Criptografía

Fernando Martínez
fernando.martinez@upc.edu

Departament de Matemàtiques • Universitat Politècnica de Catalunya

27 de julio de 2022

Ejemplos de necesidad de seguridad

- Comunicaciones digitales: Mensajería instántanea, telefonía, EFT (Electronic Fund Transfer), correo electrónico,...
- Acceso a información reservada: cuentas bancarias, bases de datos personales, GPS (Global Position System), historial médico,...
- Integridad de la información: bases de datos, cuentas bancarias,...
- Acceso a recursos *limitados*: Wifi, juegos on line, audio and video on demand (AVOD)...
- Comercio electrónico.

Medidas de seguridad

- Protección física contra daños accidentales o intencionados.
- Control físico de accesos:
  - Identificación de los usuarios por características físicas (biometría).
  - Protección de los componentes del sistema (terminales, cables,...) para evitar intrusiones.
- Medidas administrativas: Políticas de seguridad.
- Medidas legales:
  - Elaboración de leyes que permitan perseguir las conductas delictivas.
  - Derogación de leyes que impidan la investigación en seguridad.
- Medidas lógicas: Sistemas que proporcionan seguridad a base de transformar la información: CRIPTOGRAFÍA.

Criptología

Criptología
- **Criptografía:** Estudio y diseño de primitivas criptográficas y protocolos de seguridad para el tratamiento de la información.
- **Criptoanálisis:** Análisis de los sistemas y protocolos criptográficos con el objetivo de evaluar su seguridad.

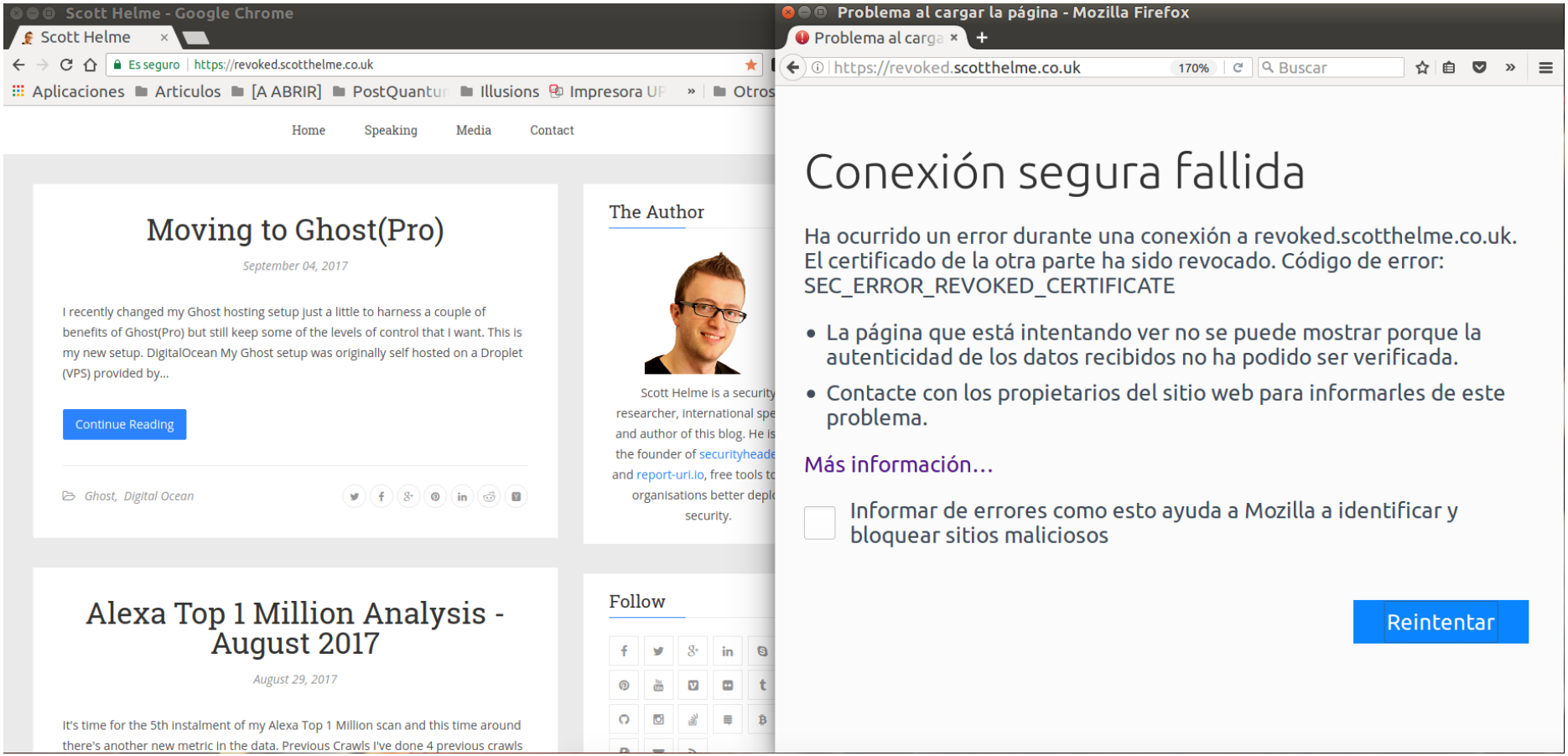
Criptoanálisis

Objetivo: Ser capaz de realizar transformaciones criptográficas (cifrado, descifrado, firma...) sin necesidad de conocer la clave (romper el sistema).

Suposición: **Principio de Kerckhoff:** El criptoanalista (atacante) conoce el algoritmo criptográfico. La seguridad reside en el secreto de la clave.

- ~~Security by Obscurity~~ Los sistemas que ocultan los algoritmos criptográficos usados no son seguros por definición: pueden contener puertas traseras o no haber sido suficientemente estudiados.
- Muchas veces la seguridad no depende del algoritmo criptográfico empleado sino de sus implementaciones.[1]

[1] Ver captura de pantalla siguiente


Scott Helme - Google Chrome
Scott Helme
Es seguro | https://revoked.scotthelme.co.uk
Aplicaciones Articulos [A ABRIR] PostQuantur Illusions Impresora UF Otros
Home Speaking Media Contact
Moving to Ghost(Pro)
September 04, 2017
I recently changed my Ghost hosting setup just a little to harness a couple of benefits of Ghost(Pro) but still keep some of the levels of control that I want. This is my new setup. DigitalOcean My Ghost setup was originally self hosted on a Droplet (VPS) provided by...
Continue Reading
Ghost, Digital Ocean
The Author
Scott Helme is a security researcher, international spe and author of this blog. He is the founder of securityheade and report-uri.io, free tools to organisations better deplo security.
Alexa Top 1 Million Analysis - August 2017
August 29, 2017
It's time for the 5th instalment of my Alexa Top 1 Million scan and this time around there's another new metric in the data. Previous Crawls I've done 4 previous crawls
Follow
Problema al cargar la página - Mozilla Firefox
Problema al carga
https://revoked.scotthelme.co.uk 170% Buscar
Conexión segura fallida
Ha ocurrido un error durante una conexión a revoked.scotthelme.co.uk. El certificado de la otra parte ha sido revocado. Código de error: SEC_ERROR_REVOKED_CERTIFICATE
La página que está intentando ver no se puede mostrar porque la autenticidad de los datos recibidos no ha podido ser verificada.
Contacte con los propietarios del sitio web para informarles de este problema.
Más información...
Informar de errores como esto ayuda a Mozilla a identificar y bloquear sitios maliciosos
Reintentar

Criptoanálisis: Tipos de ataques

Según el material disponible:

- Texto cifrado (o criptograma).
- Criptograma y texto en claro correspondiente.
- Textos seleccionados y los criptogramas correspondientes (CPA: chosen-plaintext attack)
- Criptogramas seleccionados y los textos en claro correspondientes. (CCA: chosen ciphertext attack)

Según el nivel de éxito:

- Obtención de la clave.
- Descifrado un texto sin la clave.
- Obtención de alguna información parcial del texto o la clave.

Específico del sistema criptográfico:

- Factorización.
- Cálculo logaritmo discreto.
- Criptoanálisis diferencial...

Criptografía

- Criptografía
  - Clásica.[1]
  - Moderna
    - Clave secreta (simétrica).[1,2,3]
    - Clave pública (asimétrica).[1,2,3,4]
    - Funciones hash.[2,3,4]

1. Confidenciabilidad.
2. Integridad.
3. Autentificación.
4. No repudio.

Primitiva criptográfica: Sistema criptográfico

$(\mathcal{M}, \mathcal{C}, \mathcal{K}, \mathcal{E}, \mathcal{D})$ es un sistema criptográfico si:

1. $\mathcal{M}$ es el conjunto de los posibles mensajes,
2. $\mathcal{C}$ es el conjunto de los posibles mensajes cifrados o criptogramas,
3. $\mathcal{K}$ es el conjunto de las posibles claves,
4. $\forall k \in \mathcal{K}$ existe una transformación de cifrado $e_k \in \mathcal{E}$ y otra de descifrado $d_k \in \mathcal{D}$ tales que:

$$e_k : \mathcal{M} \longrightarrow \mathcal{C} \qquad d_k : \mathcal{C} \longrightarrow \mathcal{M}$$

$$d_k(e_k(m)) = m \quad \forall m \in \mathcal{M}.$$

César.

$\mathcal{M} = \mathcal{C} = \mathcal{K} = \mathbb{Z}_n$

$$e_k(m) = m + k \mod n, \qquad d_k(c) = c - k \mod n.$$

Criptografía clásica

- Anterior a la aparición de los ordenadores modernos.
- Tiene por objetivo la confidenciabilidad.
- Usos militares y diplomáticos.
- Generalmente trabaja con el alfabeto.
- Las transformaciones básicas que utiliza son:
  - Sustituciones:
    - Monoalfabéticas: la misma permutación para cada letra.
    - Polialfabética: distintas letras, distintas permutaciones.
  - Permutaciones.

Criptografía clásica: César

Cada letra se sustituye por otra que ocupa k posiciones más allá en el alfabeto.

A–>Z, B–>A, C–>B,...,Z–>Y
IBM –> HAL

- $\mathcal{M} = \mathbb{Z}_n$
- $\mathcal{C} = \mathbb{Z}_n$
- $\mathcal{K} = \mathbb{Z}_n$
- $e_k(m) = m + k \mod n$
- $d_k(c) = c - k \mod n$ módulo n.

Criptografía clásica: Escítala

Figure: Escítala espartana, consistente en una vara sobre la que se enrolla una tira estrecha de cuero en la que hay escritas unas letras. Estirada, las letras sobre la cinta de cuero carecen de sentido). From Wikimedia Commons, the free media repository

Escítala

NO OS ASUSTEIS –>

N	O		O	S	
	A	S	U	S	
T	E	I	S		

–> N TOAE SIOUSSS

Criptografía clásica: Escítala

- $\mathcal{M} = (\mathbb{Z}_n)^r$
- $\mathcal{C} = (\mathbb{Z}_n)^r$
- $\mathcal{K} = \mathcal{A}$, $\mathcal{A}$ conjunto de matrices de permutación $r \times r$
- $e_k(M) = AM$
- $d_k(C) = A^{-1}C$, A^{-1} matriz inversa de A.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & & & & & & & & & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Criptografía clásica: Vigenère

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A
C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C
E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D
F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G
I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y

Criptografía clásica: Vigenère

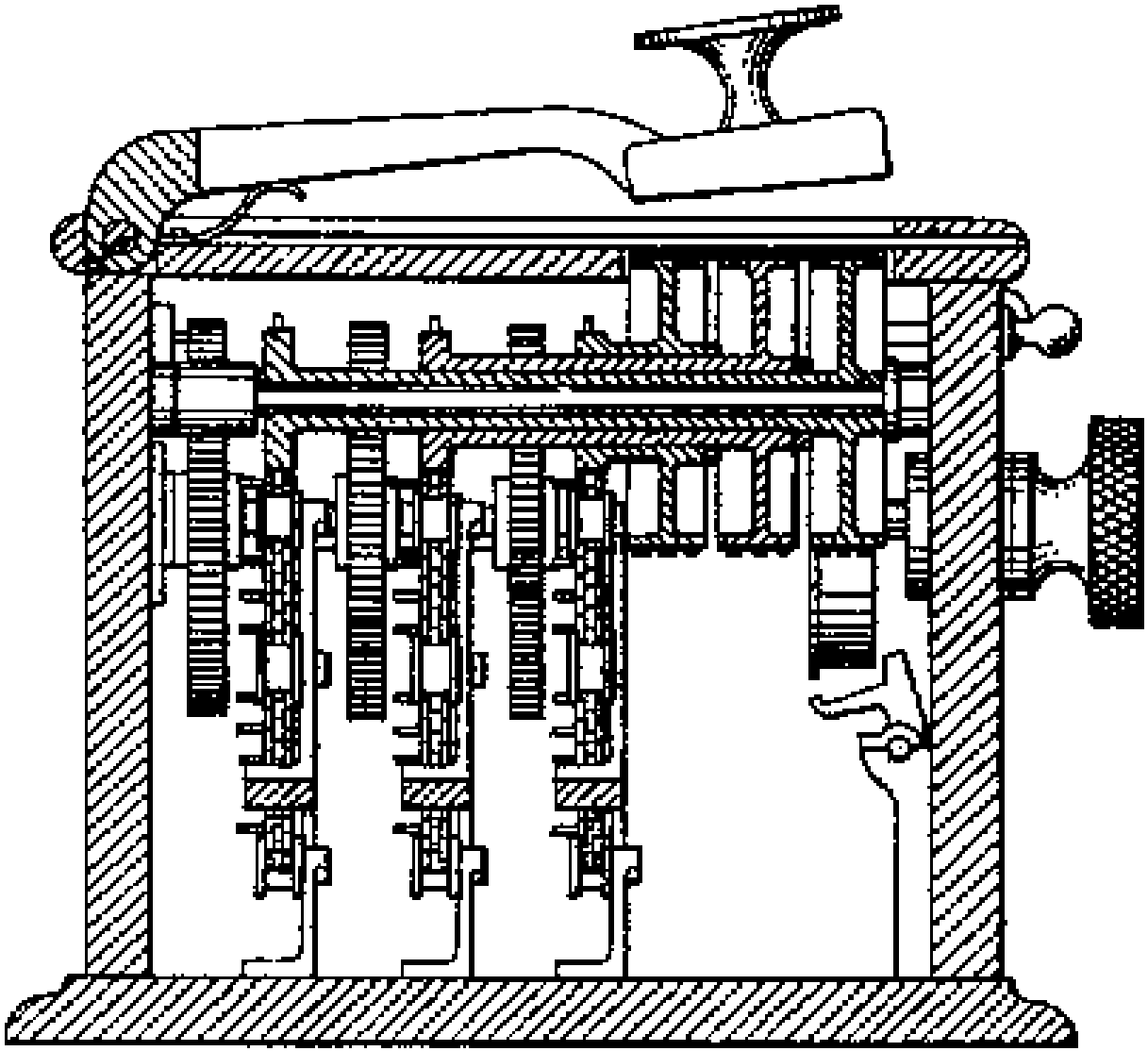
- $\mathcal{M} = \mathcal{C} = \mathcal{K} = \mathbb{Z}_n \times \cdots \times \mathbb{Z}_n = (\mathbb{Z}_n)^r$
- $e_k(\mathbf{m}) = \mathbf{m} + \mathbf{k} \mod n$
- $d_k(\mathbf{c}) = \mathbf{c} - \mathbf{k} \mod n$

- Mensaje a cifrar:
  MENSAJESECRETO – 12,4,13,18,0,9,4,18,4,2,17,4,19,14
- Clave de cifrado: CLAVE – 2,11,0,21,4
- Cifrado:

12	4	13	18	0	9	4	18	4	2	17	4	19	14
2	11	0	21	4	2	11	0	21	4	2	11	0	21
14	15	13	13	4	11	15	18	25	6	19	15	19	9

- Criptograma:
  OPNNELPSZGTPTJ

Hill Lester S, Louis Weisner, US Patent 1845947 Filed 14 Feb 1929.



Criptografía clásica: Hill

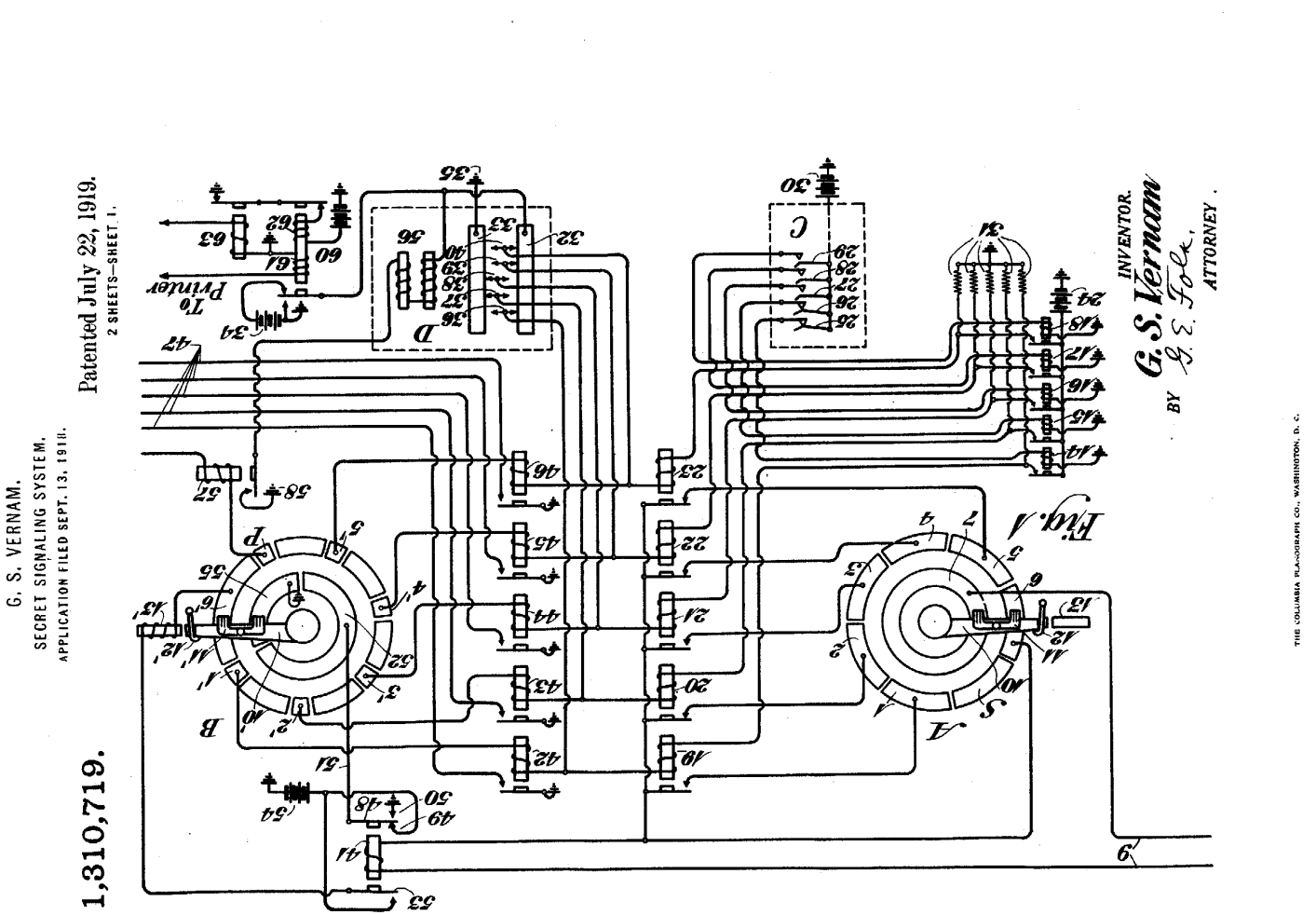
- $\mathcal{M} = (\mathbb{Z}_n)^r$
- $\mathcal{C} = (\mathbb{Z}_n)^r$
- $\mathcal{K} = \mathcal{A} \times (\mathbb{Z}_n)^r$, $\mathcal{A}$ conjunto de matrices $r \times r$ invertibles módulo n, $k = (A, B)$
- $e_k(M) = AM + B \mod n$
- $d_k(C) = A^{-1}(C - B) \mod n$, A^{-1} matriz inversa de A módulo n.

$n = 26$, $r = 2$

$$A = \begin{pmatrix} 11 & 8 \\ 3 & 7 \end{pmatrix}, \qquad A^{-1} = \begin{pmatrix} 7 & 18 \\ 23 & 11 \end{pmatrix}.$$

No todos los pares (A, B) son posibles.

Gilbert S. Vernam, US Patent 1310719
Filed 13 September 1918.



Criptografía clásica: Vernam

También conocido como *one time pad*.

- Propuesto en 1917 para transmisiones telegráficas. Utiliza un alfabeto de 32 letras representadas por 5 bits.
- Su funcionamiento es igual que el criptosistema de Vigenère pero con una clave de longitud igual a la del mensaje.
- Las claves sólo se pueden utilizar una única vez.
- Es el único que es **incondicionalmente seguro**.

Seguridad

- **Incondicionalmente seguro**: La probabilidad de que un criptograma provenga de un mensaje determinado es igual a la probabilidad a priori del mensaje.

César

- Criptograma: TJ
- Posibles mensajes: UK, VL, WM, XN, YO, ZP, AQ, BR, CS, DT, EU, FV, GW, HX, IY, JZ, KA, LB, MC, ND, OE, PF, QG, RH, SI.

Vernam

- Criptograma: TJ
- Posibles mensajes: TK, TL,..., TI, UK, UL,..., UI,..., NO,..., SI.

- **Computacionalmente seguro**: Si con *recursos limitados* no puede ser *roto*.

Seguridad

Shannon, Claude E.
Communication Theory of Secrecy Systems
Bell System Technical Journal (USA: AT&T Corporation) 28 (4): 656–715, (1949).
doi:10.1002/j.1538-7305.1949.tb00928.x