

Comportamiento de las Líneas sin pérdidas

Líneas de Transmisión

Comportamiento de las Líneas sin pérdidas

DEFINICIÓN.- VOLTAJE

Las líneas de transmisión transportan ondas de información, las cuales tienen voltaje que se acomoda a lo largo, dependiendo de las características de la línea.

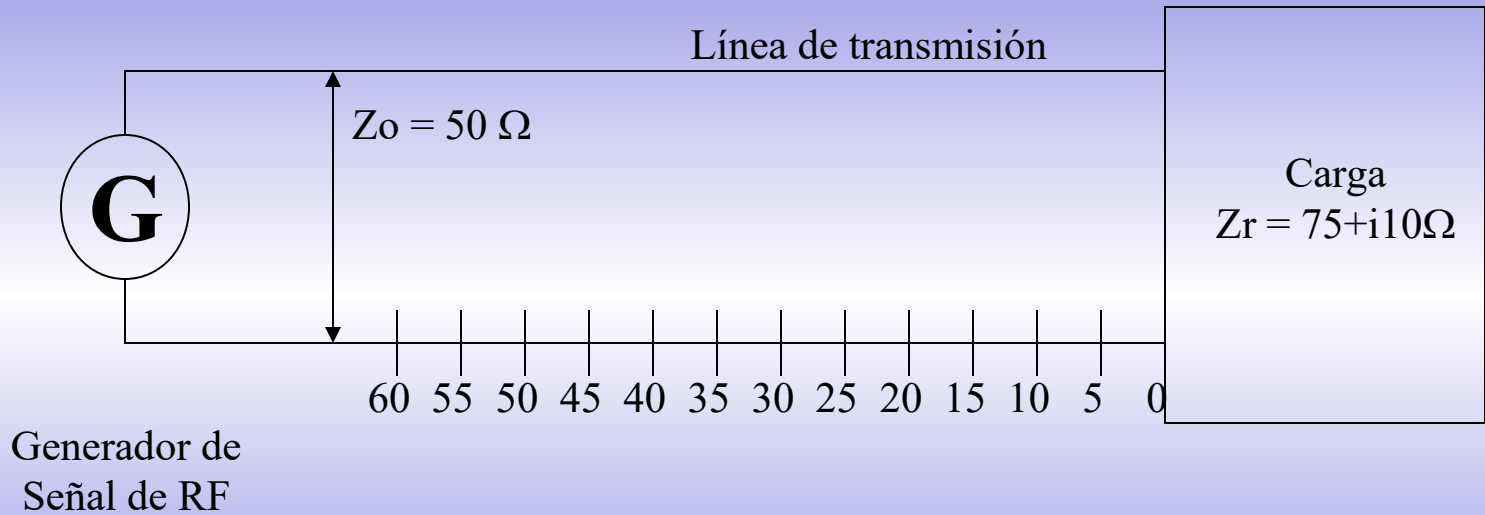
El voltaje en cualquier punto de la línea se calcula.

$$V_x = V_r(\cos \beta x + (Z_o / Z_r) j \text{sen} \beta x)$$

Aquí la atenuación es cero $\alpha = 0$, para una línea que trabaja con informaciones a la frecuencia de 5 Mhz, los voltajes que se presentan en diferentes puntos a lo largo de la línea de transmisión, son senoidales y cosenoidales.

El voltaje medido en la carga $V_r = 30$ Volts, el factor de fase (β), la distancia (X), la impedancia característica de la línea (Z_o) y la impedancia de carga terminal(Z_r), determinan la forma como se distribuye el voltaje a lo largo de la línea.

Comportamiento de las Líneas sin pérdidas



Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Dando valores a $Z_o = 50 \Omega$ y $Z_r = (75+j10) \Omega$

Parámetros de la línea	Unidades	Unidades comunes	
Atenuación $\alpha = 0$	<u>Nepers</u> m	<u>Nepers</u> m	0
Constante de fase $\beta = 0.104719$	<u>Rad</u> m	<u>Grados</u> m	6°

Se darán valores a X, cada 5 metros para graficar el voltaje V_x a lo largo de la línea.

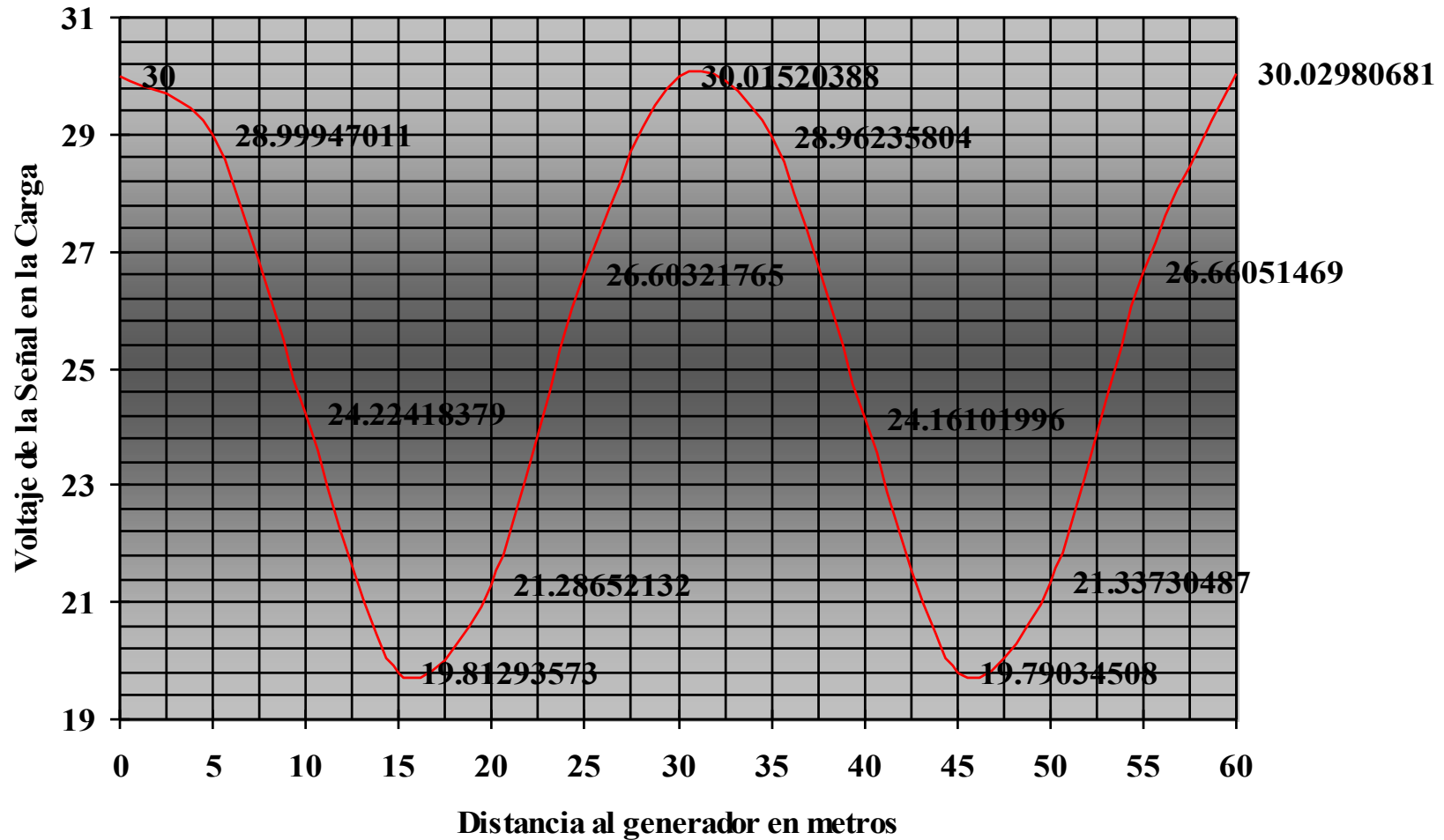
$$V_x = V_r(\cos \beta x + (Z_o / Z_r) j \operatorname{sen} \beta x)$$

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

x (m)	B	B x(rad)	B x(grados)	cos B x(rad)	sen B x(rad)	i sen B x	Zo
0	0.104917	0	0	1	0	0	50
5	0.104917	0.524585	30.0565065	0.86553187	0.500853852	0.500853852087628i	50
10	0.104917	1.04917	60.11301299	0.498290838	0.867009943	0.867009942887771i	50
15	0.104917	1.573755	90.16951949	-0.002958669	0.999995623	0.999995623129626i	50
20	0.104917	2.09834	120.226026	-0.503412482	0.864046221	0.864046221468031i	50
25	0.104917	2.622925	150.2825325	-0.868480426	0.495723461	0.495723461399499i	50
30	0.104917	3.14751	180.339039	-0.999982493	-0.005917312	-5.91731187763113E-003i	50
35	0.104917	3.672095	210.3955455	-0.862553009	-0.505966705	-0.505966705435039i	50
40	0.104917	4.19668	240.452052	-0.493151746	-0.869943306	-0.869943306052881i	50
45	0.104917	4.721265	270.5085585	0.008875903	-0.999960608	-0.999960608396513i	50
50	0.104917	5.24585	300.565065	0.5085165	-0.861052246	-0.86105224556803i	50
55	0.104917	5.770435	330.6215715	0.871398571	-0.490575713	-0.490575713010699i	50
60	0.104917	6.29502	360.678078	0.999929971	0.011834417	1.18344165612593E-002i	50
Zr	Zo / Zr	Vr (Volts)	Vr cosB x	Vr isen B x (Zo/Zr)	V x	V x	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	30	0	30	30	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	25.96595611	1.31228083516409+9.84210626373068i	27.2782369501252+9.84210626373068i	28.99947011	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	14.94872513	2.27164177175835+17.0373132881876i	17.2203669026974+17.0373132881876i	24.22418379	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	-0.088760067	2.6200758684619+19.6505690134643i	2.53131580180613+19.6505690134643i	19.81293573	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	-15.10237446	2.26387656279833+16.9790742209875i	-12.8384979011771+16.9790742209875i	21.28652132	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	-26.05441277	1.29883876349214+9.74129072619102i	-24.755574007405+9.74129072619102i	26.60321765	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	-29.99947478	1.55038739151907E-002-0.11627905436393i	-30.0149786506197-0.11627905436393i	30.01520388	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	-25.87659026	-1.32567695747172-9.94257718103788i	-27.202267221494-9.94257718103788i	28.96235804	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	-14.79455237	-2.27932743943986-17.094955795799i	-17.0738798094308-17.094955795799i	24.16101996	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	0.266277092	-2.61998412680309-19.6498809510232i	-2.35370703475943-19.6498809510232i	19.79034508	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	15.25549499	-2.25603208445772-16.9202406334329i	12.9994629046282-16.9202406334329i	21.33730487	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	26.14195713	-1.28535121312847-9.64013409846351i	24.8566059214022-9.64013409846351i	26.66051469	
75+10i	0.655021834061135-8.73362445414847E-002i	30	29.99789913	10072049639982E-002+0.232554037229986i	30.0289063301726+0.232554037229986i	30.02980681	

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Gráfica de $|V_x|$



Comportamiento de las Líneas sin pérdidas

DEFINICIÓN.- CORRIENTE

Las líneas de transmisión transportan ondas de información, las cuales tienen corriente que se acomoda a lo largo, dependiendo de las características de la línea.

La corriente en cualquier punto de la línea se calcula.

$$I_x = I_r(\cos \beta x + (Z_r / Z_o) j \text{sen} \beta x)$$

Aquí la atenuación es cero $\alpha = 0$, para una línea que trabaja con informaciones a la frecuencia de 5 Mhz, las corrientes que se presentan en diferentes puntos a lo largo de la línea de transmisión, son senoidales y cosenoidales.

La corriente medida en la carga $I_r = 0.4$ Amps, el factor de fase (β), la distancia (X), la impedancia característica de la línea (Z_o) y la impedancia de carga terminal(Z_r), determinan la forma como se distribuye la corriente a lo largo de la línea.

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Dando valores a $Z_o = 50 \Omega$ y $Z_r = (75+j10) \Omega$

Parámetros de la línea	Unidades	Unidades comunes	
Atenuación $\alpha = 0$	<u>Nepers</u> m	<u>Nepers</u> m	0
Constante de fase $\beta = 0.104719$	<u>Rad</u> m	<u>Grados</u> m	6°

Se darán valores a X, cada 5 metros para graficar la corriente I_x a lo largo de la línea.

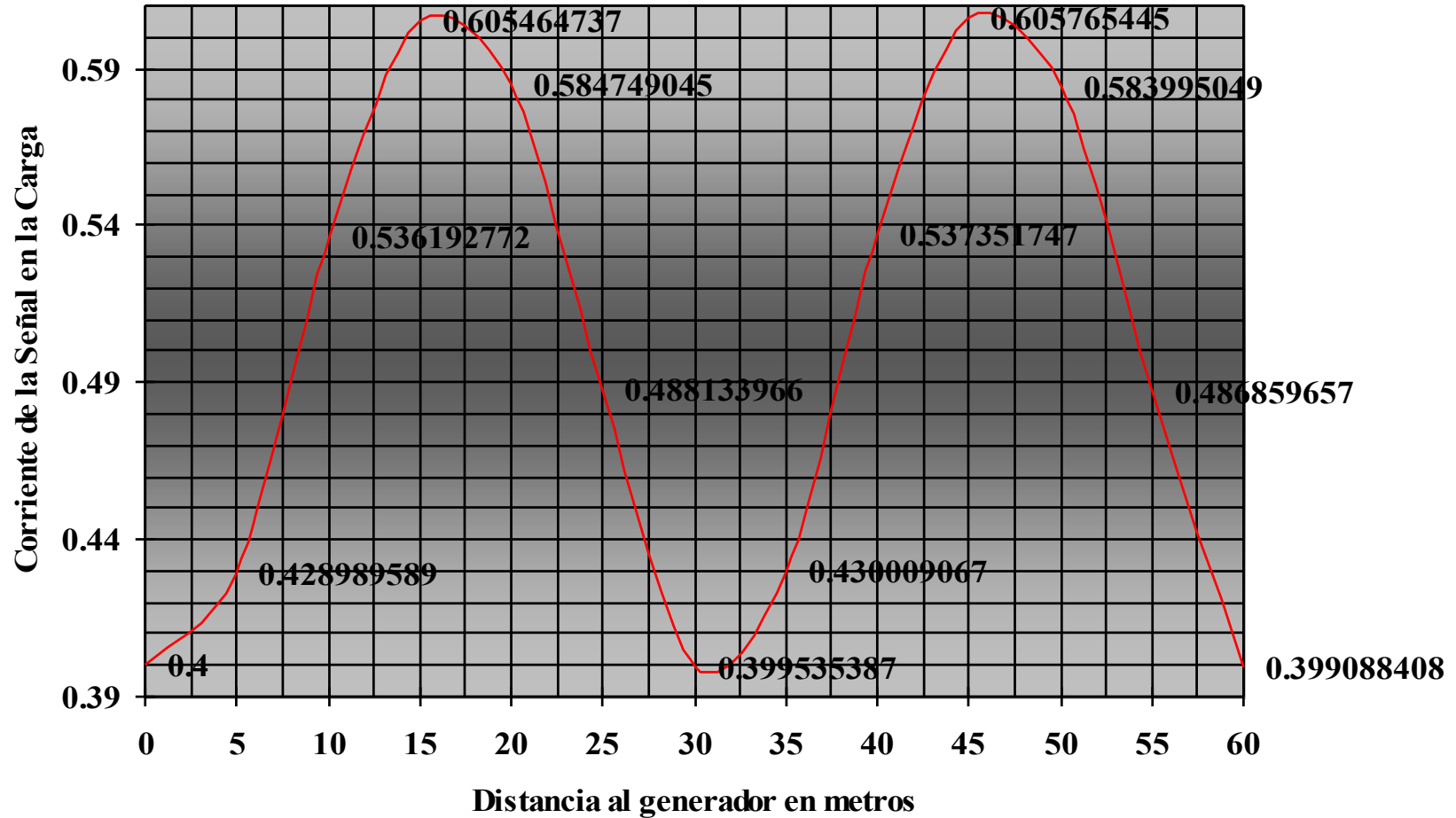
$$I_x = I_r(\cos \beta x + (Z_r / Z_o) j \operatorname{sen} \beta x)$$

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

x (m)	B	B x(rad)	B x(grados)	cos B x(rad)	sen B x(rad)	i sen B x	Zo
0	0.104917	0	0	1	0	0	50
5	0.104917	0.524585	30.0565065	0.86553187	0.500853852	0.500853852087628i	50
10	0.104917	1.04917	60.11301299	0.498290838	0.867009943	0.867009942887771i	50
15	0.104917	1.573755	90.16951949	-0.002958669	0.999995623	0.999995623129626i	50
20	0.104917	2.09834	120.226026	-0.503412482	0.864046221	0.864046221468031i	50
25	0.104917	2.622925	150.2825325	-0.868480426	0.495723461	0.495723461399499i	50
30	0.104917	3.14751	180.339039	-0.999982493	-0.005917312	-5.91731187763113E-003i	50
35	0.104917	3.672095	210.3955455	-0.862553009	-0.505966705	-0.505966705435039i	50
40	0.104917	4.19668	240.452052	-0.493151746	-0.869943306	-0.869943306052881i	50
45	0.104917	4.721265	270.5085585	0.008875903	-0.999960608	-0.999960608396513i	50
50	0.104917	5.24585	300.565065	0.5085165	-0.861052246	-0.86105224556803i	50
55	0.104917	5.770435	330.6215715	0.871398571	-0.490575713	-0.490575713010699i	50
60	0.104917	6.29502	360.678078	0.999929971	0.011834417	1.18344165612593E-002i	50
Zr	Zr / Zo	Ir (Amps)	Ir cosB x	Ir isen B x (Zr/Zo)	I x	I x	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	0.4	0	0.4	0.4	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	0.346212748	-4.00683081670102E-002+0.300512311252577i	0.306144440032471+0.300512311252577i	0.428989589	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	0.199316335	-6.93607954310217E-002+0.520205965732663i	0.129955539648166+0.520205965732663i	0.536192772	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	-0.001183468	-7.99996498503701E-002+0.599997373877776i	-8.11831174057804E-002+0.599997373877776i	0.605464737	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	-0.201364993	-6.91236977174425E-002+0.518427732880819i	-0.270488690570448+0.518427732880819i	0.584749045	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	-0.34739217	-3.96578769119599E-002+0.297434076839699i	-0.387050047190589+0.297434076839699i	0.488133966	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	-0.399992997	4.7338495021049E-004-3.55038712657868E-003i	-0.399519612072516-3.55038712657868E-003i	0.399535387	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	-0.345021204	4.04773364348031E-002-0.303580023261023i	-0.304543867085494-0.303580023261023i	0.430009067	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	-0.197260698	6.95954644842305E-002-0.521965983631729i	-0.127665233782316-0.521965983631729i	0.537351747	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	0.003550361	7.9996848671721E-002-0.599976365037908i	8.35472098989699E-002-0.599976365037908i	0.605765445	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	0.2034066	6.88841796454424E-002-0.516631347340818i	0.272290779499922-0.516631347340818i	0.583995049	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	0.348559428	3.92460570408559E-002-0.294345427806419i	0.387805485501265-0.294345427806419i	0.486859657	
75+10i	1.5+0.2i	0.4	0.399971988	-9.46753324900744E-004+7.10064993675558E-003i	0.399025235011214+7.10064993675558E-003i	0.399088408	

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Gráfica de $|I_x|$



Comportamiento de las Líneas sin pérdidas

DEFINICIÓN.- IMPEDANCIA

Las líneas de transmisión transportan ondas de información, presentan impedancia compleja en cualquier punto de la línea.

La impedancia en cualquier punto de la línea se calcula con la siguiente fórmula.

$$Z_x = V_x / I_x =$$

$$V_r(\cos \beta_x + (Z_o / Z_r) j \operatorname{sen} \beta_x) /$$

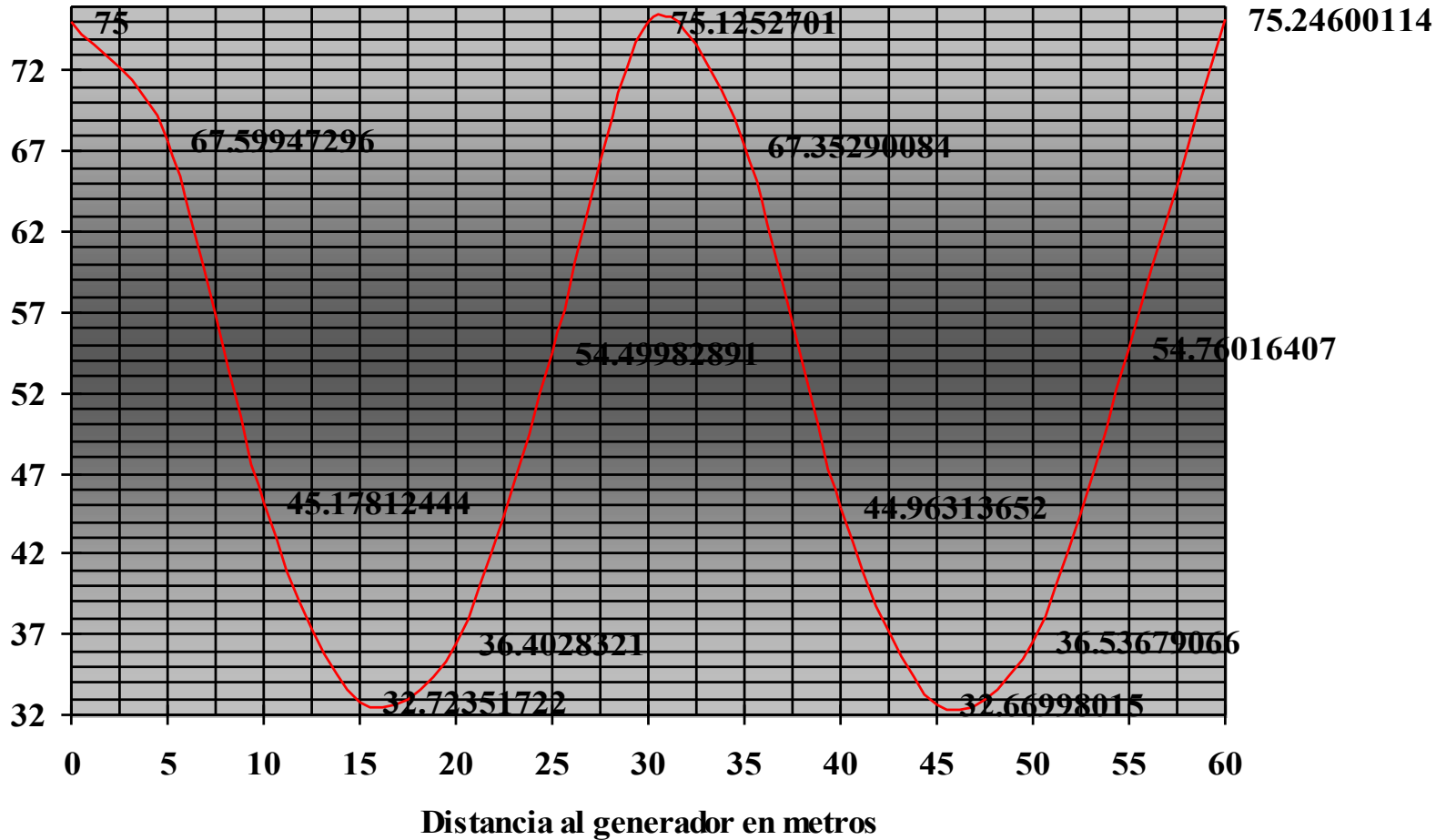
$$I_r(\cos \beta_x + (Z_r / Z_o) j \operatorname{sen} \beta_x)$$

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

x(m)	V_x	I_x	Z_x	$ Z_x $
0	30	0.4	75	75
5	27.2782369501252+9.84210626373068i	0.306144440032471+0.300512311252577i	61.4499138017061-28.1708508512417i	67.599473
10	17.2203669026974+17.0373132881876i	0.129955539648166+0.520205965732663i	38.611096551111-23.4573261704218i	45.1781244
15	2.53131580180613+19.6505690134643i	-8.11831174057804E-002+0.599997373877776i	31.601700012618-8.49477105409968i	32.7235172
20	-12.8384979011771+16.9790742209875i	-0.270488690570448+0.518427732880819i	35.8992762628347+6.03391654037016i	36.4028321
25	-24.755574007405+9.74129072619102i	-0.387050047190589+0.297434076839699i	52.3724687659012+15.0783244062931i	54.4998289
30	-30.0149786506197-0.11627905436393i	-0.399519612072516-3.55038712657868E-003i	75.1243263789132-0.376555699291559i	75.1252701
35	-27.202267221494-9.94257718103788i	-0.304543867085494-0.303580023261023i	61.1258779655567-28.2849835592915i	67.3529008
40	-17.0738798094308-17.094955795799i	-0.127665233782316-0.521965983631729i	38.4514128986365-23.3060612644232i	44.9631365
45	-2.35370703475943-19.6498809510232i	8.35472098989699E-002-0.599976365037908i	31.5922126125434-8.3222415815613i	32.6699801
50	12.9994629046282-16.9202406334329i	0.272290779499922-0.516631347340818i	36.0098307151796+6.18297369289216i	36.5367907
55	24.8566059214022-9.64013409846351i	0.387805485501265-0.294345427806419i	52.6386327207229+15.0946982126779i	54.7601641
60	30.0289063301726+0.232554037229986i	0.399025235011214+7.10064993675558E-003i	75.2422019698252-0.756128868440926i	75.2460011

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Gráfica de $|Z_x|$



ONDA ESTACIONARIA

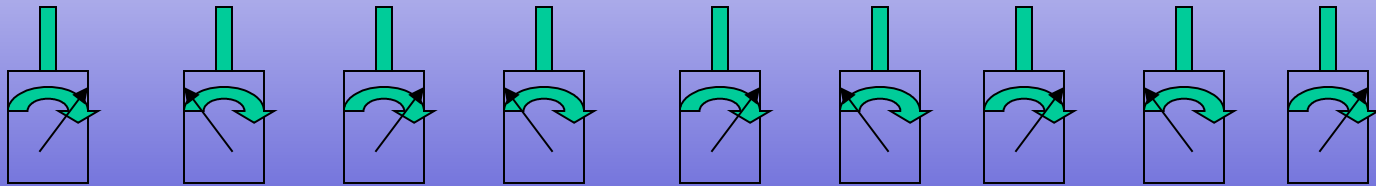
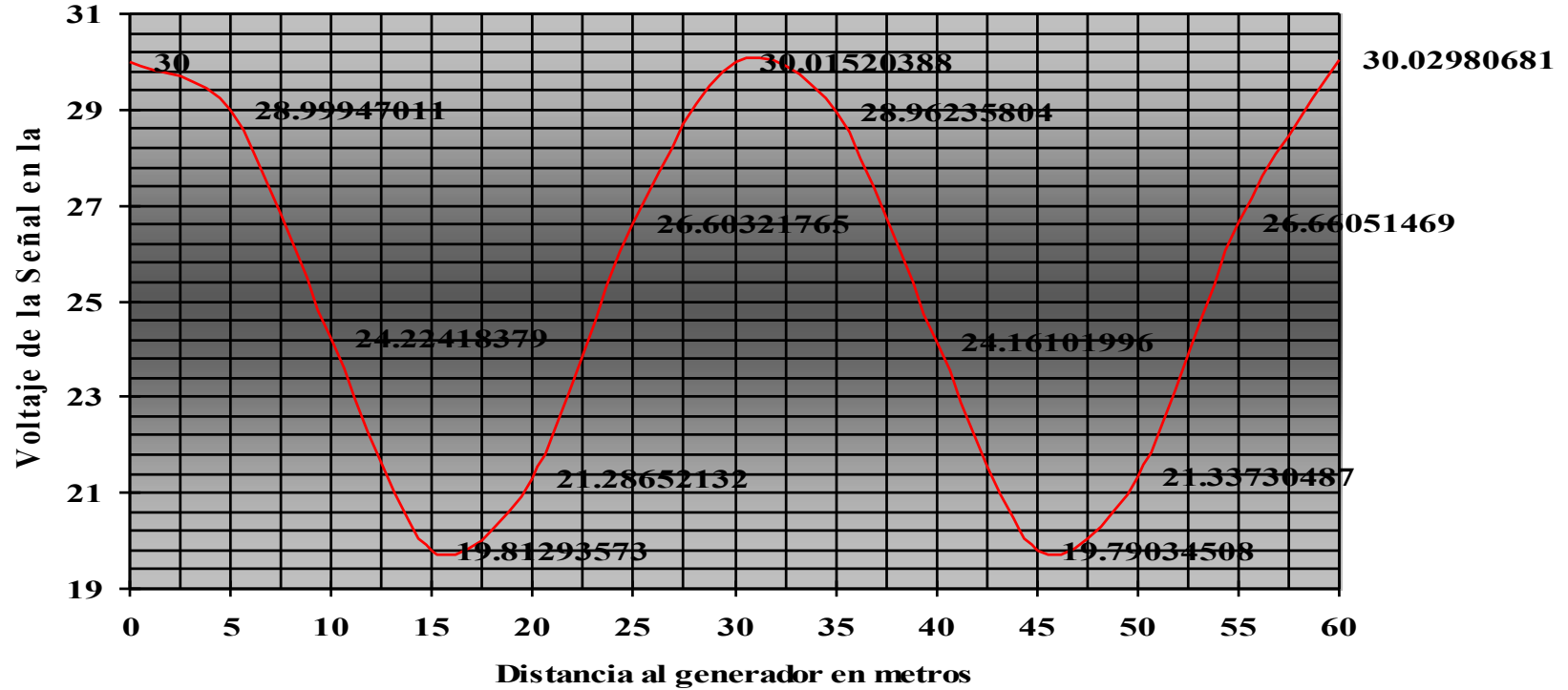
La onda estacionaria en voltaje se presenta cuando existe desacoplo de la línea y la suma de la onda incidente y la onda reflejada dan el voltaje de la onda estacionaria.

El desacoplo de la línea se presenta cuando la impedancia de carga terminal (Z_r) es diferente a la impedancia característica de la línea (Z_o).

La onda estacionaria se puede detectar en los puntos donde el voltaje es máximo y mínimo, con el detector de intensidad de campo eléctrico, desplazandolo a través de una línea ranurada.

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Gráfica de $|V_x|$



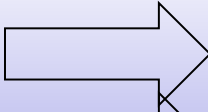

Comportamiento de las Líneas sin pérdidas

MEDICIÓN DEL VSWR

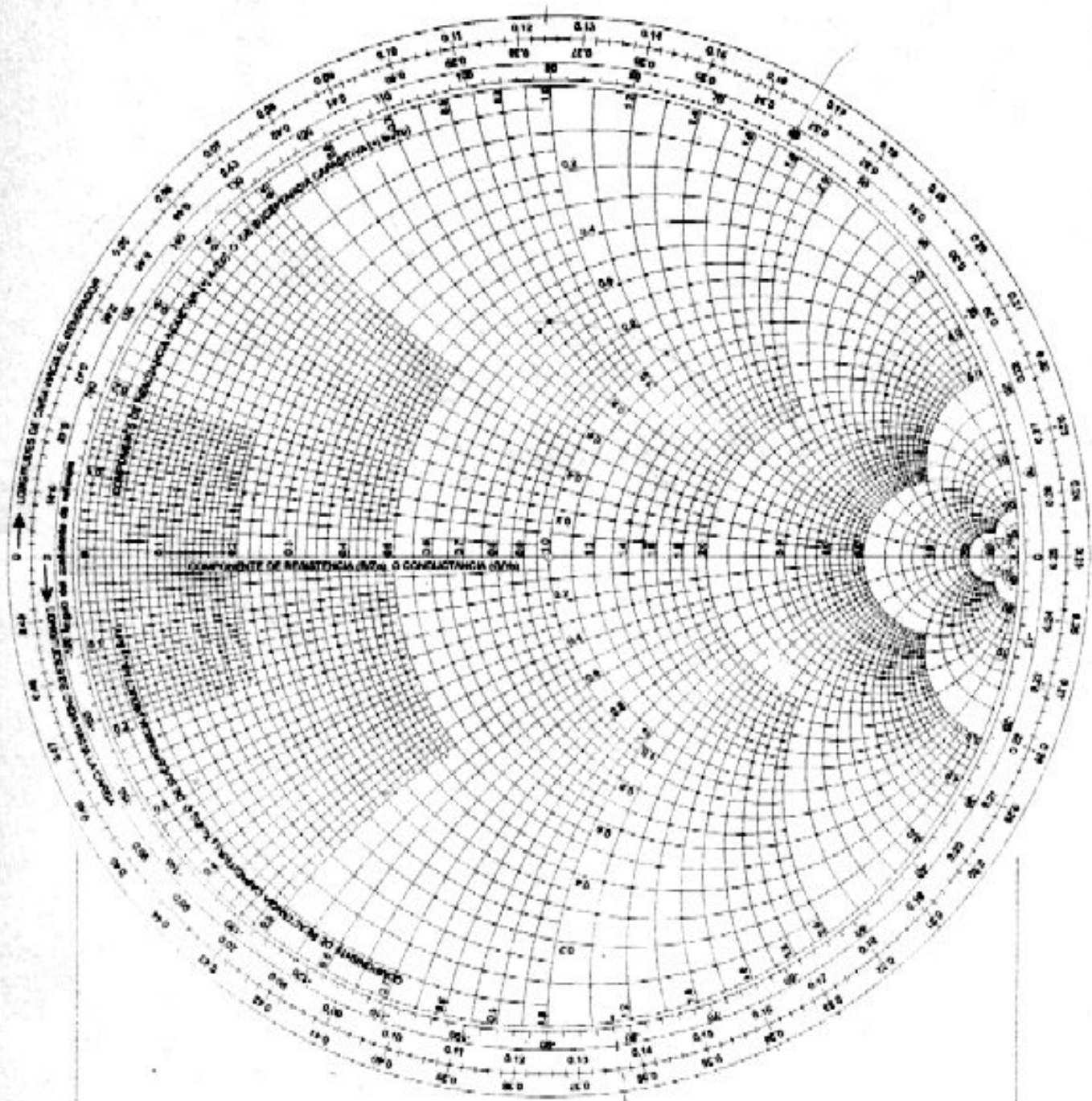
La relación de voltajes, máximo, mínimo, a lo largo de la línea de transmisión de 60 metros, nos da un número positivo, igual a la unidad ó mayor.

$$VSRW = V_{\text{máx}} / V_{\text{mín}}$$

$$VRSW \geq 1$$

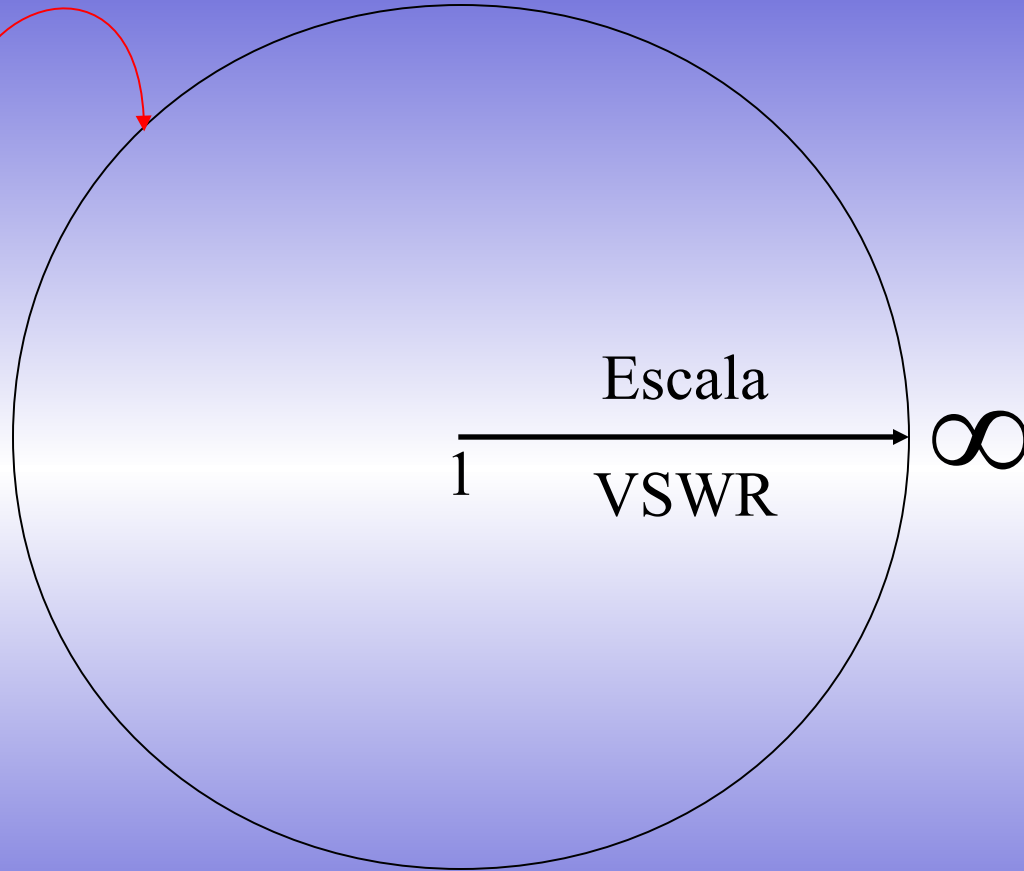
Cuando $VSWR > 1$  Línea desacoplada
Cuando $VSWR = 1$  Línea acoplada

Este valor se puede localizar en la Carta de Smith.



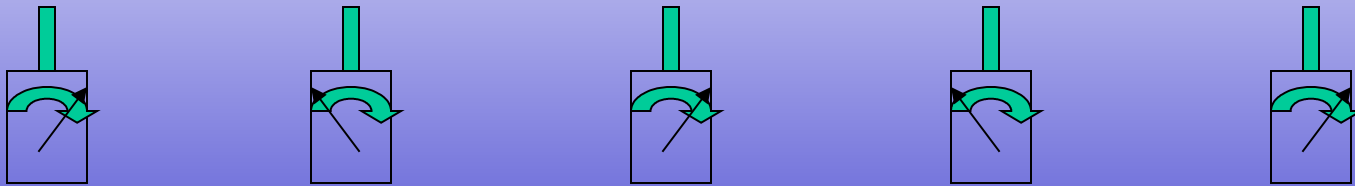
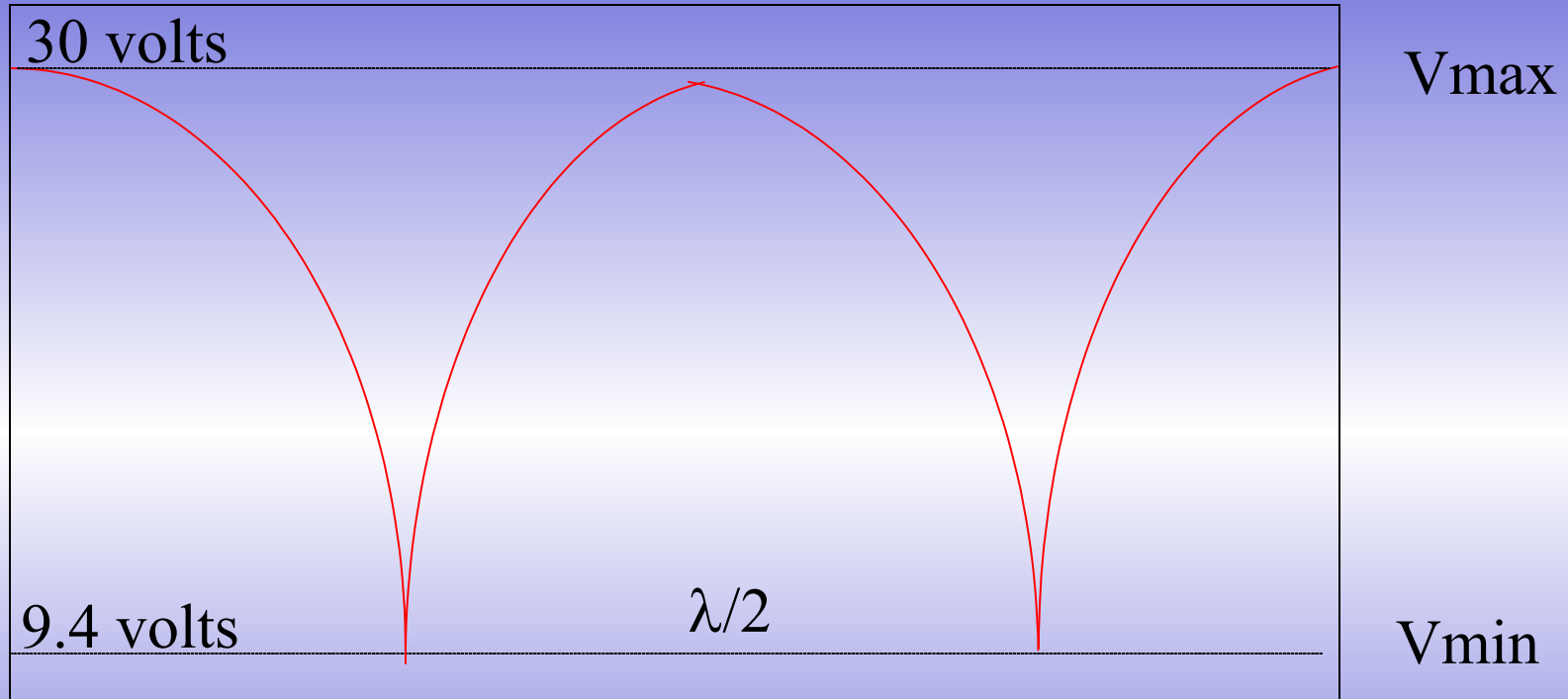
Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Carta de
Smith
Circulo



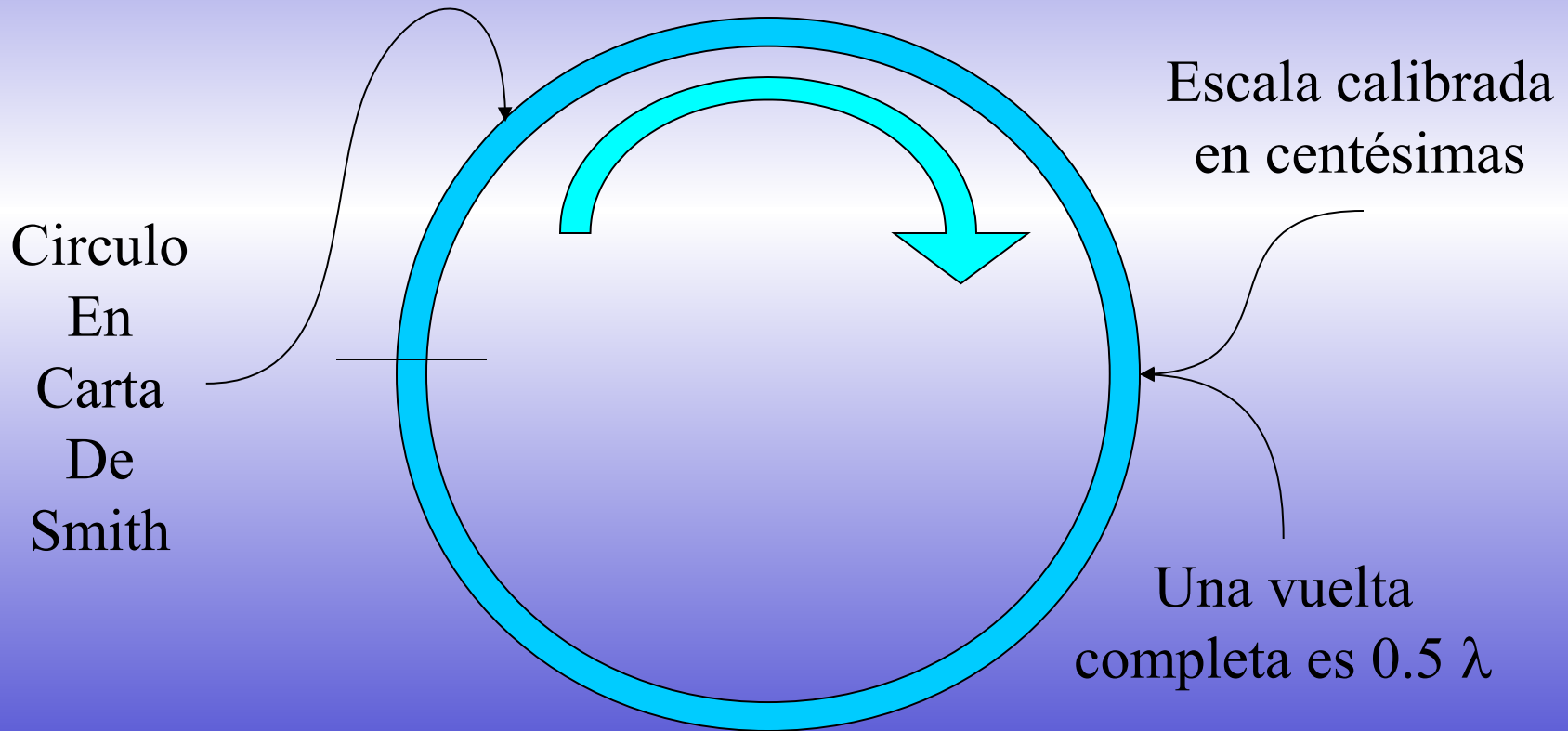
Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Gráfica de VSWR



Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

De la gráfica de la página 15 se puede comprobar que la curva se repite a cada media longitud de onda ; $0.5 \lambda = \lambda/2$
Esta escala repetitiva se presenta también en la orilla de la Carta de Smith



Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

FACTOR DE REFLEXIÓN

Se define como el porcentaje de la señal radioelectrica que se refleja hacia el generador cuando la línea de transmisión esta desacoplada, o sea cuando:

La linea esta desacoplada $\rho \neq 0$

La linea esta acoplada $\rho = 0$

La linea esta abierta (carga = $\infty \Omega$) $\rho = +1$

La linea esta en corto (carga = 0Ω) $\rho = -1$

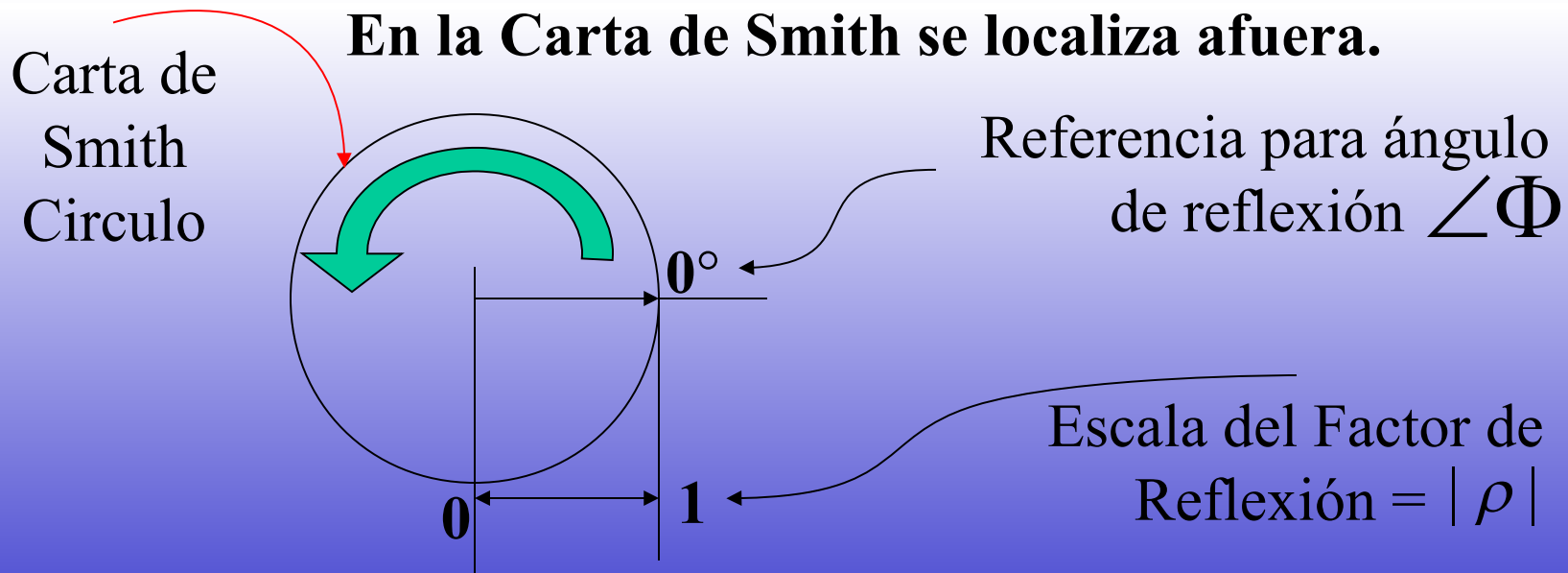
Cuando se toma $|\rho|$ nos da valores positivos, para una linea abierta como en corto circuito o sea que refleja el 100% de la potencia hacia el generador.

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Para utilizar este concepto dentro de la Carta de Smith, se puede localizar el punto complejo de ρ .

Cuando se calcula ρ con números complejos;

$$\rho = (Z_r - Z_0) / (Z_r + Z_0) = |\rho| \angle \Phi$$



Comportamiento de las Líneas sin pérdidas

EJEMPLO:

Utilizando los valores de las páginas anteriores;

$Z_r =$ Impedancia de carga terminal

$$Z_r = (75 + i10) \Omega$$

$Z_o =$ Impedancia característica de la línea

$$\bar{x} \quad Z_o = (50) \Omega$$

Encontrar; $\rho =$ Factor de reflexión

$$\rho = (Z_r - Z_o) / (Z_r + Z_o)$$

$$= ((75 + i10 - 50) / (75 + i10 + 50))$$

$$= (25 + i10) / (125 + i10)$$

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Como; $\rho = |\rho| \angle \Phi$

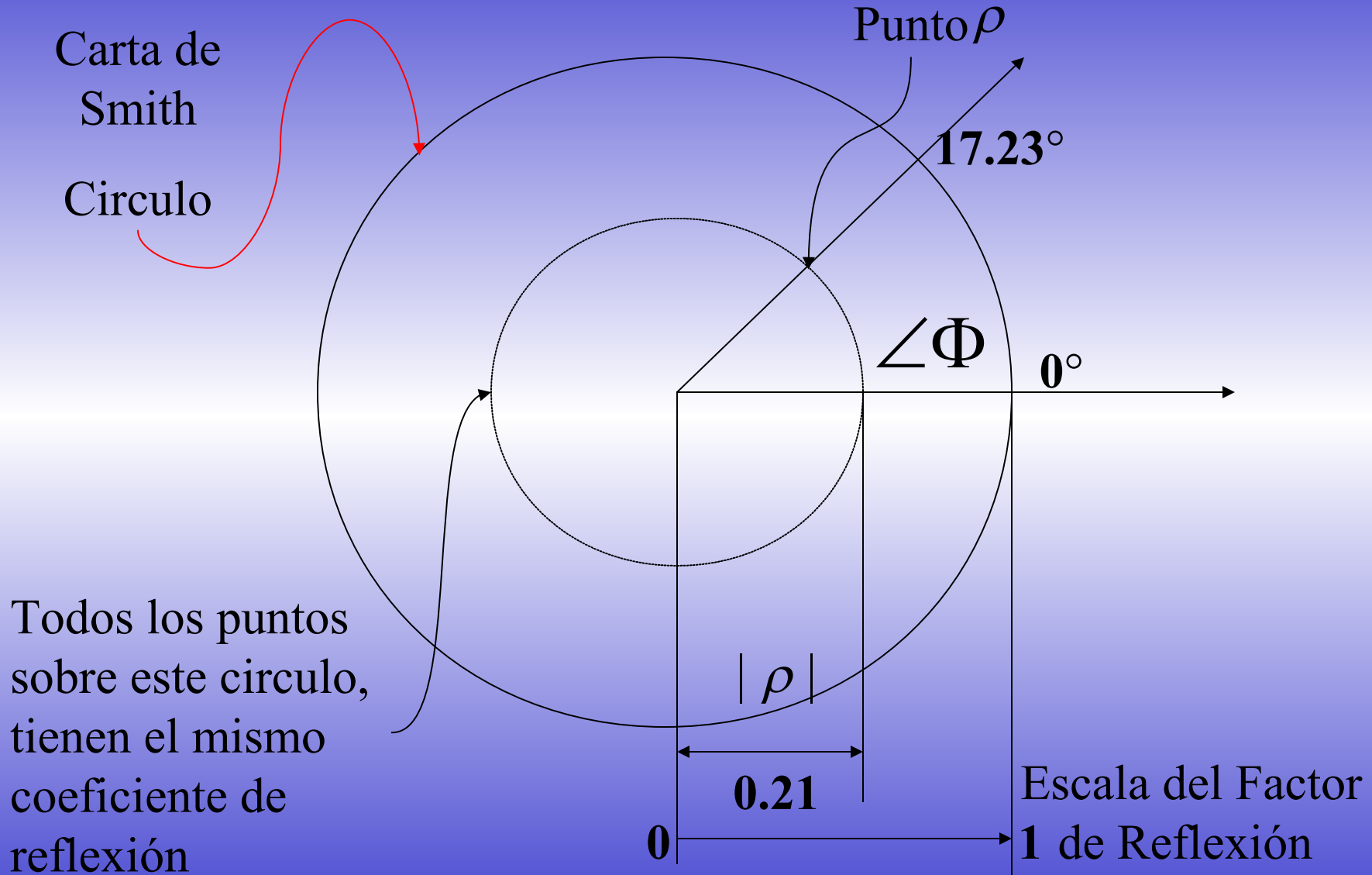
$$= (\sqrt{(625 + 100)} \angle \text{tg}^{-1}(10/25))$$

$$/(\sqrt{(15625 + 100)} \angle \text{tg}^{-1}(10/125))$$

$$= (26.92 \angle 21.80^\circ) / (125.39 \angle 4.57^\circ)$$

$$= |0.2146| \angle 17.23^\circ$$

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas



Comportamiento de las Líneas sin pérdidas

CONOCIENDO POCO A POCO LA CARTA DE SMITH

La (r_n) resistencia normalizada es la parte real de la razón matemática de la impedancia de carga terminal con la impedancia característica de la línea y dentro de la carta de Smith se representan como círculos excéntricos.

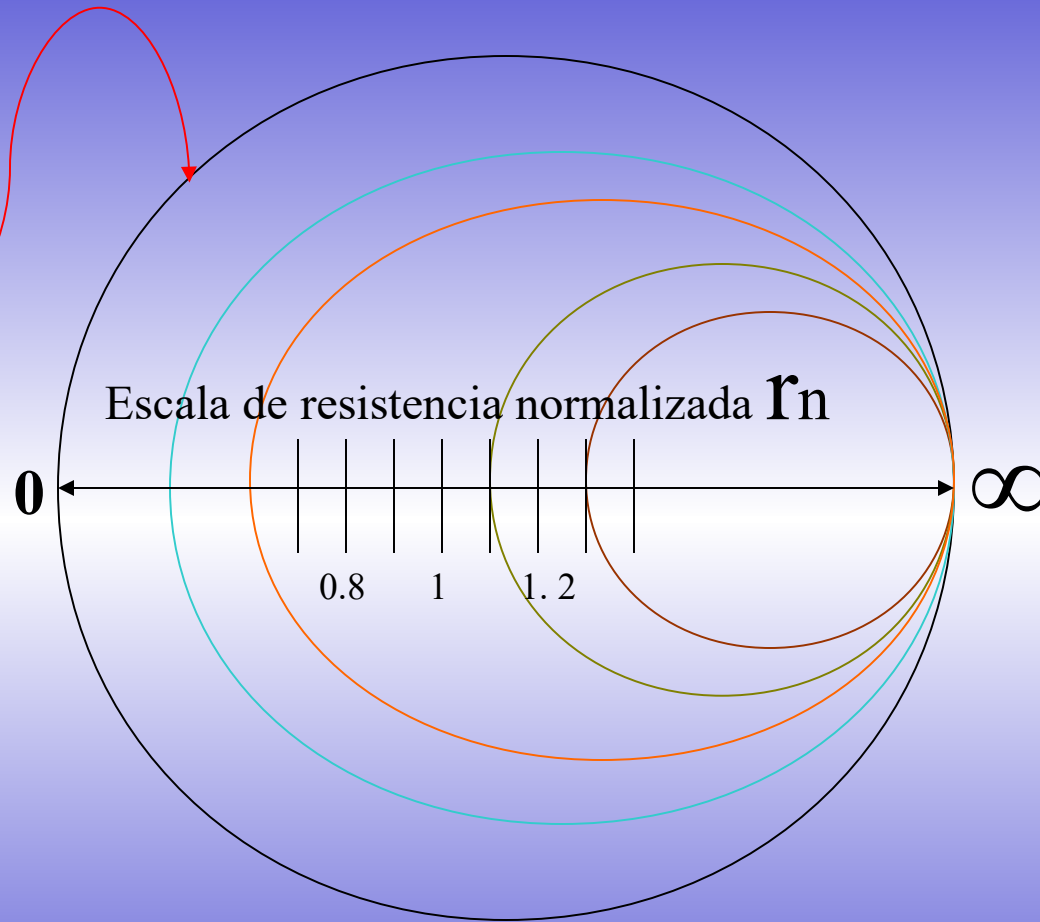
$$(Z_r/Z_o) = (r_n \pm iX)$$

$$0 < r_n < \infty$$

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Carta de
Smith

Circulo



Comportamiento de las Líneas sin pérdidas

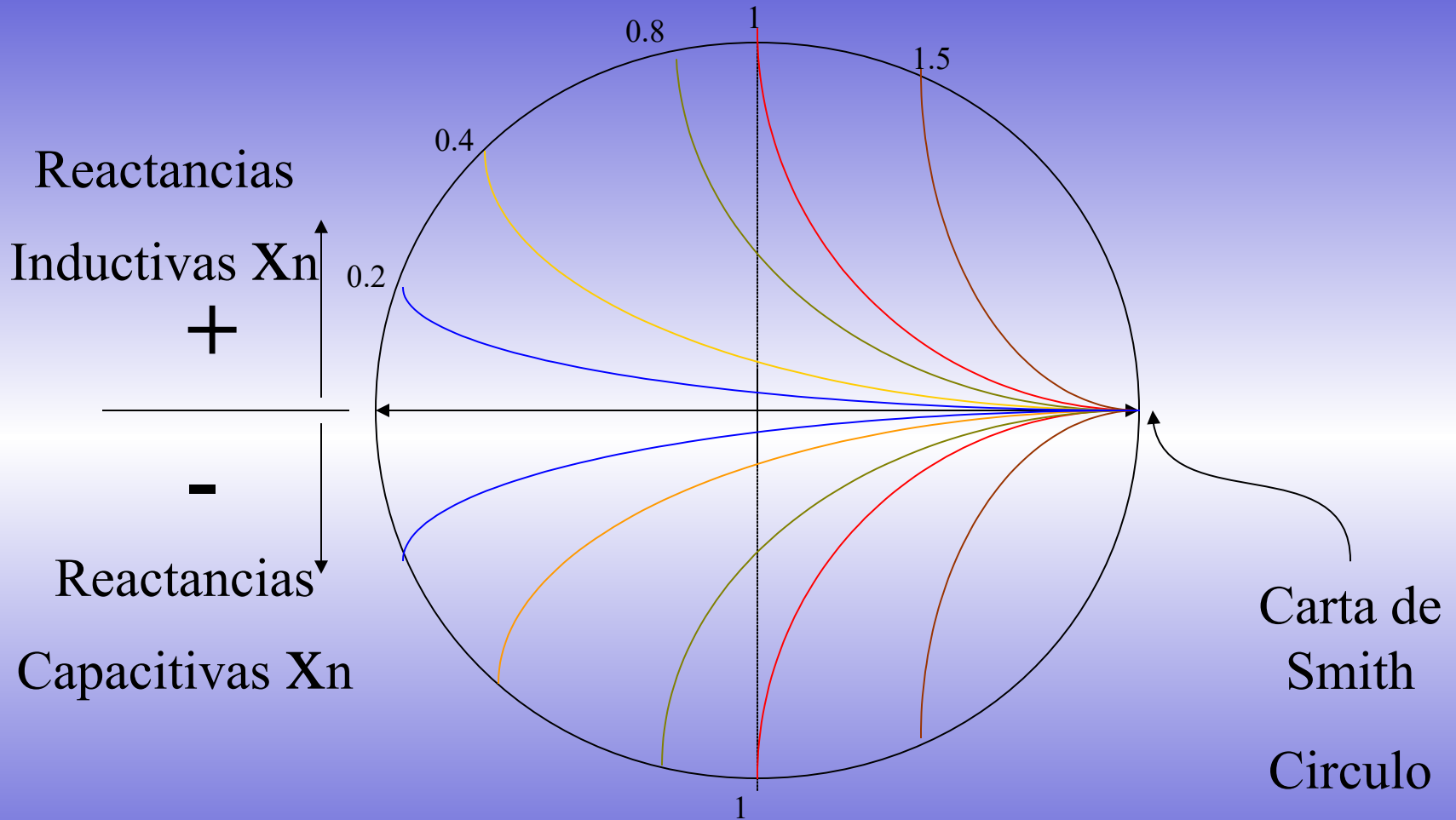
CONOCIENDO POCO A POCO LA CARTA DE SMITH

Las $(\pm iX_n)$ reactancias normalizadas son la parte imaginaria de la razón matemática de la impedancia de carga terminal con la impedancia característica de la línea y dentro de la carta de Smith se representan como curvas exponenciales, tanto en la parte superior como inferior del área circular.

$$(Z_r/Z_0) = (r_n \pm iX_n)$$

$$0 < \pm iX_n < \infty$$

Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

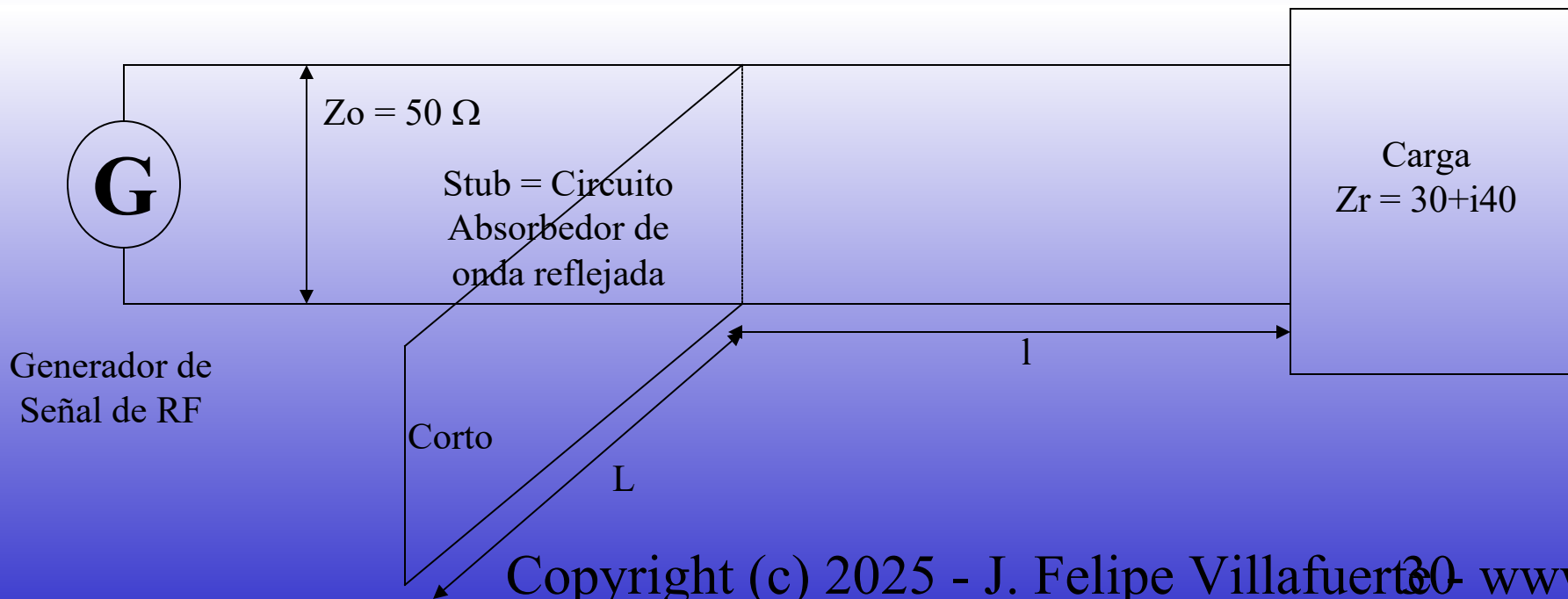


Comportamiento de las Líneas sin pérdidas

ACOPLADOR STUB EN CORTO SENCILLO

El acoplador stub en corto, es un tramo de la misma línea de transmisión que esta en corto y que se añade en paralelo a la línea de transmisión en un punto específico.

Este stub absorbe la energía reflejada. Así por lo tanto del stub al generador la línea esta acoplada.



Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

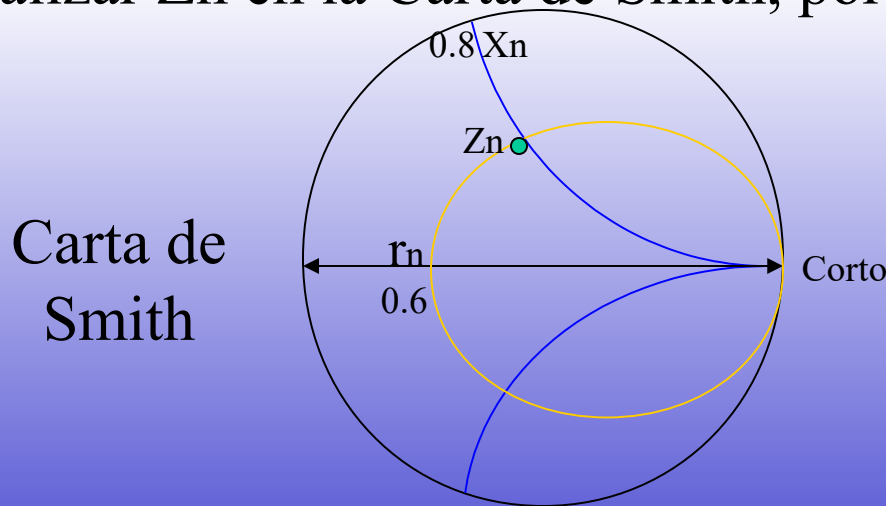
PASOS PARA CALCULAR E INSTALAR EL STUB

Calcular la impedancia normalizada Z_n .

$$Z_n = (Z_r/Z_o) = ((30+i40)/50)$$
$$= \underbrace{0.6}_{\mathbf{r_n}} + \underbrace{i0.8}_{\mathbf{X_n}}$$

Resistencia normalizada Reactancia normalizada

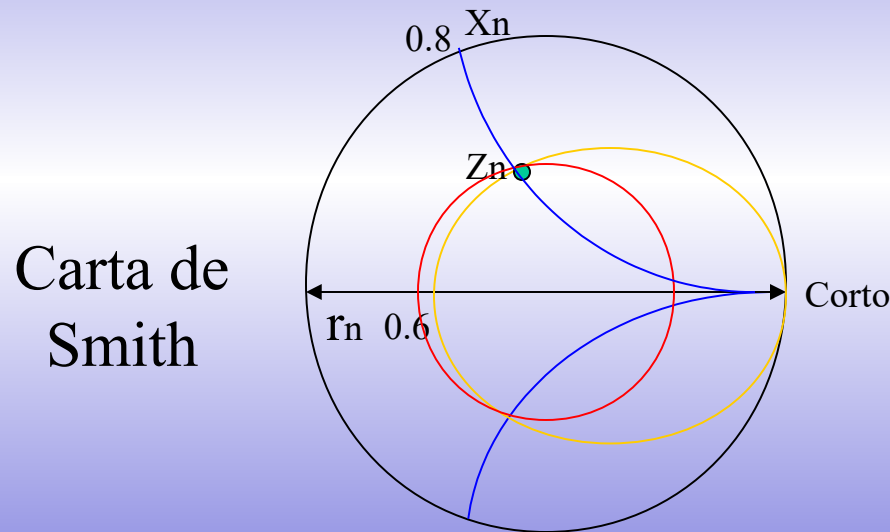
Paso 1.- Localizar Z_n en la Carta de Smith, por medio de r_n y X_n



Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Paso 2.- Hacer un círculo rojo.

Que se realiza con un compas apoyado en el centro de la carta y que pase por Z_n .

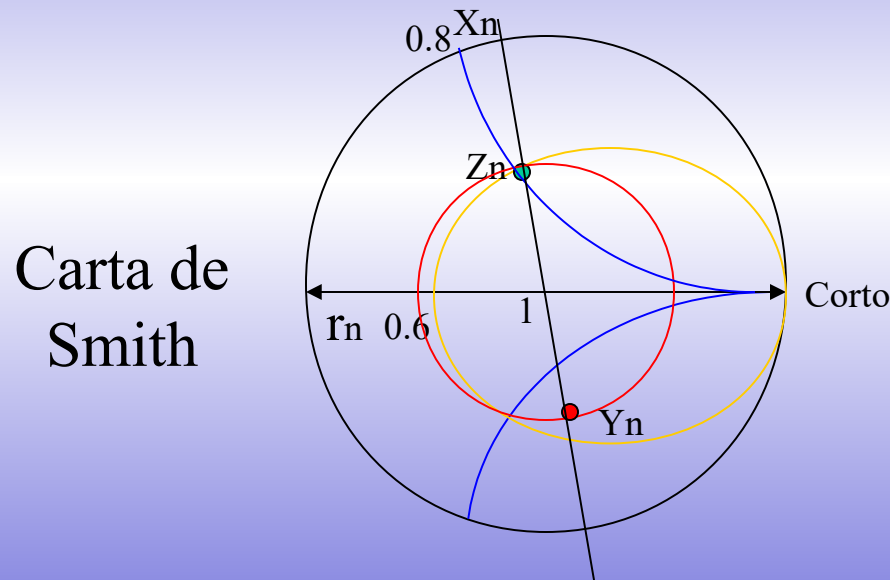


Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Paso 3.-Encontrar la admitancia normalizada a partir de la impedancia normalizada.

Esto se logra con trazar una recta que pase por Z_r y por el centro de la carta prolongandola hasta salir de ella.

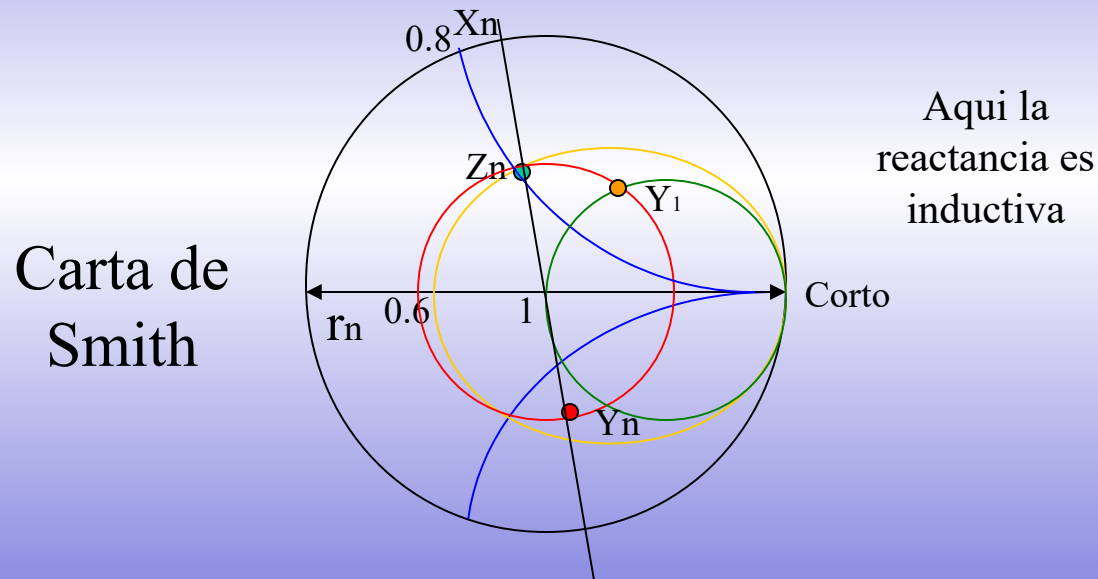
La intercepción de la recta con el círculo rojo se llamará Y_n .



Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

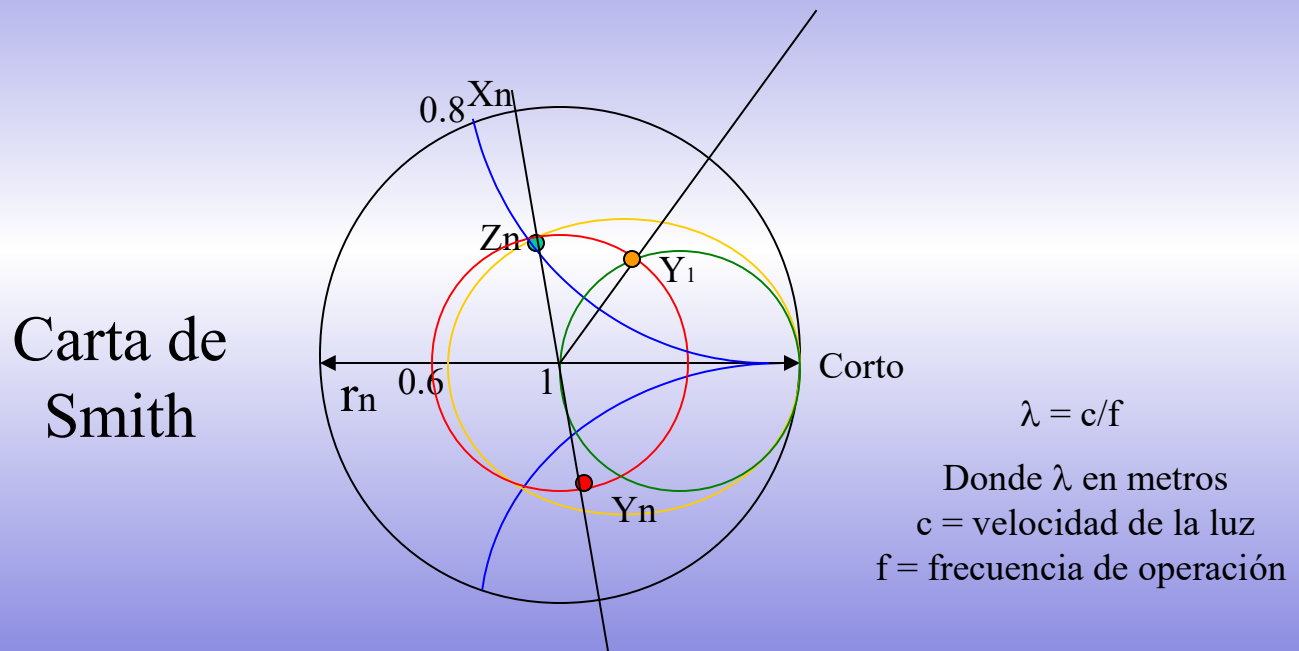
Paso 4.- Localizar el punto de cruce del círculo rojo, con el círculo verde de la carta de Smith, que pasa por corto y el centro (1). Se le llamará Y_1 y sus coordenadas son:

$$Y_n = 1 - i1.15$$



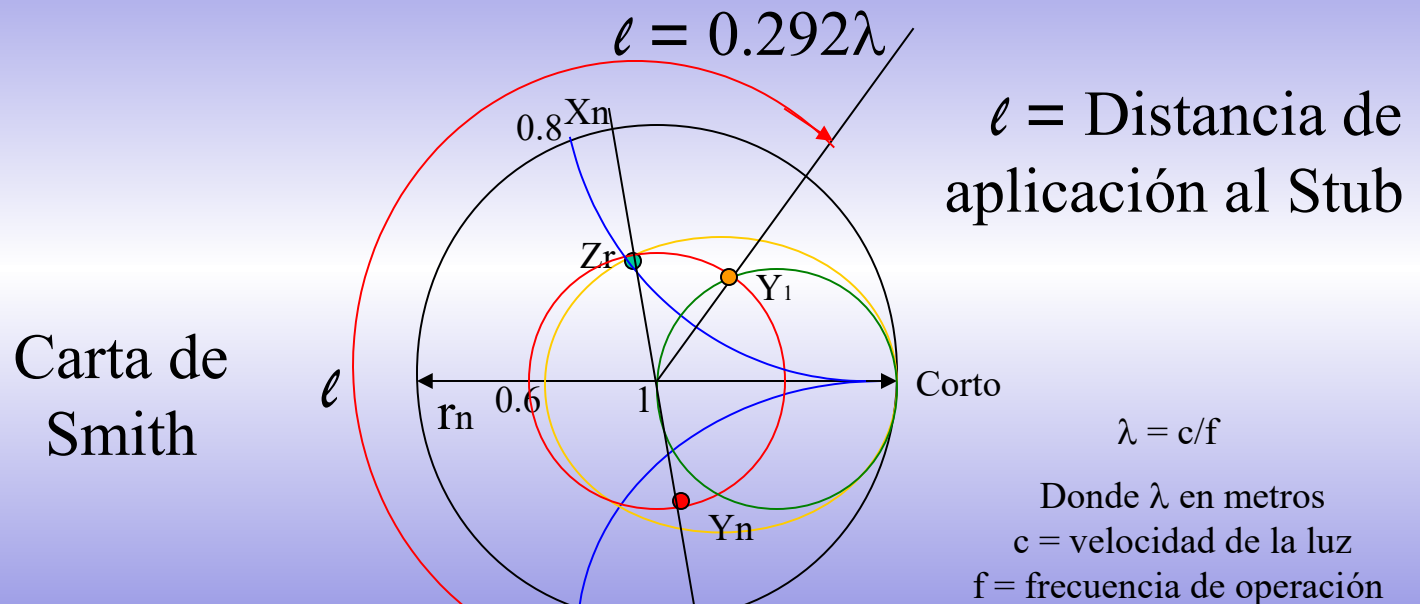
Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Paso 5.-La intercepción del círculo rojo con el círculo verde. El círculo verde pasa por el centro de la carta y el corto circuito. A este punto se llama Y_1 y sus coordenadas son $Y_1 = 1 + i1.15$. Se traza una recta del centro a Y_1 .



Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

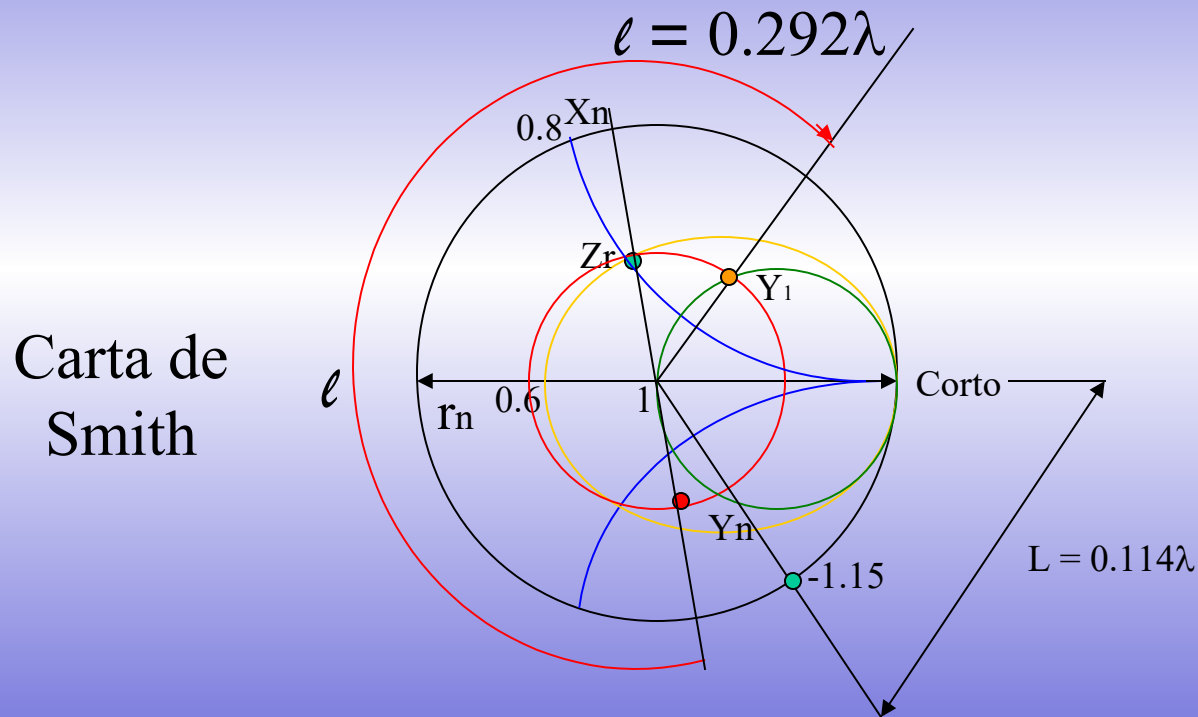
Paso 6.-Trazar una recta que pase por el centro y por Y_1 .
Medir la distancia en centésimas de λ , desde Y_n hasta Y_1
en las escalas periféricas.



Comportamiento de las Líneas sin pérdidas

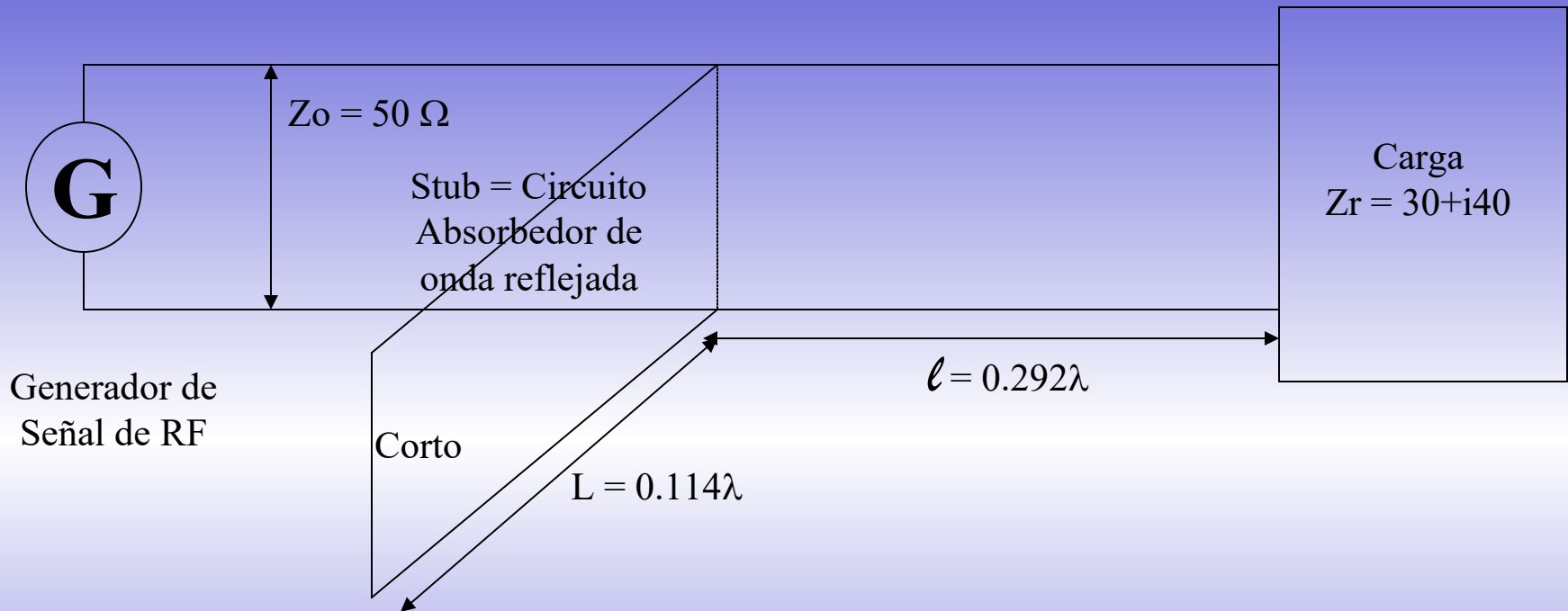
Paso 7.-Buscar una reactancia capacitiva (-1.15) a partir de corto circuito. A esta longitud se le llamará L y es el largo físico del Stub fabricado con la misma línea de transmisión.

Para esto se traza una recta que pase por -1.15 de la periferia y se mide.



Comportamiento de las Lineas sin pérdidas

Quedando así acoplada la línea de transmisión



Con estas medidas se puede visualizar que el Stub quedo muy cerca de la carga.

Así la mayoría de la longitud de la línea de transmisión queda acoplada.