



## Sistemas de Comunicaciones por Microondas

(EE-546 / IT-235)

Ing. Marcial Antonio López Tafur  
mlopez@uni.edu.pe

2006-1

EE 536 / IT 235

1

## Revisión de Tópicos Generales

- Decibelios ( dB, dB<sub>w</sub>, dB<sub>m</sub>, dB<sub>d</sub>, dB<sub>i</sub>)
- Relación señal a ruido ( S/N ).
- Figura y Factor de Ruido.
- Pérdida de retorno (Return Loss)
- Parámetros de Antena
- Ondas de radiofrecuencia en “espacio libre”
- Cociente de Refractividad
- Pérdidas de espacio libre (RF Free Space Loss)
- Cálculo del enlace de radio.

EE 536 / IT 235

2

## Decibelios (dB)

$Y_{dB} = 10 \log (x)$  donde x está en unidades de potencia

$Y_{dB} = 10 \log (10) = 10 \text{ dB}$

$Y_{dB} = 10 \log (100) = 20 \text{ dB}$

$Y_{dB} = 10 \log (20) = 13 \text{ dB}$

$Y_{dB} = 10 \log (v^2)$  Para un voltaje que pase a través de un resistor de 1W  $\rightarrow Y_{dB} = 20 \log (v)$

Decibelios representan:

1. Niveles (absolutos o relativos)
2. Relaciones (Ratio) (ganancia o pérdidas)

EE 536 / IT 235

3

## Decibelios (Niveles)

El nivel de potencia de salida de RF de un transmisor es especificado en dB<sub>m</sub> (microondas) o dB<sub>w</sub> (celulares).

Ejemplo:

Potencia Transmisor de microondas: 30 dB<sub>m</sub> (1 W)

Potencia de transmisión de estación base celular: 20 dB<sub>w</sub> (100 W)

$$\text{dB}_w = 10 \log (P/1W) \quad 1 \text{ Watt} = 0 \text{ dB}_w$$

$$\text{dB}_m = 10 \log (P/1mW) \quad 1 \text{ m Watt} = 0 \text{ dB}_m$$

EE 536 / IT 235

4

## Ejemplos de dBw y dBm

1 W	0 dB <sub>w</sub>	30 dB <sub>m</sub>
2 W	3 dB <sub>w</sub>	33 dB <sub>m</sub>
4 W	6 dB <sub>w</sub>	36 dB <sub>m</sub>
8 W	9 dB <sub>w</sub>	39 dB <sub>m</sub>
16 W	12 dB <sub>w</sub>	42 dB <sub>m</sub>

EE 536 / IT 235

5

## Decibeles (Relaciones – Ratio –)



$$\text{dB} = 10 \log (P_o/P_i) \quad \text{relación de potencia}$$

$$\text{dB} = 20 \log (V_o/V_i) \quad \text{relación de voltaje}$$

$$\text{dB} = 20 \log (I_o/I_i) \quad \text{relación de corriente}$$

EE 536 / IT 235

6

## Ejemplos

$dB_i$  Ganancia de antena con referencia al radiador isotrópico (ganancia unitaria)

$dB_d$  Ganancia de antena con referencia a la antena dipolo de media onda ( $2.2 dB_i$ )

Ejemplo, una antena parabólica (plato) de 0.6 m operando a 18 GHz tendrá una ganancia nominal de  $38 dB_i$ . Doblando el diámetro (1.2) adiciona 6 dB resultando en  $44 dB_i$ .

A una antena parabólica (plato) de 0.6 m operando a 1.8 GHz tendrá una ganancia nominal de  $32 dB_i$ .

EE 536 / IT 235

7

## Factor / Figura de Ruido



$$\text{Noise Factor (f)} = (S/N)_i / (S/N)_o$$

$$\text{Noise Figure (NF)} = 10 \log (f)$$

Note: Señal y Ruido están en unidades de potencia

EE 536 / IT 235

8

## Otros tópicos de interés

- Pérdida de Retorno – Return Loss (RL)
- VSWR
- Conversión entre RL y VSWR
- Líneas de Transmisión en general

EE 536 / IT 235

9

## Pérdida de Retorno (Return Loss)

Relaciona el grado de adaptación de la fuente a la carga

$$\text{Coeficiente de Reflexión } \rho = \frac{\text{VSWR} - 1}{\text{VSWR} + 1}$$

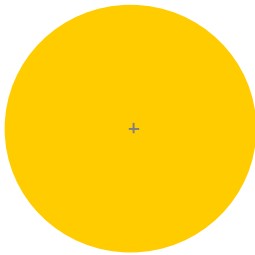
Pérdida de Retorno en dB

$$RL_{dB} = 20 \log (1/\rho)$$

EE 536 / IT 235

10

## Fuente Isotrópica (Antena)

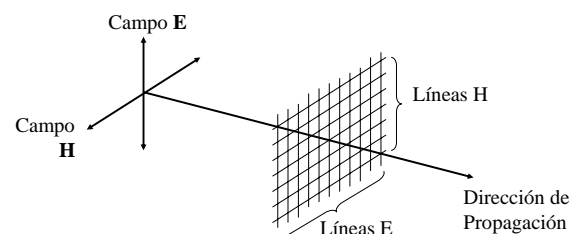


Una fuente isotrópica radia potencia uniformemente en todas direcciones.

EE 536 / IT 235

11

## Polarización Onda Electromagnética



EE 536 / IT 235

12

### Onda Electromagnética

Antena Verticalmente Polarizada

Sección de una guía de onda

E: Componente Eléctrico  
 H: Componente Magnético  
 Z: Dirección de Propagación

EE 536 / IT 235 13

### Antena dipolo de media onda

Onda estacionaria

$v = \lambda \cdot f$

$v = 300 \times 10^6 \text{ m/s}$

EE 536 / IT 235 14

### Patrón de Radiación – Dipolo $\lambda/2$

Dipolo Vertical

Dipolo Horizontal

EE 536 / IT 235 15

### Antena Microonda Sólida (Típica)

EE 536 / IT 235 16

### Antena de Grilla para Microondas (Típica)

EE 536 / IT 235 17

### Ganancia de una antena

La habilidad de una antena de concentrar la potencia radiada, o inversamente de absorber efectivamente la potencia incidente de una dirección, está especificada en términos de su **Ganancia** (o **Directividad**).

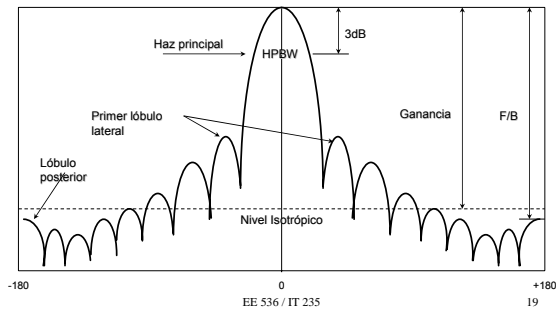
La potencia radiada por unidad de área en cualquier dirección está dada por el Vector Poynting.

$$P = \frac{E^2}{\eta_v}$$

$$E = \eta_v H$$

EE 536 / IT 235 18

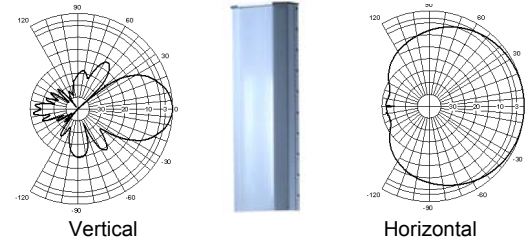
## Patrón de Radiación de una Antena



EE 536 / IT 235

19

## Ejemplo de patrones de radiación



EE 536 / IT 235

20

## Parámetros Mecánicos (Físicos) de una Antena

- Tamaño (Diámetro)
- Materiales con que esta construida
- Peso
- Tamaño (depende de  $\lambda$ )
- Resistencia / Carga al viento (Su forma)
- Deflexión del montaje / Mount Deflection
- Giro y deslizamiento en torre (Tower Twist & Sway )

EE 536 / IT 235

21

## Parámetros Eléctricos de la Antena

- Ganancia (dBi)
- Ancho de haz (radianes o grados)
- Patrón de radiación
- Discriminación de Polarización Cruzada (XPD en dB)
- Relación frente a espaldas (Front to Back – F/B)
- Relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR)
- Pérdida de retorno (Return Loss – RL en dB)

EE 536 / IT 235

22

## Velocidad de las ondas de Radio

- Velocidad de las ondas de Radio en "Espacio libre":  $n_0$
- Velocidad de las ondas de Radio en la Atmósfera:  $n$

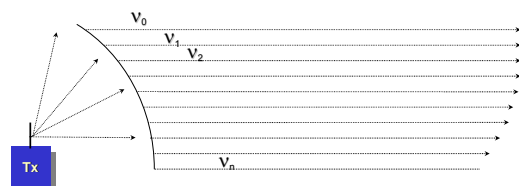
Bajo condiciones atmosféricas normales (temperatura, presión, y contenido de agua) la velocidad de las ondas de radio es menor cerca de la superficie de la Tierra

$$v_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

EE 536 / IT 235

23

## Velocidad de las ondas de Radio



EE 536 / IT 235

24

## Índice de Refractividad ( $n$ )

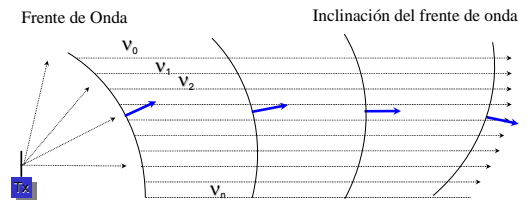
$$n = v_0 / v$$

- Es espacio libre  $n = 1.0$
  - en la atmósfera  $n = ?$
- A condiciones estándares, y cerca de la superficie de la Tierra,  $n = 1.0003$  aprox.

EE 536 / IT 235

25

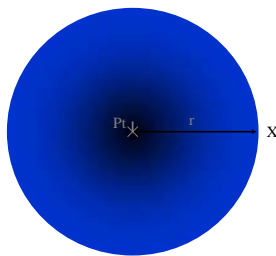
## Inclinación de las ondas de radio



EE 536 / IT 235

26

## Pérdidas de RF en espacio libre



Densidad de potencia  $X = Pt / 4\pi r^2$  Watts/m<sup>2</sup>

EE 536 / IT 235

27

La apertura de una antena isotrópica está dada por:

$$\lambda^2 / 4\pi$$

La potencia disipada en una carga conectada al terminal de la antena es:

$$Pr = (Pt / 4\pi r^2) \times (\lambda^2 / 4\pi)$$

$$= \lambda^2 Pt / (4\pi r)^2$$

$$Pr/Pt = \lambda^2 / (4\pi r)^2$$

En el área de Comunicaciones por radios de microondas, la pérdida de espacio libre ( $Lp$ ) es normalmente expresada en dB, la frecuencia ( $f$ ) en GHz, y la distancia ( $d$ ) en Km.:

$$Lp = 92.45 + 20 \log f + 20 \log d$$

EE 536 / IT 235

28

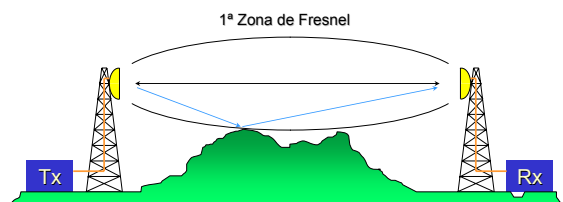
## Pasos en el diseño de enlaces

- Selección del sitio (alternativas)
- Construcción del perfil del trayecto
- Prospección del sitio y del enlace
- Cálculos del enlace
- Análisis del Rendimiento
- Especificaciones del equipamiento

EE 536 / IT 235

29

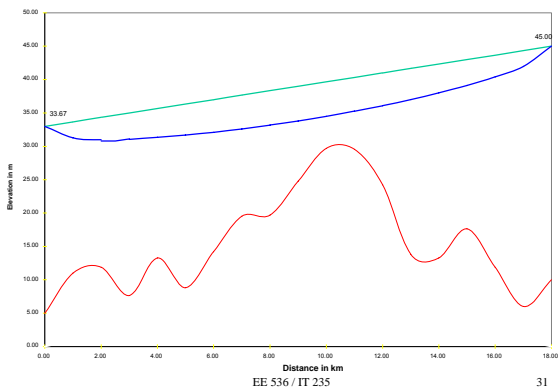
## Configuración Sistema Típico



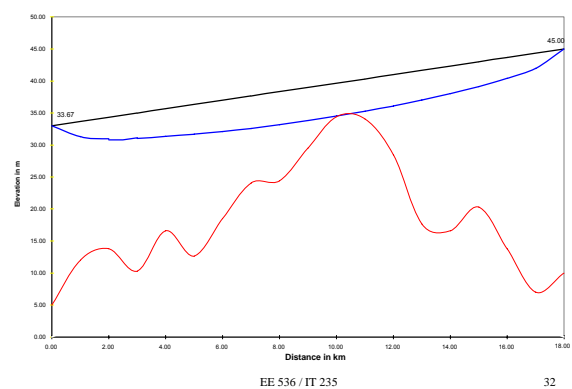
EE 536 / IT 235

30

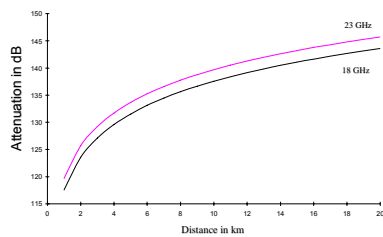
### Perfil del trayecto, 18 GHz, 0.6F1, K = 4/3



### Perfil del trayecto, 18 GHz, 0.6F1, K = 2/3



### Atenuación Característica del Trayecto



### Desvanecimiento de las ondas de radio

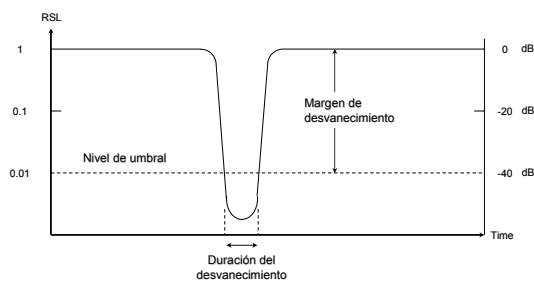
El desvanecimiento es una variación en el tiempo de:

- Fase
- Polarización, y / o
- Nivel de la señal de radio recibida

EE 536 / IT 235

34

### Definición de Términos del desvanecimiento



### Causas del desvanecimiento de las ondas de radio

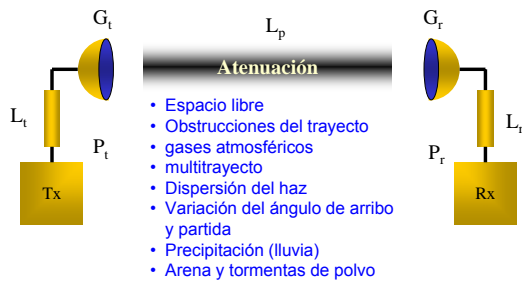
- Refracción,
- Reflexión,
- Difracción,
- Dispersión, y
- Entubamiento (**Ducting**)

Como resultado de las variaciones de las condiciones atmosféricas

EE 536 / IT 235

36

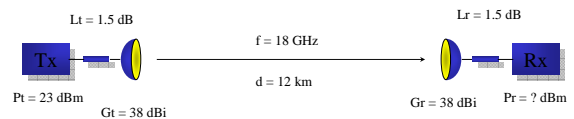
## Enlace de Radio - Modelo Simplificado



EE 536 / IT 235

37

## Cálculos del enlace



$$P_r = P_t - L_t + G_t - L_p + G_r - L_r \quad \text{dBm}$$

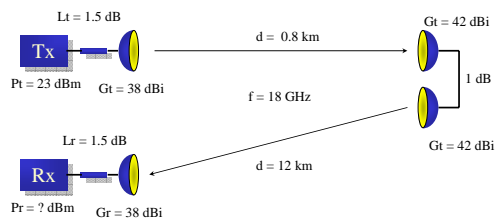
$$L_p = 92.45 + 20 \log(18) + 20 \log(12) = 139.14 \text{ dBm}$$

$$P_r = 23 - 1.5 + 38 - 139.14 + 38 - 1.5 = -43.14 \text{ dBm}$$

EE 536 / IT 235

38

## Configuración de Repetidor Pasivo



EE 536 / IT 235

39

## Consideraciones de Diseño

- Especificación del Equipamiento
- Especificación de la antena
- Características del trayecto
- Altura de las antenas
- Tasa de lluvia en la zona
- Velocidad del viento
- Temperatura, Presión, Humedad

EE 536 / IT 235

40

## Data del enlace de Microondas

- Ubicación del sitio.
- Frecuencia de transmisión (GHz)
- Frecuencia de Recepción (GHz)
- Polarización (Vertical u Horizontal)
- Potencia de Transmisión (W, mW, o dBm)

EE 536 / IT 235

41

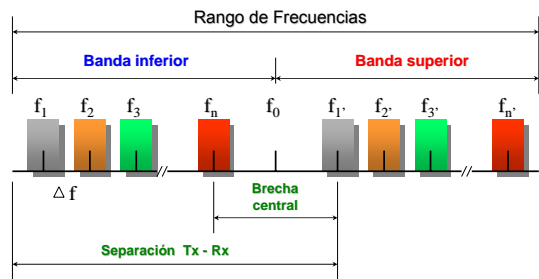
## Bandas de Radio Frecuencia

VLF	3 Hz	30 kHz
LF	30 kHz	300 kHz
MF	300kHz	3 MHz
HF	3 MHz	30 MHz
VHF	30 MHz	300 MHz
UHF	300 MHz	3 GHz
SHF	3 GHz	30 GHz
EHF	30 GHz	300 GHz

EE 536 / IT 235

42

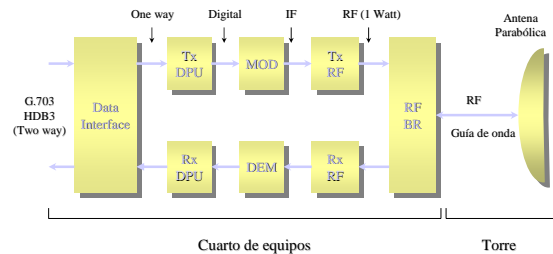
## Plan Generalizado de Frecuencias



EE 536 / IT 235

43

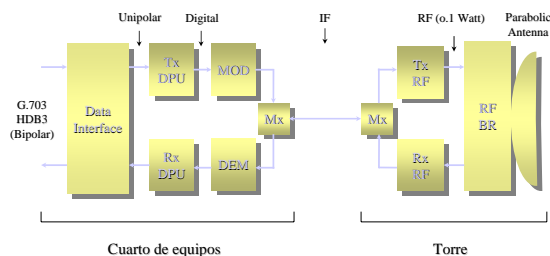
## Configuración Genérica de un Sistema de Microondas



EE 536 / IT 235

44

## Configuración Sistema Dividido (FI)



EE 536 / IT 235

45

## Ejemplo de Instalación



EE 536 / IT 235

46

## Otro ejemplo



EE 536 / IT 235

47

## El enlace de microondas

- Puede ser un simple "salto" de un 1 Km. o menos
- Puede ser un enlace tipo columna vertebral troncal o backbone de 1000 Km., con múltiples saltos
  - Usualmente 20-40 Km./salto sobre terreno "plano" para el rango de 2-8-GHz
  - Montaña a montaña puede alcanzar hasta 180 km
- Hasta tarde en los años 80, las microondas fueron el sistema troncal mas popular en muchos países (ahora lo es la fibra óptica)
- Microondas son con "línea-de-vista" (LOS)
  - La atmósfera puede inclinar las microondas

EE 536 / IT 235

48

- Usos típicos:

- Señales de Voz, video o data combinadas vía multiplexación para crear una banda base
- Puede ser modulación analógica o digital
- Esta señal es modulada a una banda de FI (frecuencia intermedia)
- La señal es heterodinada (upconverted) a RF para transmitirla a través de la atmósfera
- Lo inverso pasa en el receptor

EE 536 / IT 235

49

- Las frecuencias de “microondas” usuales están entre los 2.8 GHz y 38GHz

- Antenas:

- Microondas usualmente emplean parabólicas (Algunas veces tipo bocina)
- Las antenas tienen que ser altamente direccionales
- El haz es concentrado de una manera similar al del telescopio (receptor) y faro (transmisor) Las Microondas siguen muchas de las reglas de la óptica

EE 536 / IT 235

50

- Torres

- El costo de las torres auto-soportadas se incrementa exponencialmente con la altura
- El costo de las torres ventadas (suportadas por alambres) se incrementa linealmente, es barato
- A mayor altura de torre, se necesita mayor terreno
  - Torres ventadas requieren alambres que se extienden fuera de la torre a una distancia igual al 80% de la altura de la torre. Una torre de 91m necesita 3.64 hectáreas
  - Considere: la dureza/blandura del terreno, condiciones del viento, restricciones de tráfico aéreo, códigos de construcción, número y balance de las antenas en la torre etc.

EE 536 / IT 235

51

- Propagación de espacio libre

- Como toda energía electromagnética, las microondas viajan a través del espacio
- So, si no hay deterioros ú obstáculos atmosféricos o físicos ¿debería existir pérdidas?
  - Si: existen pérdidas de espacio libre
  - El haz se ensancha a medida que se mueve lejos de la fuente
  - Ejemplo: 48km de salto (30 millas) sufre 132db de pérdida a 2 GHz y 148db a 12 GHz
  - Si se transmite con 1 watt, se recibirá  $10^{-13}$  W (con antena isotrópica) y  $10^{-5}$  (con antena parabólica)

EE 536 / IT 235

52

- Efectos Atmosféricos:

- El oxígeno absorbe la energía de microondas
  - Pequeñas cantidades (0.01dB/km a 0.02dB/km para el rango de 2-26GHz)
- La lluvia absorbe la energía de microondas
  - Cantidad significativa, especialmente a altas frecuencias:
  - No es un problema por debajo de los 6 GHz, pero en 12GHz, puede alcanzar los 10dB/km

EE 536 / IT 235

53

## Otros defectos

- Reflexión
- Difracción
- Dispersión
- Entubamiento
- Refracción

EE 536 / IT 235

54

- Desvanecimiento: (multi-trayecto)
  - Cambia en amplitud sobre el tiempo
  - (2) tipos: plano (independiente de la frecuencia) o selectivo con la frecuencia (usualmente no ocurren simultáneamente)
  - Causados por variaciones atmosféricas (imposible de predicción exactas)
  - Desvanecimiento plano: atenuación por lluvia, entubamiento y torcedura del haz
  - Desvanecimiento selectivo a la frecuencia:
    - Las ondas pueden arribar al receptor del trayecto directo y de muchos otros trayectos (como el producido por un ducto débil que solamente lo desvía parcialmente)
    - Más pronunciado en verano, después del atardecer, antes del amanecer

EE 536 / IT 235

55

- Objetivos de Rendimiento:
  - La medida de la confiabilidad de un sistema es llamado “disponibilidad”. Nunca llega al 100%
  - No disponibilidad:
    - Fallas humanas (mantenimiento inadecuado, fallas de los equipos, temas de diseño etc.): evitables
    - Fallas no humanas (la causa primaria es el cambio de las condiciones atmosféricas): inevitables en algún grado
    - Desastres: terremotos, huracanes, incendios, terrorismo etc.

EE 536 / IT 235

56

- Rendimiento:
  - No se puede predecir la cantidad de tiempo exato de interrupciones, pero se disponen de promedios estadísticos
  - 99% suena bien, pero significa 14 min. Por día
  - En un sistema digital, 99% puede ser devastador
  - Muchos portadores de sistemas de radio diseñan para 99.999%
    - Aún esto causa 26 seg./mes: malo para la data
    - Mas importante es controlar el # de interrupciones que el tiempo total (distribución)

EE 536 / IT 235

57

- Rendimiento:
  - En razón de alcanzar buen rendimiento los sistemas DMR requieren equipamiento redundante y trayectos (diversidad). (2) tipos de diversidad:
    - **Diversidad de espacio** : el receptor puede tener 2 o más antenas, basado en la señal más fuerte, o de sumar las señales
      - No es muy probable que ocurran problemas en ambas antenas al mismo tiempo
      - Más barato que la diversidad de frecuencia
    - No tiene protección contra la lluvia

EE 536 / IT 235

58

- **Diversidad de Frecuencia:**
  - (2) transmisores envía la misma señal con (2) frecuencias diferentes vía (1) antena a (1) antena receptora que divide las señales
  - Requiere el doble de ancho de banda, más equipamiento y complejidad
  - Mucho menos efectivo que la diversidad de espacio
  - Ventaja: Puede trabajarse los dos enlaces con distinta información (sin diversidad)

EE 536 / IT 235

59



***Muchas gracias por su atención***



EE 536 / IT 235

60