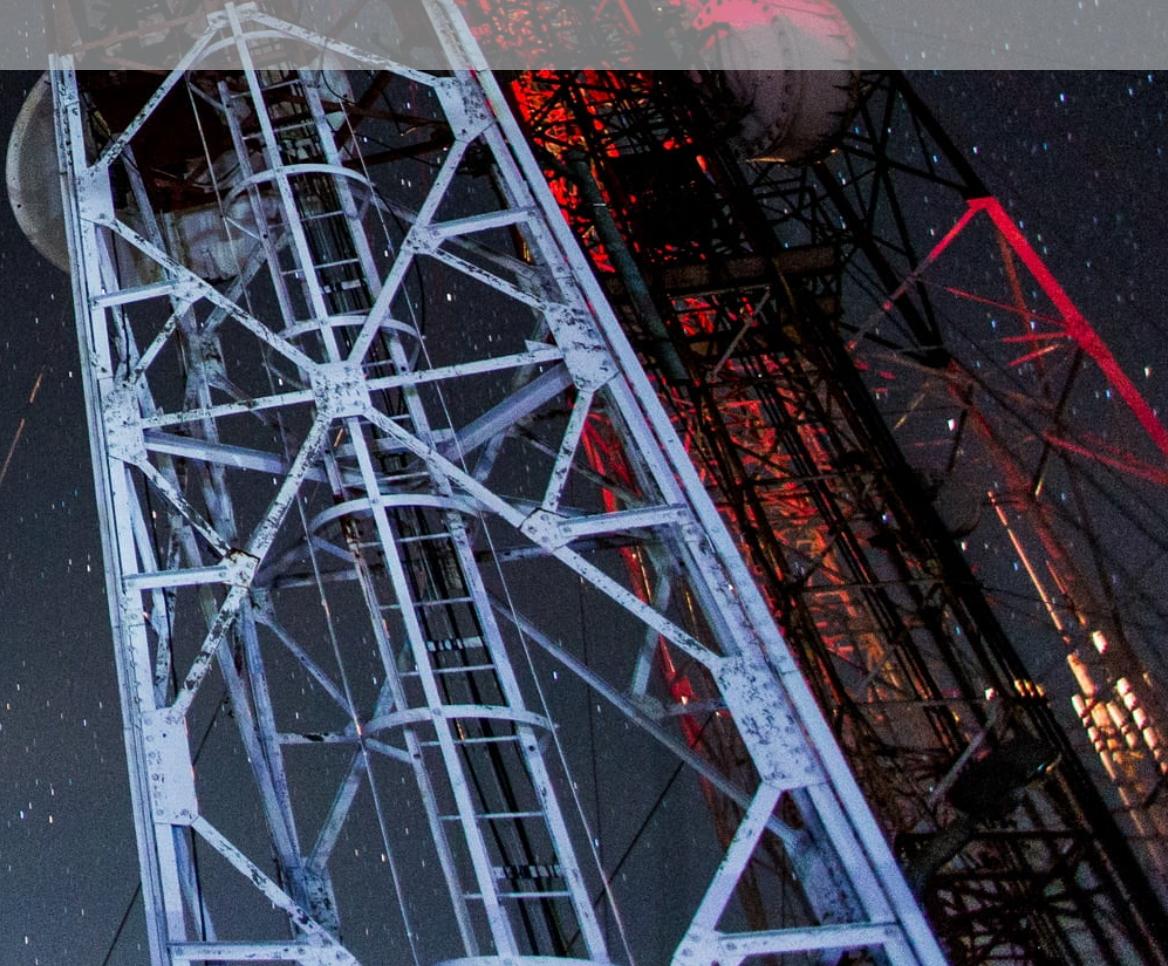




# **Pasos por Telecomunicaciones II**

Notas de un estudiante

**Jose Antonio Hanco M.**



Copyright © 2022 Jose Hancco

LIBRO LIBRE DE USOS

[HTTPS://GITHUB.COM/YASPERTERIAN](https://github.com/YASPERTERIAN)

Con licencia de Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License (la “Licencia”). No puede usar este archivo excepto de conformidad con la Licencia. Puede obtener una copia de la Licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>. A menos que lo exija la ley aplicable o se acuerde por escrito, el software distribuido bajo la Licencia se distribuye “TAL CUAL”, SIN GARANTÍAS NI CONDICIONES DE NINGÚN TIPO, ya sea expresa o implícita. Consulte la Licencia para conocer el idioma específico que rige los permisos y las limitaciones en virtud de la Licencia.

*Primera edición, septiembre 2022*

Si existe algún error, crees que una sección se puede mejorar o dar cualquier tipo de feedback acerca del libro no dudes y mándame un correo a [jhanccoma@unsa.edu.pe](mailto:jhanccoma@unsa.edu.pe), te responderé lo más pronto que pueda y gracias por mejorar este libro de todos y para todos.

*Realmente no sé a quien dedicar este texto, pues no es más que una recopilación de lo que voy aprendiendo para convertirme en ingeniero en telecomunicaciones, visto de manera dedico este libro a todos los estudiantes que por lo menos toman en cuenta la información contenida en el libro y más aún con las ganas de aprender de otro estudiante, como lo soy yo.*



# Contenido

I

## Antenas

<b>1</b>	<b>Conceptos básicos sobre antenas .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>9</b>
1.1.1	Ancho de banda y capacidad de información .....	11
1.1.2	Ruido .....	12
1.1.3	Ruido térmico .....	12
1.1.4	Ángulo crítico .....	13
1.1.5	Repaso: Propagación de ondas electromagnéticas .....	15
<b>1.2</b>	<b>Antenas .....</b>	<b>18</b>
1.2.1	Tipos de antenas .....	18
1.2.2	Características y parámetros de las antenas transmisoras .....	19
1.2.3	Parámetros de acción directiva de antenas .....	20
1.2.4	Antenas receptoras .....	22

<b>2</b>	<b>Tipos de antenas .....</b>	<b>23</b>
----------	-------------------------------	-----------

<b>2.1</b>	<b>Antena Dipolo .....</b>	<b>23</b>
2.1.1	Diseño de un dipolo .....	23
<b>2.2</b>	<b>Antena Marconi .....</b>	<b>27</b>

II

## Internetworking 2

<b>3</b>	<b>Unidad I .....</b>	<b>29</b>
----------	-----------------------	-----------

<b>3.1</b>	<b>Protocolo spanning tree .....</b>	<b>29</b>
3.1.1	Problemas con la redundancia de capa 1 .....	29

<b>3.2</b>	<b>Tecnología EtherChannel .....</b>	<b>32</b>
3.2.1	Funcionamiento .....	32
3.2.2	Ventajas de EtherChannel .....	33
3.2.3	Restricciones .....	33
3.2.4	Funcionamiento del PAgP .....	34
3.2.5	PAgP .....	34
3.2.6	LACP .....	35
3.2.7	Pautas y restricciones para la configuración .....	35
<b>3.3</b>	<b>Conceptos de routing .....</b>	<b>36</b>
3.3.1	Funciones de routing .....	36
3.3.2	Conexión de dispositivos .....	38
3.3.3	Verificación de la conectividad de redes conectadas directamente ..	38
3.3.4	Determinación de ruta .....	39
<b>3.4</b>	<b>Routing estático .....</b>	<b>40</b>
3.4.1	Tipos de rutas estáticas .....	41
<b>3.5</b>	<b>Routing dinámico .....</b>	<b>42</b>
3.5.1	Comparación entre routing dinámico y estático .....	42
3.5.2	Routing dinámico vector distancia .....	43
3.5.3	Estado de enlace .....	43
<b>3.6</b>	<b>NAT para IPv4 .....</b>	<b>44</b>
3.6.1	Tipos de NAT .....	44
3.6.2	Ventajas y desventajas .....	46
3.6.3	Configurar .....	47
<b>4</b>	<b>Unidad II .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Tecnología WAN .....</b>	<b>49</b>
4.1.1	Operaciones .....	49
4.1.2	Opciones de acceso .....	50

III

## Control Adaptativo Moderno

<b>5</b>	<b>Unidad I .....</b>	<b>54</b>
<b>5.1</b>	<b>CADe Simu .....</b>	<b>54</b>
5.1.1	Paneles .....	54
5.1.2	Simulaciones .....	55
5.1.3	Ladder .....	62

IV

## Software de telecomunicaciones

<b>6</b>	<b>Unidad I .....</b>	<b>69</b>
<b>6.1</b>	<b>XDR .....</b>	<b>69</b>

<b>6.2</b>	<b>RPC y RMI .....</b>	<b>69</b>
6.2.1	RMI .....	70
<b>6.3</b>	<b>CORBA .....</b>	<b>71</b>
6.3.1	CORBA y EAI .....	71
6.3.2	Arquitectura CORBA .....	72
<b>6.4</b>	<b>SOAP .....</b>	<b>72</b>

V

## Microelectrónica en RF

<b>7</b>	<b>Osciladores .....</b>	<b>75</b>
<b>7.1</b>	<b>Ondas electromagnéticas .....</b>	<b>75</b>
<b>7.2</b>	<b>Distorsión .....</b>	<b>78</b>
7.2.1	Distorsión lineal .....	78
7.2.2	Distorsión no lineal .....	81
<b>7.3</b>	<b>Circuitos resonantes .....</b>	<b>87</b>
<b>7.4</b>	<b>Osciladores .....</b>	<b>93</b>
7.4.1	Sistemas retroalimentados .....	93
7.4.2	Osciladores de frecuencia muy constante .....	96
<b>8</b>	<b>Circuitos de enganche .....</b>	<b>98</b>
<b>8.1</b>	<b>Lazos enganchados por fase-PLL .....</b>	<b>98</b>
8.1.1	Orden y tipo .....	102

VI

## Anexos

<b>8.2</b>	<b>Constantes universales .....</b>	<b>109</b>
<b>8.3</b>	<b>Voltajes .....</b>	<b>109</b>
	<b>Bibliography .....</b>	<b>110</b>
	<b>Articles .....</b>	<b>110</b>
	<b>Books .....</b>	<b>110</b>

## Libros recomendados:

- Fundamentos de circuitos eléctricos[alexander2013fundamentos]
- Signals and Systems Using MATLAB[chaparro2018signals]
- Procesamiento de señales analógicas y digitales[ambardar1995analog]
- Física Para Ciencias E Ingeniería. Vol 1[serway2018fisica1]
- Física Para Ciencias E Ingeniería. Vol 2[serway2018fisica2]
- Cálculo de una variable: trascendentes tempranas. 7ma edición [stewart12calculo]
- Análisis de Fourier[hsu1998analisis]
- Matemáticas Avanzadas Para Ingeniería[o2014matematicas]
- Métodos numéricos para ingenieros[chapra2013metodos]
- Comunicaciones y redes de computadores[stallings2004comunicaciones]
- Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos[boylestad1989electronica]
- Fundamentos de sistemas digitales[floyd2006fundamentos]
- Tratamiento de señales en tiempo discreto[oppenheim2011tratamiento]
- Tratamiento digital de señales[proakis2007tratamiento]
- Sistemas de comunicación digitales y análogos[couchsistemas]
- Data communication and networking[forouzan2007data]
- Life Pre-Intermediate 2e[hughes2017life]
- Redes de computadoras[tanenbaum2012computer]
- Líneas de transmisión[velalineas1999]



# Antenas

<b>1</b>	<b>Conceptos básicos sobre antenas</b>	
		<b>9</b>
1.1	Introducción .....	9
1.2	Antenas .....	18
<b>2</b>	<b>Tipos de antenas .....</b>	<b>23</b>
2.1	Antena Dipolo .....	23
2.2	Antena Marconi .....	27



# 1. Conceptos básicos sobre antenas

## 1.1 Introducción

Como siempre, antes de este curso hay que recordar algunos términos o conceptos para poder entender cosas que se vienen. Empezamos con las unidades logarítmicas:

$$Belio = \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$Decibelio(dB) = 10 \cdot \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$Decibelio(dB) = 20 \cdot \log \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$$

$$Neper(Np) = \ln \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$$

Asimismo debemos tener en cuenta las demás medidas respecto a un valor como 1mW, 1W, 1V, etc.<sup>1</sup> Otros conceptos importantes a recordar son:

**Definición 1.1 — Longitud de Onda.**

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{1.1}$$

Donde:

- $\lambda$ : Longitud de onda. (m)
- $v$ : Velocidad. Si el medio es el aire o espacio libre:  $v = c = 3 \times 10^8$  m/s (m/s)
- $f$ : Frecuencia. (Hz)

**Definición 1.2 — Temperatura.**

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5} = \frac{R - 492}{9} \tag{1.2}$$

---

<sup>1</sup>Estas puedes ser vistas en la sección **Decibelios** en el capítulo de **Ingeniería en mantenimiento**.

Despejando podemos obtener:

$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

$$K = C + 273$$

$$R = F + 460$$

Además debemos recordar las bandas y frecuencias designadas por la ITU:

Nº de banda	Rango de frecuencia	Indicativo	Propagación
2	30-300 Hz	ELF	Onda terrestre
3	0.3-3 KHz	SLF	Onda terrestre
4	3-30 KHz	VLF	Onda terrestre
5	30-300 KHz	LF	Onda terrestre y superficial
6	0.3-3 MHz	MF	Onda superficial
7	3-30 MHz	HF	Onda superficial y Ionosférica
8	30-300 MHz	VHF	Onda Ionosférica y directa
9	0.3-3 GHz	UHF	Onda directa
10	3-30 GHz	SHF	Onda directa
11	30-300 GHz	EHF	Onda directa e infrarrojo
12	0.3-3 THz		Luz infrarroja
13	3-30 THz		Luz infrarroja
14	30-300 THz		Luz infrarroja
15	0.3-3 PHz		Luz visible
16	3-30 PHz		Luz ultravioleta
17	30-300 PHz		Rayos X
18	0.3-3 EHz		Rayos X
19	3-30 EHz		Rayos cósmicos

Table 1.1: Designación de bandas CCIR por la ITU.

Los medios de transmisión:

Medio de transmisión	Banda de frecuencia	Longitud de onda	Aplicación principal
Par de alambres, cable multipar	30-300 Hz	10000-1000 Km	Comunicación submarina
Par de alambres, cable multipar	0.3-3 KHz	1000-100 Km	Telefonía, transmisión de datos, telex, fax.
Par de alambres, cable multipar, ondas de tierra	3-30 KHz	100-10 Km	Telefonía de onda portadora baja, capacidad, navegación y radiotelegrafía.
Par de alambres, ondas de tierra	30-300 KHz	10-1 Km	Telefonía de onda portadora mediana capacidad, radiofaros, navegación, radiodifusión onda larga.
Cable coaxial, ondas de cielo	0.3-3 MHz	1000-100 m	Radiodifusión, AM, radio aficionados, radio móvil.
Cable coaxial, cable UTP cat 3-4, ondas de cielo	3-30 MHz	100-10m	Radio aficionados, comunicaciones militares, marítimas, radio telefonía móvil.
Cable coaxial, cable UTP cat 5, ondas directas	30-300 MHz	10-1 m	TV, radiodifusión FM, multiacceso radial, radio enlaces, direccionales.
Ondas directas	0.3-3 GHz	100-10 cm	TV, telemetría por radar, comunicaciones militares por satélite, telefonía celular, radio de espectro ensanchado.
Guía de onda, línea visual	3-30 GHz	10-1 cm	Comunicaciones vía satélite, radio enlace direccional analógico y digital, operación aérea por radar.
Guía de onda, línea visual.	30-300 GHz	1-0.1 cm	Comunicación militar por satélite, radio astronomía, aterrizaje por radar.
Fibra óptica	100-1000 THz	3-0.3 pm	Telefonía muy alta capacidad, servicios de banda ancha (SONET, SDH y ATM), video conferencia, CATV por F.O.

### 1.1.1 Ancho de banda y capacidad de información

Las limitaciones más importantes para el funcionamiento de una sistema de comunicaciones son el **ruido** y el **ancho de banda**. El ancho de banda de un canal de comunicación es la diferencia entre la frecuencia máxima y mínima que puede pasar por el canal. El ancho de banda de un canal de comunicación debe ser igual o mayor que el ancho de banda de la información.

**Definición 1.3 — Ley de Hartley.** Es la medida de cuanta información se puede transferir a través de un sistema de comunicaciones en un determinado tiempo.

$$I \approx B \times t \quad (1.3)$$

Donde:

- **I:** Capacidad de información.
- **B:** Ancho de banda. (Hz)
- **t:** Tiempo de transmisión. (s)

■ **Notación 1.1** Se requieren **3 KHz** de ancho de banda para transmitir las señales telefónicas con calidad de voz.

Se asigna **200 KHz** para transmisión comercial de FM para música, con alta fidelidad.

Se requieren casi **6 MHz** de ancho de banda para emitir señales de televisión de alta calidad

Otra medida que debemos saber es:

**Definición 1.4 — Capacidad de información de un canal digital.** Shannon relacionó la capacidad de información de un canal de comunicaciones, en bits por segundo

(bps), con el ancho de banda y la relación señal a ruido:

$$I = B \cdot \log_2(1 + S/N) \quad (1.4)$$

Donde:

- I: Capacidad de información. (bps)
- B: Ancho de banda. (Hz)
- S/N: Relación señal a ruido.

## 1.1.2 Ruido

Energía eléctrica **no deseable** presente en la banda útil del circuito de comunicación. Se puede clasificar el ruido en dos categorías:

1. **Correlacionado:** Solo existe **cuando hay una señal**. Es aquel que se relaciona mutuamente con la señal, y no puede estar en un circuito a menos que haya una señal de entrada. Se produce por amplificación no lineal, e incluye la distorsión armónica (cuando se producen las armónicas no deseadas de una señal, debido a una amplificación no lineal) y de intermodulación (generación de frecuencias indeseables de suma o diferencia), ya que las dos son formas de distorsión no lineal.
2. **No Correlacionado:** Está presente **siempre**, haya o no señal. El ruido no correlacionado puede sub dividirse en dos categorías generales:
  - a. **El Ruido Externo** es el que se genera fuera del dispositivo o circuito. Hay tres causas principales de ruido Externo:
    - i. **Ruido atmosférico:** Perturbaciones eléctricas naturales. Electricidad estática (rayos)
    - ii. **Ruido extraterrestre:** Señales eléctricas originadas fuera de la atmósfera terrestre (solar y cósmico)
    - iii. **Ruido hecho por el hombre:** Su puente principal son mecanismos que producen chispas, ruido industrial (conmutadores, generadores, lámparas fluorescentes)
  - b. **El Ruido Interno** es la interferencia eléctrica generada dentro de un dispositivo o circuito. Las causas principales son:
    - i. **Ruido Térmico:** Asociado con el movimiento rápido y aleatorio de electrones libre, producido por la agitación térmica.
    - ii. **Ruido de Tiempo de Tránsito:** Variación irregular y aleatoria, producida por la modificación de una corriente de portadores, cuando pasa de la entrada a la salida de un dispositivo.
    - iii. **Ruido de Disparo:** Se debe a la llegada aleatoria de portadoras al elemento de salida de un dispositivo electrónico (diodo, FET, transistor bipolar).

## 1.1.3 Ruido térmico

Es el movimiento **aleatorio** de los electrones libres dentro de un conductor, causado por la agitación térmica. Lamentablemente, este ruido está a lo largo de todo el espectro electromagnético. Llamado también: Movimiento Browniano por su descubridor Robert Brown, Ruido de Johnson en honor a quien lo relacionó con el movimiento de los electrones y Ruido Blanco porque se produce en todas las frecuencias.

**Definición 1.5 — Potencia de ruido térmico.**

$$P_{tn} = K \cdot T \cdot B \quad (1.5)$$

Donde:

- $P_{tn}$ : Potencia del ruido térmico<sup>a</sup> (W)
- $K$ : Constante de Boltzmann=  $1.38 \times 10^{-23} J/K$ .
- $T$ : Temperatura absoluta. ( $^{\circ}\text{K}$ )
- $B$ : Ancho de banda. (Hz)

Alternativamente, el ruido térmico puede ser expresado en dBm, para ello debemos usar la siguiente expresión comparada con un 1mW:

$$P_{tn}(dBm) = 10 \cdot \log \left( \frac{K \cdot T \cdot B}{0.001} \right) \quad (1.6)$$

En temperatura ambiente (17 C o 290 K), el ruido térmico ambiente:

$$P_{tn}(dBm) = -174dBm + 10\log(B) \quad (1.7)$$

<sup>a</sup>tn:thermal noise o ruido térmico.

**Definición 1.6 — Voltaje ruido térmico.**

$$V_{tn} = \sqrt{4 \cdot R \cdot K \cdot T \cdot B} \quad (1.8)$$

Donde:

- $R$ : Resistencia interna. ( $\Omega$ )
- $V_{tn}$ : Voltaje RMS del ruido. (V)

■ **Notación 1.2** Para la máxima potencia transferencia de potencia  $R_L = R_I$ .

■ **Definición 1.7 — Relación señal a ruido-SNR.** Es la relación en decibelios entre la potencia de la señal(S) y la potencia del ruido(N):

$$SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{S}{N} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{V_s}{V_n} \right) \quad (1.9)$$

 El **factor a ruido** se define como el cociente entre la potencia SNR de entrada y potencia SNR de salida. Por consecuencia, la **cifra de ruido** es el factor de ruido expresado en dB.

■ **Notación 1.3** Para voltaje, 6dB indica que la salida es dos veces el valor de la entrada, es decir: Si la entrada es 1, la salida será 2. Para potencia, 3dB indica lo mismo: el valor de la salida es dos veces el valor de la entrada.

### 1.1.4 Ángulo crítico

Debemos recordar ecuaciones como Ley de Snell,

**Definición 1.8 — Ley de Snell.**

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1.10)$$

$$\sqrt{\epsilon_1} \sin \theta_1 = \sqrt{\epsilon_2} \sin \theta_2 \quad (1.11)$$

Donde:

- $n$ : Índice de refracción.
- $\theta$ : Ángulo de refracción.
- $\epsilon$ : Permitividad relativa del material.

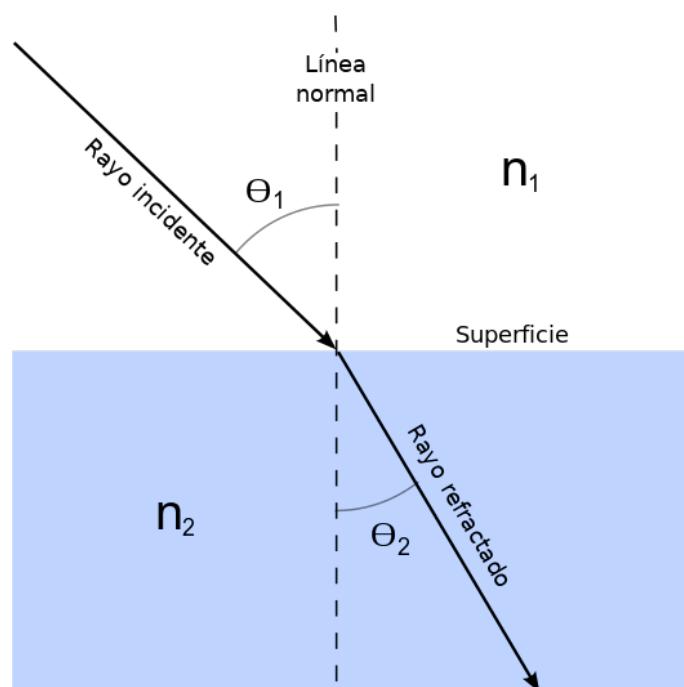
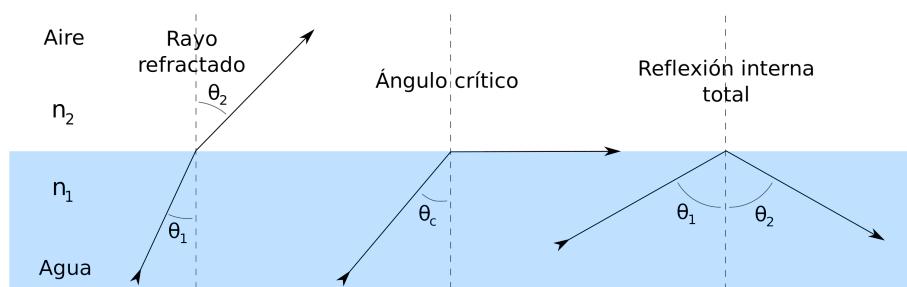


Figure 1.1: Ley de Snell

dentro de ella una que usaremos es la del *ángulo crítico*:



La forma de obtener el ángulo crítico es:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.12)$$

■ **Notación 1.4** El índice de refracción esta definido como el cociente de la **velocidad de la luz en el vacío** entre la **velocidad de la luz del medio donde se propaga**. Generalmente se utiliza la velocidad de la luz en el vacío ( $c$ ) como medio de referencia para cualquier

materia, aunque durante la historia se han utilizado otras referencias, como la velocidad de la luz en el aire. En el caso de la luz, es igual a  $n = \sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}$ . Para la mayoría de los materiales, la **permeabilidad magnética relativa** ( $\mu_r$ ) es muy cercano a 1 en frecuencias ópticas, es decir, luz visible, por lo tanto,  $n$  es aproximadamente  $\sqrt{\epsilon_r}$

### 1.1.5 Repaso: Propagación de ondas electromagnéticas

La propagación de OEM por el espacio libre se suele llamar propagación de radiofrecuencia o radio propagación. Las OEM, en el espacio libre se propagan en línea recta a la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ).

#### Definición 1.9 — Distancia máxima de línea.

$$d_{max} = \sqrt{2 \cdot h} \quad (1.13a)$$

$$d_{max} = \sqrt{17 \cdot h} \quad (1.13b)$$

Donde:

•  $d_{max}$ : Distancia máxima de línea de vista. (millas ó Km)

•  $h$ : Altura (Pies ó m)<sup>a</sup>

<sup>a</sup>La distancia será en millas si se trabaja con la ecuación 1.13a, donde la altura debe ser introducida en pies. Para la ecuación 1.13b, la distancia estará en metros y la altura en metros.

Hablemos también de las **pérdidas por trayectoria**. El modelo de pérdida por trayectoria en el espacio libre es usado para predecir la intensidad del nivel de recepción cuando el transmisor y receptor tienen una trayectoria de línea de vista clara, sin obstrucciones entre ellos.

#### Definición 1.10 — Pérdidas por trayectoria.

$$L_p = \left( \frac{4\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c} \right)^2 \quad (1.14a)$$

$$L_p = 20 \cdot \log \left( \frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{4\pi}{c} \right) + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) \quad (1.14b)$$

Donde:

•  $d$ : Distancia. (m)

•  $f$ : Frecuencia. (Hz)

•  $c$ : Velocidad de la luz.

•  $\lambda$ : Longitud de onda. (m)

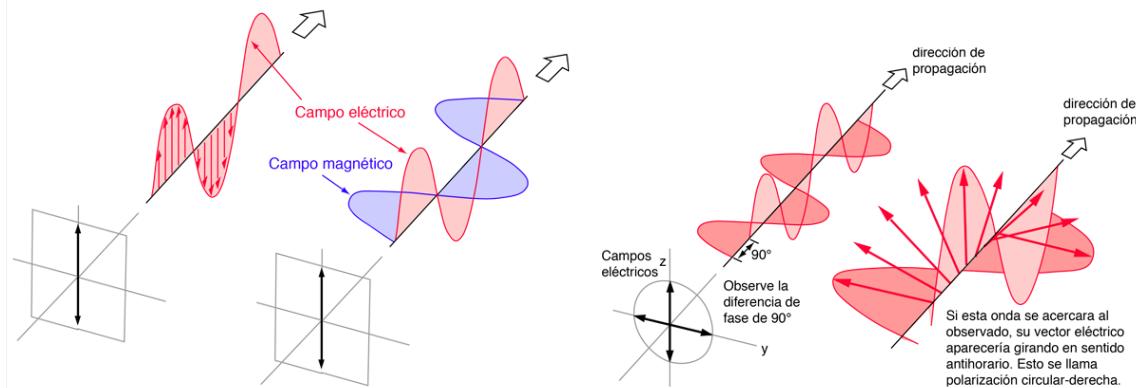
Si la distancia se expresa en Km y la frecuencia en MHz:

$$L_p(\text{dB}) = 32.4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \log(d) \quad (1.15)$$

Otro término usado es la **polarización**, recordando que una OEM contiene un campo eléctrico y un campo magnético que forman  $90^\circ$  entre sí. Por lo tanto, la polarización de una OEM plana, no es mas que la orientación del vector campo eléctrico respecto a la superficie de la tierra.

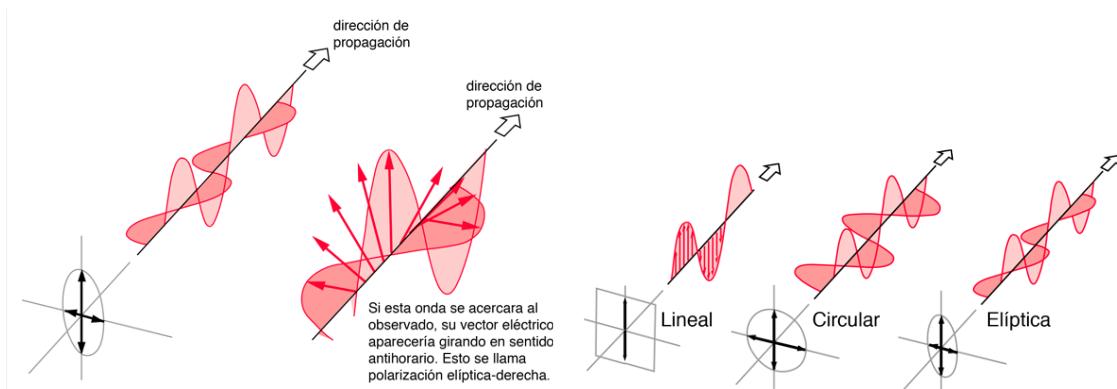
#### Tipos de polarización:

1. **Polarización lineal**: Si la polarización permanece constante. Las formas lineales son:(Fig. 1.2a)



(a) El campo eléctrico transversal de la onda va acompañado de un campo magnético como el que se ilustra.

(b) El vector de polarización gira  $360^\circ$  a medida de que la onda recorre una longitud de onda en el espacio



(c) Cuando la Intensidad de Campo varía con cambios en la polarización, se dice que es una Polarización Elíptica.

(d) Tipos de polarizaciones.

Figure 1.2: Polarización de ondas.

- a. **Polarización Horizontal:** Campo eléctrico paralelo a la superficie de la tierra.
- b. **Polarización Vertical:** Campo eléctrico perpendicular a la superficie terrestre.
- 2. **Polarización Circular:** Luz polarizada circularmente consta de dos ondas electromagnéticas planas perpendiculares con una diferencia de fase de  $90^\circ$ . (Fig. 1.2b)
- 3. **Polarización elíptica:** La luz polarizada elípticamente consiste de dos ondas perpendiculares de amplitudes desiguales y con una diferencia de fase de  $90^\circ$ . (Fig. 1.2c)

■ **Notación 1.5** Si el vector gira en sentido de las manecillas del reloj, se dice que es Derecho, si es contrario se dice que es Izquierdo

### 1.1.5.1 Densidad de potencia radiada

La **rapidez** con que la energía pasa a través de una **superficie** dada en el espacio libre se llama **Densidad de Potencia**. La **Densidad de Potencia Radiada** se define como la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. Las unidades son **Watt por Metro Cuadrado ( $W/m^2$ )**. Se puede calcular a partir de los valores eficaces de los campos eléctrico o magnéticos.

**Definición 1.11 — Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.**

$$PIRE = P_r \cdot D = P_A \cdot G \quad (1.16)$$

Donde:

PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente. (W)

- $P_r$ : Potencia de radiación.
- $P_A$ : Potencia suministrada a la antena. (W)
- $G$ : Ganancia.
- $D$ : Directividad de la antena.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Estos conceptos se detallan más adelante.

**Definición 1.12 — Intensidad de campo.** Es la intensidad de los campos eléctrico y magnético de una onda electromagnética que se propaga por el espacio libre.

$$\mathbb{P} = E \cdot H = \frac{PIRE}{4\pi r^2} = Z_s \times H^2 = \frac{E^2}{Z_s} \quad (1.17)$$

Donde:

- $\mathbb{P}$ : Densidad de potencia. ( $W/m^2$ )
- $E$ : Intensidad de campo eléctrico. (V/m)
- $H$ : Intensidad del campo magnético. (A/m)
- $r$ : Radio de la esfera. (m)
- **PIRE**: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente. (W)

**Definición 1.13 — Impedancia en el espacio libre.** La relación entre el módulo del campo eléctrico y el módulo del campo magnético es la impedancia característica del medio. La impedancia característica de un medio de transmisión **sin pérdidas** es igual a la raíz cuadrada de la relación de su permeabilidad magnética entre su permitividad eléctrica:

$$Z_s = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377\Omega \quad (1.18)$$

Donde:

- $Z_s$ : Impedancia en el espacio libre. ( $\Omega$ )
- $\mu_0$ : Permeabilidad magnética ( $1.26 \times 10^{-6} \text{H/m}$  ó  $4\pi \cdot KN/A^2$  donde  $K = \times 10^{-7}$ ).
- $\epsilon_0$ : Permitividad eléctrica del vacío ( $8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$ ).

La **Intensidad de Radiación** es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección.

**1.1.5.2 Ley de cuadrado inverso**

La **densidad de potencia** es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente.

$$\frac{\mathbb{P}_2}{\mathbb{P}_1} = \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \quad (1.19)$$

Para que se cumpla esta ley, la velocidad de propagación en todas las direcciones debe ser uniforme (Medio Isotrópico)

### Atenuación y absorción

**Atenuación** es la reducción de la Densidad de Potencia con la distancia. La atenuación se debe al esparcimiento esférico de la onda, se le llama “atenuación espacial” de la onda. Se expresa generalmente en términos del logaritmo de la relación de densidad de potencia (pérdida en dB)

**Absorción** solo se presenta cuando los CEM se propagan por la atmósfera. Es la energía transferida de la OEM a los átomos y las moléculas de la atmósfera. La absorción de radiofrecuencias en una atmósfera normal, es relativamente insignificante a frecuencias por debajo de 10 GHz.

## 1.2 Antenas

Las dos funciones primordiales de la antena son:

1. Convertir la energía electromagnética, procedente del generador a través de la línea de transmisión, en energía electromagnética que se propaga libremente por el espacio.
2. Adapta la impedancia interna del generador a la impedancia del espacio.

En las líneas de transmisión se propagan ondas electromagnéticas **guiadas**, es decir campos electromagnéticos variables entre cargas y corrientes. Las antenas convierten estos ondas electromagnéticas guiadas en **libres y viceversa**. Tanto las ondas guiada como las libres son señales de radio.

En el proceso de su propagación, las ondas de radio se **dispersan** más allá de las líneas de radio-comunicación y son absorbidas por el medio circundante. Si la dirección de radiocomunicación es conocida y limitada, las perdidas pueden reducirse concentrando las ondas emitidas en direcciones definidas.

Con lo definido sobre antenas y conocimientos en impedancias, podemos definir:

**Corolario 1.1 — Impedancia de antena.** Es la relación entre tensión y corriente en sus terminales de entrada (de la antena). Como todas, dicha impedancia es en general compleja: parte real ó resistencia de antena y la parte compleja ó reactancia de antena.

### 1.2.1 Tipos de antenas

A grandes rasgos existen dos tipos de antenas: antenas de **transmisión** y antenas de **recepción**.

#### Antenas de transmisión

La antena de transmisión transforma energía de un campo electromagnético estacionario producido por la señal de radio, en energía de un campo electromagnético de radiación, añadiendo además que este último debe emitirse en unas direcciones dadas.

#### Antenas de recepción

La antena de recepción está destinada a la transformación de la energía de una radioseñal consistente en un campo de radiación que procede de una dirección dada, en energía de un campo estacionario de ondas electromagnéticas.



La antena de transmisión y recepción tienen procesos **recíprocos**. Esto quiere decir que existe la posibilidad de utilizar la misma antena en calidad de transmisora y de receptora, y de conservar invariables los parámetros principales de la antena.



Figure 1.3: Gráficas de antena.

### 1.2.2 Características y parámetros de las antenas transmisoras

Los parámetros de una antena son los que permiten especificar el funcionamiento de las mismas, y por lo tanto son susceptibles de ser medidos. Se puede especificar la antena como un **conjunto de parámetros** conectados con los requisitos de un sistema más amplio de radiocomunicaciones o radiodifusión.

#### Parámetros de antena:

- Diagrama de radiación
- Densidad de potencia radiada
- Directividad
- Ganancia
- Polarización
- Impedancia
- Adaptación
- Área y longitud efectiva

**Definición 1.14 — Potencia de radiación y resistencia de radiación.** Representa la característica de la antena para la emisión energía electromagnética.

$$R_r = \frac{P_r}{i^2} \quad (1.20)$$

Donde:

- $R_r$ : Resistencia de total de radiación. ( $\Omega$ )
- $P_r$ : Potencia de radiación. (W)
- $i$ : Valor eficaz de la corriente de la antena. (A)

Cuantitativamente la resistencia de radiación se define como aquella resistencia pura en la que se libera una potencia numéricamente igual a la potencia de radiación, para una corriente en la resistencia igual a la corriente en la antena.

**Definición 1.15 — Potencia de Pérdidas y resistencia de pérdidas.** Potencia que se pierde por el calentamiento del conductor, en los aisladores, en la tierra y en los objetos situados cerca de la antena.

$$R_p = \frac{P_p}{i^2}$$

Donde:

- $R_p$ : Resistencia de pérdidas. ( $\Omega$ )
- $P_p$ : Potencia de pérdidas. (W)
- $i$ : Valor eficaz de la corriente de la antena. (A)

**Definición 1.16 — Potencia de una antena y resistencia activa total o resistencia de antena.** Resistencia que corresponde a potencia suministrada a la antena. Potencia de antena es la suministrada a la antena por el transmisor, a través de la línea de transmisión, se obtiene con la suma de la potencia de **radiación** y la potencia de **pérdidas**.

$$P_A = P_r + P_p = i^2 (R_r + R_p) \quad (1.21)$$

$$R_A = R_r + R_p \quad (1.22)$$

Donde:

- $P_A$ : Potencia suministrada a la antena. (W)
- $P_r$ : Potencia de radiación. (W)
- $P_p$ : Potencia de pérdidas. (W)
- $i$ : Valor eficaz de la corriente de la antena. (A)
- $R_r$ : Resistencia de radiación. ( $\Omega$ )
- $R_p$ : Resistencia de pérdidas. ( $\Omega$ )
- $R_A$ : Resistencia activa total. ( $\Omega$ )

**Definición 1.17 — Rendimiento o Eficacia de una antena.** Es la relación entre la Potencia de Radiación y la Potencia Suministrada a la Antena.

$$\eta_A = \frac{P_r}{P_A} = \frac{R_r}{R_r + R_p} = \frac{R_r}{R_A} = \frac{G}{D}$$

$$0 \leq \eta_A \leq 1$$

Donde:

- $\eta_A$ : Rendimiento de antena.
- $P_A$ : Potencia suministrada a la antena. (W)
- $P_r$ : Potencia de radiación. (W)
- $R_r$ : Resistencia de radiación. ( $\Omega$ )
- $R_p$ : Resistencia de pérdidas. ( $\Omega$ )
- $R_A$ : Resistencia activa total. ( $\Omega$ )
- $G$ : Ganancia.
- $D$ : Directividad.

## 1.2.3 Parámetros de acción directiva de antenas

### 1.2.3.1 Directividad

La característica de directividad de antena muestra la **dependencia** de la intensidad de campo de radiación respecto a la dirección, con la condición que este campo sea medido siempre a igual distancia de la antena. Para el estudio de la radiación de una antena, se supone que la antena está situada en el punto medio de una “esfera” y en el origen de un

sistema de coordenadas espaciales. En la superficie de la “esfera” se calcula E y H en cualquier punto de esta, alejado una distancia  $r$  del centro del dipolo.

#### Características:

1. **Propiedad Directiva:** Todas las antenas reales tienden a concentrar los campos radiado en alguna dirección.
2. **Característica de Directividad:** Depende de la intensidad de campo de radiación, respecto a la dirección, medido siempre a igual distancia de la antena.
3. **Función de Directividad:** Expresión matemática de la directividad.

$$f^2(\theta, \phi)$$

4. **Diagrama de Directividad:** Representación gráfica de la función de directividad.

Normalmente se expresa en proyecciones:

- a. Plano Horizontal (  $\phi$  varía y  $\theta = 90^\circ$  )
- b. Plano Vertical (  $\theta$  varía y  $\phi = 0^\circ$  )

**Definición 1.18 — Factor de directividad.** Factor de Directividad es la relación entre la densidad del flujo de potencia emitido por la antena dada en una **determinada dirección**, y la densidad de flujo de potencia que emitiría una antena absolutamente **no direccional** en cualquier dirección, siendo iguales las potencias totales de radiación de ambas antenas y medido a igual distancia.

$$D = \frac{\mathbb{P}_{max}}{\mathbb{P}_{ref}} = \frac{E_{max}^2}{E_0^2} \quad (1.23)$$

Donde:

- **D:** Factor de directividad.
- $\mathbb{P}_{max}$ : Densidad de potencia en un punto, en la dirección de máxima radiación. ( $W/m^2$ )
- $\mathbb{P}_{ref}$ : Densidad de potencia en el mismo punto, con una antena no direccional o de referencia. ( $W/m^2$ )

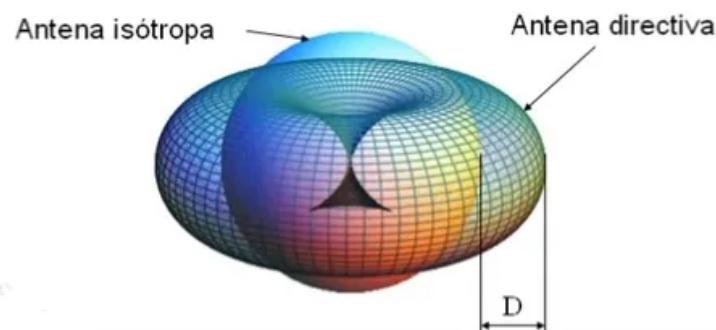


Figure 1.4: Representación tridimensional de la directividad.

**Definición 1.19 — Ganancia de potencia.**

$$G = \eta_A \cdot D = \frac{\mathbb{P}_{max}}{\mathbb{P}'_{ref}} \quad (1.24)$$

Donde:

- **G:** Ganancia.
- $\eta_A$ : Rendimiento de la antena.
- **D:** Directividad de la antena.
- $\mathbb{P}_{max}$ : Densidad de potencia en un punto, en la dirección de máxima radiación. ( $W/m^2$ )
- $\mathbb{P}'_{ref}$ : Densidad de potencia en el mismo punto, con una antena no direccional o de referencia sin pérdidas. ( $W/m^2$ )

**Definición 1.20 — Factor de calidad.**

$$Q = \frac{f_r}{BW} \quad (1.25)$$

Donde:

- **Q:** Factor de calidad.
- $f_r$ : Frecuencia de resonancia. (Hz)
- $BW$ : Ancho de banda. (Hz)

## 1.2.4 Antenas receptoras

**Definición 1.21 — Área de captura.** Mientras que la **ganancia de potencia** es el parámetro natural para describir la mayor densidad de potencia de una señal transmitida, por las propiedades direccionales de la antena transmisora, para describir las propiedades receptoras de una antena se usa una cantidad relacionada: **área de captura**

$$A_{cap} = \frac{G_r \cdot \lambda^2}{4\pi} \quad (1.26)$$

Donde:

- $A_{cap}$ : Área efectiva de captura. ( $m^2$ )
- $G_r$ : Ganancia del receptor.
- $\lambda$ : Longitud de onda de la señal recibida. (m)

**Definición 1.22 — Potencia capturada.** Potencia disponible en las terminales de salida de la antena receptora. La potencia capturada es directamente proporcional a la densidad de potencia recibida y al área de captura de la antena receptora.

$$P_{cap} = \mathbb{P} \cdot A_{cap} \cdot G \quad (1.27)$$

Donde:

- $P_{cap}$ : Potencia capturada. (W)
- $\mathbb{P}$ : Densidad de potencia capturada. ( $W/m^2$ )
- $A_{cap}$ : Área capturada. ( $m^2$ )
- **G:** Ganancia.

**R** Recuerda que en todas las ecuaciones se debe trabajar con unidades **lineales**. Esto significa que todos los decibelios que nos da los problemas deben ser transformadas a sus equivalentes lineales para poder usar las ecuaciones dadas a lo largo de este capítulo.

## 2. Tipos de antenas

### 2.1 Antena Dipolo

#### 2.1.1 Diseño de un dipolo

Vamos a diseñar un dipolo simétrico, usaremos una frecuencia de 93.5 MHz. Como vimos en teoría de la antena y usando la ecuación 1.1 calculamos la distancia de los brazos:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 m/s}{93.5 \times 10^6 Hz} = 3.20m \simeq 3200mm$$

Con  $\lambda$  calculado, podemos hallar nuestra longitud de la antena:

$$\frac{\lambda}{2} = 1600mm$$

Y la longitud de cada brazo es:

$$\frac{\lambda}{4} = 800mm$$

Ahora calcularemos el GAP<sup>1</sup>, el valor del GAP esta dado por la ecuación:

$$GAP = 0.01\lambda \quad (2.1)$$

Usando la ecuación 2.1 calculamos nuestro valor para el GAP:

$$GAP = 0.01(3200mm) = 32mm \approx 40mm$$

Aunque el valor nos salga 32mm, se aproxima al **múltiplo** de diez cercano o un número par. Esto ya es a criterio del ingeniero. En nuestro diseño lo hicimos a 40mm. Resumiendo

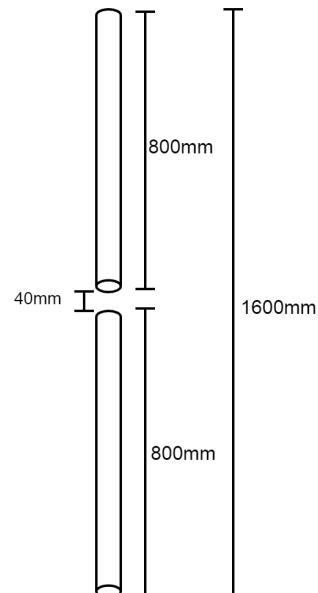


Figure 2.1: Longitudes del dipolo.

<sup>1</sup>Distancia entre los brazos del dipolo simétrico

los datos en la figura 2.1.

También necesitamos la caja de radiación, para esto solo agregamos la longitud de  $\lambda/4$  a todos los lados:

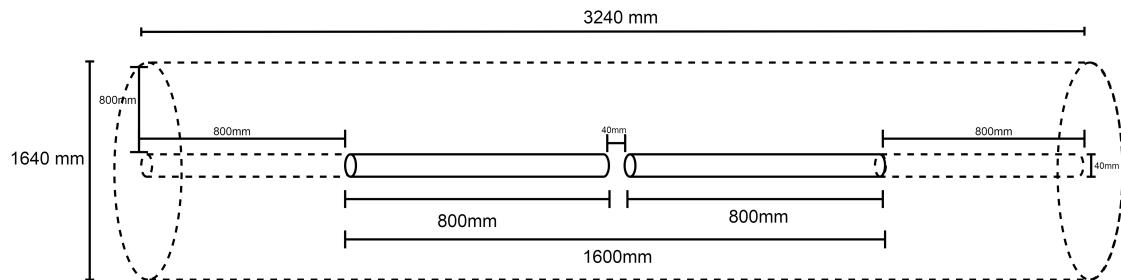
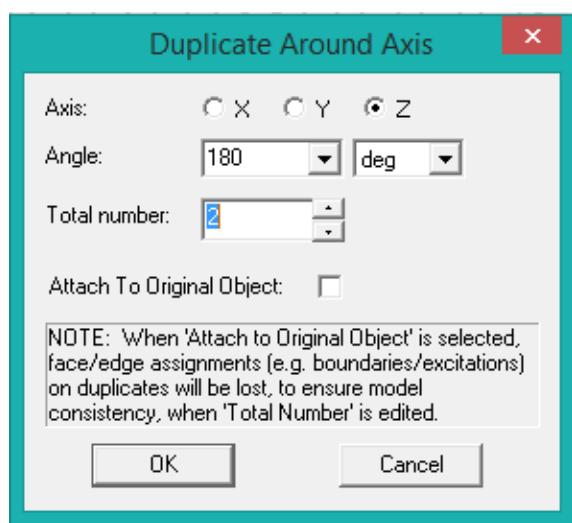
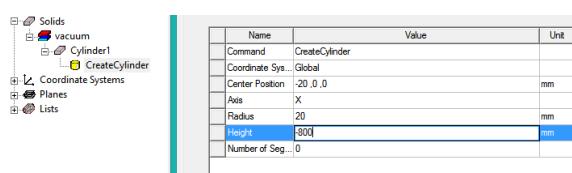
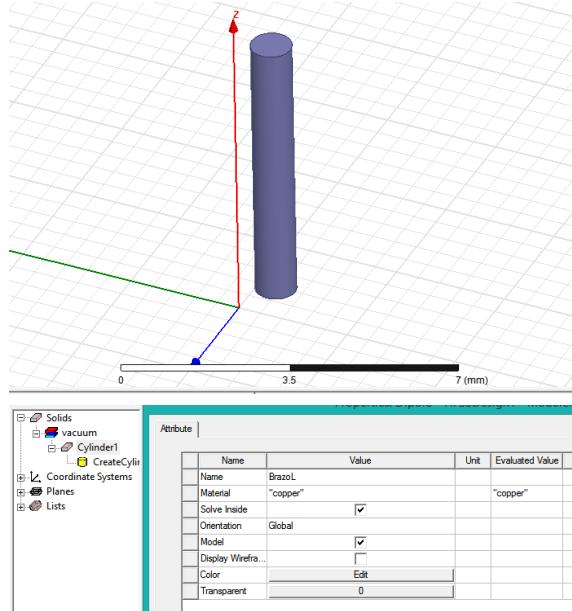


Figure 2.2: Caja de radiación.

■ **Notación 2.1** Nota que en la figura 2.1, si sumamos el GAP y longitud de ambos brazos no sale  $\lambda/2$ , estos valores van a ser modificador luego, son tan solo una aproximación.

Con esto ya calculado, llevamos la antena al ANSYS:



### Creamos un cilindro

En un nuevo proyecto creamos un cilindro, no importa el tamaño porque luego lo editaremos.

### Cambiamos las propiedades

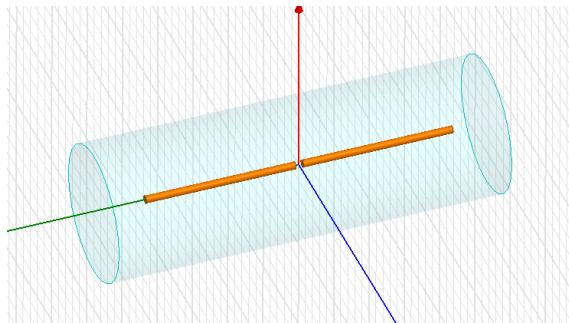
En el panel de objetos doble click en *cylinder1* y cambiamos el nombre, material y color. Aceptar.

### Dimensiones

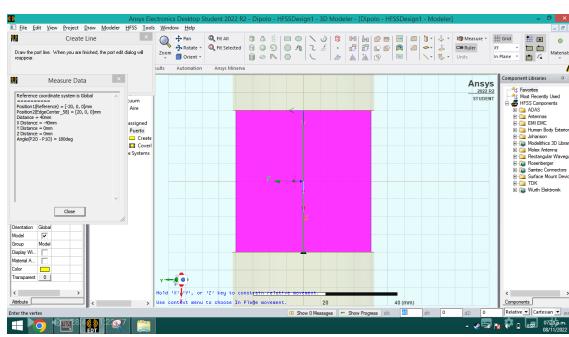
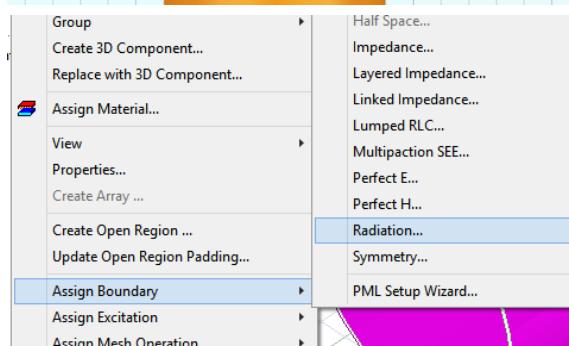
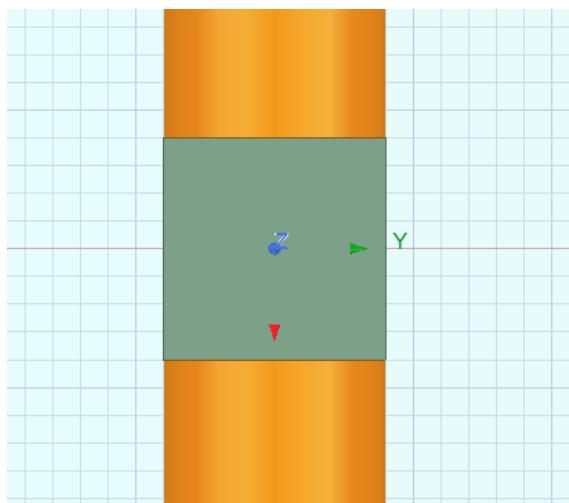
Desplegamos el otro menu bajo *BrazoL* y clickamos en *CreateCylinder*. Modificamos las dimensiones de acuerdo a lo calculado arriba. *Center Position* es un punto relativo al cual vamos a trabajar (a modo de anclaje), aquí colocaremos la mitad del GAP, *Radius* 20, pues nuestro diámetro es 40 y *Height* ponemos -800, recuerda que es un dipolo, si lo situamos en el origen un brazo irá hacia los positivos y el otro hacia el negativo.

### Duplicamos el brazoL

Seleccionando nuestro cilindro, vamos a *Edit>Duplicate>Around Axis*, configuramos como la imagen y OK.



Name	Value
Command	CreateCylinder
Coordinate Sys...	Global
Center Position	1640, 0, 0
Axis	X
Radius	820
Height	-3240
Number of Seg...	0



## Creamos la caja de radiación

Creamos un cilindro que cubra nuestra antena. Si la orientación del cilindro causase problemas, asegurate que el plano de referencia en la barra de herramientas este en **YZ**. Cambiamos su nombre a “aire”, material: vacuum, color celeste y transparencia 0.9.

## Ajustamos la caja de radiación

Vamos a *Create Cylinder*. *Center Position*: Mitad del largo de la caja de radiación (1620); *Radius*: mitad del diámetro (820) y *Height*: Menos la longitud de la caja de radiación (-3240).

## Creación de puerto

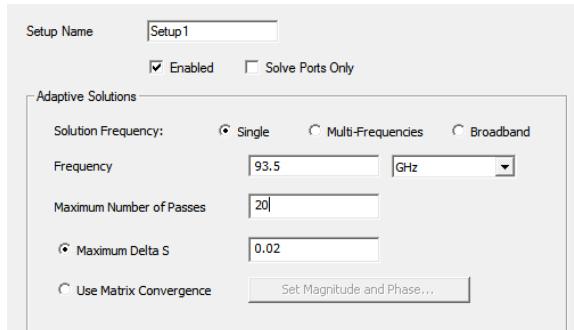
Creamos un rectángulo en el espacio libre que dejamos entre ambas brazos. Le cambiamos el nombre a “Puerto” y cambiamos el color.

## Fronteras

Click derecho en “aire”>Assign boundary>Radiation

## Excitación

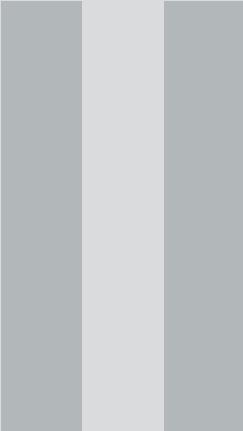
Click derecho en “puerto”>Assign excitation>Port>Lumped port. Aceptamos la impedancia de 50 ohms. En la siguiente pantalla, en la columna *integration line* seleccionamos *new line*. Seleccionamos la mitad de nuestro puerto, asegurándonos que se muestre un triángulo como en la figura. Damos aceptar y finalizar.



### Análisis

En la ventana de *project manager*>*Analysis* (click derecho) > *Add solution* *setup*>*Advanced*. Colocamos nuestra frecuencia de trabajo y aceptar. En la siguiente ventana damos aceptar. Validamos el proyecto<sup>2</sup> y *Analyze all*. Esperamos que termine.

## 2.2 Antena Marconi



# **Internetworking 2**

<b>3</b>	<b>Unidad I .....</b>	<b>29</b>
3.1	Protocolo spanning tree .....	29
3.2	Tecnología EtherChannel .....	32
3.3	Conceptos de routing .....	36
3.4	Routing estático .....	40
3.5	Routing dinámico .....	42
3.6	NAT para IPv4 .....	44
<b>4</b>	<b>Unidad II .....</b>	<b>49</b>
4.1	Tecnología WAN .....	49



### 3. Unidad I

#### 3.1 Protocolo spanning tree

Las redes comutadas, por lo general, tienen rutas redundantes y enlaces redundantes incluso entre los mismos dos dispositivos. Las rutas redundantes eliminan un punto de falla único para mejorar la confiabilidad y disponibilidad. Las rutas redundantes pueden causar bucles de capa 2 físicos y lógicos.

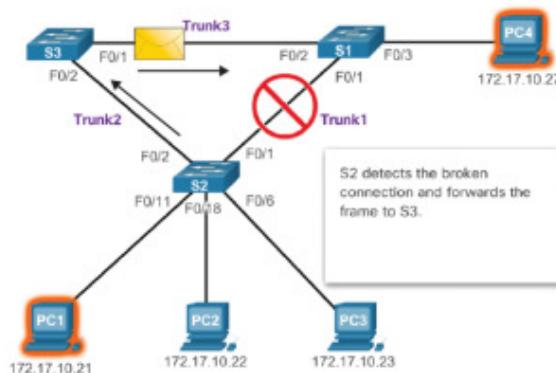


Figure 3.1: Camino redundante de PC1 a PC4 en caso falle una ruta.

El algoritmo **Spanning Tree** (árbol de expansión) se utiliza en los switches para prevenir los bucles lógicos que pueden aparecer en una red. Los bucles se producen cuando existen varios caminos distintos entre dos puntos de la red y su efecto es que las tramas pueden circular de forma indefinida atrapadas en un bucle sin conseguir alcanzar su destino, lo que además afectará negativamente al rendimiento de la red. El algoritmo *Spanning Tree* ayuda a los switches a elegir el camino más idóneo y, por tanto, elimina los bucles.

- **Notación 3.1** El protocolo *spanning tree* está detallado especificado en el estándar *IEEE 802.1D*. Existe su variante con funcionamiento optimizado: *spanning tree rápido-IEEE 802.1w*

##### 3.1.1 Problemas con la redundancia de capa 1

Los problemas con los bucles son:

- **Inestabilidad de la base de datos MAC:** Las tramas de ethernet no poseen Tiempo de duración, como el encabezado IP de capa 3. Esto significa que Ethernet no tiene ni un mecanismo para descartar las tramas que se propagan innecesariamente. El bucle empieza de la siguiente manera; observando la imagen 3.2:

1. PC1 envía un marco de transmisión a S2. S2 recibe el marco de transmisión en F0/11. Cuando S2 recibe la trama de transmisión, actualiza su tabla de direcciones MAC para registrar que la PC1 está disponible en el puerto F0/11.
2. Debido a que es una trama de transmisión, S2 reenvía la trama por todos los puertos, incluidos Trunk1 y Trunk2. Cuando la trama de transmisión llega a S3 y S1, los switches actualizan sus tablas de direcciones MAC para indicar que PC1 está disponible en el puerto F0/1 en S1 y en el puerto F0/2 en S3.
3. Debido a que es una trama de transmisión, S3 y S1 reenvían la trama por todos los puertos excepto el puerto de entrada. S3 envía el marco de transmisión de PC1 a S1. S1 envía el marco de transmisión de PC1 a S3. Cada conmutador actualiza su tabla de direcciones MAC con el puerto incorrecto para PC1.
4. Cada conmutador reenvía la trama de difusión por todos sus puertos excepto el puerto de entrada, lo que hace que ambos conmutadores reenvíen la trama a S2.
5. Cuando S2 recibe las tramas de transmisión de S3 y S1, la tabla de direcciones MAC se actualiza con la última entrada recibida de los otros dos conmutadores.
6. S2 reenvía la trama de transmisión por todos los puertos excepto el último puerto recibido. El ciclo comienza de nuevo.

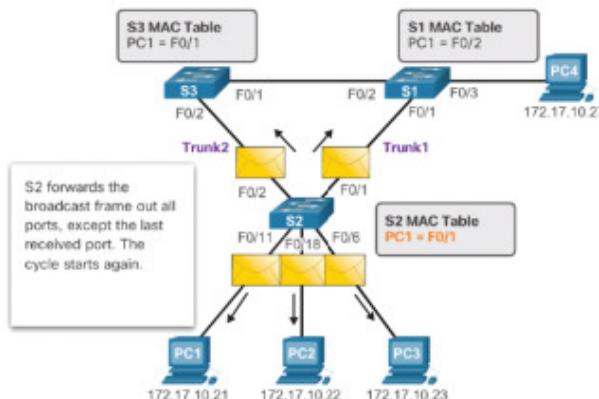


Figure 3.2: Momento 6 del bucle.

Debido a los cambios constantes en la tabla de direcciones MAC, los switches S3 y S1 no saben a qué puerto reenviar las tramas.

- **Tormenta de difusión:** Si no controlamos el problema anterior, las demás computadoras también deben mandar primero sus marcos de transmisión, y el problema de inestabilidad se acrecentará, esto se refleja en el sistema como varios tramas de transmisión atrapados en la red, **consumiendo ancho de banda** y hasta saturándola. Haciendo que sea imposible el envío de datos legítimos de comunicación. Si no hay ancho de banda útil para el envío de información, la red no estará disponible causando una denegación de servicio efectiva (DoS).

Hay otras consecuencias de las tormentas de transmisión. Debido a que el tráfico de difusión se reenvía a todos los puertos de un conmutador, todos los dispositivos

conectados tienen que procesar todo el tráfico de difusión que se inunda sin cesar alrededor de la red en bucle. Esto puede hacer que el dispositivo final no funcione correctamente debido a los requisitos de procesamiento necesarios para soportar una carga de tráfico tan alta en la NIC.

Secuencia de eventos:

1. PC1 envía una trama de transmisión a la red en bucle (Inestabilidad en la base de datos MAC).
2. La trama de transmisión se repite entre todos los comutadores interconectados en la red.
3. La PC4 también envía una trama de transmisión a la red en bucle.
4. La trama de transmisión PC4 queda atrapada en el bucle entre todos los comutadores interconectados, al igual que la trama de transmisión PC1.
5. A medida que más dispositivos envían transmisiones a través de la red, más tráfico queda atrapado en el bucle y consume recursos. Esto eventualmente crea una tormenta de transmisión que hace que la red falle.
6. Cuando la red está totalmente saturada con el tráfico de difusión que circula entre los comutadores, el comutador descarta el tráfico nuevo porque no puede procesarlo. La Figura 3.3 muestra la tormenta de difusión resultante.

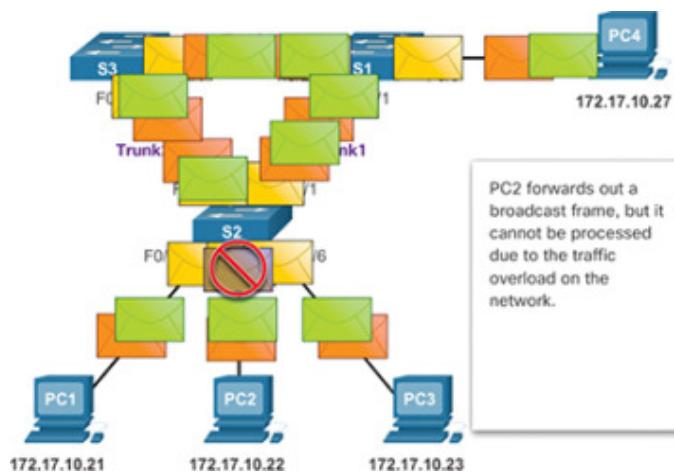


Figure 3.3: Tormenta de difusión

Una tormenta de transmisión puede desarrollarse en segundos porque los dispositivos conectados a una red envían regularmente tramas de transmisión, como solicitudes ARP. Como resultado, cuando se crea un bucle, la red comutada se desconecta rápidamente.

- **Tramas de unidifusión duplicadas:** Una trama de unidifusión desconocida se produce cuando el switch no tiene la dirección MAC de destino en la tabla de direcciones MAC y debe difundir la trama a todos los puertos, excepto el puerto en el que se recibió la trama (puerto de ingreso). Si se envían tramas de unidifusión desconocidas a una red con bucles, se puede producir la llegada de tramas duplicadas al dispositivo de destino.

Secuencia de eventos:

1. PC1 envía una trama de unidifusión destinada a PC4.
2. S2 no tiene una entrada para PC4 en su tabla MAC. En un intento por encontrar la PC4, inunda la trama de unidifusión desconocida de todos los puertos del

- switch excepto el puerto que recibió el tráfico.
3. La trama llega a los conmutadores S1 y S3.
  4. S1 tiene una entrada de dirección MAC para PC4, por lo que reenvía la trama a PC4.
  5. S3 tiene una entrada en su tabla de direcciones MAC para PC4, por lo que reenvía la trama de unidifusión de Trunk3 a S1.
  6. S1 recibe la trama duplicada y la reenvía a la PC4.
  7. PC4 ahora ha recibido el mismo marco dos veces.

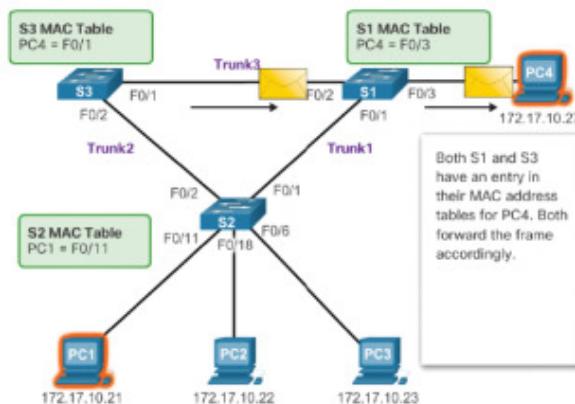


Figure 3.4: S1 y S3 envian una trama duplicada a la PC4.

## 3.2 Tecnología EtherChannel

### 3.2.1 Funcionamiento

Hay escenarios en los que se necesita más ancho de banda o redundancia entre dispositivos que lo que puede proporcionar un único enlace. Se pueden conectar varios enlaces entre dispositivos para aumentar el ancho de banda. Sin embargo, el protocolo de árbol de expansión (STP), que está habilitado en dispositivos de **capa 2** como switches. Cisco de forma predeterminada, bloqueará enlaces redundantes para evitar bucles de conmutación. Se necesita una tecnología de agregación de enlaces que permita **vínculos redundantes** entre dispositivos que **no serán bloqueados por STP**. Esa tecnología se conoce como EtherChannel.

EtherChannel es una tecnología de agregación de enlaces que **agrupa** varios enlaces físicos Ethernet en un único enlace lógico. Se utiliza para proporcionar tolerancia a fallos, uso compartido de carga, mayor ancho de banda y redundancia entre switches, routers y servidores. La tecnología de EtherChannel hace posible combinar la cantidad de enlaces físicos entre los switches para aumentar la velocidad general de la comunicación switch a switch.

En los inicios, Cisco desarrolló la tecnología EtherChannel como una técnica switch a switch LAN para **agrupar** varios puertos Fast Ethernet o gigabit Ethernet en un único canal lógico. Cuando se configura un EtherChannel, la interfaz virtual resultante se denomina “canal de puertos” (*port channel*). Las interfaces físicas se agrupan en una interfaz de canal de puertos, como se muestra en la figura 3.5.

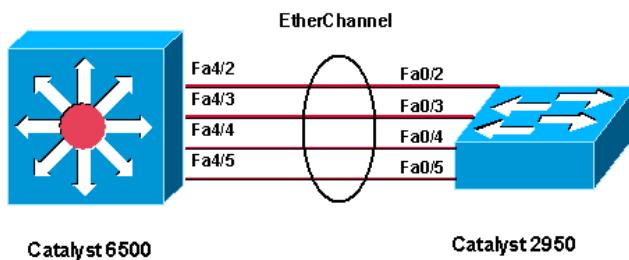


Figure 3.5: Tecnología EtherChannel

### 3.2.2 Ventajas de EtherChannel

- La mayoría de las tareas de configuración se pueden realizar en la interfaz EtherChannel en lugar de en cada puerto individual, lo que asegura la coherencia de configuración en todos los enlaces.
- EtherChannel depende de los puertos de switch existentes. No es necesario actualizar el enlace a una conexión más rápida y más costosa para tener más ancho de banda.
- El equilibrio de carga ocurre entre los enlaces que forman parte del mismo EtherChannel.
- EtherChannel crea una agregación que se ve como un único enlace lógico. Cuando existen varios grupos EtherChannel entre dos switches, STP puede bloquear uno de los grupos para evitar los bucles de switching. Cuando STP bloquea uno de los enlaces redundantes, bloquea el EtherChannel completo. Esto bloquea todos los puertos que pertenecen a ese enlace EtherChannel. Donde solo existe un único enlace EtherChannel, todos los enlaces físicos en el EtherChannel están activos, ya que STP solo ve un único enlace (lógico).
- EtherChannel proporciona redundancia, ya que el enlace general se ve como una única conexión lógica. Además, la pérdida de un enlace físico dentro del canal no crea ningún cambio en la topología.

### 3.2.3 Restricciones

- No pueden mezclarse los tipos de interfaz. Por ejemplo, Fast Ethernet y Gigabit Ethernet no se pueden mezclar dentro de un único EtherChannel.
- En la actualidad, cada EtherChannel puede constar de hasta ocho puertos Ethernet configurados de manera compatible. El EtherChannel proporciona un ancho de banda full-duplex de hasta 800 Mbps (Fast EtherChannel) u 8 Gbps (Gigabit EtherChannel) entre un switch y otro switch o host.
- El switch Cisco Catalyst 2960 Layer 2 soporta actualmente hasta seis EtherChannels.
- La configuración de los puertos individuales que forman parte del grupo EtherChannel debe ser coherente en ambos dispositivos. Si los puertos físicos de un lado se configuran como enlaces troncales, los puertos físicos del otro lado también se deben configurar como enlaces troncales dentro de la misma VLAN nativa. Además, todos los puertos en cada enlace EtherChannel se deben configurar como puertos de capa 2.
- Cada EtherChannel tiene una interfaz de canal de puertos lógica, la configuración aplicada a la interfaz de canal de puertos afecta a todas las interfaces físicas que se asignan a esa interfaz.

## Protocolos de negociación automática

Los EtherChannels se pueden formar por medio de una negociación con uno de dos protocolos: Port Aggregation Protocol (PAgP) o Link Aggregation Control Protocol (LACP). Estos protocolos permiten que los puertos con características similares formen un canal mediante una negociación dinámica con los switches adyacentes.

### 3.2.4 Funcionamiento del PAgP

PAgP (pronunciado “Pag - P”) es un protocolo patentado por Cisco que ayuda en la creación automática de enlaces EtherChannel. Cuando se configura un enlace EtherChannel mediante PAgP, se envían paquetes PAgP entre los puertos aptos para EtherChannel para negociar la formación de un canal. Cuando PAgP identifica enlaces Ethernet compatibles, agrupa los enlaces en un EtherChannel. El EtherChannel después se agrega al árbol de expansión como un único puerto.

Cuando se habilita, PAgP también administra el EtherChannel. Los paquetes PAgP se envían cada 30 segundos. PAgP revisa la coherencia de la configuración y administra los enlaces que se agregan, así como las fallas entre dos switches. Cuando se crea un EtherChannel, asegura que todos los puertos tengan el mismo tipo de configuración.

- **Notación 3.2** En EtherChannel, es obligatorio que todos los puertos tengan la misma velocidad, la misma configuración de dúplex y la misma información de VLAN. Cualquier modificación de los puertos después de la creación del canal también modifica a los demás puertos del canal.

### 3.2.5 PAgP

PAgP ayuda a crear el enlace EtherChannel al detectar la configuración de cada lado y asegurarse de que los enlaces sean compatibles, de modo que se pueda habilitar el enlace EtherChannel cuando sea necesario. Los modos de PAgP de la siguiente manera:

- **Encendido:** Este modo obliga a la interfaz a proporcionar un canal sin PAgP. Las interfaces configuradas en el modo encendido no intercambian paquetes PAgP.
- **PAgP deseable:** Este modo PAgP coloca una interfaz en un estado de negociación activa en el que la interfaz inicia negociaciones con otras interfaces al enviar paquetes PAgP.
- **PAgP auto:** Este modo PAgP coloca una interfaz en un estado de negociación pasiva en el que la interfaz responde a los paquetes PAgP que recibe, pero no inicia la negociación PAgP.

Los modos deben ser compatibles en cada lado. Si se configura un lado en modo automático, se coloca en estado pasivo, a la espera de que el otro lado inicie la negociación del EtherChannel. Si el otro lado se establece en modo automático, la negociación nunca se inicia y no se forma el canal EtherChannel. Si se deshabilitan todos los modos mediante el comando **no** o si no se configura ningún modo, entonces se deshabilita el EtherChannel. El modo *encendido* coloca manualmente la interfaz en un EtherChannel, sin ninguna negociación. Funciona solo si el otro lado también se establece en modo encendido. Si el otro lado se establece para negociar los parámetros a través de PAgP, no se forma ningún EtherChannel, ya que el lado que se establece en modo *encendido* no negocia. El hecho de que no haya negociación entre los dos switches significa que no hay un control, para asegurarse de que todos los enlaces en el EtherChannel terminen del otro lado o de que haya compatibilidad con PAgP en el otro switch.

S1	S2	Establecimiento del canal
On	On	Sí
On	Desirable/Auto	No
Desirable	Desirable	Sí
Desirable	Auto	Sí
Auto	Desirable	Sí
Auto	Auto	No

Table 3.1: Combinación PAgP y el resultado del establecimiento.

### 3.2.6 LACP

LACP forma parte de una especificación IEEE (802.3ad) que permite agrupar varios puertos físicos para formar un único canal lógico. LACP permite que un switch negocie un grupo automático mediante el envío de paquetes LACP al otro switch. Realiza una función similar a PAgP con EtherChannel de Cisco. Debido a que LACP es un estándar IEEE, se puede usar para facilitar los EtherChannels en entornos de varios proveedores. En los dispositivos de Cisco, se admiten ambos protocolos.

LACP proporciona los mismos beneficios de negociación que PAgP. LACP ayuda a crear el enlace EtherChannel al detectar la configuración de cada lado y al asegurarse de que sean compatibles, de modo que se pueda habilitar el enlace EtherChannel cuando sea necesario. Los modos para LACP son los siguientes:

- **On:** Este modo obliga a la interfaz a proporcionar un canal sin LACP. Las interfaces configuradas en el modo encendido no intercambian paquetes LACP.
- **LACP active:** Este modo de LACP coloca un puerto en estado de negociación activa. En este estado, el puerto inicia negociaciones con otros puertos mediante el envío de paquetes LACP.
- **LACP passive:** Este modo de LACP coloca un puerto en estado de negociación pasiva. En este estado, el puerto responde a los paquetes LACP que recibe, pero no inicia la negociación de paquetes LACP.

S1	S2	Establecimiento del canal
On	On	Sí
On	Active/Passive	No
Active	Active	Sí
Active	Passive	Sí
Passive	Active	Sí
Passive	Passive	No

Table 3.2: Diversas combinaciones de modos LACP en S1 y S2 y el resultado resultante del establecimiento de canales.

### 3.2.7 Pautas y restricciones para la configuración

- **EtherChannel support:** Todas las interfaces Ethernet deben admitir EtherChannel, sin necesidad de que las interfaces sean físicamente contiguas
- **Speed and duplex:** Configure todas las interfaces en un EtherChannel para que funcionen a la misma velocidad y en el mismo modo dúplex.

- **VLAN match:** Todas las interfaces en el grupo EtherChannel se deben asignar a la misma VLAN o se deben configurar como enlace troncal (mostrado en la figura).
- **Rango de VLAN:** Un EtherChannel admite el mismo rango permitido de VLAN en todas las interfaces de un EtherChannel de enlace troncal. Si el rango permitido de VLAN no es el mismo, las interfaces no forman un EtherChannel, incluso si se establecen en modo auto o deseable .

## 3.3 Conceptos de routing

El routing es la capacidad de buscar la ruta correcta para mover o transferir paquetes de información entre una o varias redes de Internet. Para hacer routing se necesitan de routers, estos son computadoras especializadas que poseen componentes como:

- Unidad central de procesamiento (CPU)
- Sistema operativo (OS): los routers utilizan IOS de Cisco
- Memoria y almacenamiento (RAM, ROM, NVRAM, flash, disco duro)
- Tarjetas de interfaz de red

Estos se pueden enlazar mediante puertos para interconectarse con otras redes.

Memoria	Volátil/no volátil	Almacena
RAM	Volátil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IOS en ejecución</li> <li>• Archivo de configuración en ejecución</li> <li>• Enrutamiento de IP y tablas ARP</li> <li>• Buffer de paquetes</li> </ul>
ROM	No volátil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instrucciones de arranque</li> <li>• Software básico de diagnóstico</li> <li>• IOS limitado</li> </ul>
NVRAM	No volátil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Archivo de configuración de inicio</li> </ul>
Flash	No volátil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IOS (Sistema operativo de Internetworking)</li> <li>• Otros archivos de sistema</li> </ul>

Figure 3.6: Memorias del router

Más adelante se estudiará las ruta estática y los protocolos de routing dinámico para descubrir redes remotas y crear sus tablas de routing. La tabla de routing ayuda a determinar la mejor ruta para enviar paquetes. Los paquetes son encapsulados y se envían en cada interfaz indicada en la tabla de routing.

### 3.3.1 Funciones de routing

- **Conectar redes y administrar el tráfico de ellas:** El router es el responsable del routing, capacidad de reenviar paquetes IP desde una red a otra, del tráfico entre redes. Los routers encapsulan los paquetes y los reenvían a la interfaz indicada en la tabla de routing. Los métodos de reenvío de paquetes son:
  - Switching de procesos: es un mecanismo de reenvío de paquetes más antiguo que todavía está disponible para routers Cisco.
  - Switching rápido: es un mecanismo común de reenvío de paquetes que usa una memoria caché de switching rápido para almacenar la información de siguiente salto.
  - Cisco Express Forwarding: Es el mecanismo más reciente, más rápido y más utilizado de CISCO.
- **Aceleración de datos entre redes:** Los routers son capaces de utilizar las tablas de routing para determinar cuál es la mejor ruta para enviar paquetes. Pueden emplear

### Encapsulación y desencapsulación de paquetes

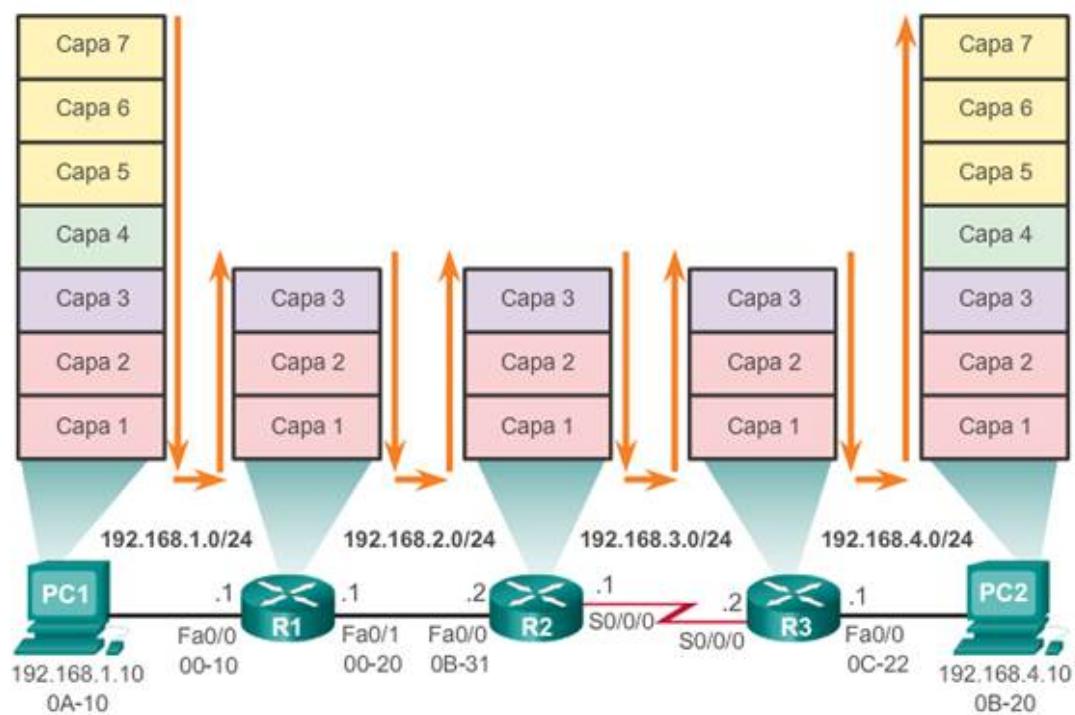


Figure 3.7: Encapsulación de paquetes.

rutas estáticas o dinámicas para descubrir redes remotas.

- **Creación de tabla de routing:** La tabla de routing es el listado de todas las posibles rutas de la red. Cuando un router recibe paquetes IP que deben enviarse a otro lugar de la red, mira la dirección IP de destino del paquete y, luego, busca la información de routing en la tabla de routing.
- **Seguridad de red:** El router sirve como un firewall, lo que restringe el acceso de cualquier persona que no esté autorizada. Esto se hace con claves de seguridad similares a las contraseñas, sólo los dispositivos precargados con la clave de seguridad o usadas por usuarios que pueden ingresar la contraseña correcta, tienen acceso a la red

### 3.3.2 Conexión de dispositivos

Para conectar los dispositivos en los routers se debe hacer uso de:

- **Gateways predeterminadas:** Para habilitar el acceso a la red, los dispositivos deben estar configurados con la siguiente información de direcciones IP.
  - **Dirección IP:** Identifica a un host único en una red local.
  - **Máscara de subred:** Identifica a la subred de la red del host.
  - **Gateway predeterminado:** Identifica al router al que se envía un paquete cuando el destino no está en la misma subred de la red local.
- **Habilitar IP en un host:** La dirección IP puede ser asignada en forma estática o dinámica.
  - Estática: Manualmente. Al host se le asigna manualmente una dirección IP, una máscara de subred y un gateway predeterminado. También se puede asignar la dirección IP de un servidor DNS. Se utiliza para identificar recursos de red específicos, como servidores de red e impresoras. Se puede utilizar en redes muy pequeñas con pocos hosts.
  - Dinámica: Un servidor asigna en forma dinámica la información de la dirección IP utilizando el **protocolo de configuración dinámica de hosts** (DHCP). La mayoría de los hosts obtienen la información de su dirección IP mediante DHCP. Los routers Cisco pueden proporcionar servicios DHCP.
- **Acceso a la consola:**
  - Puerto de computadora: Puerto serie y puerto USB tipo A
  - Cable requerido: Cable de consola, Adaptador de puerto serie USB a RS232 y Cable USB tipo A a USB tipo B.
  - Puerto en el ISR: Puerto de consola RJ-45 y Puerto de consola USB Tipo B
  - Emulación del terminal: Tera Term o PuTTY.
- **Habilitar IP en in switch**

### 3.3.3 Verificación de la conectividad de redes conectadas directamente

Existen diferentes métodos para comprobar la conectividad entre dos redes conectadas:

#### 3.3.3.1 Prueba de stack

1. **PING:** El comando ping es una manera efectiva de probar la conectividad. La prueba se denomina prueba de stack de protocolos, porque el comando ping se mueve desde la Capa 3 del Modelo OSI hasta la Capa 2 y luego hacia a la Capa. El ping utiliza el

protocolo ICMP (Protocolo de mensajes de control de Internet) para comprobar la conectividad.

2. **Indicadores de ping IOS:** Un ping de IOS cederá a una de varias indicaciones para cada eco ICMP enviado. Los indicadores más comunes son: ! - indica la recepción de una respuesta de eco ICMP . - indica un límite de tiempo cuando se espera una respuesta U - se recibió un mensaje ICMP inalcanzable
3. **Prueba de loopback:** A modo de primer paso en la secuencia de prueba, se utiliza el comando ping para verificar la configuración IP interna en el host local. Recuerde que esta prueba se cumple con el comando ping en una dirección reservada denominada loopback (127.0.0.1). Esto verifica la correcta operación del stack de protocolos desde la capa de Red a la capa Física, y viceversa, sin colocar realmente una señal en el medio.

### 3.3.3.2 Asignación de interfaz

Del mismo modo que se usan comandos y utilidades para verificar la configuración de un host, se deben aprender los comandos para verificar las interfaces de dispositivos intermediarios. El IOS provee comandos para verificar la operación de interfaces de router y switch.

1. **Verificación de interfaz de router:** Uno de los comandos más utilizados es el comando show ip interface brief. Este proporciona un resultado más abreviado que el comando show ip interface. Ofrece además un resumen de la información clave de todas las interfaces.
2. **Prueba red local:** La siguiente prueba de la secuencia corresponde a los hosts en la LAN local. Al hacer ping a los hosts remotos satisfactoriamente se verifica que tanto el host local (en este caso, el router) como el host remoto estén configurados correctamente. Esta prueba se realiza al hacer ping a cada host en forma individual en la LAN. Si un host responde con el mensaje "Destination Unreachable" (destino inalcanzable), observe qué dirección no fue satisfactoria y continúe haciendo ping a los otros hosts de la LAN. Otro mensaje de falla es "Request Timed Out" (la petición ha expirado). Indica que no hubo respuesta al intento del ping en el período de tiempo predeterminado, lo cual indica que el problema puede estar en la latencia de red.

### 3.3.4 Determinación de ruta

#### 3.3.4.1 Función determinación de ruta

La función de determinación de ruta es el proceso según el cual el router determina qué ruta usar cuando envía un paquete. Para determinar la mejor ruta, el router **busca** en su tabla de enrutamiento una dirección de red que coincida con la dirección IP de destino del paquete. El resultado de esta búsqueda es una de tres determinaciones de ruta:

- **Red conectada directamente:** si la dirección IP de destino del paquete pertenece a un dispositivo en una red que está directamente conectado a una de las interfaces del router, ese paquete se envía directamente a ese dispositivo. Esto significa que la dirección IP de destino del paquete es una dirección host en la misma red que la interfaz de este router.
- **Red remota:** si la dirección IP de destino del paquete pertenece a una red remota, entonces el paquete se envía a otro router. Las redes remotas sólo se pueden alcanzar mediante el envío de paquetes a otro router.

- **Sin determinación de ruta:** si la dirección IP de destino del paquete no pertenece ya sea a una red conectada o remota, y si el router no tiene una ruta por defecto, entonces el paquete se descarta. El router envía un mensaje ICMP de destino inalcanzable a la dirección IP de origen del paquete. En los primeros dos resultados, el router vuelve a encapsular el paquete IP en el formato de la trama de enlace de datos de Capa 2 de la interfaz de salida. El tipo de interfaz determina el tipo de encapsulación de Capa 2. Por ejemplo, si la interfaz de salida es FastEthernet, el paquete se encapsula en una trama de Ethernet. Si la interfaz de salida es una interfaz serial configurada para PPP, el paquete IP se encapsula en una trama PPP.

### 3.3.4.2 Función de conmutación

La función de conmutación es el proceso utilizado por un router para **aceptar** un paquete en una interfaz y **enviarlo** desde otra interfaz. Una responsabilidad clave de la función de conmutación es la de **encapsular** los paquetes en el tipo de trama de enlace de datos correcto para el enlace de datos de salida.

## 3.4 Routing estático

Router(config)# ip route network-address subnet-mask {ip-address   exit-intf}	
Parámetro	Descripción
dirección-red	Dirección de la red de destino de la red remota que será agregada a la tabla de enrutamiento.
máscara-subred	<ul style="list-style-type: none"> <li>Máscara de subred de la red remota que será agregada a la tabla de enrutamiento.</li> <li>La máscara de subred puede modificarse para resumir un grupo de redes.</li> </ul>
dirección-ip	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se le denomina comúnmente como dirección IP del router del siguiente salto.</li> <li>Suele utilizarse para la conexión a un medio de difusión (es decir, Ethernet).</li> <li>Por lo general, crea una búsqueda recursiva.</li> </ul>
interfaz-salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Use la interfaz de salida para reenviar paquetes a la red de destino.</li> <li>También se la denomina "ruta estática conectada directamente".</li> <li>Suele utilizarse para conectarse en una configuración punto a punto.</li> </ul>

Figure 3.8: Sintaxis comando *IP route*.

El enrutamiento estático proporciona un método que otorga a los ingenieros de redes **control absoluto** sobre las rutas por las que se transmiten los datos en una internetwork. Para adquirir este control, en lugar de configurar protocolos de enrutamiento dinámico para que creen las tablas de enrutamiento, se crean manualmente. Es importante entender las ventajas y desventajas de la implementación de rutas estáticas, porque se utilizan extensamente en internetworks pequeñas y para establecer la conectividad con proveedores de servicios. Es posible que se crea que el enrutamiento estático es sólo un método antiguo de enrutamiento y que el enrutamiento dinámico es el único método usado en la actualidad. Esto no es así, además, se destaca que escribir una ruta estática en un router no es más que especificar una ruta y un destino en la tabla de enrutamiento, y que los protocolos de enrutamiento hacen lo mismo, sólo que de manera automática. Sólo hay dos maneras de completar una tabla de enrutamiento: manualmente (el administrador agrega rutas estáticas) y automáticamente (por medio de protocolos de enrutamiento dinámico).

- Facilita el mantenimiento de la tabla de enrutamiento en redes más pequeñas en las

cuales no está previsto que crezcan significativamente.

- Proporciona routing hacia las redes de rutas internas y desde estas. Una red de rutas internas es aquella a la cual se accede a través de una única ruta y cuyo router tiene solo un vecino.
- Utiliza una única ruta predeterminada para representar una ruta hacia cualquier red que no tenga una coincidencia más específica con otra ruta en la tabla de routing.

### 3.4.1 Tipos de rutas estáticas

Las rutas estáticas suelen usarse con más frecuencia para conectarse a una red específica o para proporcionar un gateway de último recurso para una red de rutas internas. También pueden utilizarse para lo siguiente:

- Para reducir el número de rutas anunciadas mediante el resumen de varias redes contiguas como una sola ruta estática
- Para crear una ruta de respaldo en caso de que falle un enlace de la ruta principal

#### Ruta estática predeterminada

IPv4 e IPv6 admiten la configuración de rutas estáticas. Las rutas estáticas son útiles para conectarse a una red remota específica.

#### Ruta estática predeterminada

Una ruta por defecto o predeterminada, es una ruta que coincide con **todos los paquetes** y es utilizada por el router si un paquete no coincide con ninguna otra ruta más específica en la tabla de routing. Además, puede ser aprendida de forma dinámica o configurada de manera estática. Una ruta estática predeterminada es simplemente una ruta estática con **0.0.0.0/0** como dirección IPv4 de destino. Al configurar una ruta estática predeterminada, se crea un gateway de último recurso. Las rutas estáticas predeterminadas se utilizan en los siguientes casos:

- Cuando ninguna otra ruta de la tabla de routing coincide con la dirección IP destino del paquete. En otras palabras, cuando no existe una coincidencia más específica. Se utilizan comúnmente cuando se conecta un router periférico de una compañía a la red ISP.
- Cuando un router tiene otro router único al que está conectado. En esta situación, se conoce al router como router de rutas internas.

#### Rutas estática resumida

Para reducir el número de entradas en la tabla de routing, se pueden resumir varias rutas estáticas en una única ruta estática si se presentan las siguientes condiciones:

- Las redes de destino son contiguas y se pueden resumir en una única dirección de red.
- Todas las rutas estáticas utilizan la misma interfaz de salida o la dirección IP del siguiente salto.

#### Ruta estática flotante

Las rutas estáticas flotantes son rutas estáticas que se utilizan para proporcionar una ruta de **respaldo** a una ruta estática o dinámica principal, en el caso de una falla del enlace. La ruta estática flotante se utiliza únicamente cuando la ruta principal **no está disponible**. Para lograrlo, la ruta estática flotante se configura con una distancia administrativa mayor que la ruta principal. La distancia administrativa representa la **confiabilidad** de una ruta.

Si existen varias rutas al destino, el router elegirá la que tenga una menor distancia administrativa. Por ejemplo, suponga que un administrador desea crear una ruta estática flotante como respaldo de una ruta descubierta por EIGRP. La ruta estática flotante se debe configurar con una **distancia administrativa mayor** que el EIGRP. El EIGRP tiene una distancia administrativa de 90. Si la ruta estática flotante se configura con una distancia administrativa de 95, se prefiere la ruta dinámica descubierta por el EIGRP a la ruta estática flotante. Si se pierde la ruta descubierta por el EIGRP, en su lugar se utiliza la ruta estática flotante.

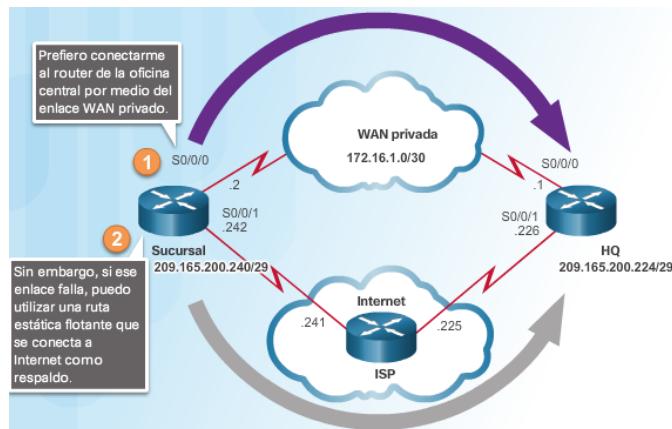


Figure 3.9: Ruta estática flotante.

## 3.5 Routing dinámico

### 3.5.1 Comparación entre routing dinámico y estático

#### Routing estático

1. Facilita el mantenimiento de la tabla de routing en redes más pequeñas
2. Realiza routing desde y hacia una red de rutas internas
3. Permite acceder a una única ruta predeterminada.
4. Fácil de implementar en redes pequeñas
5. Adecuado solamente para topologías simples o para fines específicos, como una ruta estática predeterminada.
6. Muy seguro.
7. No se envían anuncios, a diferencia del caso de los protocolos de routing dinámico.
8. La complejidad de la configuración aumenta notablemente a medida que crece la red.
9. La ruta hacia el destino siempre es la misma.
10. Se requiere intervención manual para volver a enrutar el tráfico.
11. Dado que no se requieren algoritmos de routing ni mecanismos de actualización, no se necesitan recursos adicionales (CPU o RAM).

#### Routing dinámico

1. Ayudan al administrador de red a administrar el proceso riguroso y lento de configuración y mantenimiento de rutas estáticas.
2. Adecuado en todas las topologías donde se requieren varios routers.
3. La implementación puede ser más compleja.
4. Por lo general, es independiente del tamaño de la red.

5. Menos seguro.
6. Se requieren opciones de configuración adicionales para proporcionarle protección.
7. Si es posible, adapta automáticamente la topología para volver a enrutar el tráfico.
8. La ruta depende de la topología actual.
9. Requiere CPU, RAM y ancho de banda de enlace adicionales.

En general, las operaciones de un protocolo de enrutamiento dinámico pueden describirse de la siguiente manera:

1. El router envía y recibe mensajes de enrutamiento en sus interfaces.
2. El router comparte mensajes de enrutamiento e información de enrutamiento con otros routers que están usando el mismo protocolo de enrutamiento.
3. Los routers intercambian información de enrutamiento para obtener información sobre redes remotas.
4. Cuando un router detecta un cambio de topología, el protocolo de enrutamiento puede anunciar este cambio a otros routers.

### 3.5.2 Routing dinámico vector distancia

“Vector distancia” significa que las rutas se anuncian proporcionando dos características:

- **Distancia:** identifica la distancia hasta la red de destino. Se basa en una métrica como el conteo de saltos, el costo, el ancho de banda y el retraso, entre otros.
- **Vector:** especifica el sentido en que se encuentra el router de siguiente salto o la interfaz de salida para llegar al destino.

### 3.5.3 Estado de enlace

A diferencia de la operación del protocolo de routing vector distancia, un router configurado con un protocolo de routing de estado de enlace puede crear una “vista completa” o una topología de la red al reunir información proveniente de todos los demás routers. Un router de estado de enlace usa la información de estado de enlace para crear un mapa de la topología y seleccionar la mejor ruta hacia todas las redes de destino en la topología. Los routers con RIP habilitado envían actualizaciones periódicas de su información de routing a sus vecinos. Los protocolos de enrutamiento de link-state no usan actualizaciones periódicas. Una vez que se produjo la convergencia de la red, la actualización del estado de enlace solo se envía cuando se produce un cambio en la topología. Cuando se produce un fallo en la red el router que detecta el error utiliza una dirección multicast para enviar una tabla LSA (anuncio de estado de enlace), cada router recibe y la reenvía a sus vecinos. La métrica utilizada se basa en el coste, que surge a partir del algoritmo de Dijkstra y se basa en la velocidad del enlace.

#### Ventajas

1. Los protocolos de estado de enlace solo envían actualizaciones cuando hay cambios en la topología.
2. Las actualizaciones periódicas son menos frecuentes que en los protocolos por vector de distancia.
3. Las redes que ejecutan protocolos de enrutamiento por estado de enlace pueden ser segmentadas en distintas áreas jerárquicamente organizadas, limitando así el alcance de los cambios de rutas.
4. Las redes que ejecutan protocolos de enrutamiento por estado de enlace soporta direccionamiento sin clase.

5. Las redes con protocolos de enrutamiento por estado de enlace soportan resúmenes de ruta.

## 3.6 NAT para IPv4

El término NAT es la abreviatura de *Network Address Translation* o direcciones de red. NAT es el proceso mediante el cual una o más direcciones locales (*local address*) se traducen en una más direcciones globales (*global IP address*) y viceversa, con el fin de proporcionar acceso a internet a los host locales.

Además de esto el NAT es el encargado de sustituir la red privada o *private network* por la IP pública del router, con el objetivo de facilitar el acceso a internet de los nodos en direcciones privadas, haciendo que los direccionamientos sean compatibles. Este router mantiene una tabla de conexiones para saber luego a quién se debe enviar los datos.

Este puede ser el caso de tu red doméstica y la red de Internet, siendo necesario el modo NAT para que puedas llegar a conectar a la red global y así recibir o enviar información a ella. Si lo has pensado, la mayoría de usuarios tenemos las mismas direcciones IP dentro de nuestra casa, las típicas 192.168.1.xxx, o las que nosotros decidamos configurar en el router en un momento dado. Entonces te preguntas: si son las mismas IP ¿por qué el paquete de datos no le llega al vecino en lugar de a mí?

Podemos decir que en vez de tener que asignar una dirección IP diferente para cada de los dispositivos conectados, el NAT lo que hace es dar una única para todos. Puede ser cualquiera entre 192.168.0.0 y 192.168.255.255. Los paquetes de datos que proceden de Internet contienen la dirección IPv4 externa en su encabezado. Según el tipo de datos, el NAT lo reenvía a los dispositivos privados o internos para que los datos puedan procesarse según sea necesario.

Pues aquí es donde actúa el NAT, ya que oculta todo el espacio de direcciones IP privadas detrás de una sola dirección IP, o unas cuantas en función del modo NAT que se utilice. Esta sería la dirección IP pública del router, la que realmente conecta nuestra red interna a la red externa. Cuando el paquete de información llega a nuestro router, realmente lo ha hecho al tener información sobre esa IP pública. Será por tanto el router el que analice el paquete y compruebe si efectivamente hay un destinatario dentro de su red que está pidiendo esta información y la dejará entrar.

### 3.6.1 Tipos de NAT

1. **NAT estática:** Este tipo de NAT, normalmente es utilizada cuando la dirección local es convertida a su vez en una dirección pública, lo que esto quiere decir es que, habrá una dirección IP asociada a nuestro router o dispositivo NAT que será consistente.
2. **NAT dinámica:** En este caso la dirección IP privada se traduce a una IP pública de una lista que tenga el router. De esta forma cuando una determinada IP privada quiere acceder al exterior, el router comprueba en su lista propia cuál es la IP pública que está libre para asignársela. Esto añade mayor seguridad para los hosts que pertenezcan a esa red privada, ya que permite enmascarar la configuración interna de la red la ser IP asignadas aleatoriamente. Lo que sí debe asegurarse en este modo NAT es que todos los host, al menos puedan tener una IP pública asociada en el caso de que todos ellos se conecten a la vez.
3. **NAT por sobrecarga:** El último quizás sea el más importante o útil en lo que se refiere a nuestra red privada doméstica, ya que es el modo NAT que usa nuestro

router. Sin duda el más utilizado por utilizar también puertos, además de IP para la traducción. Por ello recibe también el nombre de Port Address Translation o PAT. En este caso, nuestro router solamente tiene asignada una dirección pública a la vez, y esta incluso puede ser dinámica al asignarse por DHCP cuando el router se arranca. En teoría, un router podría coger una IP pública distinta cada vez que se encendiera. Pero en la práctica, se asignará casi siempre la misma IP por estar ya asociada al router con anterioridad mediante la MAC. Es exactamente lo que ocurre cuando un router le asigna la misma IP a nuestro PC cada vez que se enciende.

Vamos a explicarlo a la siguiente manera<sup>1</sup>

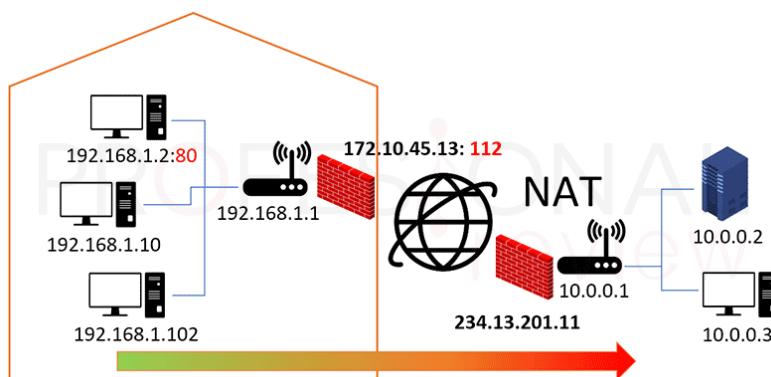


Figure 3.10: Red privada a pública

Este modo NAT de sobrecarga permite comunicarnos con el exterior **sin desvelar** la IP privada que tiene nuestro equipo. Esto lo hace a través de una **IP pública** que tiene asignada el router para salir a Internet, es todo bastante intuitivo.

Imaginemos que subimos una foto a Instagram desde nuestro equipo, para ello nos tenemos que conectar a la IP del servidor a donde se guardará la foto. Nuestro PC tiene la **dirección privada 10.0.0.3**, y se pone en contacto con el router para enviar el paquete.

Este paquete además tiene asociado un número de puerto de origen, por ejemplo el 80 si estamos en nuestro navegador. A continuación, el router detecta que nuestro equipo desea comunicarse con una remota perteneciente a Internet, así que coge el paquete y le reasigna la dirección IP pública de nuestra conexión y un puerto escogido al azar de entre los 65.536 que hay disponibles y que no esté en uso.

Finalmente el paquete se envía a la red de Internet hasta llegar a la IP pública del otro extremo. Dependiendo del modo NAT que utilice, hará un proceso de traducción similar de IP y de puerto para almacenar la foto en uno de los servidores (con su IP privada) que haya detrás de la IP pública de Instagram.

<sup>1</sup>Ejemplo sacado de *Profesional review* [https://www.profesionalreview.com/2020/08/22/modo-nat-que-es/Que\\_es\\_el\\_modo\\_NAT](https://www.profesionalreview.com/2020/08/22/modo-nat-que-es/Que_es_el_modo_NAT)

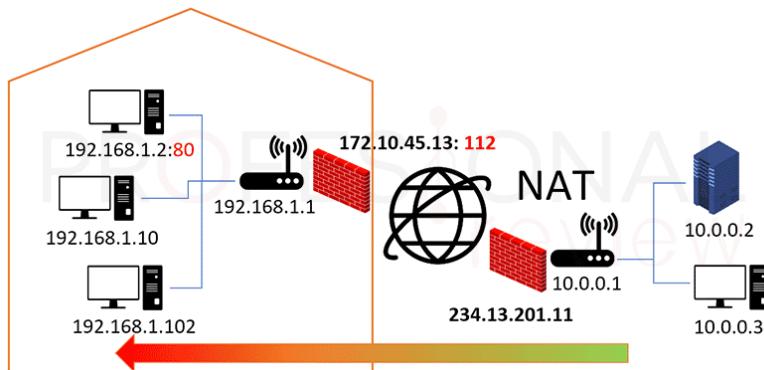


Figure 3.11: Red privada a pública

El proceso contrario será el mismo, cuando un paquete llega a nuestro router a través de una dirección IP y un puerto al azar, este analiza si el paquete va destinado a algún nodo de su red interna mediante la información de la cabecera. Si es así, cambiará de nuevo al puerto al que corresponda, por ejemplo el 80 si debe verse en el navegador, y la dirección IP de destino a la IP interna de nuestro PC. De esta forma, el proceso concluye.

### 3.6.2 Ventajas y desventajas

#### Ventajas:

- Conserva los esquemas y rangos de direccionamiento registrados legalmente, permitiendo así la privatización de intranets, como sabemos, el surgimiento del NAT fue para ahorrar en uso de direcciones IP públicas, ya que estas tenían un número limitado.
- Conserva las direcciones a través de la multiplexación de aplicaciones a nivel de puertos, esto se utiliza en la mayoría de casos en los que se utiliza PAT (Traducción de la dirección del puerto) por sus siglas en inglés, y en el cual podemos realizar el manejo de múltiples equipos y/o aplicaciones utilizando una sola dirección IP gracias a la utilización de los puertos TCP y UDP.
- Aumenta la flexibilidad de las conexiones a las redes públicas, esto quiere decir que podemos mantener nuestro direccionamiento privado IPv4 y al mismo tiempo permite mantener los cambios a nuevas direcciones públicas.
- Permite ocultar las direcciones IPv4 privadas de los usuarios y otros dispositivos, esto significa que, al momento de la traducción de direcciones, el usuario tendrá una dirección privada y a su vez una dirección pública diferente a esa dirección privada evitando que esta sea conocida.

#### Desventajas:

- Se deteriora el rendimiento de la red, en especial, en el caso de los protocolos en tiempo real como VoIP. NAT aumenta los retrasos de reenvío porque la traducción de cada dirección IPv4 dentro de los encabezados de los paquetes lleva tiempo.
- Se pierde el direccionamiento de extremo a extremo. Muchos protocolos y aplicaciones de Internet dependen del direccionamiento de extremo a extremo desde el origen hasta el destino. Algunas aplicaciones no funcionan con NAT. Por ejemplo, algunas aplicaciones de seguridad, como las firmas digitales, fallan porque la dirección IPv4 de origen cambia antes de llegar a destino. Las aplicaciones que utilizan direcciones físicas, en lugar de un nombre de dominio calificado, no llegan a los

destinos que se traducen a través del router NAT. En ocasiones, este problema se puede evitar al implementar las asignaciones de NAT estática.

- Se reduce el seguimiento IPv4 de extremo a extremo. El seguimiento de los paquetes que pasan por varios cambios de dirección a través de varios saltos de NAT se torna mucho más difícil y, en consecuencia, dificulta la resolución de problemas.
- Genera complicaciones en la utilización de protocolos de tunneling, como IPsec, porque NAT modifica valores en los encabezados, lo que hace fallar las comprobaciones de integridad.
- El inicio de las conexiones TCP puede interrumpirse. A menos que el router NAT esté configurado para admitir dichos protocolos, los paquetes entrantes no pueden llegar a su destino. Algunos protocolos pueden admitir una instancia de NAT entre los hosts participantes (por ejemplo, FTP de modo pasivo), pero fallan cuando NAT separa a ambos sistemas de Internet.

### 3.6.3 Configurar

#### 3.6.3.1 NAT estática

La configuración estática de una NAT se divide en una relación de 1 a 1, una dirección IP privada a una dirección IP pública. Por lo que existe una traducción en la tabla de direcciones de la NAT tan pronto como se configura con los comandos NAT, siendo posible borrarlos únicamente con los mismos comandos. Para configurar la NAT estática en el software Packet Tracer de cisco, accedemos al modo de configuración global del Router e introducimos el siguiente comando:

---

```
R1(config)# ip nat inside source static [direccion privada]
[direccion global]
```

---

Luego configuramos las interfaces del router que tienen la dirección privada y global

---

```
R1(config)# interface gi 0/0/0
R1(config-int)# ip nat inside
R1(config-int)# interface gi 0/0/1
R1(config-int)# ip nat outside
```

---

#### 3.6.3.2 NAT dinámica

Por otro lado tenemos la configuración de la NAT dinámica, la cual se encarga de que las direcciones IP privadas pertenecientes a una red tengan acceso a otras redes por medio de un conjunto de direcciones de IP pública, las cuales se asignan a cada host de forma aleatoria.

Para configurar la NAT dinámica en CPT, primeramente ingresamos al modo de configuración global del router. Luego creamos una conjunto de direcciones IP públicas por las cuales accederemos a otras redes

---

```
R1(config)# ip nat pool [nombre] [conjunto de direcciones
públicas] netmask [máscara de la red]
```

---

Posteriormente configuramos una lista de acceso, la cual contendrá las direcciones de nuestra red privada

---

```
R1(config)# access-list [N#] permit [dirección de red] [máscara invertida]
```

---

Finalmente, configuramos las interfaces del router que contendrán la red privada y la red global.

---

```
ip nat inside source static {local-ip} {local-port} {global-ip}  
{global port}
```

---

Para traducir 192.168.1.1 a 192.168.2.200

---

```
R1(config)#ip nat inside source static 192.168.1.1 192.168.2.200
```

---



## 4. Unidad II

### 4.1 Tecnología WAN

Una red de área extensa (WAN) es una red privada de telecomunicaciones geográficamente distribuida que interconecta múltiples redes de área local (LANs). En una empresa, una WAN puede consistir en conexiones a la sede de una empresa, sucursales, instalaciones de colocación, servicios en la nube y otras instalaciones. Normalmente, se utiliza un enrutador u otro dispositivo multifunción para conectar una LAN a una WAN. Las WAN de empresa permiten a los usuarios compartir el acceso a aplicaciones, servicios y otros recursos ubicados centralmente. Esto elimina la necesidad de instalar el mismo servidor de aplicaciones, cortafuegos u otro recurso en varias ubicaciones.

Una WAN se describe mejor como una red de datos que cubre una distancia geográfica relativamente amplia. A diferencia de una LAN, que normalmente se localiza en un área relativamente pequeña, como una oficina, un edificio o un campus pequeño, una WAN suele abarcar distancias de unos pocos a miles de kilómetros.

Con el fin de interconectar lugares geográficamente dispersos, las empresas suelen proporcionar servicios de una compañía de telecomunicaciones, generalmente alquilar enlaces sobre una base mensual. La velocidad y el costo de estos enlaces pueden variar considerablemente, dependiendo de los requisitos de ancho de banda, las distancias a recorrer y las tecnologías disponibles.

#### 4.1.1 Operaciones

Las redes WAN trabajan sobre el modelo TCP/IP, más específico, en la capa 1 y 2. Los protocolos de capa 1 describen la manera de proporcionar **conexiones** eléctricas, mecánicas, operativas y funcionales a los servicios de un proveedor de servicios de comunicación. Los protocolos de capa 2 definen la forma en que se **encapsulan** los datos y los mecanismos para transferir las tramas resultantes.

Se muestra la terminología que normalmente se usa para describir las conexiones WAN, entre otros:

- **Equipo local del cliente (CPE):** cables internos y dispositivos ubicados en el perímetro empresarial que se conectan a un enlace de una prestadora de servicios. El suscriptor es dueño del CPE o lo alquila al proveedor de servicios. En este contexto, un suscriptor es una empresa que obtiene los servicios WAN de un proveedor de

servicios.

- **Equipo de comunicación de datos (DCE)**: también llamado “equipo de terminación de circuito de datos”, el DCE consta de dispositivos que colocan los datos en el bucle local. Principalmente, el DCE proporciona una interfaz para conectar a los suscriptores a un enlace de comunicación en la nube WAN.
- **Equipo terminal de datos (DTE)**: dispositivos del cliente que transmiten los datos desde un equipo host o la red de un cliente para la transmisión a través de la WAN. El DTE se conecta al bucle local a través del DCE.
- **Punto de demarcación**: un punto establecido en un edificio o un complejo para separar el equipo del cliente del equipo del proveedor de servicios. En términos físicos, el punto de demarcación es la caja de conexiones del cableado, ubicada en las instalaciones del cliente, que conecta los cables del CPE al bucle local. Por lo general, se coloca de modo que sea de fácil acceso para un técnico. El punto de demarcación es el lugar donde la responsabilidad de la conexión pasa del usuario al proveedor de servicios. Cuando surgen problemas, es necesario determinar si el usuario o el proveedor de servicios es responsable de la resolución o la reparación.
- **Bucle local**: cable de cobre o fibra propiamente dicho que conecta el CPE a la CO del proveedor de servicios. A veces, el bucle local también se denomina “última milla”.
- **Oficina central (CO)**: la CO es la instalación o el edificio del proveedor de servicios local que conecta el CPE a la red del proveedor.
- **Red interurbana**: consta de líneas de comunicación, switches, routers y otros equipos digitales, de largo alcance y de fibra óptica dentro de la red del proveedor de servicios WAN.

## 4.1.2 Opciones de acceso

Existen diversas opciones de conexión de acceso WAN que los ISP pueden utilizar para conectar el bucle local al perímetro empresarial. Cada opción tiene distintas de ventajas y desventajas, así como diferencias con respecto a la tecnología, la velocidad y el costo.

### 4.1.2.1 Pública

El proveedor de servicios puede ofrecer acceso a Internet de banda ancha mediante una línea de suscriptor digital (DSL), cable y acceso satelital. Las opciones de conexión de banda ancha normalmente se usan para conectar oficinas pequeñas y trabajadores a distancia a un sitio corporativo a través de Internet. Los datos que se transmiten entre sitios corporativos a través de la infraestructura WAN pública se deben proteger mediante VPN. Las conexiones de infraestructura pública incluyen DSL, cable, tecnología inalámbrica y datos móviles 3G/4G. En las conexiones mediante infraestructura pública, se puede proporcionar seguridad con redes virtuales privadas (VPN) de acceso remoto o de sitio a sitio. En esta sección se comparan las diferentes tecnologías WAN públicas: DSL, cable, tecnología inalámbrica y datos móviles 3G/4G. Además de la seguridad con redes virtuales privadas (VPN).

### 4.1.2.2 Privada

Los proveedores de servicios pueden ofrecer líneas arrendadas punto a punto dedicadas, enlaces de conmutación de circuitos, como PSTN o ISDN, y enlaces de conmutación de paquetes, como WAN Ethernet, ATM o Frame Relay.

El uso de líneas alquiladas o arrendadas proporciona conexiones punto a punto dedicadas permanentes. El acceso por dial-up, si bien es lento, aún es viable para las áreas remotas con opciones de WAN limitadas. Otras opciones de conexión privada incluyen ISDN, Frame Relay, ATM, WAN Ethernet, MPLS y VSAT. En esta sección se comparan las diferentes tecnologías WAN privadas: Líneas arrendadas, dial-up, ISDN, Frame Relay, ATM, WAN Ethernet, MPLS y VSAT.

■ **Vocabulario 4.1 — Líneas arrendadas.** Una línea arrendada, también conocida como línea dedicada, conecta dos ubicaciones para servicios privados de telecomunicaciones de voz y/o datos. Una línea arrendada no es un cable dedicado; es un circuito reservado entre dos puntos. La línea arrendada está siempre activa y disponible por una cuota mensual fija. Este término también hace referencia a:

- Circuitos arrendados
- Enlace serial
- Línea serial
- Enlace punto a punto
- Líneas T1/E1 o T3/E3

■ **Vocabulario 4.2 — Dial Up.** La tecnología Dial-Up le permite acceder al servicio Internet a través de una línea telefónica analógica y un MODEM. El módem modula los datos binarios en una señal analógica en el origen y demodula la señal analógica en datos binarios en el destino. Las características físicas del bucle local y su conexión a la PSTN limitan la velocidad de señal a menos de 56 kb/s.

■ **Vocabulario 4.3 — ISDN.** Red digital de servicios integrados es una red que procede de la evolución de la **Red telefónica básica** (RTB) o **Red telefónica conmutada** (RTC) que facilita conexiones digitales extremo a extremo entre terminales conectadas a ella.

ISDN cambia las conexiones internas de la PSTN ( Red Telefónica Pública Conmutada) para que transporte señales digitales multiplexadas por división de tiempo (TDM) en vez de señales analógicas. TDM permite que se transfieran dos o más señales, o flujos de bits, como subcanales en un canal de comunicación. La conexión ISDN puede requerir un adaptador de terminal (TA), que es un dispositivo utilizado para conectar las conexiones de la interfaz de velocidad básica (BRI) de ISDN a un router.

■ **Vocabulario 4.4 — Frame relay.** Frame Relay es una tecnología de protocolo de red de conmutación de paquetes digital de capa de enlace de datos diseñada para conectar redes de área local (LAN) y transferir datos a través de redes de área amplia (WAN). Frame Relay es una tecnología de paquetes rápida, lo que significa que el protocolo no intenta corregir errores. Requiere una conexión dedicada durante el período de transmisión y no es ideal para voz o video, que requieren un flujo constante de transmisiones.

■ **Vocabulario 4.5 — ATM.** La tecnología del modo de transferencia asíncrona (ATM) puede transferir voz, video y datos a través de redes privadas y públicas.

Una línea ATM típica necesita casi un 20% más de ancho de banda que Frame Relay para transportar el mismo volumen de tráfico de red. Cuando la celda transporta los paquetes de capa de red segmentados, la sobrecarga es mayor debido a que el ATM debe poder rearmar los paquetes en el destino.

■ **Vocabulario 4.6 — MPLS.** El switching por etiquetas multiprotocolo (Multiprotocol Label Switching, MPLS) es una tecnología WAN de alto rendimiento multiprotocolo que dirige los datos desde un router al siguiente. MPLS se basa en etiquetas de ruta cortas

en lugar de direcciones de red IP. Se llama multiprotocolo porque tiene la capacidad de transportar cualquier contenido, incluido tráfico IPv4, IPv6, Ethernet, ATM, DSL y Frame Relay. Usa etiquetas que le indican al router qué hacer con un paquete.

■ **Vocabulario 4.7 — VSAT.** Una VSAT es una pequeña antena satelital que se utiliza para crear una WAN privada que proporciona conectividad a ubicaciones remotas. El satélite se encuentra en órbita geosincrónica en el espacio. Las señales deben recorrer alrededor de 35 786 km hasta el satélite y regresar.

■ **Vocabulario 4.8 — DSL.** DSL (línea de suscriptor digital) es tecnología de banda ancha que proporciona transmisión de información a alta velocidad (hasta 7.1 Mbps) a través de una línea telefónica existente. Las velocidades son hasta 50 veces más rápidas que las de un módem por dial-up estándar de 28.8 Kbps. Además, el servicio DSL es instantáneo - con sólo un clic tendrás una conexión a Internet superrápida.

■ **Vocabulario 4.9 — VPN.** VPN significa "Virtual Private Network" (Red privada virtual) y describe la oportunidad de establecer una conexión protegida al utilizar redes públicas. Las VPN cifran su tráfico en internet y disfrazan su identidad en línea. Esto le dificulta a terceros el seguimiento de sus actividades en línea y el robo de datos. El cifrado se hace en tiempo real.

# Control Adaptativo Moderno

<b>5</b>	<b>Unidad I .....</b>	<b>54</b>
5.1	CADe Simu .....	54

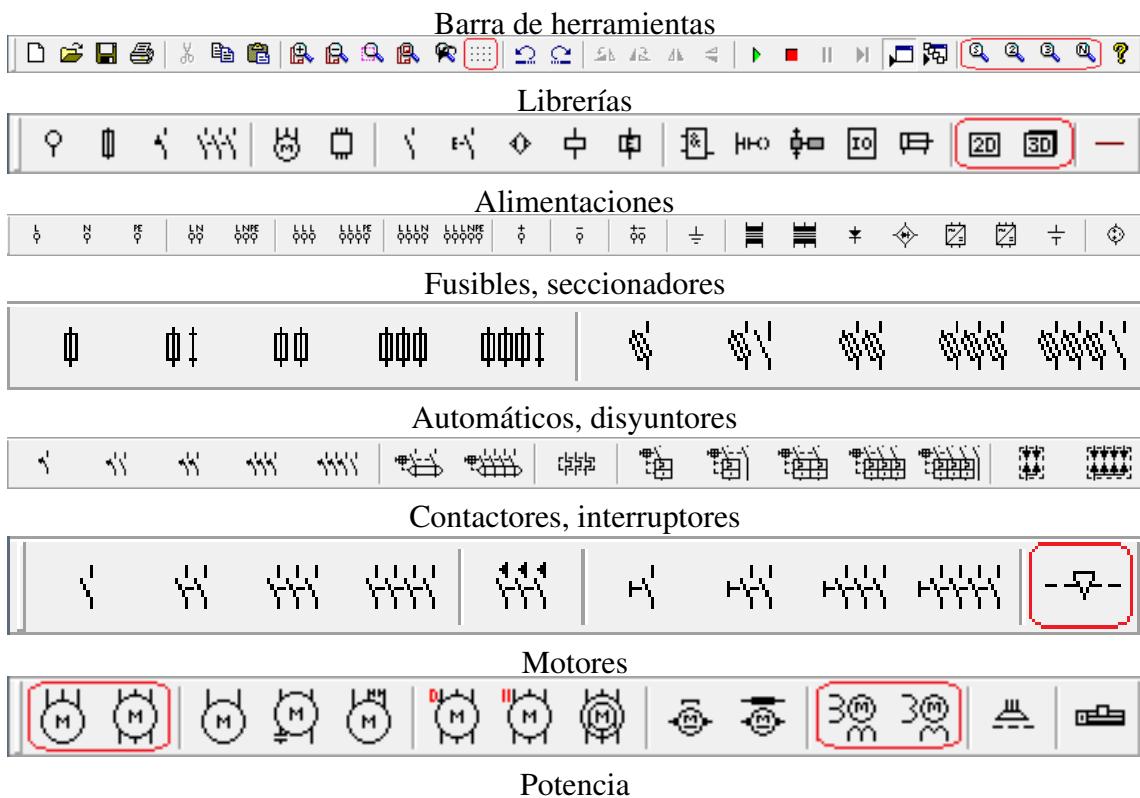
## 5. Unidad I

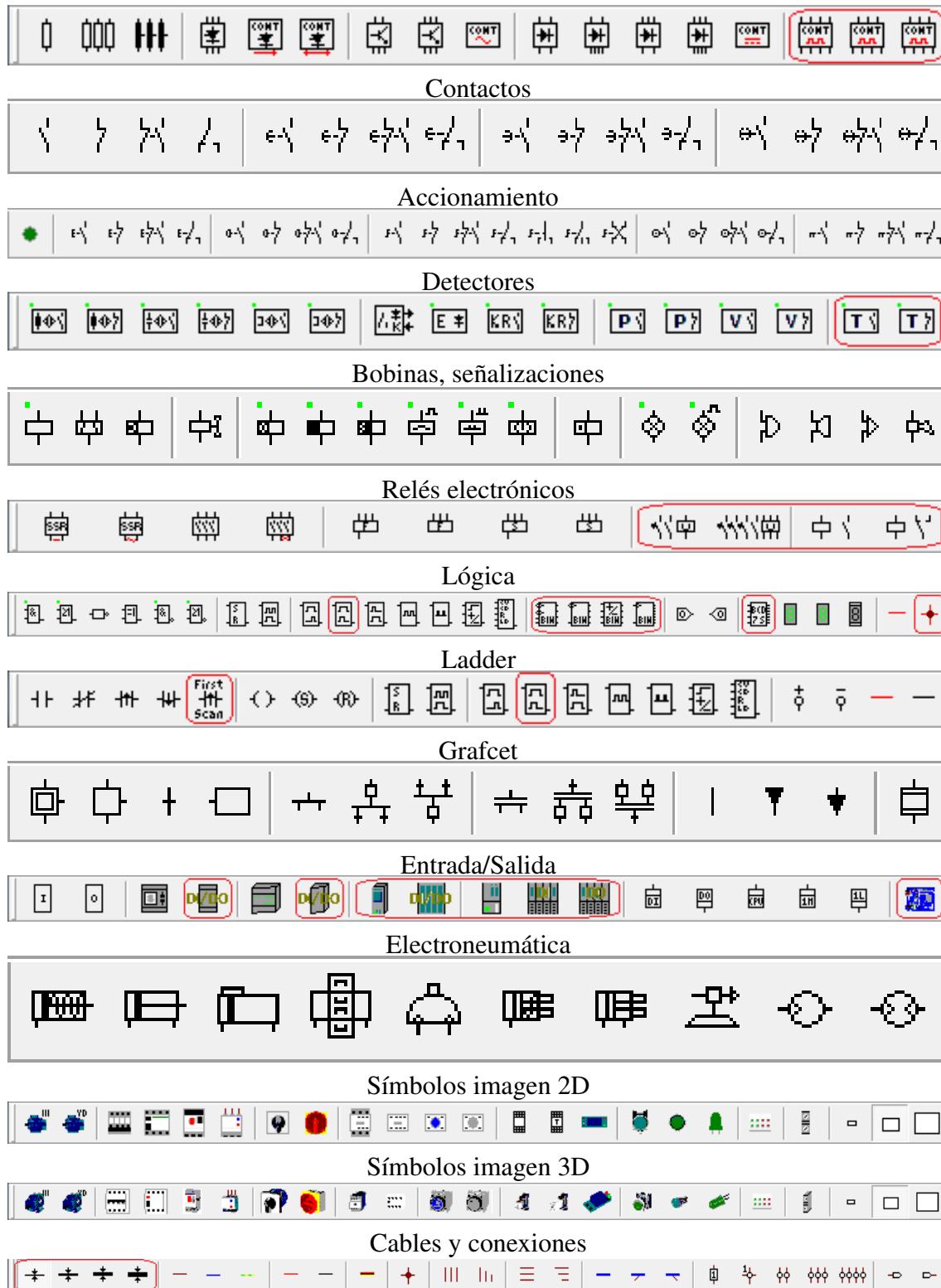
### 5.1 CADe Simu

CADe SIMU es un programa de CAD electrotécnico que permite insertar los distintos símbolos organizados en librerías y trazar un esquema eléctrico de una forma fácil y rápida para posteriormente realizar la simulación.

El programa en modo simulación visualiza el estado de cada componente eléctrico cuando esta activado al igual que resalta los conductores eléctricos sometidos al paso de una corriente eléctrica.

#### 5.1.1 Paneles





■ **Notación 5.1** La clave del CADe Simu es 4962 y del PC Simu es 9966.

## 5.1.2 Simulaciones

Para poder realizar circuitos en CADe Simu, necesitamos tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Realizar el esquema insertando los componentes eléctricos.

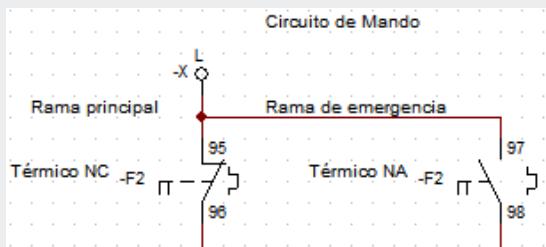
2. Los distintos componentes siempre se tendrán que conectar a través del distinto cableado, NO se pueden conectar los distintos componentes de forma directa sin el cableado.
3. En un circuito eléctrico se tiene que partir siempre de una alimentación pudiendo ser de corriente continua o corriente alterna. La librería de alimentaciones permite seleccionar una gran variedad de símbolos de alimentación.
4. Durante la simulación se realiza una comprobación de la existencia tanto de cortocircuitos y de conexiones a masa. Si se produce uno de estos errores la simulación se para y se nos advierte con el correspondiente mensaje.
5. En un esquema los distintos símbolos de un mismo componente tienen que tener el mismo nombre y no se puede repetir con símbolos de otros componentes.

**Ejemplo 5.1 — Arranque de motor trifásico con sistema de parada de emergencia.** Nos piden diseñar un arranque de motor trifásico con botones de Start y Stop, además que tenga un sistema de protección si el motor se sobre carga.

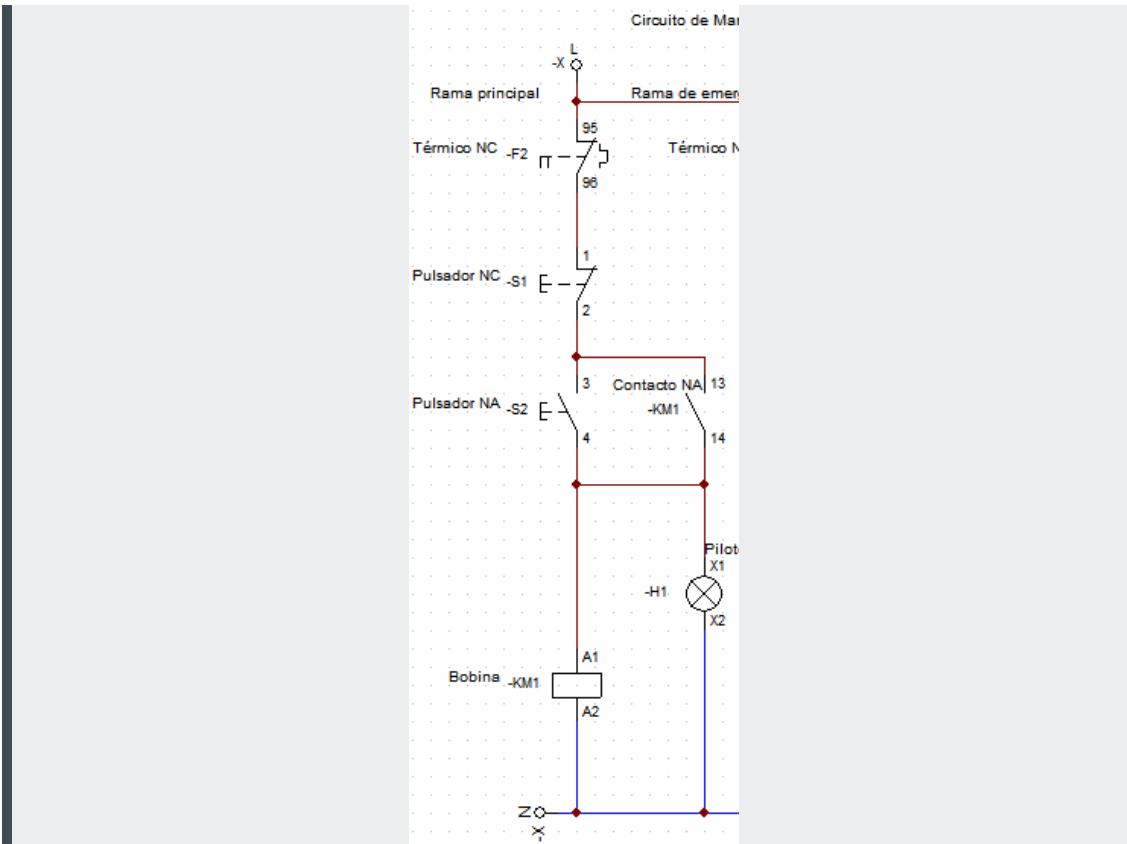
### Solución

#### Círculo de mando:

Empezamos con dos relés térmicos: NA (normalmente abierto) y NC (normalmente cerrado). Estos van a actuar al mismo tiempo, por eso les ponemos el mismo nombre: -F2. Con esta configuración podemos desviar la corriente de la rama principal, en la cual irá el circuito de arranque, hacia la rama de emergencia.

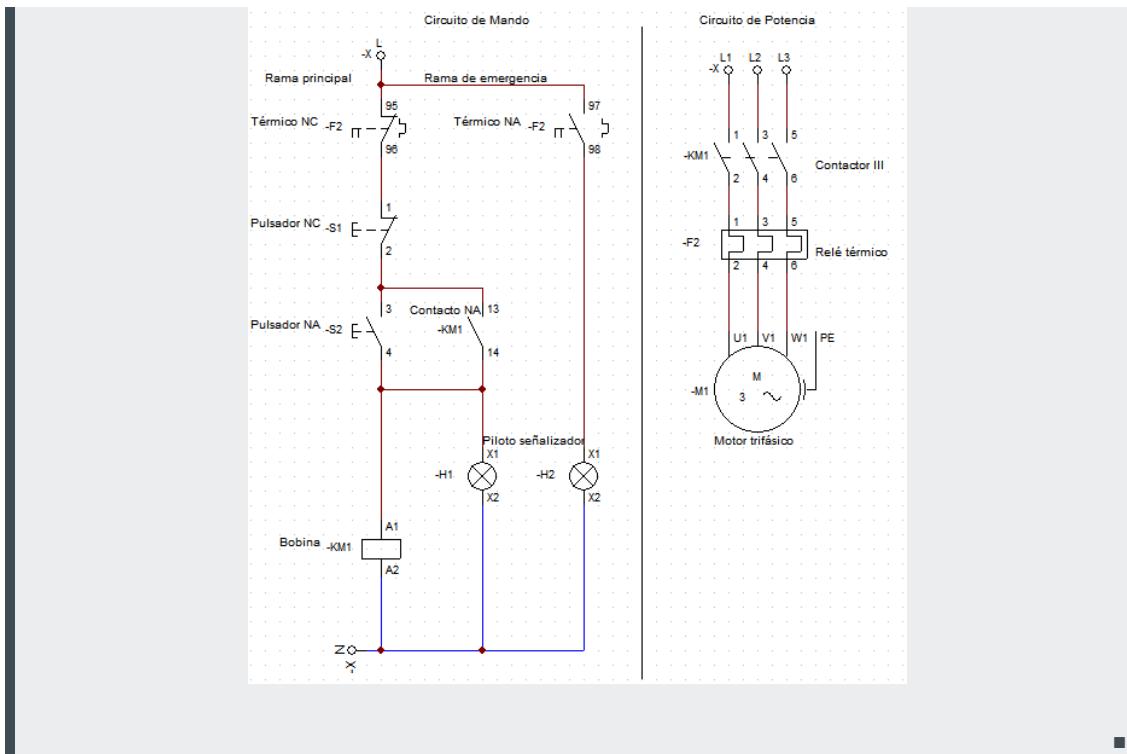


En la **rama principal** pondremos un pulsador NC con el nombre -S1. Colocamos un NC pues inicialmente la corriente debe fluir hacia debajo de este. Si accionamos el pulsador -S1, este se abrirá y hará que el circuito por debajo de este deje de energizarse: Esto nos servirá como interruptor de apagado. Seguidamente pondremos en paralelo un pulsador NA con el nombre -S2 y un contacto NA con el nombre -KM1. Este contacto se activará al pulsar -S2. Lo sé, no tienen el mismo nombre pero haremos que funcione con una “memoria”. La “memoria” va ser reemplazada por una bobina que se encuentra en serie del pulsador -S2. Añadiremos un piloto señalizador verde que nos indique que el motor está funcionando.



Resumiendo hasta ahora: el térmico  $-F2$  y el pulsador  $-S1$  harán pasar la corriente hasta  $-S2$ . Si este último se presiona, cargará la bobina y este a su vez mantendrá activado el contacto  $-KM1$ , además se encenderá el piloto  $-H1$ .

En la **rama de emergencia**, el térmico NA  $-F2$  se cerrará cuando el térmico NC  $-F2$  se abra, en otras palabras cuando exista una emergencia, la corriente se desviará completamente de la rama principal a la rama de emergencia. En esta rama pondremos solo un piloto rojo a manera de indicar que ha sucedido un problema: piloto rojo  $-H2$ . **Circuito de potencia:** Poniendo de antemano la alimentación en fase correspondiente pondremos un contactor III con el nombre  $-KM1$ . Cuando se active la bobina, este mantendrá el piloto  $-H1$  activado y también el motor. Seguidamente pondremos un relé térmico  $-F2$ . Esté será el encargado de activar los térmicos  $-F2$  de emergencia. Finalmente colocamos el motor.



Recuerda, para alimentación Fase necesitas **cable fase** y alimentación Neutro necesitas **cable neutro**.

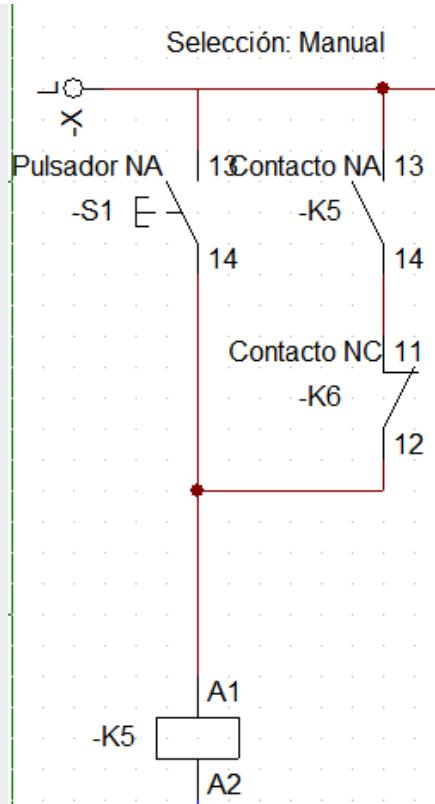
**Ejemplo 5.2 — Realizar dos fajas transportadoras con modo Manual y Automático.** Se requiere dos fajas transportadoras que funcionen de dos modos:

- **Manual:** Botón de encendido que empiece la marcha de las fajas y motor de detención para detener todo.
- **Automático:** Si se detecta un objeto al inicio de la faja, que empiece a funcionar.

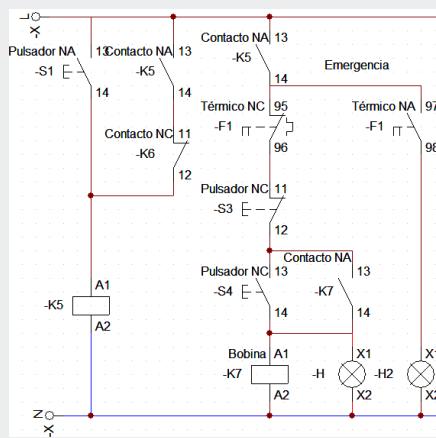
**Solución:**

#### Circuito de Mando:

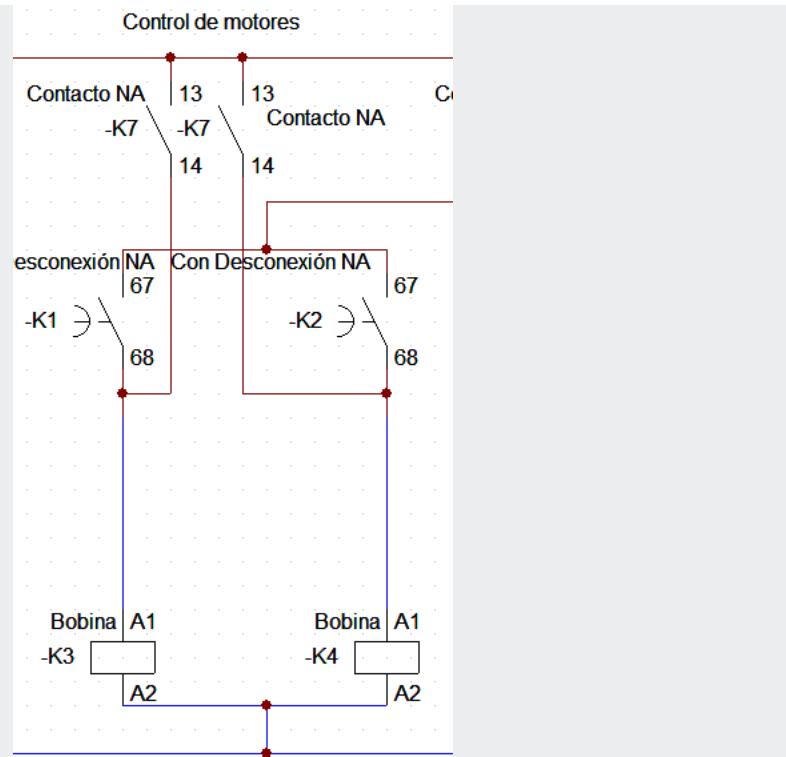
Tomaremos parte del circuito del anterior ejemplo. Empecemos con el modo **manual**, habrá un botón para poder entrar a este modo al igual que con el modo automático. Al ser un “menú”, tenemos que usar pulsadores NA (solo se activarán cuando nosotros lo presionemos). Cuando se presione este pulsador -S1, vamos a guardar su estado usando la bobina -K5, a su vez esta bobina -K5 mantendrá activo el contacto NA -K5. Estamos usando también un contacto NC -K6 para apagar este modo manual. Más tarde veremos como lo usaremos:



Cuando la energía llegué a  $-K5$  indica que el modo manual ha sido activado, es por esta razón que procedemos a activar los motores. Al igual que el ejemplo anterior, tendremos una rama (principal) de control y la otra de emergencia (para este paso no vamos a explicar pues es el mismo funcionamiento), la única diferencia es que tanto el rama de control como la de emergencia esta siendo activo solo si el contacto NA  $-K5$  se cierra, y eso sucede cuando el seleccionamos modo manual. En este ejercicio el pulsador  $-S3$  representa **stop** y el pulsador  $-S4$  representa **start**:

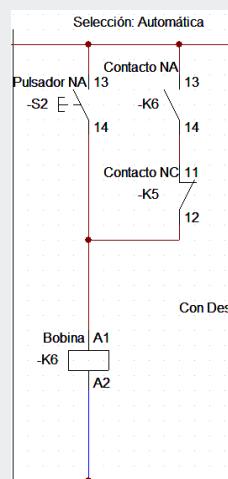


Finalmente, la bobina  $-K7$  encenderá los contactos NA  $-K7$ , que a su vez energizarán las bobinas de los motores.

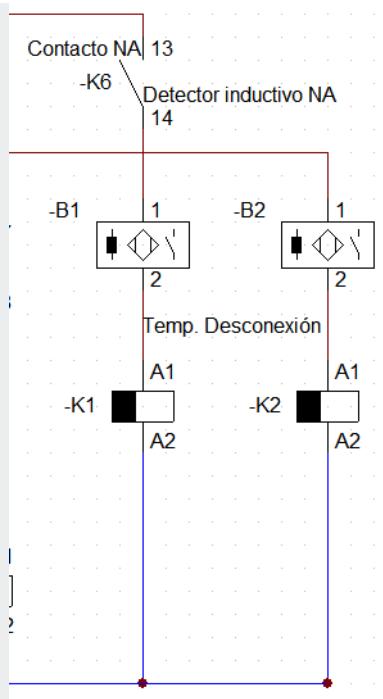


### Modo Automático

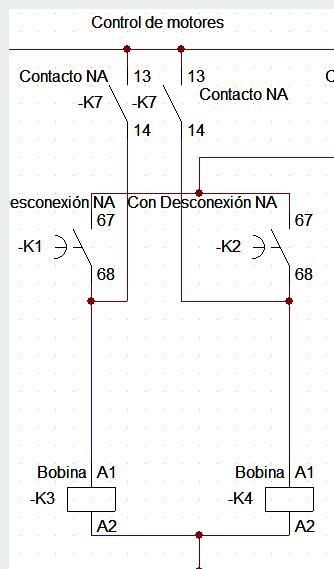
Para la selección de este modo es muy similar al anterior, nota que aquí estamos haciendo uso del contacto NC -K6, este contacto nos ayuda a apagar el otro modo, es decir, si se selecciona el modo manual, el modo automático se apaga y viceversa.



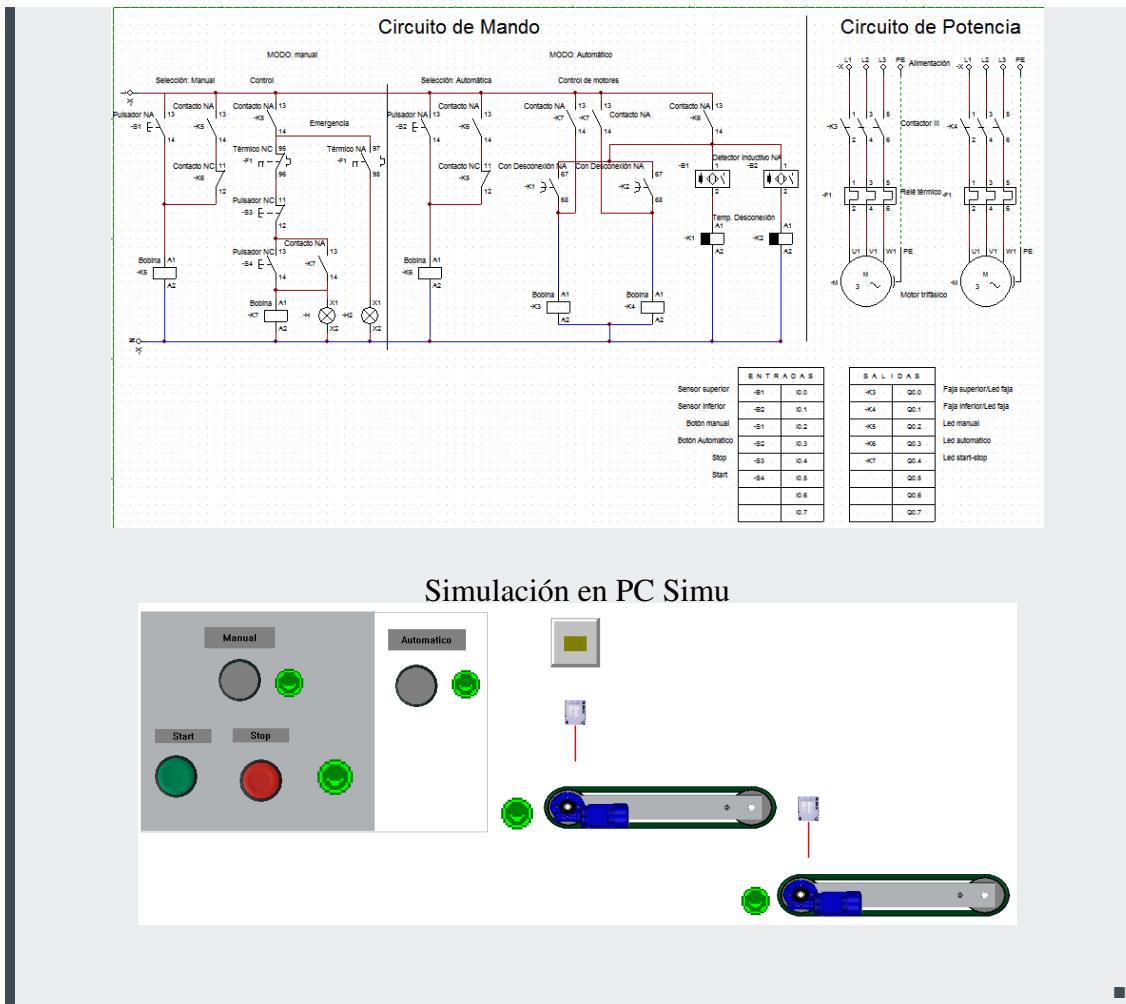
Cuando se seleccione el modo auto, el contacto -K6 se encenderá ayudado por la bobina -K6. Este contacto -K6 activará los detectores inductivos NA -B1 y -B2.



Esto quiere decir que los detectores no dejarán pasar energía a no ser que detecten algo, es ahí cuando se cierran y se activarán los temporizadores, el temporizador a su vez cierra el contacto desconexión NA  $-K1$  energizando la bobina del motor  $-K3$ .



$-K1$  estará encendido durante 3 seg (se configura en el temporizador de desconexión), pasado ese tiempo  $-K1$  se desconecta apagando el motor. El proceso es exactamente lo mismo para el detector inductor  $-B2$ . La parte de los motores es la misma que el ejemplo anterior.



### 5.1.3 Ladder

Ladder es escalera en inglés. El nombre por lo tanto recuerda que este lenguaje de programación se programa mediante símbolos gráficos y en diferentes segmentos. Como en las escaleras, en cada segmento (o escalón), programamos las diferentes sentencias de la lógica. Al lenguaje Ladder también se le conoce como diagrama de contactos, puesto que realmente programamos mediante contactos eléctricos que, unidos, terminan formando una sentencia lógica.

Ladder es uno de los diferentes lenguajes de programación para los controladores lógicos programables (PLCs) estandarizados con IEC 61131-3. En Ladder, la energía se desplaza de izquierda a derecha en lugar de arriba hacia abajo como en los esquemas eléctricos. En un circuito típico aparecen los contactos en la parte izquierda y una bobina en la parte derecha. La lógica de control que representa dicho circuito puede verse como una inferencia lógica que tiene como antecedente la lógica de los contactos y como concluyente la bobina.

Para programar un autómata con Ladder, además de estar familiarizado con las reglas de los circuitos de conmutación, (también denominada Lógica de Contactos), es necesario conocer cada uno de los elementos de que consta este lenguaje. A continuación se describen de modo general los más comunes (Fig. 5.1)

- **Contacto normalmente abierto (E1):** si la variable asociada E1 vale '0', el contacto permanece abierto, y si vale '1' se cierra.

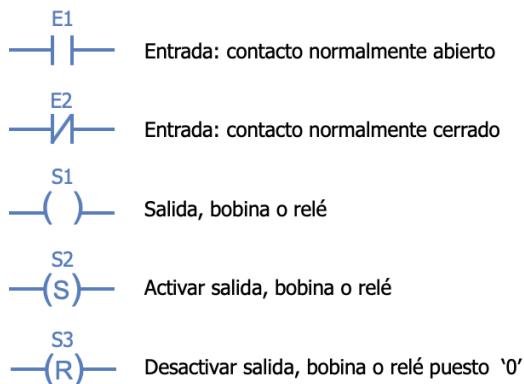


Figure 5.1: Elementos básicos de Ladder.

- **Contacto normalmente cerrado (E2)**: si la variable asociada E1 vale ‘1’, el contacto permanece abierto, y si vale ‘0’ se cierra.
- **Salida, bobina o relé (S1)**: la variable asociada S1 tomará el valor de la variable (o combinación de variables) que esté a su entrada (punto de conexión del lado izquierdo). También se puede enclavar o desenclavar, indicándolo con una S o R como se indica en los casos de S2 y S3.
- **Notación 5.2** Una bobina normal puede verse como una asignación del valor lógico conectado a su izquierda. Por contra, una bobina de enclavamiento (S / R) se activa de la misma manera que la bobina anterior, pero retiene el valor (‘1’ / ‘0’) aunque el valor lógico conectado a su izquierda pase a ‘0’.

### 5.1.3.1 Compuertas lógicas

Se pueden implementar funciones lógicas de forma sencilla. Por ejemplo, en la figura siguiente (Fig. 5.2) se implementa un función AND y una OR.

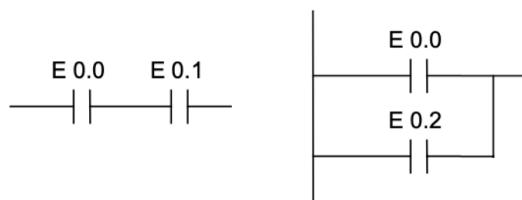


Figure 5.2: Elementos básicos de Ladder.

A manera de explicar el lenguaje Ladder, vamos a arrancar un motor trifásico usando para ello un PLC LOGO<sup>1</sup>; vamos a tener 3 botones de control: *Start*, *Stop* y uno auxiliar (puede ser de emergencia). En el PLC hacemos la conexión **Alimentación Fase** y **Alimentación Neutro**. Del positivo debemos tener las siguientes conexiones:

- P1: Conexión directa.
- I1: Conexión por un pulsador NA.
- I2: Conexión por un pulsador NA.

<sup>1</sup>Disponible en la pestaña *Entrada/Salida>Módulo Lógico*

- I3: Conexión por un pulsador NA.
- Q1-1: Conexión directa.
- Q2-1: Conexión directa.

El diagrama nos debe quedar como la figura 5.3

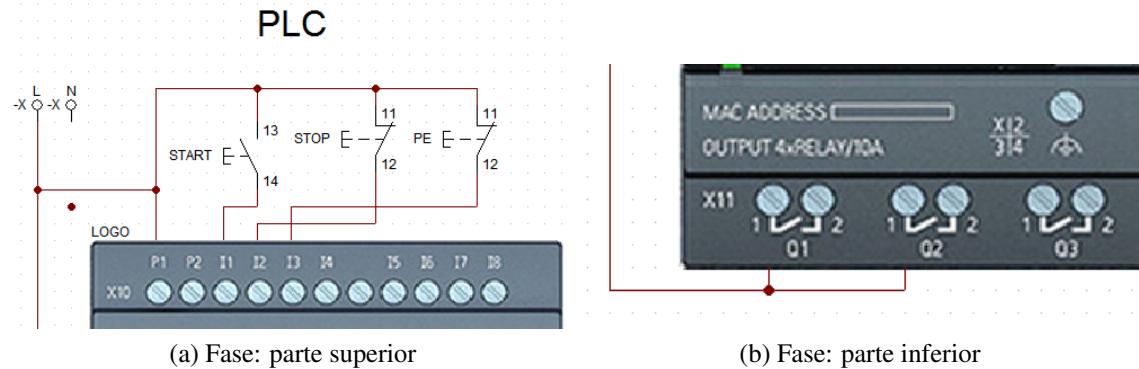


Figure 5.3: Conexión fase.

Usando la alimentación neutra conectaremos la siguiente manera:

- P2: Conexión directa.
- Q1-2: A la salida de una bobina, esta bobina debe tener el mismo nombres que los contactores III del motor.

El resultado del PLC debe ser como la figura 5.4.

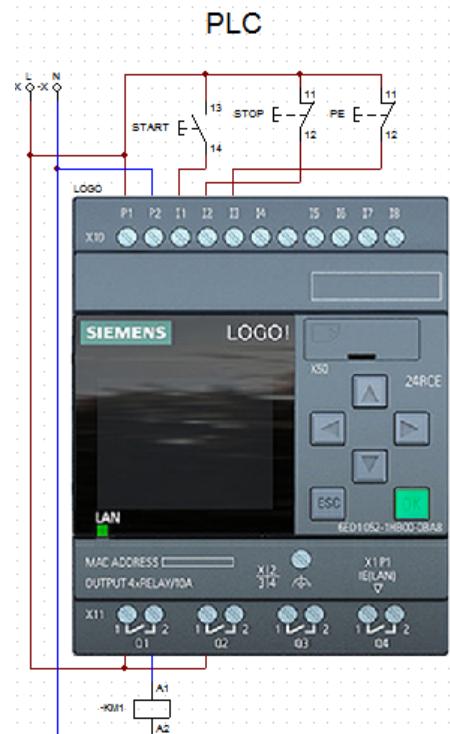


Figure 5.4: Conexión PLC

Recordando la Fig. 5.2, más en específico usaremos la compuerta OR: es necesario que una de las entradas se active para que las energice lo demás. Empezamos colocando

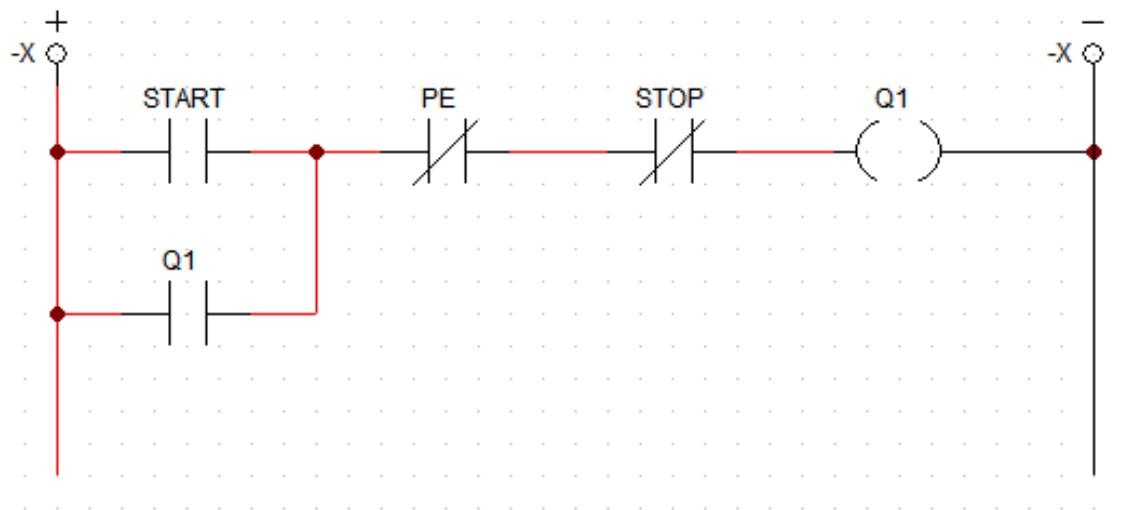


Figure 5.5: Diagrama Ladder.

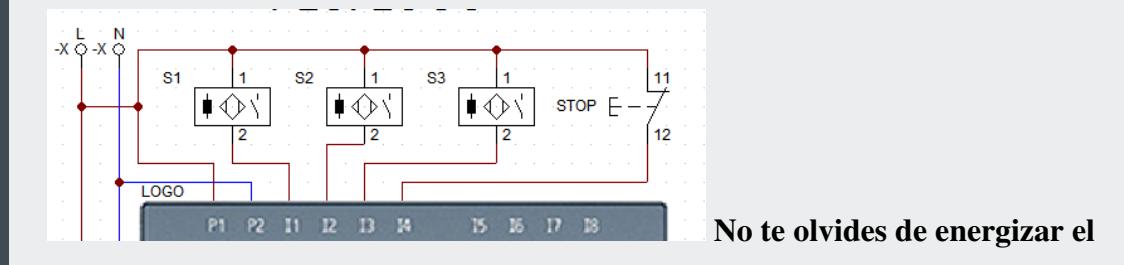
**Alimentación + y Alimentación -.** Configuramos la compuerta OR: la primera entrada/-contacto que se cierre con el pulsador *START* ó que se cierre con *Q1* (*Q1* va ser configurada luego como una retro-activación). Después de la compuerta OR vamos a tener contactos NC para que dejen pasar la energía inicialmente; estos serán *PE* y *STOP*. Al final de esta rama colocaremos una bobina *Q1*, la que servirá como retroalimentación. (Fig. 5.5) **Funcionamiento:** Para que el motor pueda arrancar, necesitamos activar el pulsador *START* para que la bobina *Q1* se active y a su vez active el contacto *Q1* para que se quede “enganchado”. Esto se quedará enganchado hasta que los contactos NC se abran, esto solo pasará cuando los pulsadores *STOP* y *PE* se active, esto ocasionará que los contactos se abran y se interrumpa el circuito. El circuito final se gráfica en la figura 5.6.

**R** Para PLC necesitas cable fase y cable neutro. Para ladder necesitas cable negativo y cable negativo. En PLC LOGO, P1 es puerto positivo y P2 es puerto negativo (en la parte superior: Dispositivos de entrada) y sirven para dar energía al PLC, por lo tanto hay que energizarlas. De igual manera con la parte inferior (Dispositivos de salida), se debe energizar positivamente las entradas 1 y los dispositivos deben estar en las salidas 2 hacia negativo.

**Ejemplo 5.3 — Diseñe una faja transportadora con el PLC LOGO, sensores y tenga apagado automático.** Para este proyecto se usará parte de como encender un motor con ladder explicado anteriormente.

#### PLC:

Empezamos cambiando las entradas del PLC, esta vez no contaremos con pulsadores, al ser automático usaremos **sensores inductivos NA** (etiquetados con *S1*, *S2* y *S3*) y un pulsador de detención *STOP*.



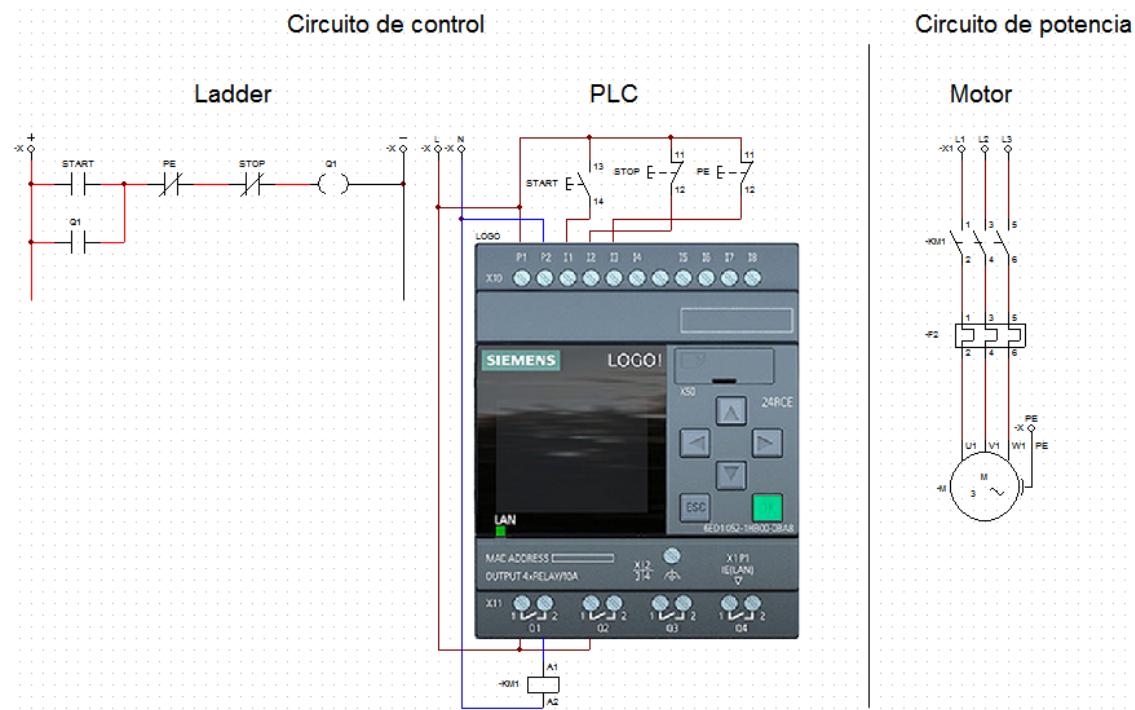
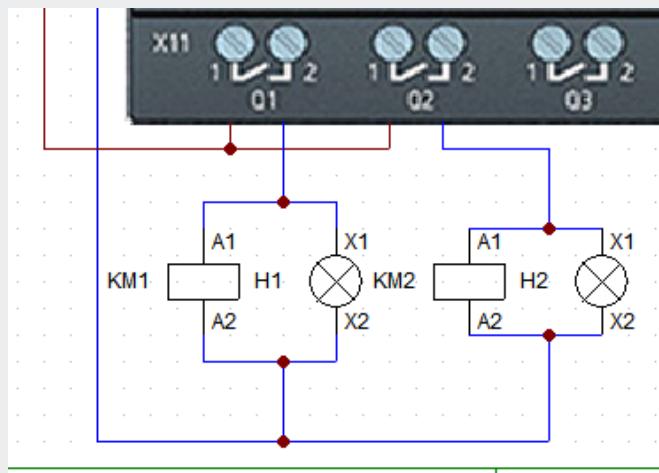


Figure 5.6: Resultado final motor y PLC LOGO.

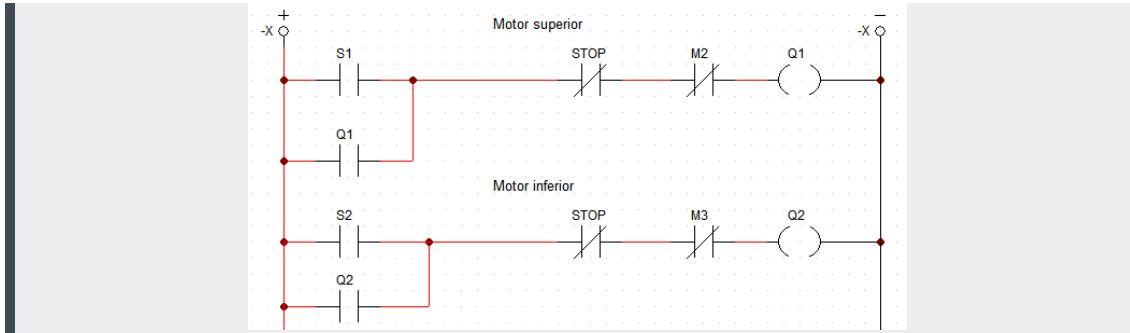
### PLC.

Por la parte inferior del PLC, conectaremos dos bobinas para cada motor, pues son dos motores, y en paralelo colocaremos pilotos. No es recomendable colocarlos en serie.



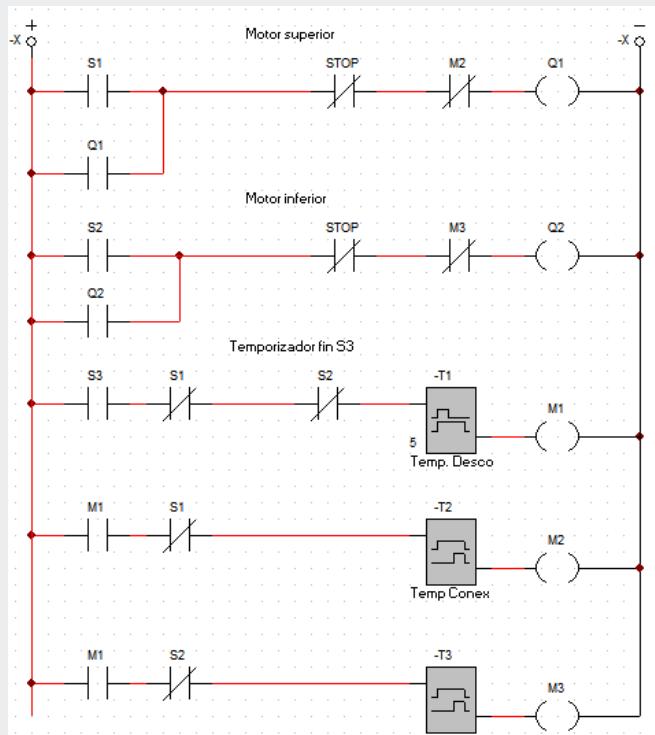
### Ladder:

Para ladder vamos a usar el mismo mecanismo de accionamiento del motor visto antes, en este ejemplo usaremos dos “memorias” ( $M_2$  y  $M_3$ ) NC.



¿Por qué las memorias? Necesitamos que tenga un apagado automático, es decir, cuando el sensor de inicio de carrera ( $S_1$  y  $S_2$ ) de ambas fajas no detecte material y el sensor de fin carrera ( $S_3$ ) detecte que es último material, debe pasar cierto tiempo y que se apague ambas bajas.

Esto lo haremos estableciendo el sensor  $S_3$  como normalmente abierto, y en la misma rama contactos NC de  $S_1$  y  $S_2$ , de esta manera cuando el sensor  $S_3$  detecte material y los sensores  $S_1$  y  $S_2$  NO detecten nada, activará el **temporizador de desconexión**  $-T_1$  (5 seg). El temporizador mantendrá la energía hasta pasado un tiempo, luego de ello se apagará. Si se activa  $M_1$  y el sensor  $S_1$  no detecta nada, esta última rama activará el **temporizador de conexión**, que pasado un tiempo (15 seg), activará la bobina  $M_2$ , si esta se activa apagará el motor 1. Lo mismo pasará con la última rama. Si no detectan nada en sus respectivos sensores y  $M_1$  ha sido activado confirmando que todos los sensores no detectan nada, procede a abrir los contactos  $M_2$  y  $M_3$  para apagar motores.



■

# Software de telecomunicaciones



<b>6</b>	<b>Unidad I .....</b>	<b>69</b>
6.1	XDR .....	69
6.2	RPC y RMI .....	69
6.3	CORBA .....	71
6.4	SOAP .....	72



## 6. Unidad I

### 6.1 XDR

### 6.2 RPC y RMI

Llamada a procedimiento remoto o RPC es una técnica que utiliza el modelo cliente-servidor para ejecutar tareas es un proceso diferente como podría ser en una computadora remota. A veces solamente se le llama como a una función o subrutina remota.

#### RPC

1. El cliente hace la llamada al procedimiento remoto mediante un mensaje a través de la red. Este se detiene ya que es un proceso síncrono (se envía el mensaje y se queda “callado” hasta que reciba una respuesta), es decir, necesita una respuesta del servidor para poder continua su ejecución.
2. El servidor recibe la petición y desempaquetá el mensaje para extraer la información necesaria para realizar la tarea.
3. El servidor ejecuta la tarea. Con esto nos referimos que como cliente, enviamos la información a otra computadora (servidor) para que nos haga el “trabajo sucio”.
4. El servidor crea un mensaje de respuesta para el cliente que incluye el resultado de la tarea que este le pidió realizar.
5. El cliente recibe y desempaquetá el mensaje de respuesta del servidor. Continua con su ejecución normal.

■ **Notación 6.1** El servidor siempre va estar activo, su función es atender a varios clientes a la vez.

#### STUB

Es la pieza de código que le permite al servidor ejecutar la tarea que se le asignó. Se encarga de proveer la información necesaria para que el servidor convierta las direcciones de los parámetros que el cliente envió en direcciones de memoria válidos dentro del ambiente del servidor. Parte del código que se encarga de “traducir” los entornos de ambos, en otras palabras le explica al servidor (o viceversa) como debe interpretar los datos. A manera de ejemplo (solo para explicar): El cliente solicita una suma de  $15+83$  y manda

1853 al servidor; el servidor no sabrá que significa ese número, el *stub* le dirá: “El primer y tercer dígito es el primer sumando, además el segundo y cuarto es otro número”, con esto el servidor sabrá cuales son los datos. El servidor hace la suma (89) con los números y devuelve : 0089. Este resultado viaja al cliente, sin no antes pasar por el *stub* que le dice: “El resultado de la suma es el número conformado por el cuarto dígito y el tercer dígito”. En conclusión, el *stub* acomoda los datos para que los datos puedan ser procesados por cada lado. La representación de datos en cliente y servidor (*big-endian* o *little-endian*) podría discrepar, el *stub* también provee la información necesaria para solucionar esta situación.

Una inconveniente con esto es que RPC es dependiente del lenguaje de programación que se utilice.

**Definición 6.1 — Socket.** Los **sockets** sirven para la comunicación entre programas (en una primera medida), y para comenzar una conexión debemos crear un *socket*; para dicha conexión se necesita una dirección IP y un puerto para realizar la conexión.

## 6.2.1 RMI

Es un paquete de JAVA que permite manejar objetos (y sus respectivos métodos) de manera remota, para utilizar los recursos de un servidor de manera transparente para el usuario local. Es el analogo a RMS pero en JAVA, de igual manera al *stub* aquí se le conoce como **Skeletons**. La diferencia más notable es que RPC es una solicitud remota mientras que RMI genera una **máquina virtual**, cuando mando una solicitud al servidor, es simular como si se estuviera ejecutando en el mismo lugar (servidor).

1. El servidor proporciona un servicio RMI y el cliente llama a métodos del objeto ofrecido por el servicio.
2. El servicio RMI se debe registrar en un servicio de consulta para permitir a los clientes encontrar el servicio.
3. El J2SE incluye una aplicación llamada *rmiregistry*, que lanza un proceso que permite registrar servicios RMI mediante un nombre. Este nombre identifica al servicio, esto se hace así ya que en una máquina puede haber diferentes servicios.
4. Una vez que el servicio se ha registrado, el servidor esperará a que lleguen peticiones RMI desde los clientes.
5. El cliente solicita el servicio mediante el nombre con el que fue registrado y obtiene una referencia al objeto remoto
6. El formato utilizado por RMI para representar una referencia al objeto remoto es el siguiente `rmi://hostname:puerto/nombreServicio`.
7. Una vez obtenida la referencia remota (ya sea mediante *rmiregistry*, leyendo el URL de un archivo,...) los clientes pueden enviar mensajes como si se tratase de objetos ejecutándose en la misma máquina virtual.
8. Los detalles de red de las peticiones y las repuestas son transparentes para el desarrollador. Esto se consigue mediante el uso de *stub* (a partir de la versión 1.2, ya que en la versión 1.1 se requería generar un *skeleton*).

**Definición 6.2 — Skeleton.** La clase *skeleton* es una clase generada por RMI. Esta clase es la responsable de comunicarse con el *stub* durante la comunicación RMI. Debe reconstruir los parámetros para formar los tipos primitivos y objetos, lo que es conocido como *unmarshalling*.

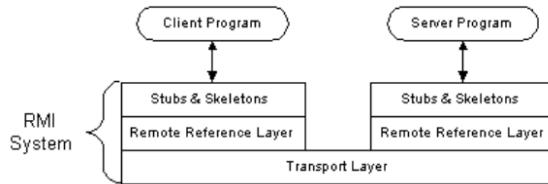


Figure 6.1: Arquitectura RMI

## 6.3 CORBA

CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*) es una arquitectura abierta desarrollada por los miembros del OMG (*Object Management Group*). Desde 1989 la misión del OMG ha sido la especificación de una arquitectura para un **bus software abierto**, o *Object Request Broker* (ORB), sobre el que diversos componentes de objetos escritos por diferentes vendedores puedan interoperar a través de la red y de los sistemas operativos. Este estándar permite que los objetos CORBA realicen llamadas entre ellos sin conocer dónde residen los objetos a los que acceden o en qué lenguaje están implementados estos últimos. OMG define un lenguaje (*Interface Definition Language*: IDL) usado para definir las interfaces de los objetos CORBA.

### Características

:

- Los objetos CORBA pueden estar en cualquier sitio de la red
- Los objetos CORBA pueden interoperar con objetos de otras plataformas
- Los objetos CORBA pueden escribirse en cualquier lenguaje de programación para el que exista un "mapeado" (correspondencia) desde el OMG IDL a dicho lenguaje. Actualmente las correspondencias definidas incluyen Java, C++, C, Smalltalk, COBOL, y Ada).

La plataforma Java 2 SE 1.4 proporciona un ORB que cumple con la especificación de CORBA 2.3.1 y dos modelos de programación CORBA que utilizan el ORB CORBA para Java y el Internet InterORB Protocol (IIOP). Los dos modelos de programación son el *modelo de programación RMI* (o RMI-IIOP), y el *modelo de programación IDL* (o Java IDL).

### 6.3.1 CORBA y EAI

La integraciones de aplicaciones para empresa (EAI) se puede conseguir en cuatro fases:

- Nivel de datos
- Nivel de interfaz de aplicación
- Nivel de lógica de negocio.
- Nivel de presentación

Normalmente se comienza con la integración a nivel de **datos**, y se continúa con la integración a nivel de **interfaz**, y posteriormente a nivel de **lógica del negocio**. En ambas fases (interfaz y negocio) el objetivo es el **reusar** la funcionalidad de las aplicaciones existentes.

El uso de aplicaciones existentes se conseguirá por:

- **Modificando el código fuente:** Debemos definir una o más **APIs** con las operaciones que necesitamos para acceder de forma externa, y conectar dichas operaciones con el

código existente. CORBA es una tecnología adecuada para realizar esto. Para cada interfaz que queramos añadir a la aplicación deberemos definir un **nuevo objeto CORBA distribuido**, declararemos las operaciones de la interfaz y conectaremos cada operación con el código fuente de la aplicación existente.

- **Mediante técnicas como screen scraping o emulación de terminales:** Si el código fuente no está disponible, o si no disponemos de las herramientas necesarias para recompilar la aplicación a partir del código fuente, o simplemente no queremos modificar el código fuente, podemos utilizar estas técnicas. **Screen scraping** y emulación de terminales son apropiadas principalmente para aplicaciones basadas en caracteres, los wrappers simulan lo que teclea el cliente para realizar las funciones de las aplicaciones existentes y leer la pantalla para extraer los resultados. En este caso el uso de CORBA vuelve a resultar adecuado.

### 6.3.2 Arquitectura CORBA

CORBA consiste en la especificación de un modelo de objetos distribuido independiente del lenguaje, sistema operativo y plataforma. La parte principal de CORBA es el ORB (Object Request Broker). ORB actúa como un bus de mensajes que transporta peticiones de invocación de operaciones y sus resultados sobre objetos CORBA, proporcionando la infraestructura de comunicación necesaria de forma que oculte todos los detalles de la comunicación entre objetos distribuidos. La **transparencia de localización** es la capacidad de acceder e invocar operaciones sobre un objeto CORBA sin necesidad de conocer dónde reside dicho objeto. La idea es que debería ser igualmente sencillo invocar una operación residente en una máquina remota que un método de un objeto en el mismo espacio de direcciones. La **transparencia de lenguaje de programación** proporciona la libertad de implementar la funcionalidad encapsulada un objeto usando el lenguaje más adecuado, bien por las habilidades de los programadores, la idoneidad del lenguaje para la tarea específica, o la elección de un “tercer” desarrollador que proporciona componentes ya creados (off-the-shelf components). La clave de este grado de libertad es un **lenguaje de definición de interfaces** que es neutral con respecto a la implementación, y que proporciona una separación entre la interfaz y su implementación. Dicho lenguaje se denomina **Interface Definition Language** (IDL), y se utiliza para definir las interfaces de los objetos, independientemente del lenguaje de programación en el que estén implementados. Es un lenguaje fuertemente declarativo, con un rico conjunto de tipos de datos para describir parámetros complejos. Una interfaz IDL actúa como un contrato entre los desarrolladores de objetos y los eventuales usuarios de dichos interfaces. También permite a los usuarios de CORBA compilar las definiciones de las interfaces en código oculto para la transmisión de peticiones de invocaciones a través de las redes y las arquitecturas de las máquinas sin necesitar ningún conocimiento sobre el protocolo de red utilizado, o incluso la localización del objeto involucrado.

## 6.4 SOAP

Protocolo de acceso simple a objetos o SOAP. que existen diversos tipos de web services, uno de los que mayor impacto tiene es el tipo SOAP este tipo de servicio está basado en el intercambio de información mediante *xml* y su principal protocolo de funcionamiento es el *http*, sin embargo también puede ser enviado mediante otros protocolos como *ftp*, *pop3*, *tcp* y colas de mensajería.

**Ventajas:**

- Permite agregar metadatos en sus atributos.
- Permite definir espacios de nombres para evitar la ambigüedad en su descripción.
- Cuenta con métodos de validación más potentes que los de *json*.
- Funciona bien en ambientes empresariales es decir comunicaciones de servidor a servidor.

Al usar SOAP con el protocolo *http* el tipo de contenido del mensaje que utiliza este protocolo debe establecerse en *xml* que requiere la agregación de una línea que contiene SOAPAction en que debe estar presente en la cabecera *http*. Por último podemos decir que la entrada SOAPAction permite que los firewalls del destino identifiquen los mensajes SOAP.

# Microelectrónica en RF

<b>7</b>	<b>Osciladores</b>	<b>75</b>
7.1	Ondas electromagnéticas	75
7.2	Distorsión	78
7.3	Circuitos resonantes	87
7.4	Osciladores	93
<b>8</b>	<b>Circuitos de enganche</b>	<b>98</b>
8.1	Lazos enganchados por fase-PLL	98



## 7. Osciladores

### 7.1 Ondas electromagnéticas

Las ecuaciones de Maxwell, propuestas por primera vez por James Clerk Maxwell, reúnen las leyes experimentales de la electricidad y el magnetismo. Estas ecuaciones desempeñan en el electromagnetismo un papel análogo, a las leyes de Newton en la Mecánica. Con estas ecuaciones Maxwell pudo demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas. Estas ondas electromagnéticas son originadas por cargas eléctricas aceleradas y fueron producidas por primera vez en el laboratorio por Heinrich Hertz en 1887. Maxwell mostró que la velocidad de las ondas electromagnéticas en el **espacio vacío** es:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (7.1)$$

En otro medio es:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (7.2)$$

Los campos E y B de la OEM son **perpendiculares** entre sí. Ambos son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda (onda transversal). Las magnitudes de E y B están en fase y se relacionan por la expresión:

$$E = c \cdot B$$

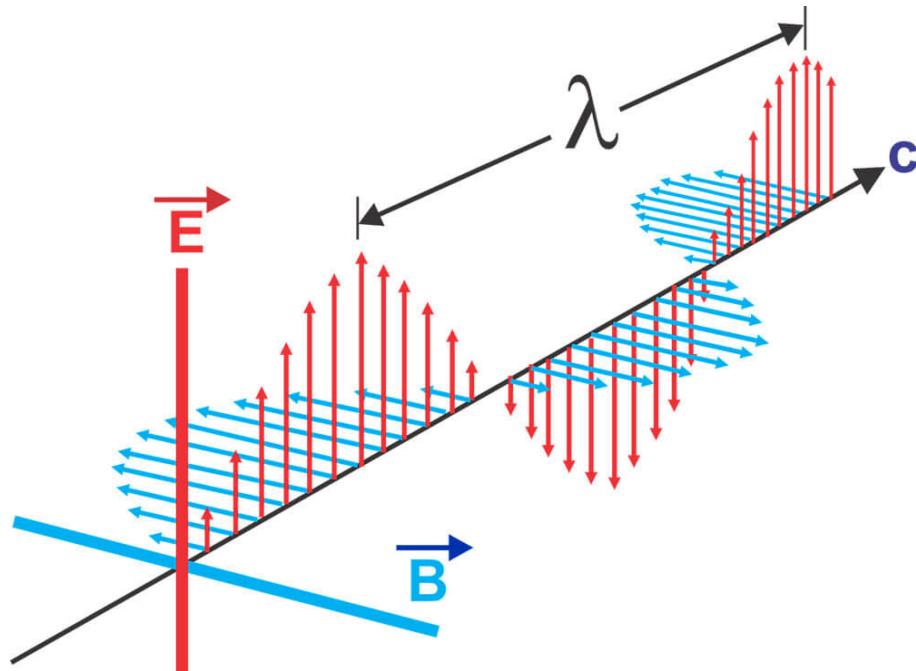


Figure 7.1: Ondas electromagnéticas

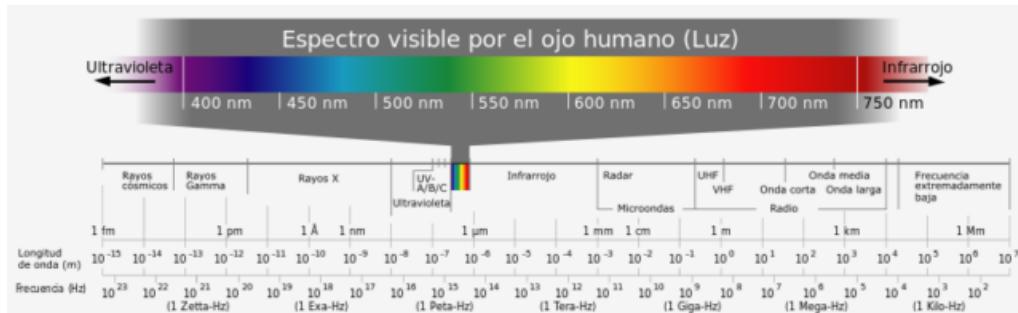


Figure 7.2: Espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas se presentan cuando se aceleran las cargas eléctricas. Las antenas deben tener ciertas impedancias, en esto es importante el tamaño de las antenas para evitar ROE, es por eso el tamaño el tamaño de las antenas deben estar en resonancia con la longitud de onda. Para este curso, trabajaremos con frecuencias desde  $\times 10^3$  –  $\times 10^6$  Hz aproximadamente. Altas frecuencias ya estaríamos hablando de microondas.

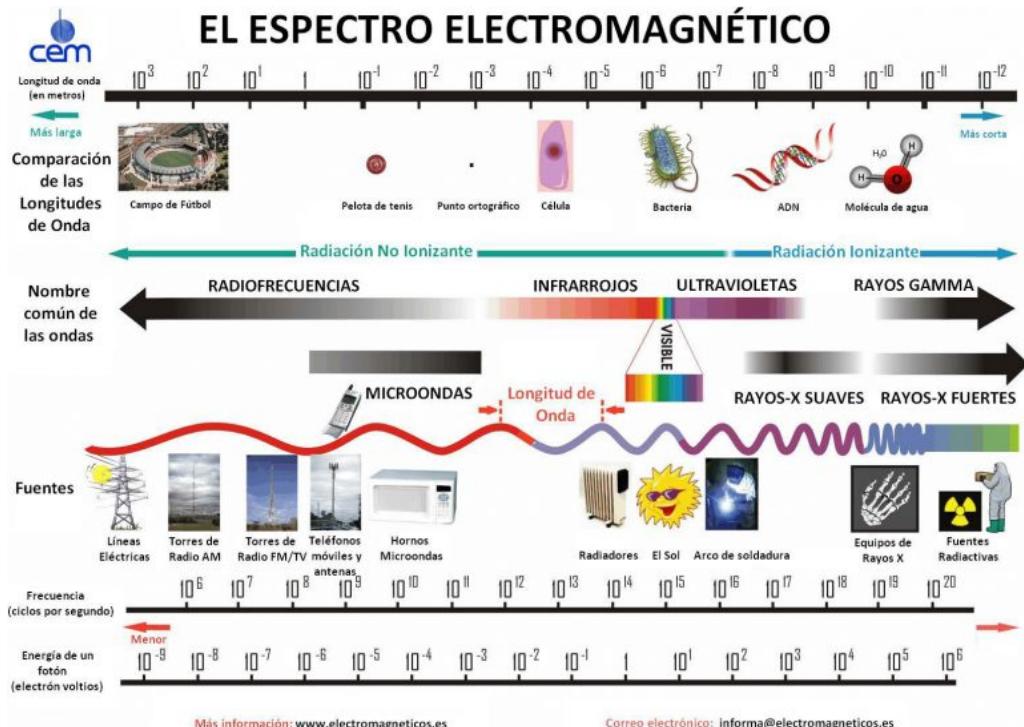


Figure 7.3: Espectro electromagnético con ejemplos.

## Infrarojos

La radiación infrarroja (IR) es una radiación electromagnética cuya longitud de onda comprende desde los 760-780 nm, limitando con el color rojo en la zona visible del espectro, hasta los 10.000 o 15.000 nm (según autores), limitando con las microondas.

## Ultravioleta

Se denomina radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 100 nm ( $100 \times 10^{-9}$  m) y los 400 nm ( $400 \times 10^{-9}$  m). Su nombre proviene del hecho de que su rango empieza desde longitudes de onda más cortas de lo que el ojo humano identifica como luz violeta, pero dicha luz o longitud de onda, es invisible al ojo humano al estar por encima del espectro visible. Esta radiación es parte integrante de los rayos solares y produce varios efectos en la salud al ser una radiación entre no-ionizante e ionizante.

## Rayos X

Los rayos X son ondas de energía extremadamente alta con longitudes de onda entre 0.03 y 3 nanómetros, no mucho más largas que un átomo. Los rayos X son emitidos por fuentes que producen temperaturas muy altas como la corona del sol, que es mucho más caliente que la superficie.

## Rayos gamma

Rayos gamma. Longitud de onda igual o menor a  $\times 10^{-17}$  m. Frecuencia igual o superior a  $\times 10^{25}$  Hz. La región de los rayos gamma del espectro electromagnético se solapa con la de los rayos X. La radiación gamma es producto principalmente de los núcleos

inestables de materiales radiactivos artificiales y naturales. También son un componente de la llamada radiación cósmica, radiación que baña la Tierra procedente del espacio exterior. Son rayos muy penetrantes y producen daños serios si son absorbidos por tejidos vivos. En consecuencia, quienes trabajan cerca de este tipo de radiación peligrosa, deben estar protegidos con materiales de gran absorción, como gruesas capas de plomo.

## 7.2 Distorsión

Tengamos un sistema donde la respuesta ideal es  $x(t)$ , en realidad no se obtendrá esa señal, por el contrario, obtendremos  $y(t)$ , esta señal no es la ideal pues puede haberse visto alterada por distintos factores. Se define el error como:

$$e(t) = y(t) - x(t) \quad (7.3)$$

Con esto en mente, podemos definir la distorsión como:

**Definición 7.1 — Distorsión.** Es cualquier cambio en una señal que altera su forma de onda básica (en el dominio del tiempo) o bien, altera la relación entre sus componentes espectrales (dominio de la frecuencia). La distorsión puede ser del tipo **lineal** o del tipo **no lineal**. Relación de las potencias medias del error y de la señal.

$$D = \frac{\langle e^2(t) \rangle}{\langle y^2(t) \rangle} = \frac{P_e}{P_y} \quad (7.4)$$

Donde:

- $e(t)$ : Error.
- $y(t)$ : Señal obtenida.
- $P_e$ : Potencia del error. (W)
- $P_y$ : Potencia de la señal recibida. (W)

La distorsión nace de los elementos reales: transmisor, línea de transmisión, antenas, etc. La distorsión no solo afecta la amplitud, puede afectar fase, información dada, etc.

### 7.2.1 Distorsión lineal

Una distorsión es lineal cuando la respuesta en frecuencia del circuito que trata a dicha señal no es de una amplitud constante, o cuando se producen variaciones de fase en dicha señal. En otras palabras, una distorsión lineal provoca el mismo porcentaje de error en una señal grande que en una pequeña.

Existen distorsión de amplitud en la conversión de FM-AM por ejemplo. Ecos y reflexiones múltiples, los rebotes o propagación con trayectoria.

En un canal sin distorsión, supongamos que tenemos la siguiente señal:

$$y(t) = G \cdot x(t - \tau)$$

Tenemos un desfase en  $\tau$ . Nuestra respuesta es lineal e invariante con el tiempo; en amplitud es constante con  $\omega$  y la respuesta en fase es lineal con  $\omega$ .

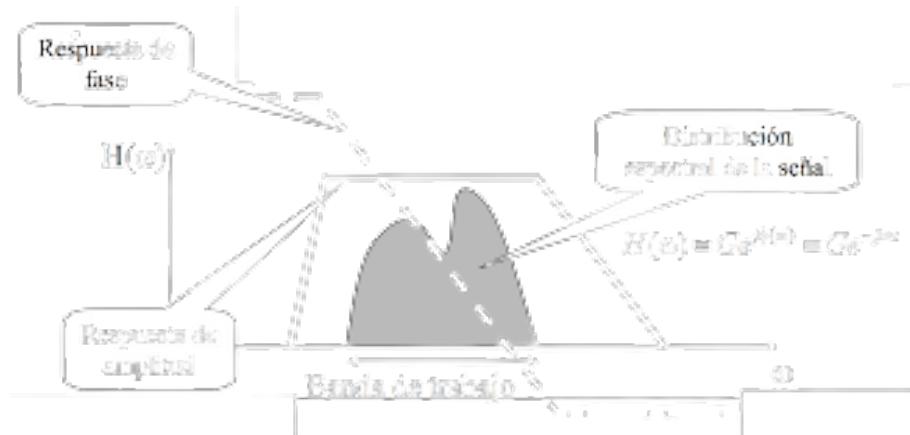


Figure 7.4: Canal de distorsión.

En una **distorsión de amplitud**, la respuesta espectral varía en amplitud con la frecuencia, la modulación PM/FM genera una modulación AM.

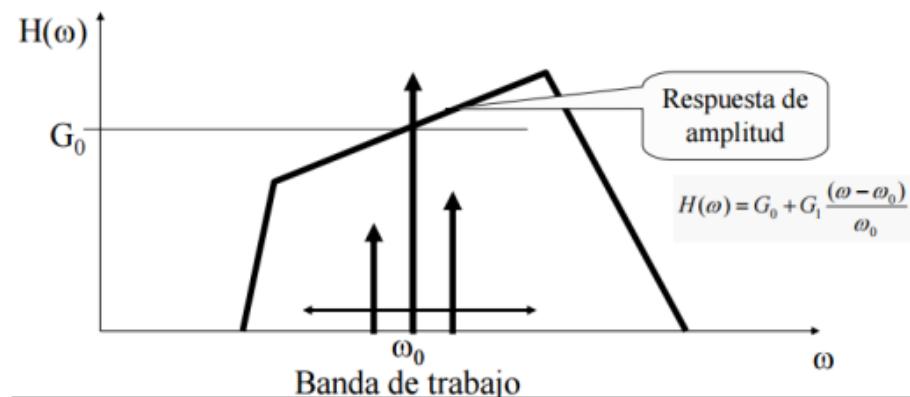


Figure 7.5: Distorsión en FM-AM.

Para **distorsión de fase**,

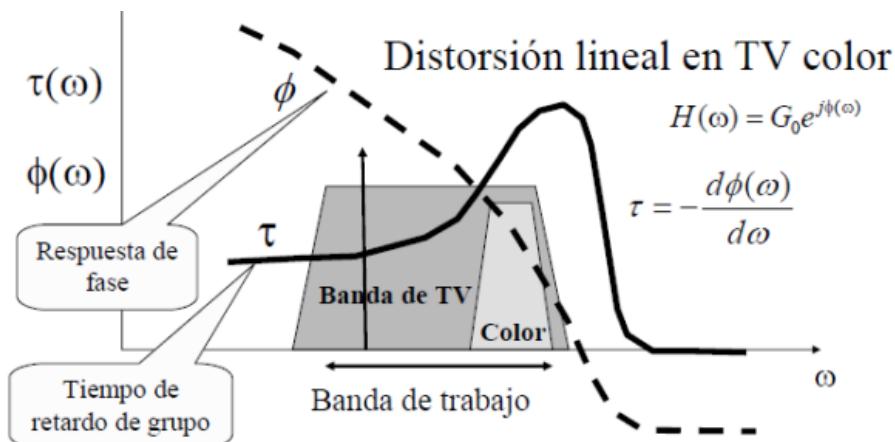


Figure 7.6: Distorsión de fase: retardo no uniforme.

## Distorsión lineal por ecos

### Ecos y reflexiones múltiples

En la actualidad existen  $n$  portadoras de donde sea (artificiales y naturales), para un sistema OFDM, nuestra señal es dividida en pedazos pequeños o portadoras desfasadas, que hacen que reboten en distintos puntos antes de llegar al receptor. El objetivo es evitar que la toda la información se pierda por perdida de línea.

### Distorsión por ecos

Las señales que se retardan pueden sumarse a la fundamental, estos pueden ser causadas por ecos, es decir tienen la misma información pero están corridas en el tiempo, esto produce respuestas en amplitud y fase ondulada. Para resolver este problema usamos un ecualizador para cancelar ecos.

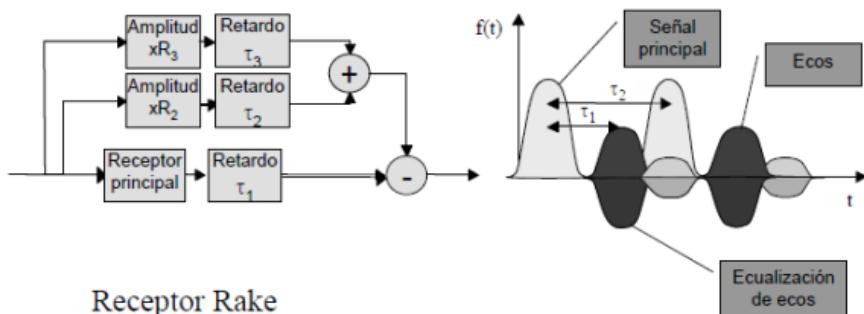


Figure 7.7: Cancelar ecos: receptor Rake.

Si hay llegado múltiples portadoras, habrá un amplificador para ajustar la amplitud a la llegada, luego de ellos se les añadirá un retardo ajustable (aparte del retardo con el que llegó la señal) hasta que los retardos de las portadoras coincidan con un múltiplo del receptor principal. Finalmente resta la señal a la señal principal (Fundamentos del receptor Rake).

**Ejemplo 7.1 — Considere un sistema formado por un transmisor de TV analógica y una antena unidos por un cable coaxial, que consideramos sin pérdidas, de 150m de longitud y lleno de un dieléctrico de constante dieléctrica  $\epsilon = 2$ . La señal de televisión está formada por una portadora de 600 MHz con una banda de modulación de 7.5 MHz. El coeficiente de reflexión a la salida del transmisor es de -10dB, y por un fallo en la conexión a la antena se produce una reflexión a su entrada de -5dB.. Determinando el retardo de la señal a lo largo del cable:**

Para el cable coaxial (que no es el vacío), el modo TEM, la velocidad de propagación usando la ecuación 7.2 es:

$$v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon}} = 212 \times 10^6 \text{ m/s}$$

Usando la ecuación del tiempo en función de la longitud:

$$\tau = \frac{150m}{212 \times 10^6 m/s} = 707.5ns$$

Este retardo nos servirá solo si tenemos una medida con quien comparar, de lo contrario es imperceptible. **¿Cuál será la amplitud de la señal reflejada en ambos extremos respecto de la señal directa?**

Aproximadamente, y si la reflexión es pequeña, el eco generado por reflexión tiene una relación de amplitud y fase en tensión con la señal directa dada por:

$$\frac{Eco}{Seal} \approx \Gamma_1 \Gamma_2 \exp(-2jkL)$$

Pasando las unidades de decibelios a unidades lineales (recordando que son decibelios de voltaje) tenemos:

$$Eco \approx 0.1736 Seal$$

La parte  $\exp(-2jkL)$  viene del movimiento senoidal/cosenoidal y puede ser tomada como +1 y -1 pues son los máximos.

#### Determine el rizado en amplitud y fase de la función de transferencia

Si las reflexiones son pequeñas, y salvando un factor de fase, la función de transferencia puede aproximarse por:

$$H(\omega) \approx 1 + \Gamma_1 \Gamma_2 \exp(-2jkL) = 1 + \Gamma_1 \Gamma_2 \exp(-2j\omega\tau)$$

La fase de reflexión varía dentro de la banda  $2(\omega_2 - \omega_1)\tau = 66.9rad$  (más de diez vueltas), y, por tanto, los valores máximos y mínimos de amplitud y fase dentro de la banda serán:

$$\begin{aligned} |H(\omega)|_{mx} &\approx 1 + \Gamma_1 \Gamma_2 = 1.18 \simeq 1.35dB \\ |H(\omega)|_{min} &\approx 1 - \Gamma_1 \Gamma_2 = 0.83 \simeq -1.70dB \\ arg[H]_{mx} &\approx atan(\Gamma_1 \Gamma_2) = 0.176rad \simeq 10.1 \\ arg[H]_{min} &\approx a - tan(\Gamma_1 \Gamma_2) = -0.176rad \simeq -10.1 \end{aligned}$$

■

### 7.2.2 Distorsión no lineal

Esta distorsión es más difícil de tratar, tiene un comportamiento aleatorio, al no ser lineales las funciones de transferencia poseen valores cuadráticos.

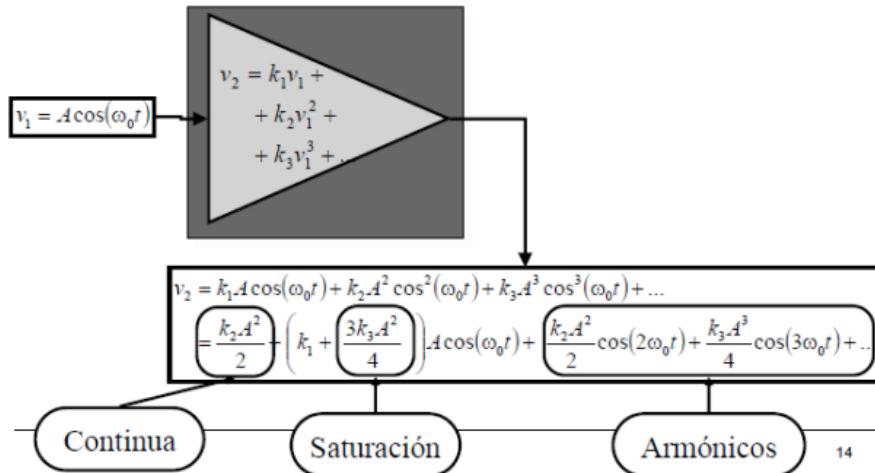


Figure 7.8: Distorsión no lineal: Función de transferencia polinómica.

Vemos que el resultado es de una forma polinómica, y nosotros al querer de bajar de grado los polinomios usando identidades trigonométricas vamos a generar constantes, que se tratan como componentes en **continua**, estos pueden ser eliminados con condensadores. Tenemos saturación, componentes que hacen que la amplitud de nuestra señal se eleve considerablemente, estos consumirán energía y se controlan con atenuación pasiva. Por último tenemos **armónicos**, estos pueden consumen energía y consumen espectros de otras bandas que no se nos fueron asignadas, debemos aplicar filtros para controlarlos. Esto se llama **distorsión armónica**.

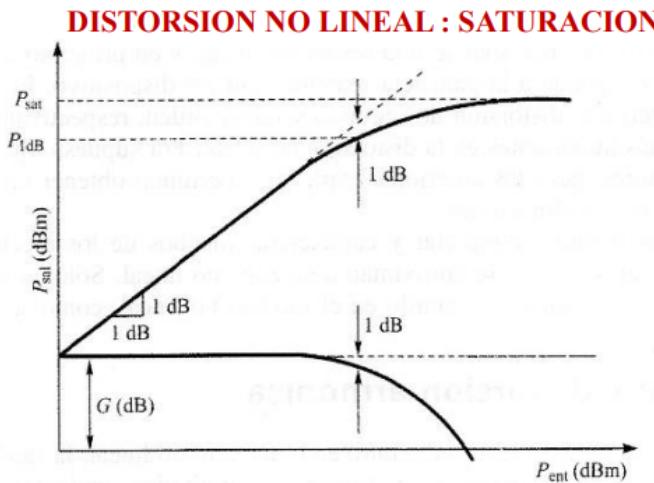


Figure 7.9: Ganancia y potencia de salida en un proceso de saturación.

Nota que se da un margen de 1 dB para poder calcular la potencia de saturación. Esta potencia a 1dB se llama **punto de compresión de 1dB**: Potencia a la salida en que la ganancia se ha reducido un decibelio.

Como lo visto, cuando se inyecta un tono sinusoidal puro en el modelo no lineal, la salida contiene varias componentes de diferentes frecuencias que toman las amplitudes siguientes: Entrada:

$$v_1 = A \cos(\omega_0 t)$$

Salida:

$$\begin{aligned} v_2 &= k_1 A \cos(\omega_0 t) + k_2 A^2 \cos^2(\omega_0 t) + k_3 A^3 \cos^3(\omega_0 t) + \dots \\ &= \frac{k_2 A^2}{2} + \left( k_1 + \frac{3k_3 A^2}{4} \right) A \cos(\omega_0 t) + \dots \end{aligned}$$

Donde  $P = \frac{(k_1 A)^2}{2}$  es la potencia de salida en régimen lineal. El punto de compresión de 1 dB se obtiene para una ganancia de tensión que se ha reducido en 1 dB:  $g_v = 0.981 k_1$ . En ese punto, la potencia de salida viene dada por  $P_{1dB} = 0.794 P$ . Según el modelo polinómico se cumple entonces:

$$P_{1dB} = -0.058 \frac{k_1^3}{K_3}$$

En amplificadores muy lineales la relación es pequeña (0.3dB), mientras que en amplificadores poco lineales puede ser grande (2dB), siendo típicamente del orden de 1dB.

En el estudio de procesos no lineales en amplificadores de potencia, es frecuente referir la potencia de salida a la de saturación. Puede entonces definirse un *potencia de salida relativa a saturación* (OPBO):

$$OPBO(dB) = P_{sat}(dBm) - P_0(dBm) \quad (7.5)$$

**Ejemplo 7.2 — Un amplificador de potencia trabaja con una señal de RF cuya relación de potencia media a potencia pico es de 0.2. Si el nivel de saturación está 2dB por encima del punto de compresión de 1dB que es de 50dBm:.**

**Determine la potencia máxima de salida para que nunca se sature:**

Si se asocia la máxima potencia de salida al punto de compresión de 1dB, la potencia media será 7dB menor que la potencia de pico (factor 0.2).

$$P_{med} = P_{pico} \cdot 0.2$$

$$\frac{P_{pico}}{P_{med}} = 5 \simeq 6.99dB$$

La potencia de pico a la salida corresponde al punto de compresión de 1 dB. En realidad hay que estimar 1dB más por efectos de la compresión de ganancia, de forma que la potencia media es:

$$P_{med}(dBm) = P_{pico}(dBm) - 7 = \underbrace{P_{1dB} + 1}_{P_{pico}} - 7 = 44dBm$$

**Determine la OPBO:**

El nivel de salida realtivo a saturación se puede obtener como:

$$OPBO(dB) = \underbrace{P_{sat}(dBm)}_{P_{pico}+1dB} - P_{media}(dBm) = 52dB - 44dB = 8dB$$

■

### 7.2.2.1 Armónicos

La saturación provoca la aparición de armónicos de la señal de entrada, son cortes en las señales saturan la señal transportadora. Los armónicos se eliminan por filtrado. Se mide en porcentaje la tensión eficaz de armónico respecto a la tensión de salida o en dB de potencia.

**Definición 7.2 — Nivel de armónico de orden N.** Para calcular el nivel de un armónico de orden N ( $P_{AN}$ ) en un punto de potencia de salida ( $P_0$ ) diferente del especificado, se puede hacer el siguiente cálculo:

$$P_{AN} = P_{AN0} \left( \frac{P_{out}}{P_{ref}} \right)^N \quad (7.6)$$

Donde:

- $P_{out}$ : Potencia de salida. (W)
- $P_{ref}$ : Potencia de salida en un punto tomado como referencia para la medida del nivel del armónico. (W)
- $P_{AN0}$ : Potencia de referencia para un nivel de armónico. (W)

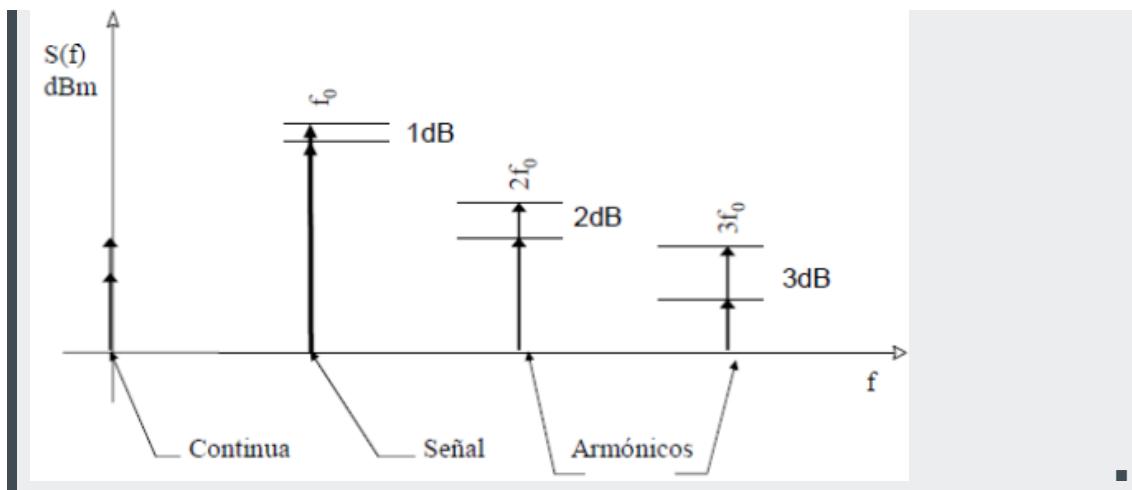
La ecuación 7.6 se puede expresar en dBm como:

$$P_{AN}(dBm) = P_{AN0}(dBm) + N(P_0(dBm) - P_{ref}(dBm)) \quad (7.7)$$

**Ejemplo 7.3 — Un amplificador de potencia lejos de la saturación genera un distorsión no lineal de forma que, al poner a la entrada una señal formada por un tono puro con una potencia de 10 dBm, a la salida produce una potencia fundamental de 22 dBm y, medido en el analizador de espectros, se ha detectado un segundo armónico de -10 dBm y un tercer armónico de potencia igual a -18 dBm Determine La potencia de segundo y tercer armónico para una potencia de salida de 26 dBm.** La potencia de referencia en la medida de armónicos es  $P_{ref} = 22dBm$ . De acuerdo con la ecuación 7.7, hemos aumentado la potencia de salida en  $P_0 - P_{ref} = 4dB$ , lo que significa que el segundo armónico aumentará en 8 y el tercero en 12 dB:

$$P_{A2}(dBm) = P_{A20}(dBm) + 2(P_0(dBm) - P_{ref}(dBm)) = -10 + 8 = -2dBm$$

$$P_{A3}(dBm) = P_{A30}(dBm) + 3(P_0(dBm) - P_{ref}(dBm)) = -18 + 12 = -6dBm$$



### 7.2.2.2 Intermodulación 3er orden: 2 tonos

Ahora en vez de meter una sola señal (tono) a un amplificador no lineal, vamos a meter dos tonos en diferente frecuencia:

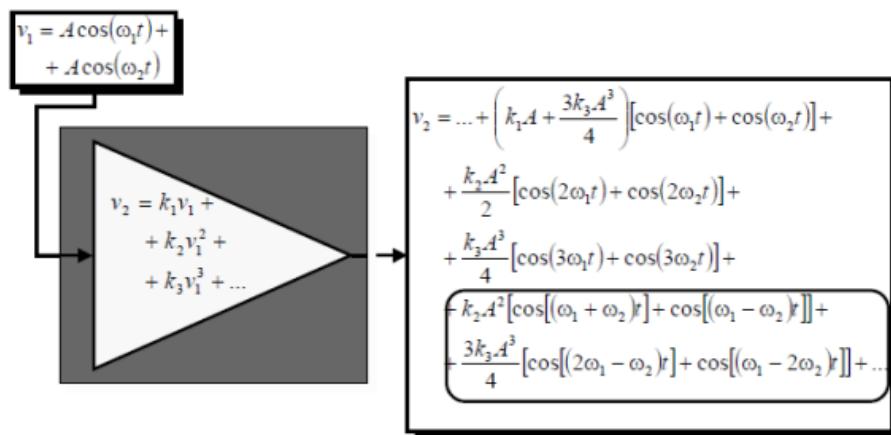


Figure 7.10: Amplificador no lineal a 2 tonos.

Igualmente debemos “bajar” los exponentes a orden uno, aunque los términos aumentarán. La salida en frecuencia se vería así:

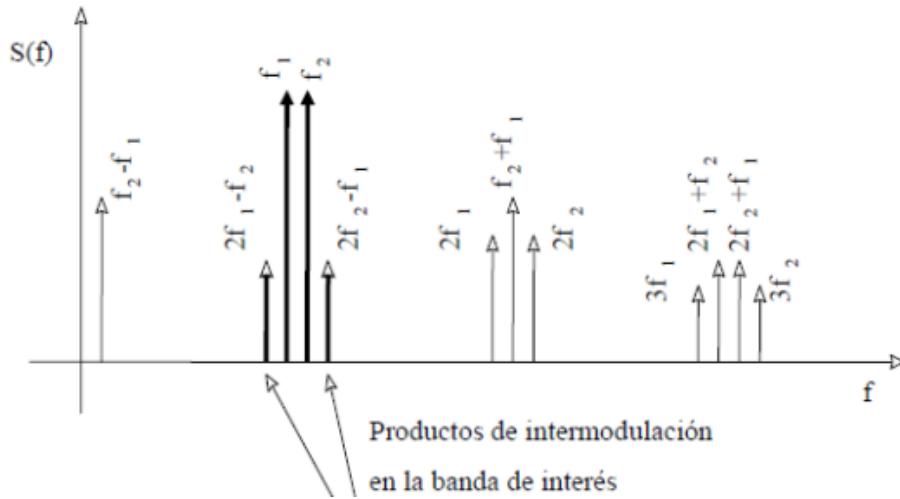


Figure 7.11: Intermodulación de tercer orden con dos tonos.

Nota que las combinaciones de frecuencias están a lo largo del dominio de frecuencia debido a la función de transferencia no lineal. A pesar de dos tonos, la amplificación esta generando 3 tonos.

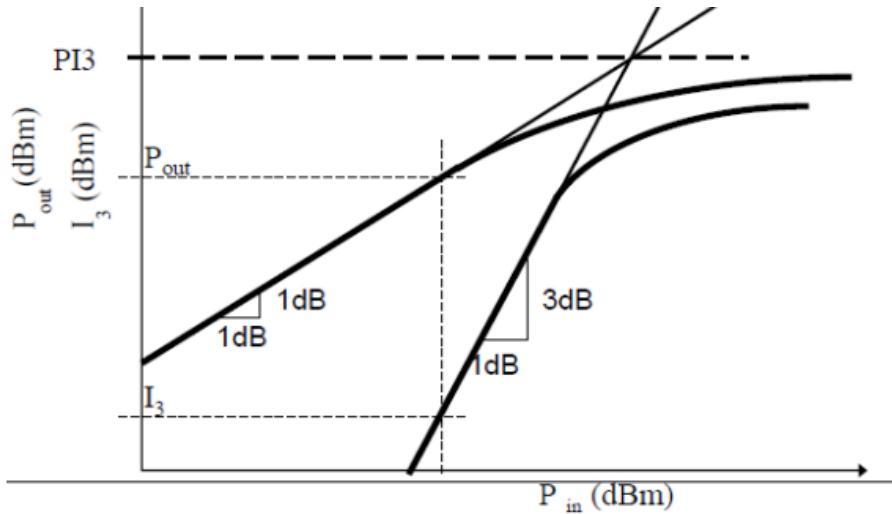


Figure 7.12: Intermodulación de tercer orden con dos tonos: potencia.

La potencia asociada a los productos de intermodulación se define como:

$$I_3 = CP_0^3 \quad (7.8)$$

Para potencia total de las señales de entrada ( $P_{out}$ ) ubicado en el punto de intersección de tercer orden ( $P_{out} = P \cdot I_3$ ):

$$P_{out} = I_3 = PI_3 \quad C = \frac{1}{P \cdot I_3^2}$$

En función del punto de intersección ( $PI_3$ ) y de la potencia de salida puede obtenerse la potencia de las componentes de intermodulación o su relación con la potencia de salida

como:

$$I_3 = P_{out} \left( \frac{P_{out}}{PI_3} \right)^2 \Rightarrow \frac{P_{out}}{I_3} = \left( \frac{PI_3}{P_{out}} \right)^2 \quad (7.9)$$

Donde  $P_0$  es la potencia de salida en señal (las dos componentes),  $PI_3$  es la potencia de medida en el punto de cruce e  $I_3$  es la potencia total en los productos de intermodulación (las dos componentes).

Es frecuente trabajar con las potencias en unidades logarítmicas (dBm) o con las relaciones de potencias en dB, lo que aplicado a las expresiones anteriores queda como:

$$I_3(\text{dBm}) = 3 \cdot P_{out}(\text{dBm}) - 2 \cdot PI_3(\text{dBm}) \quad (7.10)$$

$$\left( \frac{P_0}{I_3} \right) (\text{dB}) = 2 \cdot PI_3(\text{dBm}) - 2 \cdot P_{out}(\text{dBm}) \quad (7.11)$$

## 7.3 Circuitos resonantes

Un circuito resonante es una combinación de elementos sensibles a la frecuencia, conectados para obtener una respuesta selectora de frecuencia.

### Circuito resonante en paralelo

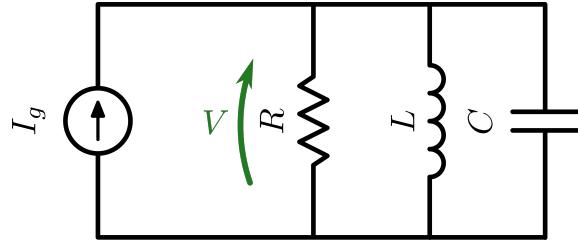


Figure 7.13: Circuito resonante en paralelo.

$$Y(j\omega) = G + j\omega C + \frac{1}{j\omega L} \quad (7.12)$$

En paralelo, al buscar una igualdad entre la reactancia capacitiva y la inductiva, estos no entrarán en corto circuito, sino entrarán en circuito abierto. De este modo, la admitancia será tan solo la conductancia:

$$Y(j\omega_0) = G$$

■ **Notación 7.1** En serie, la impedancia en los elementos L y C tiende a 0, mientras que en paralelo tiende a infinito cuando el circuito está en resonancia (funcionando con frecuencia de resonancia).

Cuando se logra una impedancia o admitancia puramente real es cuando se trabaja en la **frecuencia de resonancia**, cuando se logra eso se dice que el circuito mismo está en **resonancia**. En la resonancia, el voltaje y la corriente están en **fase** y, por consiguiente, el **ángulo de fase es cero** y el **factor de potencia es unitario**.

En el caso en **serie**, en la resonancia, la **impedancia** es un **mínimo** y, por consiguiente, la **corriente es máxima** para un voltaje dado.

■ **Notación 7.2** A bajas frecuencias, la impedancia del circuito en serie está dominado por el término capacitivo y la admitancia del circuito en paralelo está dominada por el término inductivo.

A altas frecuencias, la impedancia del circuito en serie está dominado por el término inductivo y la admitancia del circuito en paralelo está dominada por el término capacitivo.

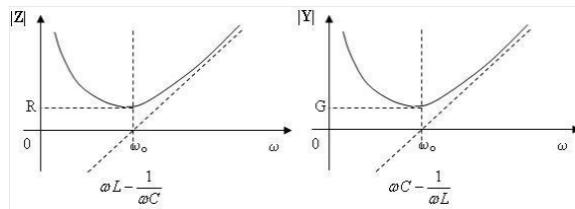


Figure 7.14: Gráficas del comportamiento en la frecuencia de resonancia para serie y paralelo.

**Definición 7.3 — Función de transferencia en paralelo.** Realizando una asociación de admitancias en paralelo para hallar la función de transferencia sobre una fuente de corriente se obtiene:

$$H = \frac{1}{1 + j(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L})R} \quad (7.13)$$

**Definición 7.4 — Frecuencia de resonancia.**

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \quad (7.14)$$

Donde:

- $f_r$ : Frecuencia de resonancia. (Hz)
- **L**: Inductancia. (H)
- **C**: Capacitancia. (F)

**Definición 7.5 — Factor de calidad-paralelo.** En esencia  $Q$  es una medida de la capacidad de almacenamiento de energía de un circuito en relación con su capacidad de disipación de energía.

$$Q = \omega_r \cdot C \cdot R = \frac{R}{\omega_r \cdot L} = R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (7.15)$$

Donde:

- $\omega_r$ : Frecuencia de resonancia. (rad/s)
- **C**: Capacitancia. (F)
- **R**: Resistencia. ( $\Omega$ )
- **L**: Inductancia. (H)

**R** Cuando esta en resonancia, la función de transferencia debe ser igual a la unidad. Con el factor de calidad se puede llegar a una expresión para la función de transferencia

expresada en la ecuación 7.13 :

$$H = \frac{1}{1 + jQ \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)} \quad (7.16)$$

Donde su magnitud y fase están dadas por:

$$|H| = \frac{1}{\left[ +Q^2 \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (7.17)$$

$$\phi = -\tan^{-1} Q \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \quad (7.18)$$

A ciertas frecuencias se obtiene los siguientes valores:

$\omega$	0	$\omega_1$	$\omega_0$	$\omega_2$	$\infty$
$ H $	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	1	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	0
$\phi$	$90^\circ$	$45^\circ$	$0^\circ$	$-45^\circ$	$-90^\circ$

Table 7.1: Valores importantes para el módulo y fase de H.

Notamos que tenemos dos frecuencias:  $\omega_1$  y  $\omega_2$ , que corresponden a  $H = \frac{1}{\sqrt{2}}$ . Examinando la ecuación de la magnitud H, se observa que  $H = \frac{1}{\sqrt{2}}$  se presenta cuando:

$$Q^2 \left( \frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} \right)^2 = 1 \quad (7.19)$$

La ecuación 7.19 se puede reordenar en forma de una ecuación de cuarto grado, en función de  $\omega$ . Despejando los valores de interés, se obtiene:

**Definición 7.6 — Frecuencias de media potencia.** Estos parámetros indican desde qué frecuencias hasta qué frecuencias opera nuestro circuito, en otras palabras limita el ancho de banda:

$$\omega_1 = \omega_0 \sqrt{1 + \left( \frac{1}{2Q} \right)^2} - \frac{\omega_r}{2Q} \quad (7.20)$$

$$\omega_2 = \omega_0 \sqrt{1 + \left( \frac{1}{2Q} \right)^2} + \frac{\omega_r}{2Q} \quad (7.21)$$

**Definición 7.7 — Ancho de banda.** El ancho de banda (WB) del circuito se define como el intervalo que se encuentra entre las dos frecuencias donde la magnitud de la ganancia es  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  (-3dB). El ancho de banda de un circuito selectivo en frecuencia es el intervalo entre las frecuencias donde la magnitud de la ganancia cae a  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  veces el valor máximo.

$$WB = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_r}{Q} \quad (7.22)$$

Donde:

- **WB**: Ancho de banda. (rad/s)
- $\omega_2$ : Frecuencia superior en -3dB. (rad/s)
- $\omega_1$ : Frecuencia inferior en -3dB. (rad/s)
- $\omega_r$ : Frecuencia de resonancia. (rad/s)
- $Q$ : Factor de calidad.

La ecuación 7.22 ilustra que el ancho de banda es inversamente proporcional a  $Q$ . Por tanto, la selectividad de frecuencia del circuito esta determinada por el valor de  $Q$ . Un circuito de  $Q$  alta tiene un ancho de banda pequeño y, por consiguiente, el circuito es muy selectivo.

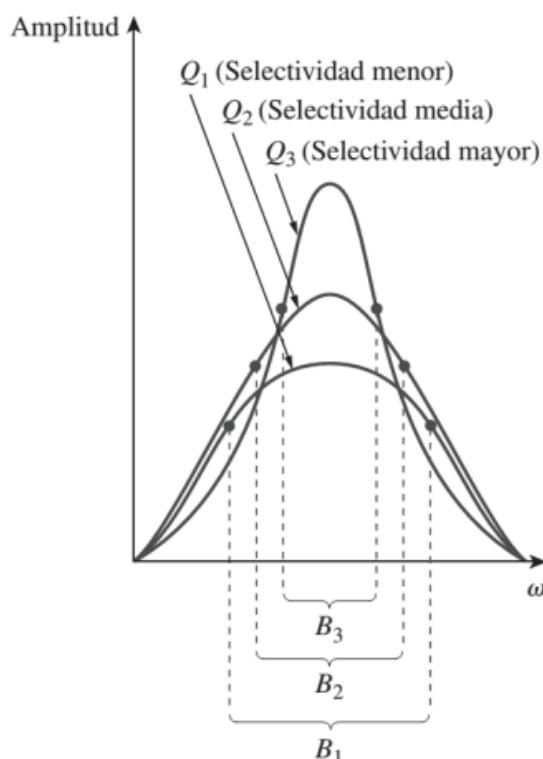


Figure 7.15: Cuanto más alta  $Q$ , tanto más pequeño el ancho de banda.

Cuando  $Q > 10$ , las expresiones 7.21 se reducen a:

$$\omega_1 \cong \omega_r - \frac{WB}{2} \quad (7.23)$$

$$\omega_2 \cong \omega_r + \frac{WB}{2} \quad (7.24)$$

Cuando  $Q > 10$ , la curva de magnitud tiene una simetría aritmética aproximada entorno  $\omega_r$ . Independientemente de  $Q$ , la respuesta es simétrica en una escala logarítmica de frecuencia.

**R** Si la banda de frecuencia que se va a seleccionar o a rechazar es estrecha, el  $Q$  del circuito resonante debe ser alto. Si la banda de frecuencias es amplia, el  $Q$  debe ser bajo.

Para pequeñas desviaciones de frecuencias con respecto a  $\omega_0$ ,  $Q$  es relativamente alta y definimos  $\delta$  como:

$$\delta = \frac{\omega - \omega_r}{\omega_r} = \frac{\omega}{\omega_r} - 1$$

donde  $\delta$  representa la cantidad proporcional por la que la frecuencia se desvía de  $\omega_r$ , entonces podemos escribir el siguiente factor en términos de  $\delta$ :

$$\frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} = (\delta + 1) + \left( \frac{1}{\delta + 1} \right) = \frac{(\delta + 1)^2 - 1}{\delta + 1} = \frac{\delta^2 + 2\delta}{\delta + 1}$$

Usando  $\delta \ll 1$  para pequeñas desviaciones de  $\omega_r$ :

$$\frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} \cong 2\delta$$

Entonces  $H$  es:

$$H = \frac{1}{1 + j2Q\delta} \quad (7.25)$$

Que es una aproximación válida siempre que  $\delta \ll 1$ .

### Circuito resonante en serie

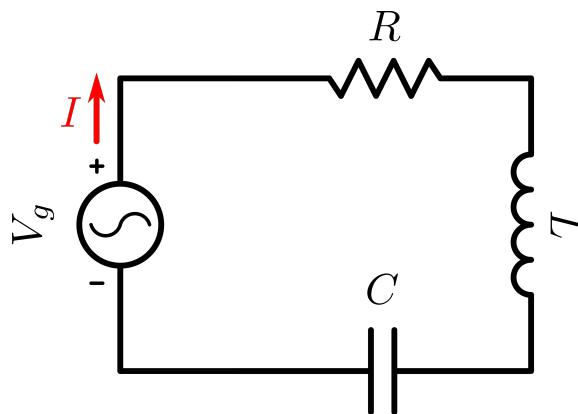


Figure 7.16: Circuito resonante en serie.

Para un circuito RLC en serie, la **impedancia de entrada** se define:

$$Z(j\omega) = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (7.26)$$

Vemos que las reactancias inductivas y capacitivas se mueven, independientemente de sus valores  $L$  y  $C$ , con la frecuencia  $\omega$ , lo que se busca es que las reactancias se anulen para que nos quede la impedancia como un elemento netamente resistivo:

$$Z(j\omega_0) = R$$

■ **Notación 7.3** Que las reactancias se anulen significa que esos elementos funcionarán como un corto circuito.

■ **Definición 7.8 — Función de transferencia en serie.** La función de transferencia

para un circuito en serie esta dada por:

$$H = \frac{1}{1 + j \left( \frac{\omega_r L}{R} - \frac{1}{\omega_r C R} \right)} \quad (7.27)$$

### Definición 7.9 — Factor de calidad-serie.

$$Q = \frac{\omega_r L}{R} = \frac{1}{\omega_r C R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (7.28)$$

Donde:

- $\omega_r$ : Frecuencia de resonancia. (rad/s)
- **C**: Capacitancia. (F)
- **R**: Resistencia. ( $\Omega$ )
- **L**: Inductancia. (H)

Con el factor de calidad se puede definir la ecuación 7.27 como:

$$H = \frac{1}{1 + j Q \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)} \quad (7.29)$$

Característica	Circuito en serie	Circuito en paralelo
Frecuencia resonante, $\omega_0$	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$
Factor de calidad, $Q$	$\frac{\omega_0 L}{R} \circ \frac{1}{\omega_0 R C}$	$\frac{R}{\omega_0 L} \circ \omega_0 R C$
Ancho de banda, $B$	$\frac{\omega_0}{Q}$	$\frac{\omega_0}{Q}$
Frecuencias de media potencia, $\omega_1, \omega_2$	$\omega_0 \sqrt{1 + \left( \frac{1}{2Q} \right)^2} \pm \frac{\omega_0}{2Q}$	$\omega_0 \sqrt{1 + \left( \frac{1}{2Q} \right)^2} \pm \frac{\omega_0}{2Q}$
Para $Q \geq 10$ , $\omega_1, \omega_2$	$\omega_0 \pm \frac{B}{2}$	$\omega_0 \pm \frac{B}{2}$

Figure 7.17: Resumen de osciladores:  $\omega_0$  es la frecuencia de resonancia  $\omega_r$

## 7.4 Osciladores

### 7.4.1 Sistemas retroalimentados

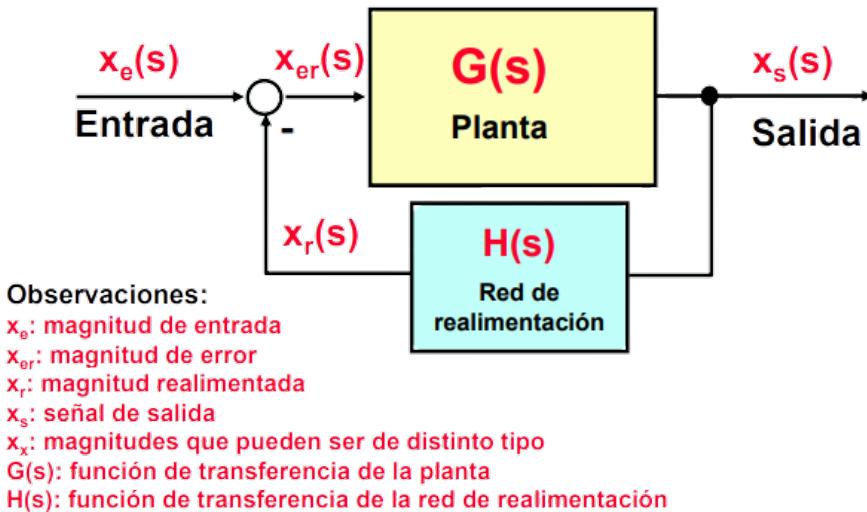


Figure 7.18: Sistemas retroalimentados.

De esta figura se desprenden dos ecuaciones que caracterizan a la función de transferencia:

#### Lazo abierto: ganancia

$$G(s) = \frac{x_s(s)}{x_{er}(s)} \quad (7.30)$$

#### Lazo cerrado: ganancia retroalimentada:

$$\frac{x_s(s)}{x_e(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s) \cdot H(s)} \quad (7.31)$$

- **Notación 7.4** Si la retroalimentación es negativa, en la ecuación de lazo cerrado es positiva; igualmente si es positiva la retroalimentación, la ecuación es negativa.

Algunos casos particulares que tenemos son:

- Realimentación negativa:

$$|1 + G(s) \cdot H(s)| > 1$$

- Alta ganancia de lazo: Cuando la ganancia es muy grande

$$\frac{x_s(s)}{x_e(s)} = \frac{1}{H(s)}$$

- Realimentación positiva:

$$|1 + G(s) \cdot H(s)| < 1$$

- Oscilación

$$|1 + G(s) \cdot H(s)| = 0$$

La **oscilación** es indeseada en servosistemas y deseada en osciladores.

## Caso de oscilación

Si tenemos en cuenta la condición de oscilación, entonces se tendrá  $x_s(s)/x_e(s) \rightarrow \infty$ . Por lo tanto se genera una señal de salida ( $x_s$ ) aunque no haya entrada ( $x_e$ )

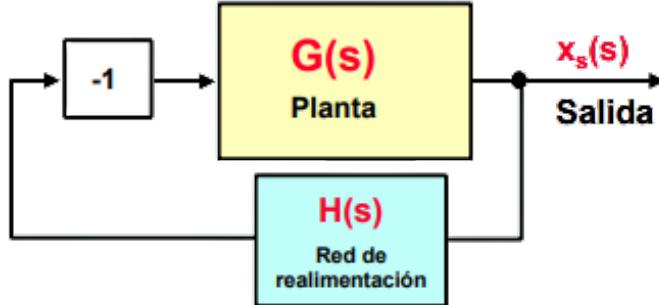


Figure 7.19: Inversión de la red de retroalimentación

Cuando se está oscilando, se tiene:

$$|G(s) \cdot H(s)| = 1$$

$$\angle G(s) \cdot H(s)^\circ = 180^\circ$$

En oscilación:

$$|G(j\omega_r) \cdot H(j\omega_r)| = 1$$

$$\angle G(j\omega_r) \cdot H(j\omega_r)^\circ = 180^\circ$$

Graficando la oscilación en la figura 7.20, nota como la señal sale en fase de la planta, en la salida llega la onda amplificada mientras que en la red de retroalimentación se atenúa la señal un poco pero esta totalmente desfasada. Por mejor del bloque inversor esta se acopla nuevamente a la onda. Con esto nos aseguramos que la oscilación ha comenzado.

### 7.4.1.1 Condición de oscilación

**¿Qué tiene que suceder para que comience la oscilación?**

Los circuitos osciladores son un tanto especiales, necesitamos para arrancar una señal de entrada que sirva como una señal de arranque ( $x_e$ ) (Fig. 7.21). Cuando el sistema termine de arrancar, cerramos el switch y podemos quitar la señal de entrada. Hay que asegurarnos que  $|G(j\omega_{osc}) \cdot H(j\omega_{osc})| > 1$ .

$H(j\omega_{osc}) > 1$ , cuando el desfase es  $180^\circ$ , entonces podemos hacer que la salida del lazo de retroalimentación haga las funciones de la magnitud de entrada. En la figura 7.22 el sistema ya está arrancando, pero no termina ahí, ahora debe calibrarse para que pueda auto-arrancar por si solo.

**Momento de oscilación**

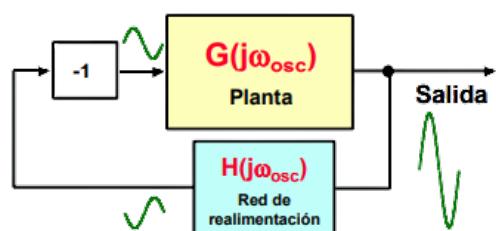


Figure 7.20: Condición de oscilación.

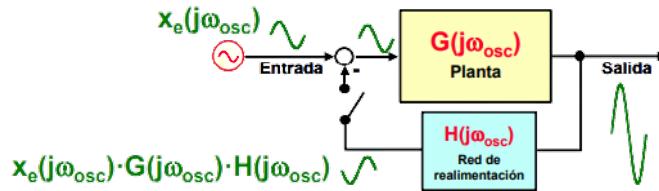


Figure 7.21: Condición de oscilación

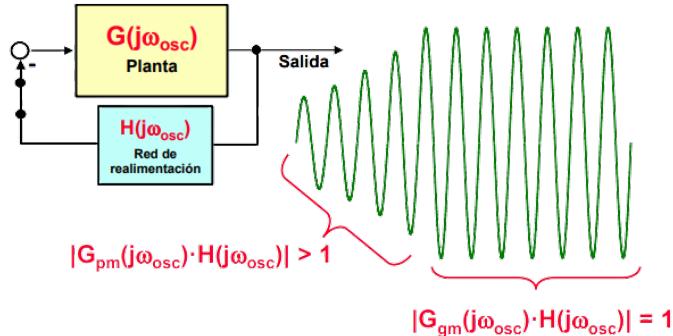


Figure 7.23: Transición a estable.

■ **Notación 7.5**  $G_{pm}(s)$  significa función de transferencia de pequeña magnitud.  $G_{gm}(s)$ : función de transferencia de gran magnitud.

### Criterio de Nyquist

Para que empiece la oscilación:

- Tiene que existir una  $\omega_{osc}$  a la que se cumpla:

$$\angle G(j\omega_{osc}) \cdot H(j\omega_{osc})^\circ = 180^\circ$$

- A esa  $\omega_{osc}$  tiene que cumplirse:

$$|G(j\omega_{osc}) \cdot H(j\omega_{osc})| > 1$$

Cuando se estabiliza la oscilación:

- Disminuye la ganancia

$$G(j\omega_{osc})$$

hasta que

$$|G(j\omega_{osc}) \cdot H(j\omega_{osc})| = 1$$

cuando

$$\angle G(j\omega_{osc}) \cdot H(j\omega_{osc})^\circ = 180^\circ$$

### Diagramas de Bode

Observa la linea punteada, de la figura 7.24a, debe ser corregida pues tanto la fase como la magnitud deben coincidir en la misma frecuencia a 0dB (o  $|G(j\omega_{osc}) \cdot H(j\omega_{osc})|$ )

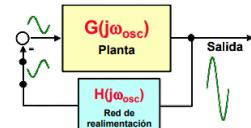


Figure 7.22: Oscilación.

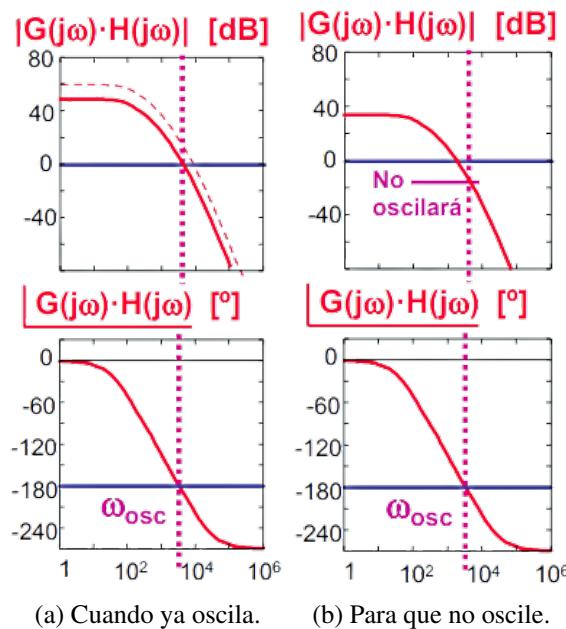


Figure 7.24: Condición de oscilación

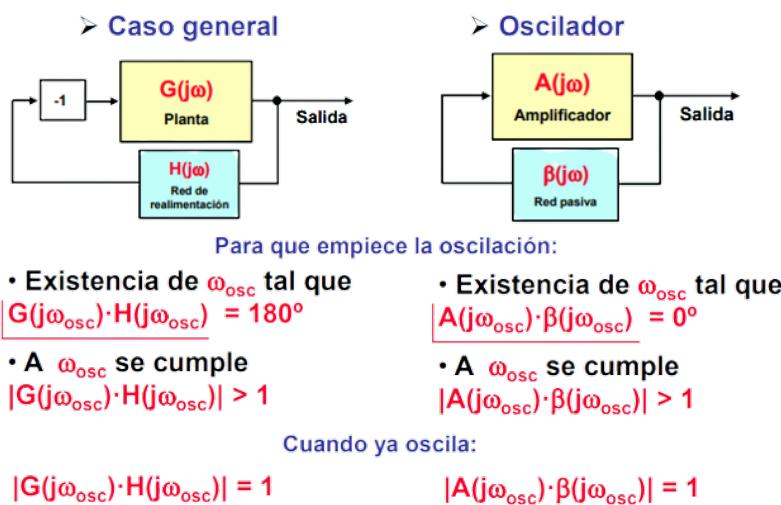


Figure 7.25: Resumen de arranque de osciladores.

## 7.4.2 Osciladores de frecuencia muy constante

### Cristales osciladores

Es un cristal de cuarzo (u otro material piezoelectrónico) que consta de una placa de cuarzo en medio de dos contactos metálicos, encapsulados. Se aplica voltaje en sus terminales para que vibren de manera tan exacta que es muy precisa.

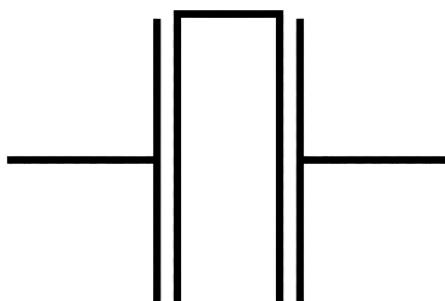


Figure 7.26: Símbolo cristal oscilador

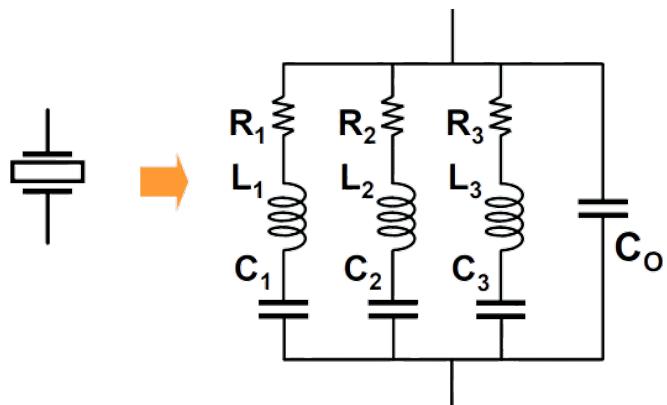


Figure 7.28: Circuito equivalente de un cristal de cuarzo.



Figure 7.27: Cristal oscilador

## 8. Circuitos de enganche

### 8.1 Lazos enganchados por fase-PLL

Recordando el sistema de la figura 7.18, y su respectiva ecuación 7.31; hacemos notar que el bloque  $H(s)$  puede tener distintos comportamientos como arreglos de capacitores, resistencias e inductores, inclusive podemos tener una resistencia al infinito o resistencia que tiende a cero. La última es la que nos interesa; que pasa si nuestro bloque  $H(s)$  tiende a cero, nos quedaría un cortocircuito como la figura 8.1.

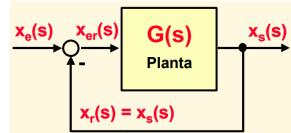


Figure 8.1: Retroalimentación por corto circuito.

$$\frac{x_s(s)}{x_e(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \quad (8.1)$$

Con el arreglo de la figura 8.1, notamos que:  $H(s) = 1$ , y si la ganancia es bastante grande ( $G(s) \gg 1$ ), por lo tanto:

$$\frac{x_s(s)}{x_e(s)} = 1 \Rightarrow x_s(s) = x_e(s)$$

El bloque  $G(s)$ , internamente vamos a analizar como la siguiente figura:

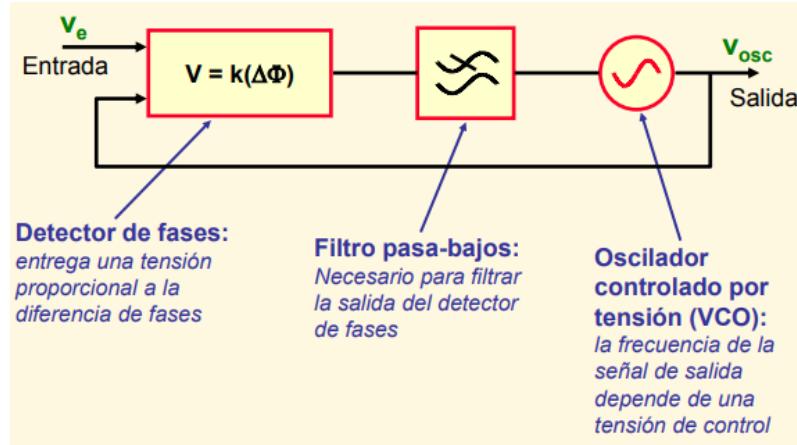


Figure 8.2: Estructura básica de un PLL.

- **Notación 8.1** Las unidades en estos sistemas no solo es voltios o amperios, también pueden ser fases.

**R** Como lo que se comparan son las **fases** de las señales de salida y entrada, además como la ganancia de la red de realimentación es 1, el sistema tenderá a anular la diferencia de fases entre estas señales. Los niveles de tensión de ambas no serán similares.

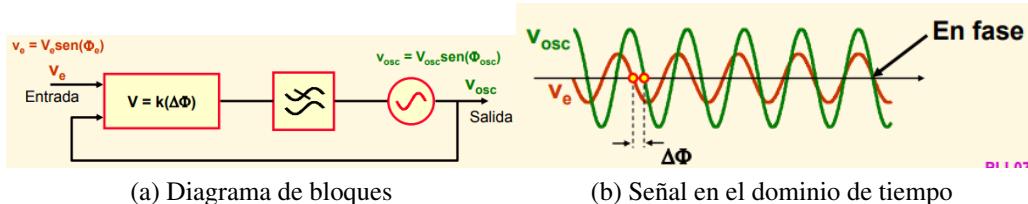


Figure 8.3: Nombre

Volviendo al diagrama de bloques inicial, tendremos lo siguiente:

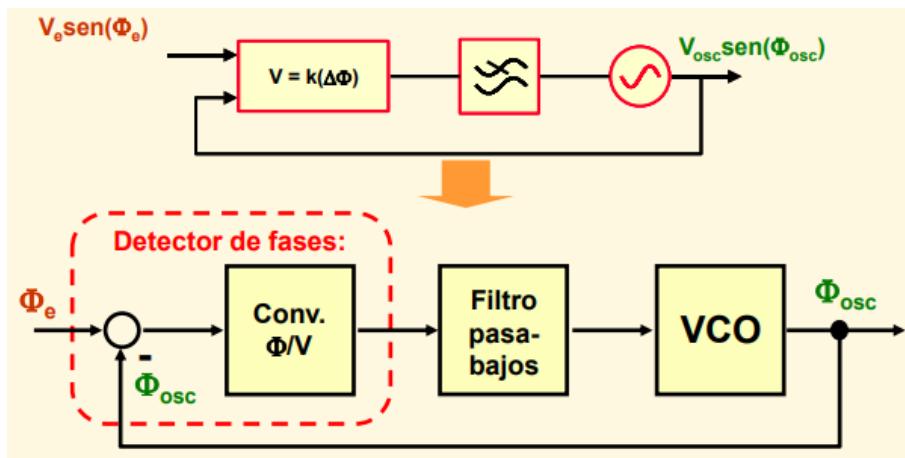


Figure 8.4: Diagrama de bloques PLL.

Hay que localizar un punto de equilibrio para linealizar el funcionamiento del sistema. La clave está en el VCO.

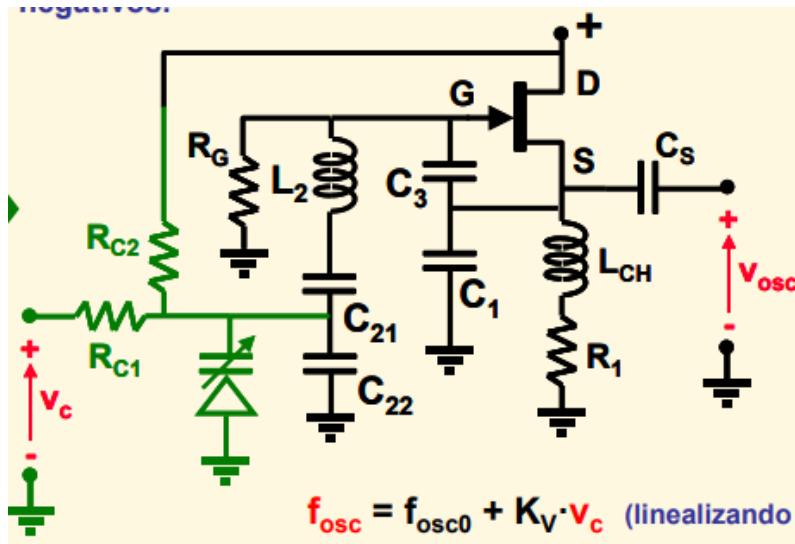


Figure 8.5: VCO: Para  $K_v > 0$ .

Por lo tanto, podemos escribir la frecuencia es oscilación como:

$$f_{osc} = f_{osc0} + K_v \cdot V_c \quad (8.2)$$

$$\omega_{osc} = \omega_{osc0} + 2\pi \cdot K_v \cdot V_c \quad (8.3)$$

La frecuencia de oscilación será igual a la frecuencia de oscilación en estado inicial más el producto del la constante del varicap por el voltaje de entrada.

Para relacionar la frecuencia con la fase absoluta ( $\Phi$ ):

$$\begin{aligned} \omega_{osc} &= \omega_{osc0} + 2\pi \cdot K_v \cdot V_c \\ \Phi_{osc} &= \omega_{osc0} \cdot t + 2\pi \cdot K_v \cdot \int_0^t V_c \cdot t \end{aligned}$$

Referimos la fase absoluta  $\Phi_{osc}$  a la frecuencia  $\omega_{osc0}$ :

$$\Phi_{osc} = \omega_{osc0} \cdot t + \underbrace{\phi_{osc}(V_c)}_{relativa}$$

Referimos nuevamente a  $\omega_{osc0}$  la fase absoluta  $\Phi_e$ :

$$\Phi_e = \omega_{osc0} \cdot t + \phi_e$$

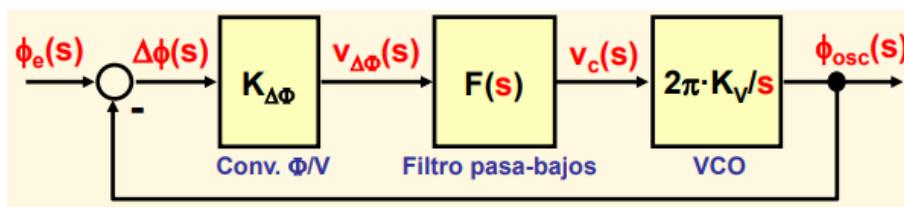


Figure 8.6: Diagrama de bloques relativo a  $\omega_{osc0}$

Las ecuaciones:

VCO:

$$\phi_{osc}(V_c) = 2\pi \cdot K_v \cdot \int_0^T V_c \cdot t \quad (8.4)$$

Filtro pasa-bajos:

$$V_c = F(V_{\Delta\Phi}) \quad (8.5)$$

Convertidor  $\Phi/V$ :

$$V_{\Delta\Phi} = K_{\Delta\Phi} \cdot (\Phi_e - \Phi_{osc}) = K_{\Delta\Phi} \cdot (\phi_e - \phi_{osc}) \quad (8.6)$$

■ **Notación 8.2** Nota que aún no hemos definido la función de transferencia del filtro, arbitrariamente la asumimos. Más adelante se hablará sobre ello.

Tomando las transformadas de Laplace para las ecuaciones y hallando su función de transferencia:

VCO:

$$\frac{\phi_{osc}(s)}{V_c(s)} = 2\pi \cdot K_v \cdot \frac{1}{s} \quad (8.7)$$

Filtro pasa-bajos:

$$\frac{V_c(s)}{V_{\Delta\Phi}(s)} = F(s) \quad (8.8)$$

Convertidor  $\Phi/V$

$$\frac{V_{\Delta\Phi}(s)}{\Delta\phi(s)} = K_{\Delta\Phi} \quad (8.9)$$

Restador de fases:

$$\Delta\phi(s) = \phi_e(s) - \phi_{osc}(s) \quad (8.10)$$

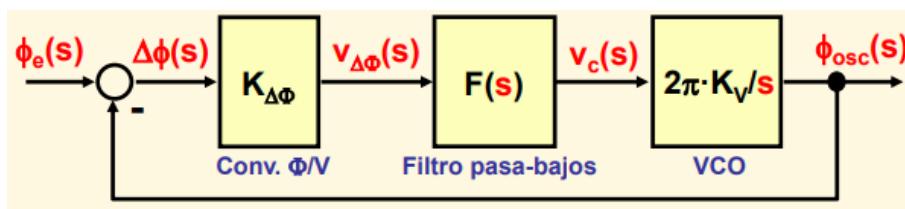


Figure 8.7: Diagrama de bloques en Laplace.

Usando como referencia la ecuación 7.31, reescribimos el sistema de la figura 8.7 como su función de transferencia lazo cerrado:

$$T_{\phi_{osc}-\phi_e}(s) = \frac{\phi_{osc}(s)}{\phi_e(s)} = \frac{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot \frac{F(s)}{s}}{1 + 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot \frac{F(s)}{s}} = \frac{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot F(s)}{s + 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot F(s)} \quad (8.11)$$

Tenemos dos funciones de transferencia más: Salida del filtro y lazo abierto, respectivamente son:

$$T_{\Delta\phi_{osc}-\phi_e}(s) = \frac{\Delta\phi(s)}{\phi_e(s)} = 1 - T_{\phi_{osc}-\phi_e}(s) = \frac{s}{s + 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot F(s)} \quad (8.12)$$

$$T_{\phi_{osc}-\Delta\phi}(s) = \frac{\phi_{osc}(s)}{\Delta\phi(s)} = 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot \frac{F(s)}{s} \quad (8.13)$$

Ordenando los resultados, volvemos a dibujar el diagrama como:

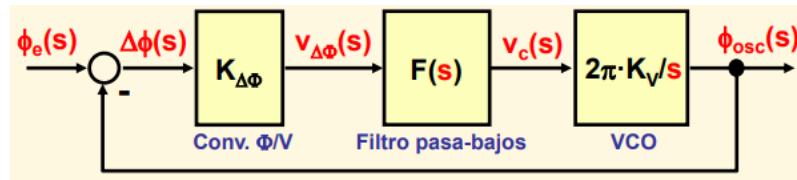


Figure 8.8: Diagrama de bloques

Escribiendo la función de transferencia con la ecuación 8.13 junto con la ecuación 8.1

$$T_{\phi_{osc}-\phi_e}(s) = \frac{T_{\phi_{osc}-\Delta\phi}(s)}{1 + T_{\phi_{osc}-\Delta\phi}(s)} \quad (8.14)$$

### 8.1.1 Orden y tipo

Tomando la ecuación 8.12, aplicamos un escalón:

$$\phi_e(s) : \phi_e(s) = \frac{\phi_{e1}}{s}$$

Entonces la función de transferencia puede ser escrita como:

$$\Delta\phi(s) = T_{\Delta\phi_{osc}-\phi_e}(s) \cdot \frac{\phi_{e1}}{s} \Rightarrow \frac{\phi_{e1}}{s + 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot F(s)}$$

Por el teorema de valor final:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta\phi(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \Delta\phi(s) = \frac{\phi_{e1} \cdot s}{s + 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot F(s)}$$

Nota que  $F(s)$  no puede tener un cero en cero, por ejemplo,  $F(s)=1/(1+RCs)$  vale como filtro:

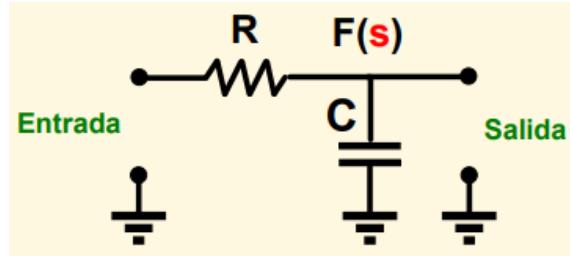


Figure 8.9: Filtro RC

Con la F.T. del filtro y reemplazando en 8.11 y dando valores nominales:

- $K_v = \times 10^5 \text{ Hz/V}$
- $RC = \times 10^{-6} / \pi s$
- $K_{\Delta\Phi} = 1-100 \text{ V/rad}$

Podemos graficar el diagrama de Bode correspondiente:

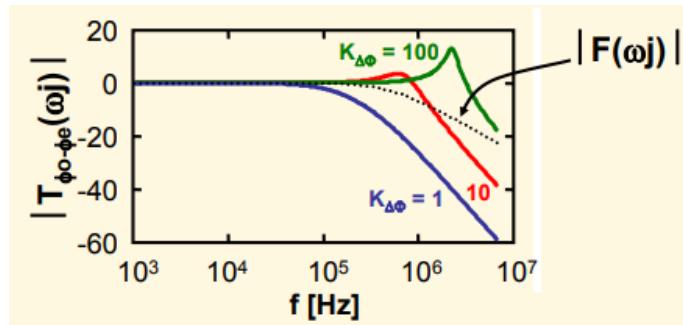


Figure 8.10: Diagrama de Bode de la F.T.

Volviendo con la ecuación 8.13 y 8.14 podemos identificar el orden y el tipo:

Orden : Número de polos de  $T_{\phi Osc - \phi_e}$  (eq. 8.14)

Tipo : Número de polos en  $s=0$  de  $T_{\phi Osc - \Delta\phi}$  (eq. 8.13)

**Ejemplo 8.1 — Orden y tipo de un PLL.** Con una red RC como filtro:

$$F(s) = \frac{1}{1 + R \cdot C \cdot s}$$

Procedemos a hallar el orden y tipo. Para ello primero en la ecuación 8.11:

$$T_{\phi osc - \phi e}(s) = \frac{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot F(s)}{s + 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot F(s)} = \underbrace{\frac{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi}}{R \cdot C \cdot s^2 + s + 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi}}}_{\text{Orden 2 (2 polos)}}$$

Usando la ecuación de lazo abierto (eq. 8.13):

$$T_{\phi osc - \Delta\phi}(s) = 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot \frac{F(s)}{s} = \underbrace{\frac{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi}}{s(1 + R \cdot C \cdot s)}}_{\text{Tipo 1 (1 polo en } s=0)}$$

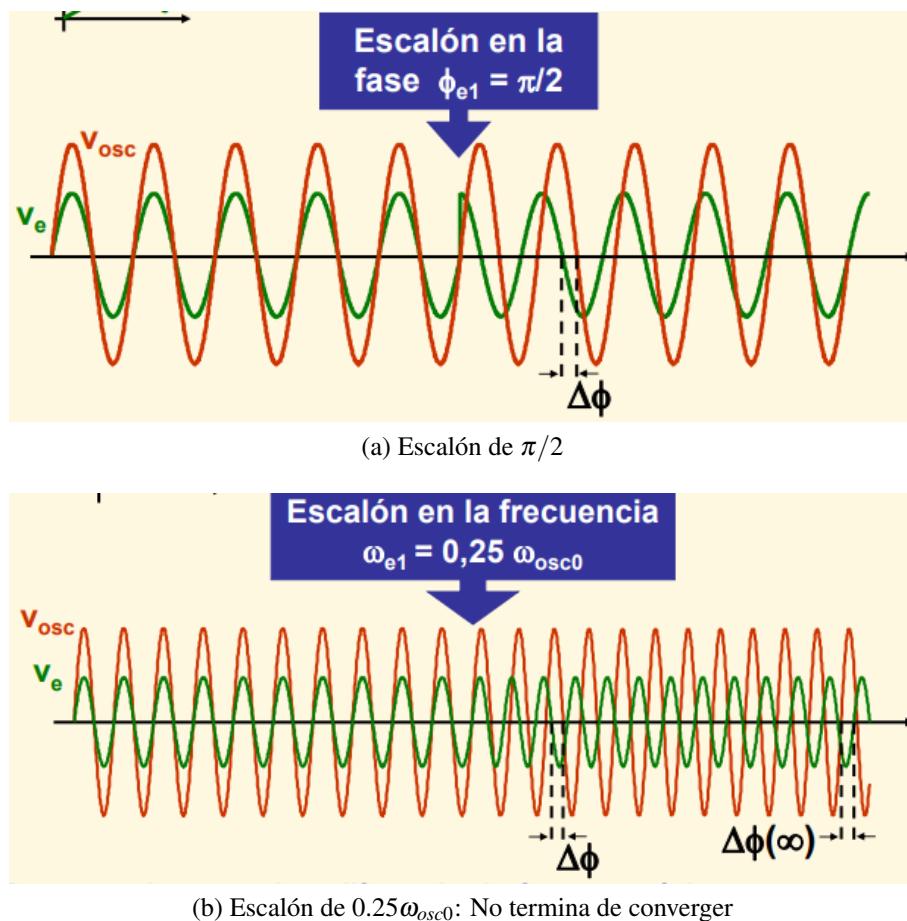


Figure 8.11: Respuestas al escalón.

Como siempre la función de transferencia del integrador tiene un polo en cero, el tipo mínimo posible es 1. ■

### 8.1.1.1 PLL de orden 1 y tipo 1

La ecuación 8.11 puede ser escrita como:

$$T_{\phi_{osc}-\phi_e}(s) = \frac{1}{\tau \cdot s + 1} \Leftarrow \tau = \frac{1}{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot F_1}$$

Si le agregamos un escalón en frecuencia en la entrada  $\omega_e(s) = \omega_{e1}/s$ , por lo tanto:

$$\omega_{osc}(s) = \frac{\omega_{e1}}{s(\tau \cdot s + 1)}$$

### 8.1.1.2 PLL orden 2 y tipo 1

Con el filtro de la figura 8.12, se tiene:

$$F(s) = \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{1 + \frac{s}{\omega_p}}$$

Reemplazando los valores de los componentes en la función de transferencia

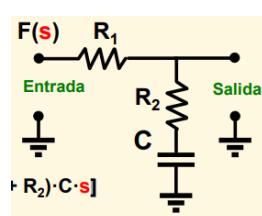


Figure 8.12: Filtro orden 2.

del filtro:

$$F(s) = \frac{1 + R_2 \cdot C \cdot s}{1 + (R_1 + R_2) \cdot C \cdot s}$$

Tiene un polo y cero, siendo:

$$\omega_z = \frac{1}{R_2 \cdot C}$$

$$\omega_p = \frac{1}{(R_1 + R_2) \cdot C}$$

Hallando el tipo con la ecuación 8.13:

$$T_{\phi osc - \Delta\phi}(s) = \underbrace{\frac{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} (1 + R_2 \cdot C \cdot s)}{s [1 + (R_1 + R_2) \cdot C \cdot s]}}_{\text{Tipo1}(1\text{polo en } s=0)}$$

Usando la ecuación 8.14 y después de un proceso algebraico:

$$T_{\phi osc - \phi e}(s) = \frac{1 + R_2 \cdot C \cdot s}{\underbrace{\frac{(R_1 + R_2) \cdot C}{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi}} \cdot s^2 + \frac{1 + 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot R_2 \cdot C}{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi}} \cdot s + 1}_{\text{Orden2}(2\text{polos})}}$$

Con:  $\omega_z = \frac{1}{R_2 \cdot C}$ ,  $\omega_p = \frac{1}{(R_1 + R_2) \cdot C}$ ,  $K = 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi}$  y escalón en la frecuencia de entrada:  $\omega_e(s) = \omega_{e1}/s$ :

$$\omega_{osc}(s) = \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_z}\right) \cdot \omega_{e1}}{s \left( \frac{s^2}{\omega_p \cdot K} + s \left( \frac{1 + \frac{\omega_z}{\omega_p}}{K} \right) + 1 \right)}$$

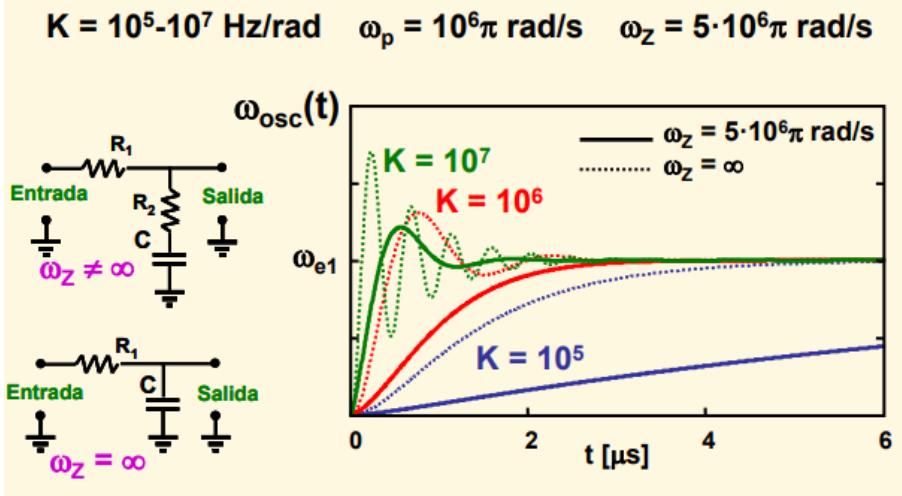


Figure 8.13: Respuesta a la frecuencia: Con  $\omega \neq \infty$  existe más posibilidad de optimizar la respuesta dinámica

### 8.1.1.3 PLL orden 2 y tipo 2

$$F(s) = \omega_p \cdot \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{s}$$

Reemplazando los elementos:

$$F(s) = \frac{1 + (R_1 + R_2) \cdot C \cdot s}{R_1 \cdot C \cdot s}$$

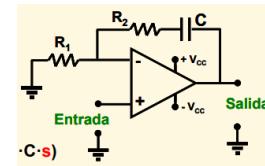


Figure 8.14: PLL activo orden 2 y tipo 2

Tiene un polo en cero y un cero, siendo:

$$\omega_z = \frac{1}{(R_1 + R_2) \cdot C}$$

$$\omega_p = \frac{1}{R_1 \cdot C}$$

Usando la ecuación 8.13:

$$T_{\phi_{osc}-\Delta\phi}(s) = \underbrace{\frac{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi} \cdot [1 + (R_1 + R_2) \cdot C \cdot s]}{s^2 \cdot R_1 \cdot C}}_{\text{Tipo2(2polosens=0)}}$$

Reemplazando en la ecuación 8.11 y después de un proceso algebraico:

$$T_{\phi_{osc}-\phi_e}(s) = \underbrace{\frac{1 + (R_1 + R_2) \cdot C \cdot s}{\frac{R_1 \cdot C}{2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi}} \cdot s^2 + (R_1 + R_2) \cdot C \cdot s + 1}}_{\text{Orden2(2polos)}}$$

Reagrupando los términos:

$$T_{\phi_{osc}-\phi_e}(s) = \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{\frac{s^2}{\omega_p \cdot K} + s \frac{1 + \frac{K}{\omega_z}}{k} + 1}$$

EL resultado es semejante al obtenido en el PLL de Orden 2 y Tipo 1 anterior. Luego se puede optimizar de igual forma la respuesta dinámica. La ventaja es que al ser de Tipo 2 se anula la diferencia de fases en régimen permanente ante un escalón de frecuencia.

Si usamos el circuito de la figura 8.15:

$$F(s) = -\frac{1 + R_2 \cdot C \cdot s}{R_1 \cdot C \cdot s} \Rightarrow F(s) = -\omega_p \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{s}$$

con:

$$\omega_z = \frac{1}{R_2 \cdot C}$$

$$\omega_p = \frac{1}{R_1 \cdot C}$$

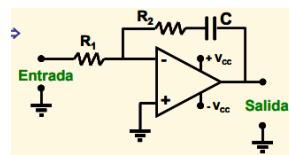


Figure 8.15: Filtro activo

hacemos el análisis como el circuito anterior, vamos a llegar a la siguiente expresión:

$$T_{\phi osc - \phi e}(s) = \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{\frac{s^2}{-\omega_p \cdot K} + \frac{s}{\omega_z} + 1}$$

Para que salga lo mismo que en el caso anterior,  $K$  tiene que ser negativa. Como  $K = 2\pi \cdot K_v \cdot K_{\Delta\Phi}$  o bien  $K_v < 0$  o  $K_{\Delta\Phi} < 0$ . En caso contrario, el PLL sería inestable, al menos que el detector de fases cambie el signo de  $K_{\Delta\Phi}$  en función de la diferencia de fases.

# VI

## Anexos

## 8.2 Constantes universales

- $\mu_0$ : Permeabilidad en el vacío.

$$\mu_0 = 1.2566 \cdot 10^{-6} N/A^2$$

- $\epsilon_0$ : Permitividad en el vacío:

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} F/m$$

## 8.3 Voltajes



# Bibliography

**Articles**

**Books**