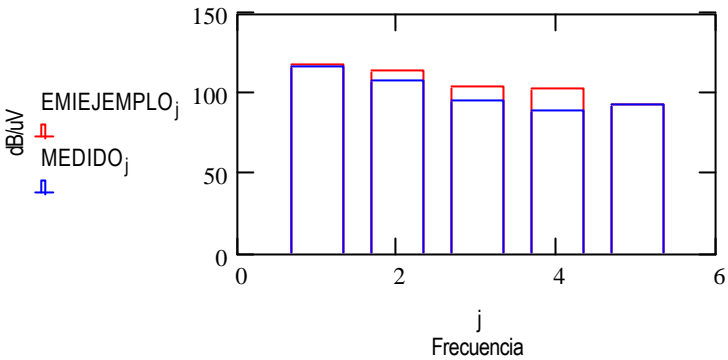
$EMIEJEMPLO := EMI(IGREAL, f_{muestreo}, f_s, 6, L_1, C_1, C_2)$

**DATOS EXPERIMENTALES.**

$j := 0..5$

$MEDIDO_1 := 117.5$  $MEDIDO_2 := 108.2$  $MEDIDO_3 := 96$  $MEDIDO_4 := 90$  $MEDIDO_5 := 93$

$$\text{EMIEJEMPLO} = \begin{pmatrix} 0 \\ 118.694 \\ 113.92 \\ 104.778 \\ 102.701 \\ 93.439 \\ 91.449 \end{pmatrix}$$



# Diseño K=0, diseño del filtro para cumplir la Norma

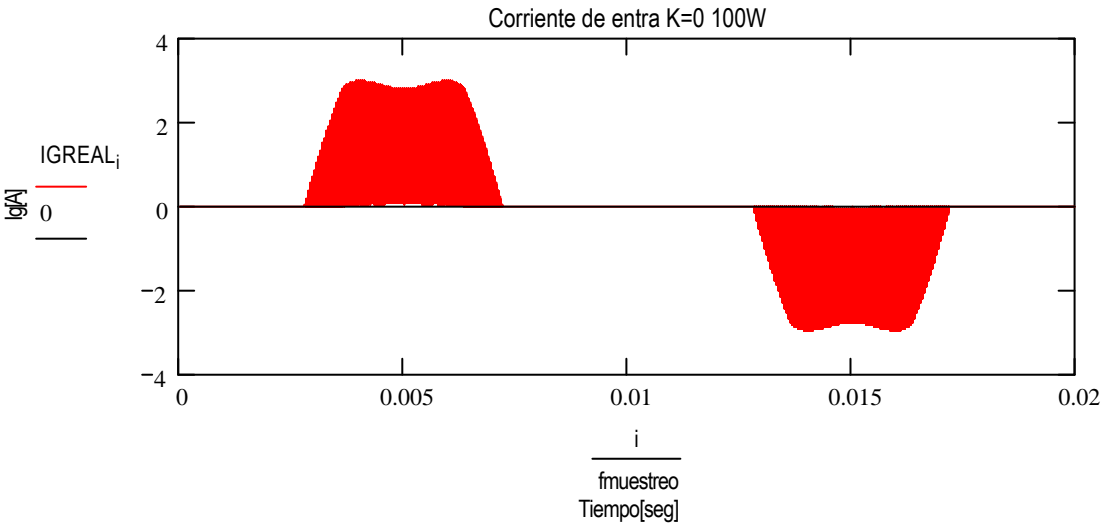
$$\begin{array}{llllllll} L_r := 47 \cdot 10^{-6} & V_g := V_{gnom} & V_c := 320 & f_s := 100000 & F_{red} := 50 & P_{ppc} := 40 & N_{13} := 4 \\ L_f := L_r \cdot 10^{-6} & d := 0.31 & & f_{muestreo} := f_s \cdot P_{ppc} & & & \end{array}$$

$$IGREAL := \text{IgReal} \left( V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}, f_s, P_{ppc}, F_{red} \right) \quad i := 0 \dots \text{rows}(IGREAL)$$

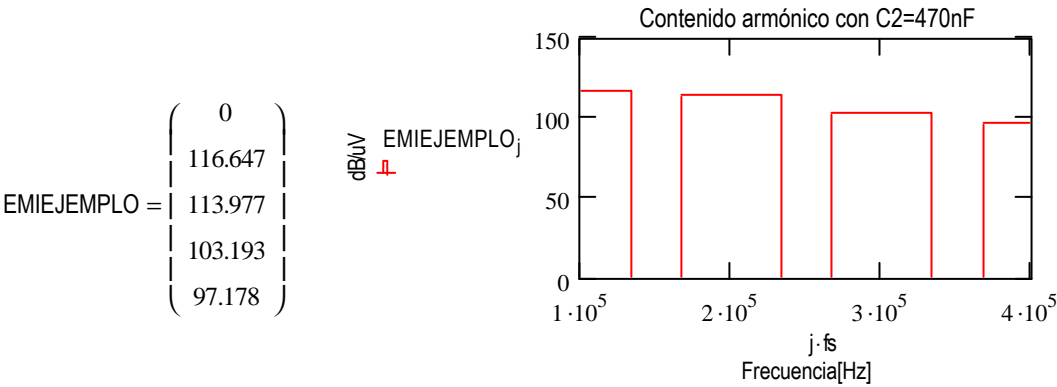
$$\text{Pot} \left( V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s} \right) = 108.044$$

## Filtro

$$L_1 := 31 \cdot 10^{-19} \quad C_1 := 1 \cdot 10^{-19} \quad C_2 := 470 \cdot 10^{-9}$$



$$EMIEJEMPLO := \text{EMI}(IGREAL, f_{muestreo}, f_s, 4, L_1, C_1, C_2) \quad j := 1 \dots 6$$



## Filtro para cumplir CISPR16

$$F_{corte} := \frac{f_s}{\frac{EMIEJEMPLO1-66}{10} \cdot 40}$$

$$F_{corte} = 5.418 \times 10^3$$

$$L1 := \frac{1}{470 \cdot 10^{-9} \cdot (2 \cdot \pi)^2 \cdot F_{corte}^2}$$

$$L1 = 1.836 \times 10^{-3}$$

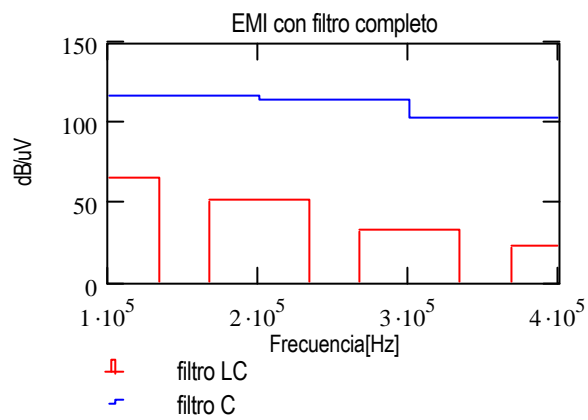
$$L1 = 1.836 \times 10^{-3}$$

$$C1 := 470 \cdot 10^{-9}$$

$$C2 := 470 \cdot 10^{-9}$$

$$EMIEJEMPLO1 := EMI(IGREAL, fmuestreo, f_s, 4, L1, C1, C2)$$

$$EMIEJEMPLO1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 66.07 \\ 51.372 \\ 33.627 \\ 22.739 \end{pmatrix}$$



**Diseño K=0,5 diseño del filtro para cumplir la Norma**

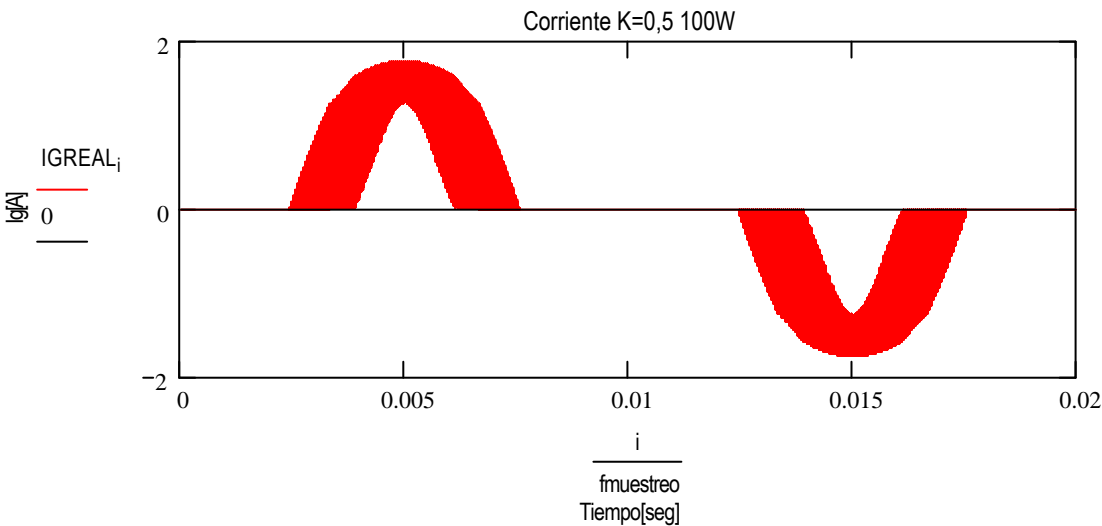
$L_r := 87 \cdot 10^{-6}$        $V_g := V_{gnom}$        $V_c := 315$        $f_s := 100000$        $F_{red} := 50$        $P_{ppc} := 40$        $N_{13} := 3.17$   
 $L_f := L_r \cdot 0.5$        $d := 0.314$        $f_{muestreo} := f_s \cdot P_{ppc}$

$IGREAL := \text{IgReal}\left(V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}, f_s, P_{ppc}, F_{red}\right)$        $i := 0 \dots \text{rows}(IGREAL)$

$Pot\left(V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}\right) = 100.888$

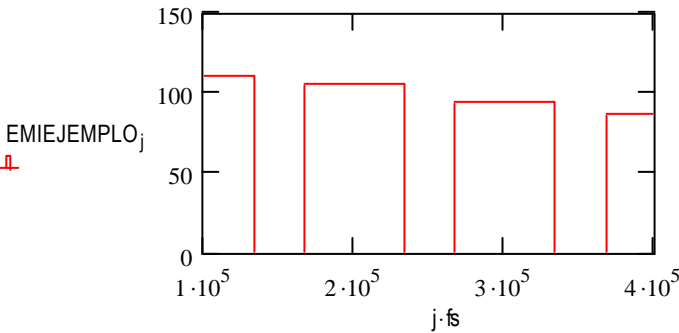
**Filtro**

$L_1 := 31 \cdot 10^{-19}$        $C_1 := 1 \cdot 10^{-19}$        $C_2 := 470 \cdot 10^{-9}$



$EMIEJEMPLO := \text{EMI}(IGREAL, f_{muestreo}, f_s, 4, L_1, C_1, C_2)$        $j := 1 \dots 6$

$EMIEJEMPLO = \begin{pmatrix} 0 \\ 110.958 \\ 105.802 \\ 94.911 \\ 87.194 \end{pmatrix}$





**Filtro para cumplir CISPR16**

$$F_{corte} := \frac{f_s}{\frac{EMIEJEMPLO1-66}{10^{40}}}$$

$F_{corte} = 7.517 \times 10^3$

$$L1 := \frac{1}{470 \cdot 10^{-9} \cdot (2 \cdot \pi)^2 \cdot F_{corte}^2}$$

$L1 = 9.538 \times 10^{-4}$

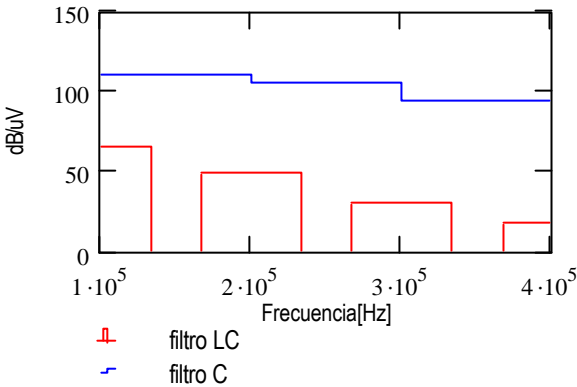
$L1 = 9.538 \times 10^{-4}$

$C1 := 470 \cdot 10^{-9}$

$C2 := 470 \cdot 10^{-9}$

$EMIEJEMPLO1 := EMI(IGREAL, fmuestreo, f_s, 4, L1, C1, C2)$

$EMIEJEMPLO1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 66.117 \\ 48.916 \\ 31.022 \\ 18.469 \end{pmatrix}$



**Diseño K=0,75 diseño del filtro para cumplir la Norma**

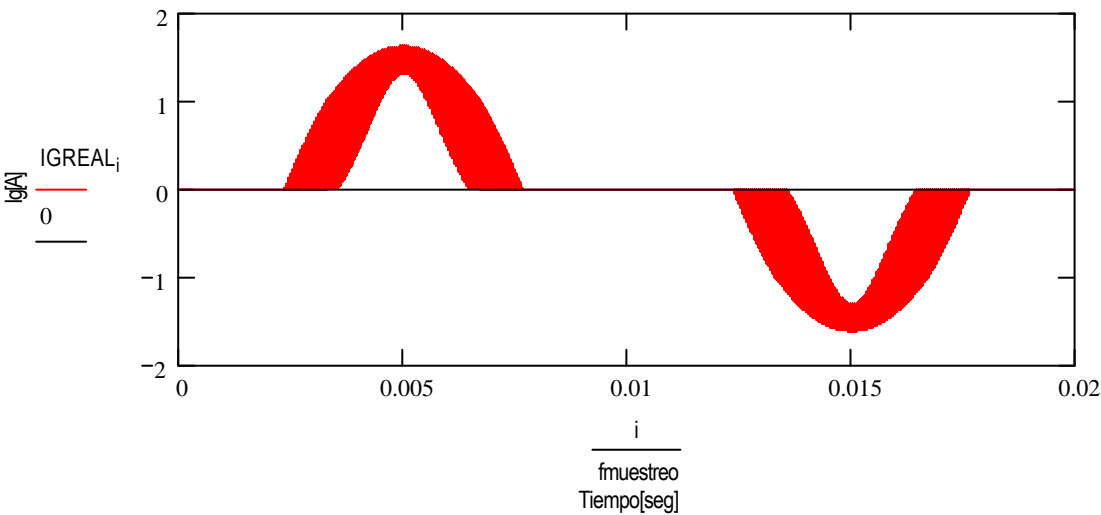
$L_r := 99 \cdot 10^{-6}$        $V_g := V_{gnom}$        $V_c := 315$        $f_s := 100000$        $F_{red} := 50$        $P_{ppc} := 40$        $N_{13} := 2.99$   
 $L_f := L_r \cdot 0.75$        $d := 0.314$        $f_{muestreo} := f_s \cdot P_{ppc}$

$IGREAL := \lg\text{Real}\left(V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}, f_s, P_{ppc}, F_{red}\right)$        $i := 0.. \text{rows}(IGREAL)$

$\text{Pot}\left(V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}\right) = 102.707$

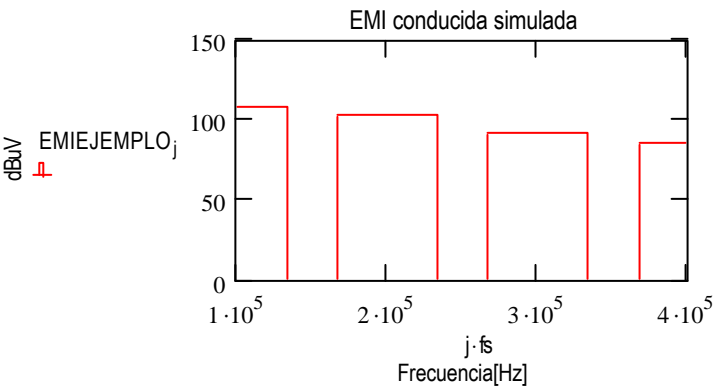
**Filtro**

$L_1 := 31 \cdot 10^{-19}$        $C_1 := 1 \cdot 10^{-19}$        $C_2 := 470 \cdot 10^{-9}$



$EMIEJEMPLO := \text{EMI}(IGREAL, f_{muestreo}, f_s, 4, L_1, C_1, C_2)$        $j := 1..6$

$EMIEJEMPLO = \begin{pmatrix} 0 \\ 108.394 \\ 103.37 \\ 92.448 \\ 85.007 \end{pmatrix}$



**Filtro para cumplir CISPR16**

$$F_{corte} := \frac{\frac{f_s}{EMIEJEMPLO_1 - 66}}{10^{\frac{40}{40}}}$$

$$F_{corte} = 8.713 \times 10^3$$

$$L1 := \frac{1}{470 \cdot 10^{-9} \cdot (2 \cdot \pi)^2 \cdot F_{corte}^2}$$

$$L1 = 7.099 \times 10^{-4}$$

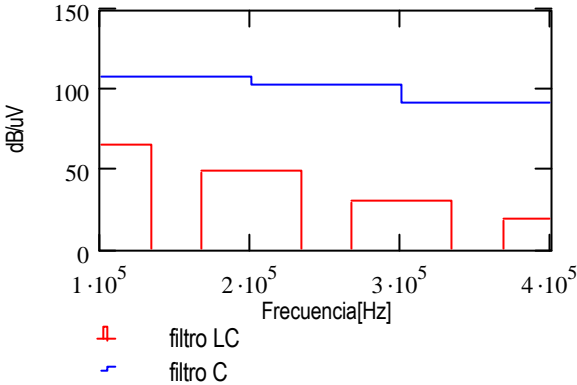
$$L1 = 7.099 \times 10^{-4}$$

$$C1 := 470 \cdot 10^{-9}$$

$$C2 := 470 \cdot 10^{-9}$$

$$EMIEJEMPLO1 := EMI(IGREAL, f_{muestreo}, f_s, 4, L1, C1, C2)$$

$$EMIEJEMPLO1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 66.151 \\ 49.009 \\ 31.128 \\ 18.849 \end{pmatrix}$$



Diseño K=1, filtro para cumplir Norma

$L_r := 107 \cdot 10^{-6}$  $V_g := V_{gnom}$  $V_c := 315$  $f_s := 100000$  $F_{red} := 50$  $P_{ppc} := 40$  $N_{13} := 2.9$

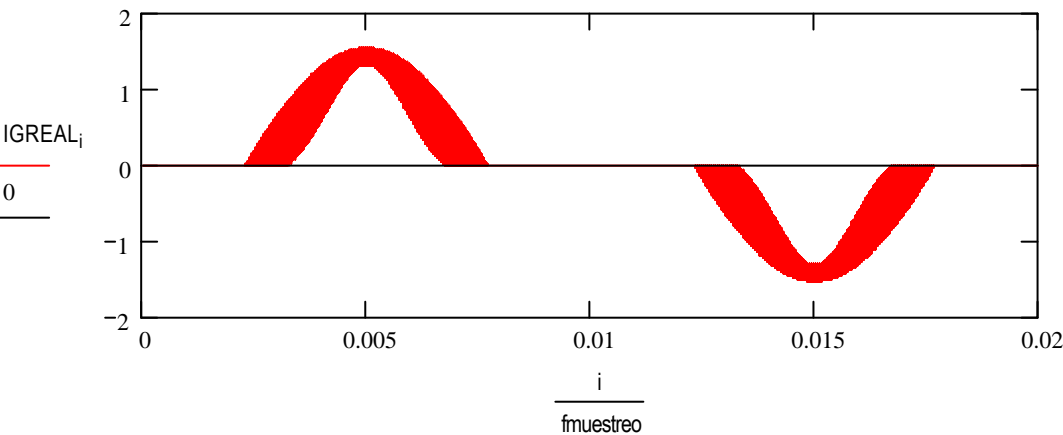
$L_f := L_r \cdot 1$  $d := 0.314$  $f_{muestreo} := f_s \cdot P_{ppc}$

$IGREAL := \text{lgReal}\left(V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}, f_s, P_{ppc}, F_{red}\right)$  $i := 0 \dots \text{rows}(IGREAL)$

$\text{Pot}\left(V_g, V_c, N_{13}, d, L_r, L_f, \frac{1}{f_s}\right) = 103.731$

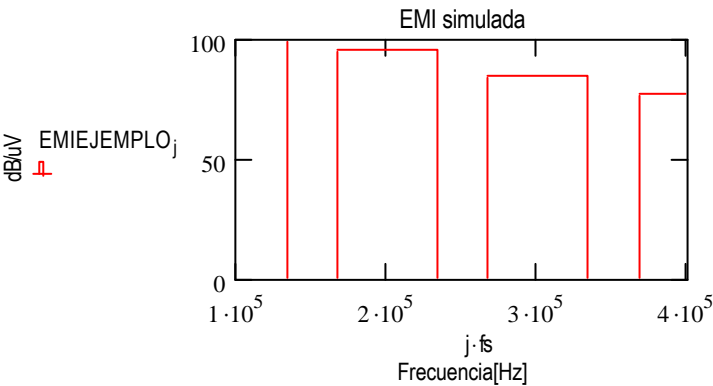
Filtro

$L_1 := 31 \cdot 10^{-19}$  $C_1 := 1 \cdot 10^{-19}$  $C_2 := 470 \cdot 2 \cdot 10^{-9}$



$EMIEJEMPLO := \text{EMI}(IGREAL, f_{muestreo}, f_s, 4, L_1, C_1, C_2)$  $j := 1 \dots 6$

$EMIEJEMPLO = \begin{pmatrix} 0 \\ 99.868 \\ 95.275 \\ 84.487 \\ 77.253 \end{pmatrix}$



### Filtro para cumplir CISPR16

$$F_{\text{corte}} := \frac{f_s}{\frac{\text{EMIEJEMPLO}_1 - 66}{10^{40}}}$$

$$F_{\text{corte}} = 1.423 \times 10^4$$

$$L1 := \frac{1}{470 \cdot 10^{-9} \cdot (2 \cdot \pi)^2 \cdot F_{\text{corte}}^2}$$

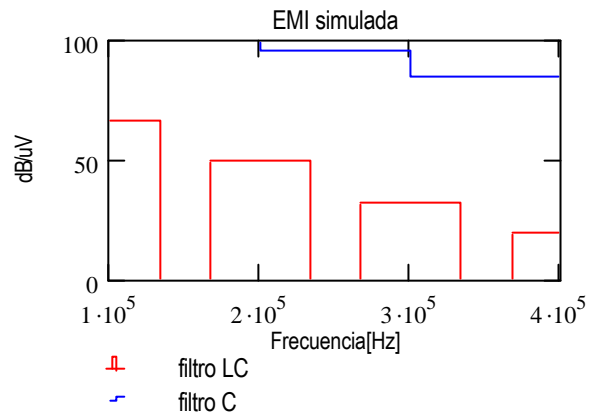
$$L1 = 2.66 \times 10^{-4}$$

$$L1 = 2.66 \times 10^{-4}$$

$$C1 := 470 \cdot 10^{-9}$$

$$\text{EMIEJEMPLO1} := \text{EMI}(\text{IGREAL}, \text{fmuestreo}, f_s, 4, L1, C1, C2)$$

$$\text{EMIEJEMPLO1} = \begin{pmatrix} 0 \\ 66.285 \\ 49.471 \\ 31.707 \\ 19.627 \end{pmatrix}$$



EMI conducida











