

# Introducción (y algo de historia)

Sistemas de Comunicación

Instituto de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República

Curso 2019



*“One ought to be ashamed to make use of the wonders of science embodied in a radio set, the while appreciating them as little as a cow appreciates the botanic marvels in the plants she munches.”*

Albert Einstein  
VII German Radio Exhibition, Berlin, 1930



# Primeros sistemas de comunicación

- Las telecomunicaciones son el uso de tecnología para intercambiar información
- Históricamente para comunicación humana a largas distancias



# Primeros sistemas de comunicación

- Las telecomunicaciones son el uso de tecnología para intercambiar información
- Históricamente para comunicación humana a largas distancias



- Problema: sólo envía un conjunto limitado de mensajes (e.g. peligro)

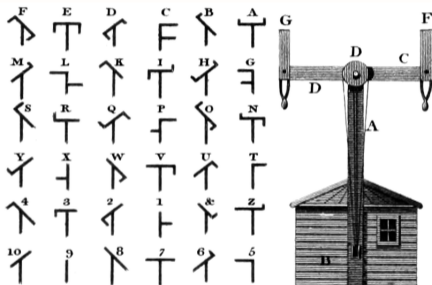
# Primeros sistemas de comunicación

- 1793: Semáforos de Claude Chappe



# Primeros sistemas de comunicación

- 1793: Semáforos de Claude Chappe

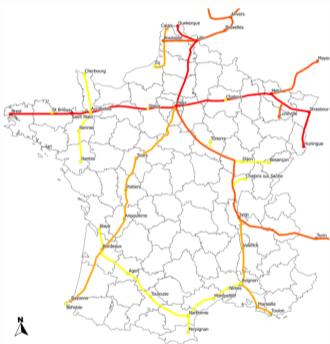


- Capaces de enviar un mensaje arbitrario a varios kms.
- Se expandió hasta 1823 y se cerró en 1852 (usado por ejemplo por el Conde de Montecristo)



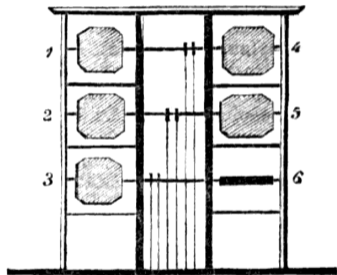
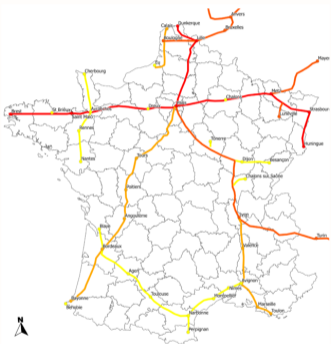
# Primeros sistemas de comunicación

- Con el uso que le hizo Napoleón durante sus conquistas se expandió a otros países



# Primeros sistemas de comunicación

- Con el uso que le hizo Napoleón durante sus conquistas se expandió a otros países



- Por ejemplo a Inglaterra (Lord George Murray, 1796)
- Notar que son símbolos de 6 bits



# Aparición de la electricidad

- Desde fines del s. XVIII se empieza a experimentar con electricidad para enviar mensajes y la batería de Volta (1800) simplifica la experimentación



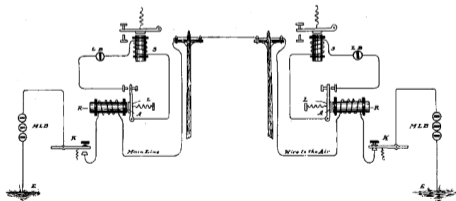
# Aparición de la electricidad

- Desde fines del s. XVIII se empieza a experimentar con electricidad para enviar mensajes y la batería de Volta (1800) simplifica la experimentación
- En 1844 primer tendido del telégrafo eléctrico
- Empresa responsable propiedad de Samuel Morse
  - Diseño del código: Alfred Vail (1807-1859)
  - “bits” con cuatro posibles valores, y símbolos de largo variable.

## International Morse Code

1. The length of a dot is one unit.
2. A dash is three units.
3. The space between parts of the same letter is one unit.
4. The space between letters is three units.
5. The space between words is seven units.

A	• —	U	• • —
B	• • • —	V	• • — —
C	• — • —	W	• — — —
D	• — • •	X	• — • —
E	•	Y	• — — •
F	• • • —	Z	• — — •
G	• — • •		
H	• • • •		
I	• •		
J	• — • • •		
K	• — • —	1	• — — — —
L	• — • • •	2	• — — — •
M	• — — —	3	• — — • •
N	• — • —	4	• — — • •
O	• — — —	5	• — — • •
P	• — • — •	6	• — — • •
Q	• — — • —	7	• — — • •
R	• — • — •	8	• — — • •
S	• • • —	9	• — — • •
T	• —	0	• — — — —

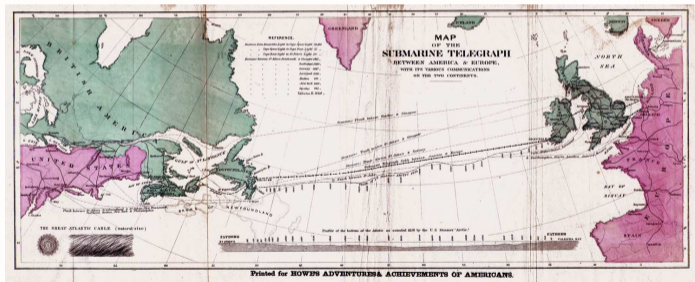


The Main Line Circuit.



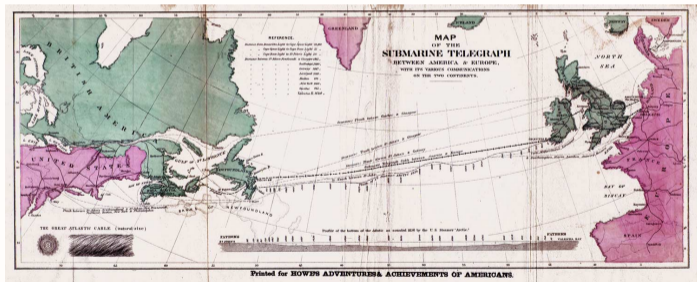
# Telégrafo transatlántico

- En 1857 se intenta conectar Europa con América...



# Telégrafo transatlántico

- En 1857 se intenta conectar Europa con América...
- ... pero no es lo mismo conectar dos ciudades a algunos kilométricos que a algunos miles de kilometros



# Telégrafo transatlántico

- En 1858 se tiende, y para enviar sus primeras 98 palabras oficiales se tardaron 16 horas
- Durante semanas el ingeniero electricista del lado europeo la única respuesta que tenía para mejorar la velocidad era “*más voltaje!*”



# Telégrafo transatlántico

- En 1858 se tiende, y para enviar sus primeras 98 palabras oficiales se tardaron 16 horas
- Durante semanas el ingeniero electricista del lado europeo la única respuesta que tenía para mejorar la velocidad era “*más voltaje!*”
- Resultado: la aislación del cable falla y el telégrafo transatlántico no funciona



# Telégrafo transatlántico

- En 1858 se tiende, y para enviar sus primeras 98 palabras oficiales se tardaron 16 horas
- Durante semanas el ingeniero electricista del lado europeo la única respuesta que tenía para mejorar la velocidad era “*más voltaje!*”
- Resultado: la aislación del cable falla y el telégrafo transatlántico no funciona
- El proyecto se retoma en 1866, y una de las condiciones que impone el gobierno inglés para apoyar la iniciativa es tomarse la ingeniería eléctrica en serio. Por ejemplo, como consecuencia se fijan las unidades de  $\Omega$ ,  $V$  y  $A$ .



# Telégrafo transatlántico

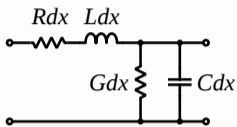
- En 1858 se tiende, y para enviar sus primeras 98 palabras oficiales se tardaron 16 horas
- Durante semanas el ingeniero electricista del lado europeo la única respuesta que tenía para mejorar la velocidad era “*más voltaje!*”
- Resultado: la aislación del cable falla y el telégrafo transatlántico no funciona
- El proyecto se retoma en 1866, y una de las condiciones que impone el gobierno inglés para apoyar la iniciativa es tomarse la ingeniería eléctrica en serio. Por ejemplo, como consecuencia se fijan las unidades de  $\Omega$ ,  $V$  y  $A$ .
- Con la aplicación de medidas sobre la conductividad del cable mejora ampliamente su calidad





# Telégrafo transatlántico

- Además, el problema suscita gran interés matemático, lo que lleva al desarrollo de las ecuaciones de la línea de transmisión:

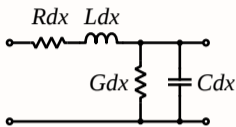


$$\frac{\partial V}{\partial x}(x, t) = -L \frac{\partial I}{\partial t}(x, t) - RI(x, t)$$

$$\frac{\partial I}{\partial x}(x, t) = -C \frac{\partial V}{\partial t}(x, t) - GV(x, t)$$

# Telégrafo transatlántico

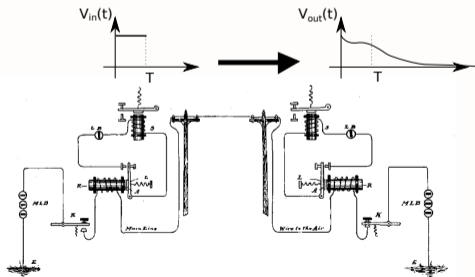
- Además, el problema suscita gran interés matemático, lo que lleva al desarrollo de las ecuaciones de la línea de transmisión:



$$\frac{\partial V}{\partial x}(x, t) = -L \frac{\partial I}{\partial t}(x, t) - RI(x, t)$$

$$\frac{\partial I}{\partial x}(x, t) = -C \frac{\partial V}{\partial t}(x, t) - GV(x, t)$$

- Se puede concluir que si no se tiene en cuenta (y se modifica) los parámetros de la línea, el sistema será “dispersivo”:



The Main Line Circuit.



# Telégrafo transatlántico

- Con la mejora en calidad de los cables y la aplicación de soluciones a partir de la teoría se logran 120 palabras por minuto para principios del siglo XX



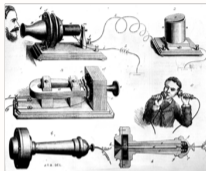
# Telégrafo transatlántico

- Con la mejora en calidad de los cables y la aplicación de soluciones a partir de la teoría se logran 120 palabras por minuto para principios del siglo XX
- **Mensaje 1** Las telecomunicaciones (y la ingeniería en general) son una disciplina que tiene que apoyarse fuertemente en la matemática:
  - Separación de canal (cable) y señal (voltaje de entrada y salida del canal)
  - Uso del análisis de Fourier
  - Cálculo operacional
- Oliver Heaviside (1850-1925) y Lord Kelvin (William Thomson, 1824-1907) son dos de los precursores



# Broadcasting

- En 1876 se patenta el teléfono (básicamente el invento de un micrófono y un parlante)



**Antonio Meucci**, 1854, constructed telephone-like devices.

**Johann Philipp Reis**, 1860, constructed prototype 'make-and-break' telephones, today called **Reis telephone**.

**Alexander Graham Bell** was awarded the first U.S. patent for the invention of the telephone in 1876.

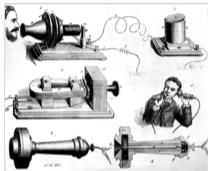
**Elisha Gray**, 1876, designed a telephone using a **water microphone** in Highland Park, Illinois.

**Tivadar Puskás** proposed the **telephone switchboard exchange** in 1876.

**Thomas Edison** invented the **carbon microphone** which produced a strong telephone signal.

# Broadcasting

- En 1876 se patenta el teléfono (básicamente el invento de un micrófono y un parlante)



Antonio Meucci, 1854, constructed telephone-like devices.



Johann Philipp Reis, 1860, constructed prototype 'make-and-break' telephones, today called Reis telephone.



Alexander Graham Bell was awarded the first U.S. patent for the invention of the telephone in 1876.



Elisha Gray, 1876, designed a telephone using a water microphone in Highland Park, Illinois.



Tivadar Puskás proposed the telephone switchboard exchange in 1876.



Thomas Edison invented the carbon microphone which produced a strong telephone signal.

- Y con él, el concepto de broadcasting



# Broadcasting

- Primeros intentos:
  - 1881: Clement Ader (1840-1925) cableó la opera de París para que se pueda escuchar a un par de kms de distancia



# Broadcasting

## ■ Primeros intentos:

- 1881: Clement Ader (1840-1925) cableó la opera de París para que se pueda escuchar a un par de kms de distancia
- 1893, Hungría: Telefon-Hírmóndo, una especie de radio por teléfono (noticias, música, etc.) punto a punto vía telefónica, y que se financiaba con suscripción y publicidad. Más de 15000 suscritores en 1907.





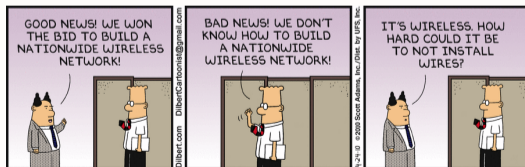
# Broadcasting

- Primeros intentos:
  - 1881: Clement Ader (1840-1925) cableó la opera de París para que se pueda escuchar a un par de kms de distancia
  - 1893, Hungría: Telefon-Hírmóndo, una especie de radio por teléfono (noticias, música, etc.) punto a punto vía telefónica, y que se financiaba con suscripción y publicidad. Más de 15000 suscritores en 1907.
- Claramente, estas soluciones no escalan y no son practicables a gran escala (o sí?)
- Problemas: alcance y a la misma vez el cableado
- Solución: radio



# Broadcasting

- Primeros intentos:
  - 1881: Clement Ader (1840-1925) cableó la opera de París para que se pueda escuchar a un par de kms de distancia
  - 1893, Hungría: Telefon-Hírmóndo, una especie de radio por teléfono (noticias, música, etc.) punto a punto vía telefónica, y que se financiaba con suscripción y publicidad. Más de 15000 suscriptores en 1907.
- Claramente, estas soluciones no escalan y no son practicable a gran escala (o sí?)
- Problemas: alcance y a la misma vez el cableado
- Solución: radio



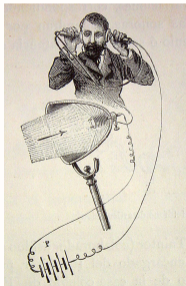
# Vuelta al radiomagnetismo

- Hubo varios intentos relativamente exitosos de transmisión de voz sin cables:
  - Nathan B. Stubblefield (inventor y granjero) inventó uno circa 1880-1890



# Vuelta al radiomagnetismo

- Hubo varios intentos relativamente exitosos de transmisión de voz sin cables:
  - Nathan B. Stubblefield (inventor y granjero) inventó uno circa 1880-1890
  - Alexander Graham Bell y Charles Sumner Tainter patentaron el fonógrafo en 1880



# Vuelta al radiomagnetismo

- Para su uso masivo hubo que esperar a los 1890's y Guglielmo Marconi



# Vuelta al radiomagnetismo

- Para su uso masivo hubo que esperar a los 1890's y Guglielmo Marconi
- Pero para entender qué hizo, hay que volver un poco atrás: 1873 y las ecuaciones de Maxwell



# Vuelta al radiomagnetismo

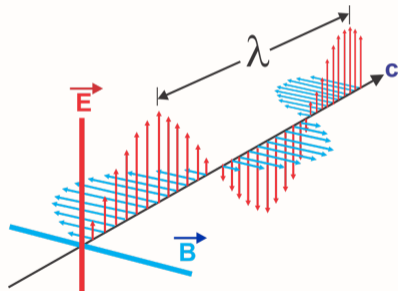
- Para su uso masivo hubo que esperar a los 1890's y Guglielmo Marconi
- Pero para entender qué hizo, hay que volver un poco atrás: 1873 y las ecuaciones de Maxwell

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times B = \mu_0 \left( J + \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \right)$$



$$c = \frac{2\pi f}{2\pi/\lambda} = \lambda f$$

# El telégrafo inalámbrico

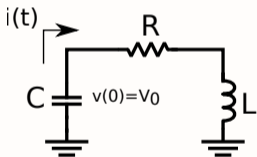
- Maxwell muere en 1879 y recién en 1887 se verifica la existencia de radiaciones a cualquier frecuencia
- La gran pregunta es cómo generar voltaje a una frecuencia cualquiera





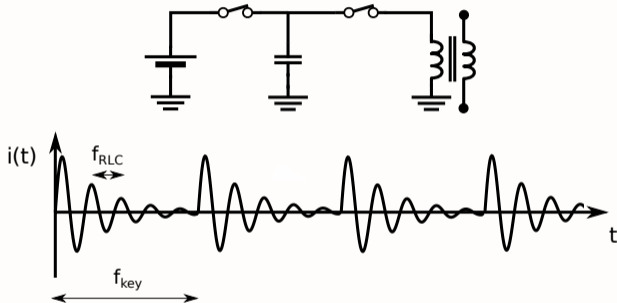
# El telégrafo inalámbrico

- Maxwell muere en 1879 y recién en 1887 se verifica la existencia de radiaciones a cualquier frecuencia
- La gran pregunta es cómo generar voltaje a una frecuencia cualquiera



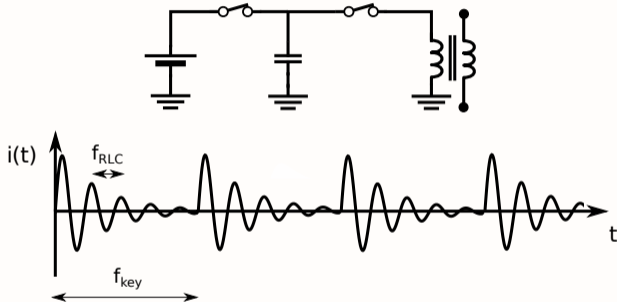
# El telégrafo inalámbrico

- Un diagrama simplificado de un telégrafo inalámbrico y la señal resultante:



# El telégrafo inalámbrico

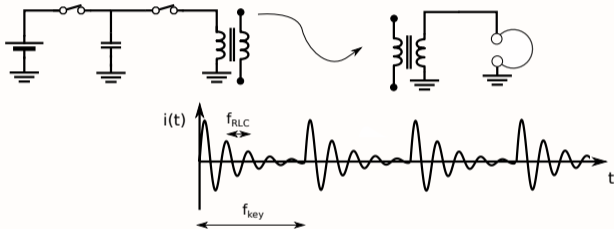
- Un diagrama simplificado de un telégrafo inalámbrico y la señal resultante:



- ¿Cómo recibir o escuchar la señal?
  - $f_{RLC}$  es la frecuencia del circuito RLC ( $\sim$  MHz)
  - $f_{key}$  es la frecuencia de switcheo de las llaves ( $\sim$  kHz)

# El telégrafo inalámbrico

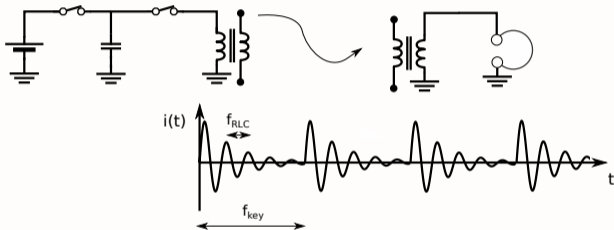
- El auricular ya había sido inventado



- ¿Se escucha?

# El telégrafo inalámbrico

- El auricular ya había sido inventado



- ¿Se escucha? No ¿Cómo bajo a frecuencias audibles la señal?

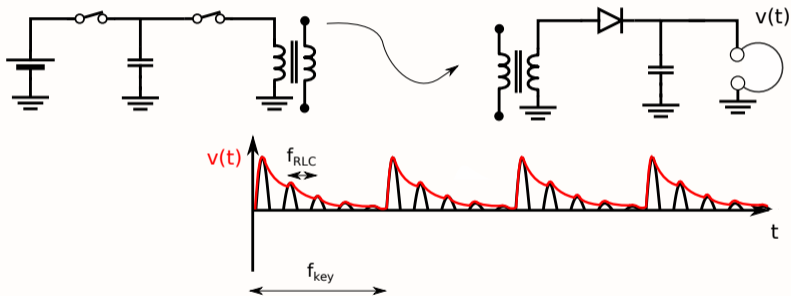
# El telégrafo inalámbrico

- Para cambiar el soporte frecuencial necesito elementos no-lineales. Por ejemplo: el diodo (cristales como el galeno)



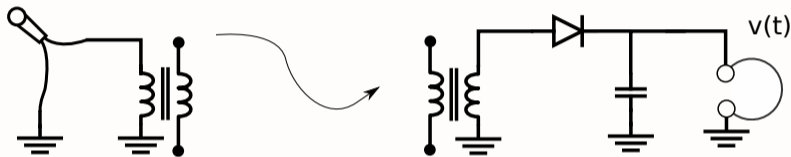
# El telégrafo inalámbrico

- Para cambiar el soporte frecuencial necesito elementos no-lineales. Por ejemplo: el diodo (cristales como el galeno)



- ¿Se escucha?

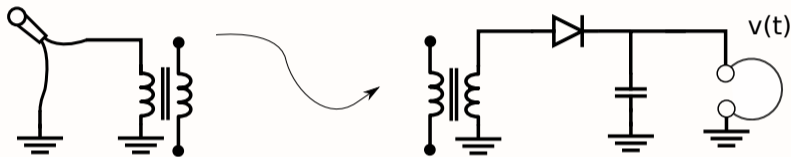
# El teléfono inalámbrico (o mejor dicho la radio)



■ ¿Se escucha?



# El teléfono inalámbrico (o mejor dicho la radio)



- ¿Se escucha? Más en un par de clases

# El telégrafo inalámbrico

- En 1901 se “demuestra” el primer telégrafo inalámbrico transatlántico



- Pocos años después los telégrafos inalámbricos eran muy difundidos para comunicación marítima

# El telégrafo inalámbrico

- Para principios de 1900's se empieza a exigir (en algunos países) que haya equipos de telegrafía radio en todos los barcos
- En 1912 se hunde el Titanic:
  - El Californian, más cerca, no va al rescate pues su operador se había ido a dormir
  - Pero el Californian le había tratado de advertir al Titanic sobre los icebergs: el operador radio le contestó con un "No molestar!" pues estaba mandando mensajes de pasajeros a tierra y el Californian lo estaba interfiriendo



# El telégrafo inalámbrico

- Para principios de 1900's se empieza a exigir (en algunos países) que haya equipos de telegrafía radio en todos los barcos
- En 1912 se hunde el Titanic:
  - El Californian, más cerca, no va al rescate pues su operador se había ido a dormir
  - Pero el Californian le había tratado de advertir al Titanic sobre los icebergs: el operador radio le contestó con un "No molestar!" pues estaba mandando mensajes de pasajeros a tierra y el Californian lo estaba interfiriendo
- Como consecuencia se organizan mínimamente las comunicaciones inalámbricas
  - Se aprueba el Radio Act de 1912: 24hs de radio en barcos y el requerimiento de licencias para operar una radio
  - En 1927 se crea la Federal Radio Commission que regula todo lo referido a radiocomunicaciones (en 1934 se convierte en la Federal Communications Commission, FCC)
  - El equivalente en Uruguay es la URSEC

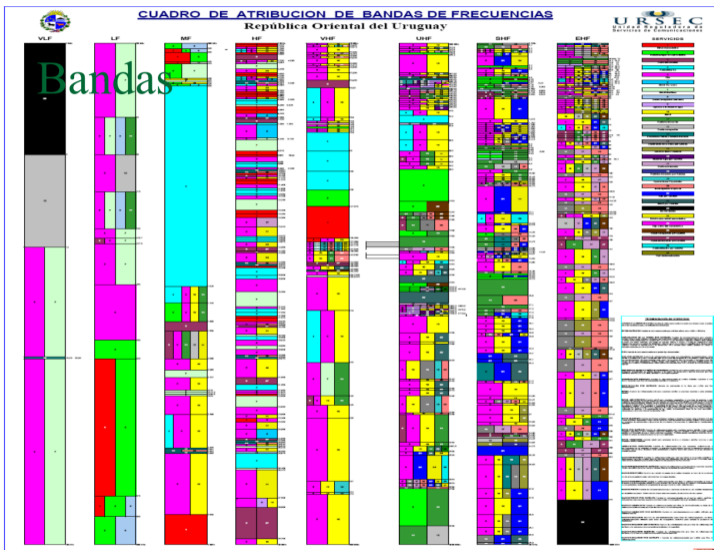


# Regulación

- Hay que tener claro que el espectro radioeléctrico es un bien escaso y público con usos varios:
  - Telefonía móvil
  - Datos móviles
  - Radiodifusión (i.e. radio y TV)
  - Comunicaciones marítimas y aeronáuticas
  - Servicios de emergencia
  - Defensa
  - Científica (e.g. radioastronomía)
- En la última subasta de espectro a operadores móviles (banda de 700 MHz) se pagó un millón de dólares por MHz



# Regulación en Uruguay



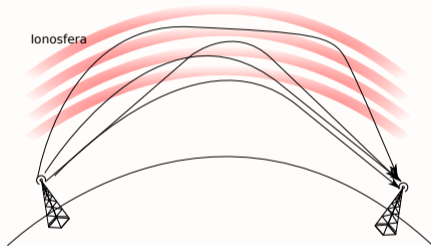
# Bandas de frecuencia

- ¿Qué diferencia hay entre distintas bandas?



# Bandas de frecuencia

- ¿Qué diferencia hay entre distintas bandas?
  - Distintos modos de propagación a distintas frecuencias. Ejemplo, frecuencias de hasta algunos MHz pueden “rebotar” en la ionosfera



Este efecto lo usó Marconi (sin saber) en su negocio de telégrafo inalámbrico de larga distancia



# Bandas de frecuencia

- ¿Qué diferencia hay entre distintas bandas?
  - Las frecuencias altas tienen menor alcance: el mismo sistema a 700 MHz tendrá mayor alcance que a 1900 MHz



# Bandas de frecuencia

- ¿Qué diferencia hay entre distintas bandas?
  - Las frecuencias altas tienen menor alcance: el mismo sistema a 700 MHz tendrá mayor alcance que a 1900 MHz
    - Modelo de propagación en vacío:

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

o en dBm:

$$P_r[\text{dBm}] = P_t[\text{dBm}] + G_t[\text{dBi}] + G_r[\text{dBi}] + 20 \log_{10} \left( \frac{c}{f4\pi d} \right)$$



# Bandas de frecuencia

- ¿Qué diferencia hay entre distintas bandas?
  - Las frecuencias altas tienen menor alcance: el mismo sistema a 700 MHz tendrá mayor alcance que a 1900 MHz
    - Modelo de propagación en vacío:

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

o en dBm:

$$P_r[dBm] = P_t[dBm] + G_t[dBi] + G_r[dBi] + 20 \log_{10} \left( \frac{c}{f4\pi d} \right)$$

- Pero lo mismo es cierto en medios cableados:



Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC (NC) Jacket



## RF Cables Technical Data Sheet

RG58C/U

### Configuration

- Flexible Cable
- 1 Shield(s)

### Performance by Frequency Band

Description	F1	F2	F3	F4	F5	Units
Frequency	0.01	0.1	1	5		GHz
Attenuation, Typ	1.4	4.9	20	60		dB/100ft
	4.59	16.06	65.62	196.85		dB/100m
Input Power (CW), Max	46					Watts



# Bandas de frecuencia

- ¿Qué diferencia hay entre distintas bandas?
  - El tamaño de la antena, como regla general, es del orden de la mitad de la longitud de onda

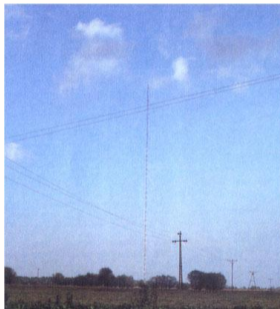


# Bandas de frecuencia

- ¿Qué diferencia hay entre distintas bandas?
  - El tamaño de la antena, como regla general, es del orden de la mitad de la longitud de onda



(a) Para Wi-Fi ( $f \sim 2.4\text{GHz} \Rightarrow \lambda \sim 12\text{ cm}$ )



(b) Para AM-LW ( $f = 225\text{ kHz} \Rightarrow \lambda \sim 1300\text{ m}$ )

# Comunicaciones Inalámbricas

- **Mensaje 2** Hay y seguirá habiendo una gran tendencia a lo inalámbrico
- **Ventajas:**
  - Menores costos de despliegue
  - Posibilidad de despliegue (comunicaciones espaciales? satelitales? móviles?)
- **Desventajas:**
  - Interferencia
  - Alcance



# Comunicaciones Inalámbricas

- **Mensaje 2** Hay y seguirá habiendo una gran tendencia a lo inalámbrico
- Ventajas:
  - Menores costos de despliegue
  - Posibilidad de despliegue (comunicaciones espaciales? satelitales? móviles?)
- Desventajas:
  - Interferencia
  - Alcance
- Tecnología prevalente en el acceso de la red de comunicaciones, pero no tanto en el núcleo



# Comunicaciones Digitales

- Un mensaje analógico es una señal continua
- Un mensaje digital es una secuencia de símbolos de un alfabeto finito:
  - Texto (alfabeto = alfabeto)
  - Un telegrama en código morse (alfabeto = {punto, raya, silencio corto, silencio largo})
  - Todo lo que está almacenado en un disco duro (alfabeto = {0,1})





# Comunicaciones Digitales

- Un mensaje analógico es una señal continua
- Un mensaje digital es una secuencia de símbolos de un alfabeto finito:
  - Texto (alfabeto = alfabeto)
  - Un telegrama en código morse (alfabeto = {punto, raya, silencio corto, silencio largo})
  - Todo lo que está almacenado en un disco duro (alfabeto = {0,1})
- Ya en 1937 se patenta la idea de usar una cantidad finita de valores para transmitir voz, con la idea de lograr mayores alcances en llamadas de larga distancia.

Feb. 3, 1942.

A. H. REEVES

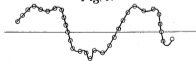
2,272,070

ELECTRIC SIGNALING SYSTEM

Filed Nov. 22, 1939

3 Sheets-Sheet 1

Fig. 1.



In each possible case arising in practice, however, each of these amplitudes has to be transmitted, not with an infinite degree of precision, but with a particular finite degree of precision dependent upon the problem involved. For example, in considering ordinary speech signals at finite possible number of amplitudes, but only a series of approximately 33 different values.



# Comunicaciones Digitales

- ¿Qué funciona mejor?
  - Una serie de operadores de telégrafo repitiendo un mensaje
  - Grabación de voz que cada cierta distancia de transmisión se amplifica



# Comunicaciones Digitales

- ¿Qué funciona mejor?
  - Una serie de operadores de telégrafo repitiendo un mensaje
  - Grabación de voz que cada cierta distancia de transmisión se amplifica
- En 1943 entra en operación el SIGSALY que usa técnicas de encriptado a la señal de voz digitalizada (hasta ese momento se usaban técnicas de scrambling, poco seguras)



Alan Turing participa en su desarrollo.

# Comunicaciones Digitales

- En 1950 Richard Hamming publica un trabajo en el cual muestra que cualquier secuencia de cuatro bits puede ser corregida hasta de un error agregando 3 bits de redundancia
- Con esto comienzan los FEC (Forward Error Correction), con lo que la secuencia digital se corrige automáticamente (hasta cierta tasa de error) mediante el agregado de redundancia
- Posibilita, por ejemplo, comunicaciones espaciales
  - Ante un error es poco práctico (o imposible) volver a pedir el mensaje
  - Dependiendo del nivel de redundancia y tasa de error, evitar retransmisiones puede ser más eficiente



# Comunicaciones Digitales

- **Mensaje 3** Las comunicaciones hoy son 100% digitales (salvo sistemas legacy o por razones muy específicas)
- Las ventajas frente al analógico son:
  - Mayor robustez (capacidad de recuperar el mensaje original exacto)
  - Procesamiento digital permite:
    - Encriptado (SIGSALY)
    - Corrección de errores (Hamming)



# Comunicaciones Digitales

- **Mensaje 3** Las comunicaciones hoy son 100% digitales (salvo sistemas legacy o por razones muy específicas)
- Las ventajas frente al analógico son:
  - Mayor robustez (capacidad de recuperar el mensaje original exacto)
  - Procesamiento digital permite:
    - Encriptado (SIGSALY)
    - Corrección de errores (Hamming)
    - Compresión
    - Filtrado
  - Cada vez más barato
  - Multiplexado y convergencia



# Convergencia

- Telegrafía, telefonía, video y comunicación entre computadoras fueron desarrolladas:
  - en muy distintos momentos
  - como sistemas separados
  - percibidas como esencialmente distintas
- Con el crecimiento de estos despliegues, y la necesidad de interactuar entre ellos, creció el interés en entender sus principios fundamentales, más allá de las implementaciones concretas



# Convergencia

- Telegrafía, telefonía, video y comunicación entre computadoras fueron desarrolladas:
  - en muy distintos momentos
  - como sistemas separados
  - percibidas como esencialmente distintas
- Con el crecimiento de estos despliegues, y la necesidad de interactuar entre ellos, creció el interés en entender sus principios fundamentales, más allá de las implementaciones concretas
- Quizá el mayor paso en este sentido se dio en 1948 con la publicación del paper “A Mathematical Theory of Communication” de Claude E. Shannon





# Teoría de las Comunicaciones: Shannon

- Sienta las bases de lo que se conoce como “Teoría de la Información”



# Teoría de las Comunicaciones: Shannon

- Sienta las bases de lo que se conoce como “Teoría de la Información”
- En el segundo párrafo del trabajo define las comunicaciones:

The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point.



# Teoría de las Comunicaciones: Shannon

- Sienta las bases de lo que se conoce como “Teoría de la Información”
- En el segundo párrafo del trabajo define las comunicaciones:

The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point.

- Y la primera figura es la siguiente:

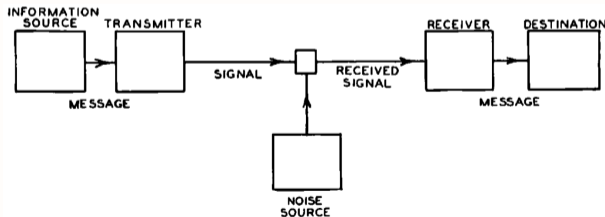


Fig. 1—Schematic diagram of a general communication system.

# Teoría de las Comunicaciones

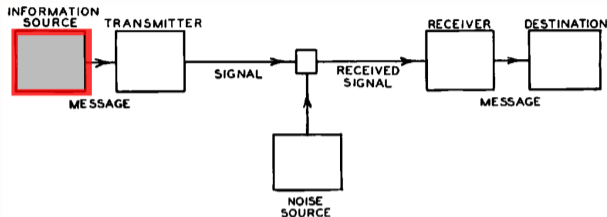


Fig. 1—Schematic diagram of a general communication system.

- La fuente de información elige un(a secuencia de) mensaje(s):
  - Conversación: una oración
  - Telégrafo: secuencia de letras
  - Teléfono: audio representado por variaciones en la presión del aire alrededor de un micrófono

# Teoría de las Comunicaciones

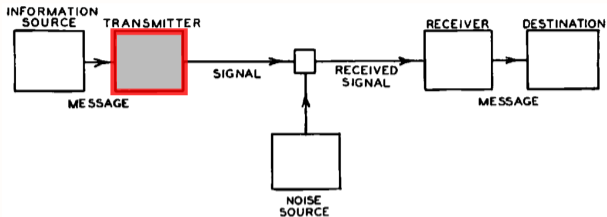


Fig. 1—Schematic diagram of a general communication system.

- El transmisor opera sobre el mensaje de tal manera que sea transmisible por el canal y obtiene la señal
  - Conversación: convertir la oración en variaciones de presión del aire (audio)
  - Telégrafo: convertir las letras a código morse y su correspondiente voltaje
  - Teléfono: convertir mediante un micrófono las variaciones de presión en voltaje



# Teoría de las Comunicaciones

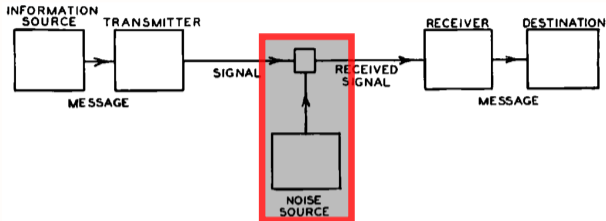


Fig. 1—Schematic diagram of a general communication system.

- El canal es el medio por el que se transmite la señal
  - Conversación: el aire
  - Telégrafo (Marconi's): el espectro radioeléctrico
  - Teléfono: un cable

# Teoría de las Comunicaciones

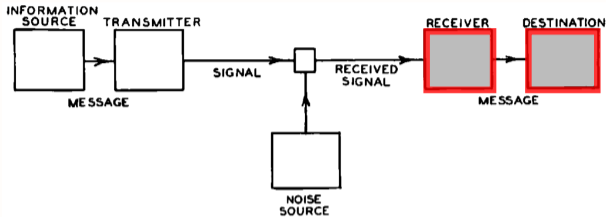


Fig. 1—Schematic diagram of a general communication system.

- El receptor recibe la señal (modificada por el canal) e intenta realizar el proceso inverso que el transmisor
  - Conversación: oído (y cerebro)
  - Telégrafo: otro equipo morse
  - Teléfono: un parlante
- El destino es la persona o entidad para quien estaba destinado el mensaje



# El curso

- Este curso se enfoca en presentar la teoría para modelar, analizar y diseñar sistemas de comunicación punto a punto
- Algunas preguntas:
  - ¿Cómo se puede modelar la fuente?
  - ¿Qué puede hacer el transmisor para maximizar la información transmitida dadas las restricciones que impone el canal?
  - ¿Información?

