Capítulo 10. IAGP 2005/06. La seguridad en informática

Actualizado 2006/06/17

Buscar en la web

1.- Introducción

Quizá antes sea importante mencionar algunos datos relacionados con la seguridad antes de comenzar con el desarrollo del tema. En el informe "Computer Crime Survey" del FBI, proporcionado por Secure Site E-News del 22 de mayo de 1999, de la compañía VeriSign, se dieron los siguientes datos:

Se estudiaron 521 compañías de varias ramas de la industria y de diferentes tamaños. Estas están actualmente trabajando para que su sistema informático sea seguro.

- El 61% de estas empresas ha tenido experiencias de pérdida debido al uso de no autorizado de su sistema.
- El 32% de estas organizaciones están usando ahora métodos de identificación segura en su sitio de internet.
- El promedio de pérdida de robo o pérdida de información está sobre $1.2 M de dólares.
- El promedio de pérdida por sabotaje está sobre $1.1 M dólares.
- El 50% de las compañías sufrieron abuso del uso de la red.
- El 94% de las organizaciones tiene actualmente un sitio en la web.

A la pregunta ¿qué tipo de tecnología de seguridad usa? Se contestó:

- Cuenta con control en el acceso, el 89%.
- Cuenta con archivos cifrados, el 59%.
- Cuanta con sistema de claves, el 59%.
- Usa cortafuegos (firewalls), el 88%.
- Una sistema de log-in cifrados, el 44%.
- Usa smart-cards, 37%.
- Detención de intrusos, 40%.
- Certificados digitales para la autenticación, 32%.

A la pregunta ¿Cuál es el origen de un ataque?

- Un "hacker" independiente, el 74%.
- Un competidor, el 53%.
- Un empleado disgustado, el 86%.

¿Su organización provee servicio de comercio electrónico?

- Sí, el 29%.

¿Su página ha tenido un acceso no autorizado en los últimos 12 meses?

- Sí, el 18%
- No, el 44%
- No sabe el 38%

En un informe dado a conocer en unos cursos de criptografía industrial en Bélgica en junio de 1997, se mide la frecuencia de incidentes de seguridad de la información relacionada con sus causas.

Frecuencia - Razón
50-60% Errores debido a la inexperiencia, reacciones de pánico, mal uso,...
15-20% Empledos disgustados, accidentes de mantenimiento,...
10-15% Desastres naturales como inundaciones, incendios,...
3-5% Causas externas: "hackers"

Otro aspecto importante a considerar es el crecimiento enorme que ha tenido internet, algunos datos importantes son los proporcionados por Paul Van Oorschot de Entrust Technologies en una conferencia del ciclo "The Mathematics of Public Key Cryptography" en junio de 1999:

Se duplica él trafico de internet cada 100 días. En enero de 1999 hubo 150 millones de personas en línea, 75 de ellas en EEUU. El comercio mediante internet se duplica cada año. La radio tardó 40 años y la televisión 10 años, para alcanzar 50 millones de usuarios a la red le ha bastado menos de cinco.

Estos datos sólo son algunos de los que frecuentemente son dados a conocer por algún medio, y aunque algunos obedecen a intereses comerciales, lo que sí es verdadero es el enorme cambio que han tenido gran cantidad de actividades a raíz del uso de internet que incluso se ha considerado como el invento más importante de fin del siglo XX y de ahí lo primordial de todo lo relacionado con su seguridad.

Siempre podremos encontrar razones para reafirmar la trascendencia que tiene la seguridad en los sistemas computerizados, seguidamente se da una introducción de cómo podemos atacar este problema.

El diseñar una estrategia de seguridad depende en general mucho de la actividad que se esté desarrollando, sin embargo se pueden considerar los

siguientes tres pasos generales: el **primero** crear una política global de seguridad, el **segundo** realizar un análisis de riesgos y el **tercero** aplicar las medidas correspondientes.

Política global de seguridad: aquí se debe de establecer el estatus de la información para la empresa o la organización, debe de contener un objetivo general, la importancia de la tecnología de la información para la empresa, el período de tiempo de validez de la política, los recursos con que se cuenta, objetivos específicos de la empresa.

Debe de establecerse la calidad de la información que se maneja según su objetivo, esto quiere decir que se establezca cuando o para quien la información debe ser confidencial, cuando debe verificarse su integridad y cuando debe de verificarse su autenticidad tanto de la información como de los usuarios.

Análisis de riesgos: consiste en enumerar todo tipo de riesgos a los cuales esta expuesta la información y cuales son las consecuencias, los posibles atacantes entre persona, empresas y dependencias de inteligencia, las posibles amenazas etc., enumerar todo tipo de posible pérdida, desde pérdidas directas como dinero, clientes, tiempo etc., así como indirectas, créditos no obtenidos, pérdida de imagen, implicación en un litigio, perdida de confianza etcétera.

El riesgo se puede calcular por la formula riesgo = probabilidad x pérdida, por ejemplo el riesgo de perder un contrato por robo de información confidencial es igual a la probabilidad de que ocurra el robo multiplicado por la pérdida total en euros de no hacer el contrato. El riesgo de fraude en transacciones financieras es igual a la probabilidad de que ocurra el fraude por la pérdida en euros de que llegara ocurrir ese fraude. Si la probabilidad es muy pequeña el riesgo es menor, pero si la probabilidad es casi uno, el riesgo puede ser casi igual a la perdida total. Si por otro lado la pérdida es menor aunque la probabilidad de que ocurra el evento sea muy grande tenemos un riesgo menor. Por ejemplo la perdida de una transacción de 300 euros con una probabilidad muy grande de que ocurra al usar criptografía débil, el riesgo llega a ser menor por lo que depende de la política de seguridad para que este riesgo se asuma.

Medidas de seguridad: esta parte la podemos plantear como la terminación de la toda la estructura de seguridad de la información. Una vez planteada una política de seguridad, o sea decir cuanto vale la información (en un análisis de riesgo), decir que tanto pierdo si le ocurre algo a mi información o que tanto se gana si está protegida, debemos de establecer las medidas para que cumpliendo con la política de seguridad las perdidas sean las menores posibles y que esto se transforme en ganancias, ya sean materiales o de imagen.

Tipos	Protección Física	Medidas Técnicas	Medidas de Organización
Preventivas	PF	PT	PO
Detectivas	DF	DT	DO
Correctivas	CF	CT	CO

Las medidas que se pueden establecer se dividen según la tabla previa

PF: vigilantes a la entrada del edificio, control en el acceso, protección al hardware, respaldo de datos

DF: monitor de vigilancia, detector de metales, detector de movimiento

CF: respaldo de alimentación eléctrica

PT: firewalls, criptografía, bitácora

DT: control de acceso lógico, sesión de autenticación

CT: programa antivirus

PO: cursos de actualización, organización de las claves

DO: monitoreo de auditoria

CO: respaldos automáticos, plan de incidentes (sanciones)

En resumen debemos de mencionar que no existe un sistema informático que garantice al 100% la seguridad, debido a la gran variededad de formas con que se puede romper la seguridad. Sin embargo una buena planificación de la estrategia para dar seguridad a la información puede resultar desde la salvación de una empresa hasta la obtención de grandes ganancias directas en euros, o como ganancias indirectas mejorando la imagen y la seguridad de la empresa. Uno de los objetivos principales de estableces una política de seguridad es de reducir al mínimo los riegos posibles, implementando adecuadamente las diferentes medidas de seguridad.

Enseguida repasamos algunas de las técnicas de seguridad que pertenecen a la criptografía, tratando de exponerlas de una forma simple de comprender.

La palabra criptografía proviene del griego "kryptos", que significa esconder y "gráphein", escribir, es decir, escritura escondida. La criptografía ha sido usada a través de los años para mandar mensajes confidenciales cuyo

propósito es que sólo las personas autorizadas puedan entender el mensaje.

2.- Introducción histórica

Hace miles de años, el hombre comenzó a comunicarse con sus semejantes mediante un sistema estructurado de signos llamado lenguaje. La escritura, entendida como representación gráfica de algún lenguaje, surgió para poder conservar y transmitir los mensajes, permitiendo comunicar ideas sin necesidad de una interacción directa entre el emisor y el receptor. En muchos casos emisor y receptor son el mismo individuo, pues la escritura se empleaba -y aún se sigue empleando- para complementar nuestra propia y limitada memoria. Pero a veces el emisor también quería proteger sus ideas de la curiosidad de los demás, y surgía la necesidad de asegurar que el mensaje sólo iba a poder ser interpretado por ciertas personas. Había nacido la criptografía.

Es cierto que en muchas ocasiones podía ser suficiente con que el mensaje estuviera escrito para que resultara indescifrable, ya que la mayoría de la gente era sencillamente analfabeta. Pero si el texto era lo suficientemente valioso, siempre se podía contratar a alguien que dominara la lengua en la que estaba escrito para que nos revelara su contenido, así que había que emplear métodos más sofisticados.

El hecho que gran parte de actividades humanas sea cada vez mayor el uso de técnicas criptográficas tiene como propósito prevenir algunas faltas de seguridad en un sistema informatizado. La seguridad en general debe de ser considerada como un aspecto de gran importancia en cualquier corporación que trabaje con sistemas computarizados.

ESPARTA Y LA DIFUSION

Una de las primeras técnicas criptográficas de las que se tiene noticia era la empleada por Esparta en el Siglo V antes de nuestra era. Para establecer comunicaciones militares, se empleaba un papiro alargado en forma de cinta y un bastón llamado "escitalo". El papiro se enrollaba en el bastón y se escribía el texto a lo largo de éste último, de forma transversal al papiro. Para poder leer el mensaje, el destinatario necesitaba un bastón con el mismo diámetro.

Si se desea cifrar un mensaje empleando este método, y no se dispone de un bastón ni de una cinta de papiro, será suficiente con escribir el texto por columnas de tamaño fijo y luego leerlo por filas. A modo de ejemplo, el mensaje "LOS ESPARTANOS SON LOS MAS GUAPOS DEL PELOPONESO". Si se supone que el diámetro del bastón permite escribir seis signos en cada vuelta, se emplearán columnas de seis letras:

Resultando:

"LPO APLPOASLSO OSR O SPN TSSG EEEAO UDLSSNNMAEOO"

Este criptosistema responde a un esquema de transposición, ya que lo único que se hace es cambiar de sitio los símbolos del mensaje original, por lo que si se calcula las frecuencias relativas de aparición de cada símbolo, serán iguales en el texto claro y en el criptograma. Si se tiene un texto cifrado cualquiera, y se conocen las frecuencias relativas de aparición de cada letra en el idioma del mensaje, bastará con comparar dichas frecuencias con las del criptograma para saber si ha sido codificado mediante transposiciones.

¿Se puede criptoanalizar este método?. Obviamente, se puede decodificar el mensaje en columnas de diferentes longitudes hasta dar con el mensaje original, pero habría que leer todos los posibles resultados para saber cuál es el bueno. El interés será automatizar este proceso, y para ello se puede recurrir a la redundancia. En este caso, no sirven las probabilidades de aparición de cada símbolo, puesto que, como ya se ha dicho, son las mismas en el mensaje original y en el mensaje cifrado. Sin embargo, a poco que se observe, las frecuencias relativas de las parejas y tríos de letras en el mensaje original y el criptograma sí que son diferentes, así que se explotará esa posibilidad.

La idea es muy simple, en el mensaje cifrado de arriba hay combinaciones de letras que no son en absoluto frecuentes (o no permitidas) en castellano, como por ejemplo "TSS", "EEE" o "SR". Si se precalculan en una tabla las frecuencias de aparición de parejas y tríos de letras en castellano, se tendrá una distribución de probabilidad a la que deberá ajustarse el texto que dio lugar al mensaje cifrado. Esto permitirá "puntuar" cada posible texto claro en función de que su distribución se ajuste mejor o peor a la distribución estándar de pares y tríos.

En el ejemplo de arriba, el mensaje tiene 48 caracteres, por lo que las columnas pueden ser de 2,3,4,6,8,12,16 o 24 caracteres de altura.

Columnas de altura 2: Los símbolos de 24 en 24: "L PTOS SAGP..." No es necesario seguir, ya que por ejemplo hay una 'L' sola, que no tiene sentido en castellano.

Columnas de altura 3:Los símbolos de 16 en 16: "LSEPRAO O O A UPSDLPL...". Descartada.

Columnas de altura 4: Símbolos de 12 en 12: "LS UPOTDO SL OSS...". Descartada.

Columnas de altura 6: Símbolos de 8 en 8: "LOS ESPARTANOS SON LOS MAS GUAPOS...". Posible solución.

Columnas de altura 8: Símbolos de 6 en 6: "LLS EUNPPOO...". Descartada.

Se podrían terminar todas las posibilidades y la respuesta más verosímil es la que corresponde a columnas de altura 6. En general, en casi todas las demás posibles soluciones aparecerán combinaciones de letras muy poco probables o ilegales en castellano, por lo que el nivel de confianza es mucho menor. Un programa que realice estos cálculos y que presente las posibles soluciones ordenadas de mayor a menor verosimilitud, devolverá la solución correcta siempre en las primeras posiciones.

Casi 2500 años después, Claude Shannon definió el concepto de difusión como el proceso que "dispersa la redundancia del texto plano repartiéndola a lo largo del texto cifrado". La transposición es el mecanismo más simple para llevar a cabo una difusión sobre el texto en claro. De hecho, al cambiar de sitio las cosas, pero sin alterar su valor, estamos esparciendo a lo largo del criptograma los patrones redundantes del texto original.

ROMA Y LA CONFUSION

Varios siglos después que la ciudad de Esparta, Cayo Julio César (100-44 ane) desarrolló su propio mecanismo de codificación de mensajes, un método que ha conservado el nombre de su creador hasta nuestros días. Este algoritmo consistía en la sustitución de cada letra por la que aparece tres posiciones a su derecha en el alfabeto, así la A se convierte en D, la B en E y así sucesivamente.

Claude Shannon acuñó también un término que tiene mucho que ver con los mecanismos involucrados en este algoritmo: la confusión, que es el proceso que "oculta la relación entre el texto claro y el texto cifrado". Y como de nuevo cabría esperar, el método más simple para aplicar confusión es,

precisamente, la sustitución. Para percatarse de esto basta con pensar en una sustitución global, que a cada posible mensaje le haga corresponder un criptograma diferente, mediante una simple tabla de traducción. Como es de esperar, semejante tabla sería inconcebiblemente grande, ya que tendría que tener una entrada para cada posible mensaje susceptible de ser codificado, pero proporcionaría un nivel de seguridad total, ya que no queda ningún tipo de relación entre cada mensaje y su criptograma correspondiente al margen de la gigantesca tabla.

ALGORITMOS MODERNOS

En la actualidad, los conceptos de confusión y difusión son la base de la inmensa mayoría de los algoritmos de cifrado simétrico que se conocen. Y es que esencialmente, un algoritmo de cifrado de este tipo es una sucesión más o menos compleja de sustituciones y transposiciones.

UN POCO DE PRACTICA

Se propone un reto para pasar rato entretenido. No se indica el método de codificación, así que se deberá adivinar, aunque una pista es que hay confusión y difusión. Se han cambiado los espacios por guiones y el mensaje está en varias líneas. El criptograma en cuestión es:

UJQFWWPF-P-EDEKG-QGG-CNFETGQG-F-N-
NFGQWGTPOGGFNDC-UPCGNVRUNGQW-

R-QPPCTTV--UUXGC-V--CGCNC-EGTDGQJGF-FCSSCTQCP-CPQ

FISGONES

¿Podría realmente un único avance científico hacer que todas las comunicaciones seguras dentro del planeta quedaran virtualmente expuestas? La respuesta es, curiosamente, afirmativa, y se debe a la propia naturaleza de los algoritmos criptográficos involucrados en el tema.

3.- Criptografía Simétrica

La criptografía simétrica se refiere al conjunto de métodos que permiten tener comunicación segura entre las partes siempre y cuando anteriormente se hayan intercambiado la clave correspondiente que llamaremos clave simétrica. La simetría se refiere a que las partes tienen la misma llave tanto para cifrar como para descifrar.

Este tipo de criptografía se conoce también como criptografía de clave privada o criptografía de llave privada.

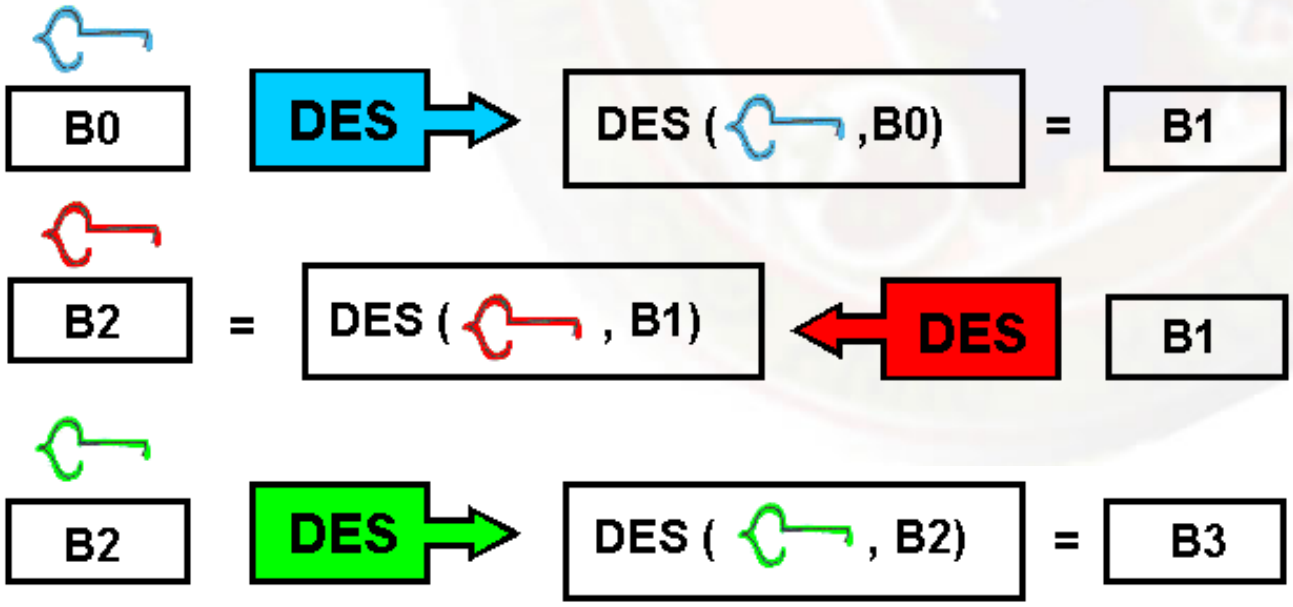
Existe una clasificación de este tipo de criptografía en tres familias, la criptografía simétrica de bloques (block cipher), la criptografía simétrica de lluvia (stream cipher) y la criptografia simétrica de resumen (hash functions). Aunque con ligeras modificaciones un sistema de criptografía simétrica de bloques puede modificarse para convertirse en alguna de las otras dos formas, sin embargo es importante verlas por separado dado que se usan en diferentes aplicaciones.

La criptografía simétrica ha sido la más usada en toda la historia, ésta ha podido ser implementada en diferente dispositivos, manuales, mecánicos, eléctricos, hasta los algoritmos actuales que son programables en cualquier ordenador. La idea general es aplicar diferentes funciones al mensaje que se quiere cifrar de tal modo que solo conociendo una clave pueda aplicarse de forma inversa para poder así descifrar.

Aunque no existe un tipo de diseño estándar, quizá el más popular es el de Fiestel, que consiste esencialmente en aplicar un número finito de interacciones de cierta forma, que finalmente da como resultado el mensaje

TDES El funcionamiento de **TDES** consiste en aplicar tres veces **DES** de la siguiente manera: la primera vez se usa una clave **K1**(azul) junto con el bloque **B0**, de forma ordinaria **E** (de encripción), obteniendo el bloque **B1**. La segunda ves se toma a **B1** con la clave **K2** (roja), diferente a **K1** de forma inversa, llamada **D** (de descencripción) y la tercera vez a **B2** con una clave **K3** (verde) diferente a **K1** y **K2**, de forma ordinaria **E** (de encripción), es decir, aplica de la interacción 1 a la 16 a **B0** con la clave **K1**, después aplica de la 16 a la 1, a **B1** con la clave **K2**, finalmente aplica una vez más de la 1 a la 16 a **B2** usando la clave **K3**, obteniendo finalmente a **B3**. En cada una de estas tres veces aplica el modo de operación más adecuado.

El proceso del cifrado con **TDES** se puede apreciar en las siguientes figuras:



Este sistema **TDES** usa entonces una clave de 168 bits, aunque se ha podido mostrar que los ataques actualmente pueden romper a **TDES** con una complejidad de 2^{112}, es decir efectuar al menos 2^{112} operaciones para obtener la clave a fuerza bruta, además de la memoria requerida. Se optó por TDES ya que es muy fácil Interoperar con **DES** y proporciona seguridad a mediano plazo.

En los últimos 20 años se han diseñado una gran cantidad de sistemas criptográficos simétricos, entre algunos de ellos están: **RC-5, IDEA, FEAL, LOKI'91, DESX, Blowfish, CAST, GOST**, etcétera. Sin embargo no han tenido el alcance de **DES**, a pesar de que algunos de ellos tienen mejores propiedades.

Podemos afirmar que el estado actual de la criptografía simétrica es la búsqueda de un nuevo sistema que pueda reemplazar a **DES** en la mayor

parte de aplicaciones. Es así como se ha optado por convocar a un concurso de sistemas criptográficos simétricos y que se decida cual será el nuevo estándar al menos para los próximos 20 años.

AES El NIST (**N**ational **I**nstitute of **S**tandards **T**echnology) convocó a un concurso para poder tener un sistema simétrico que sea seguro y pueda usarse al menos en los próximos 20 años como estándar. En la mitad del año de 1998 se aceptaron 15 candidatos, estos se han sometido a pruebas públicas y por parte del **NIST**. Posteriormente se llegó a cinco finalistas: **MARS, RC6, Rijndael, Serpent** y **Twofish**.

Las principales características que se pidió a **AES** es que al menos sea tan seguro y rápido como **TDES**, es decir, que al menos evite los ataques conocidos. Además de que pueda ser implementado en una gran parte de aplicaciones. **AES** puede ser usado tanto como cifrador de bloques (block cipher), como cifrador de lluvia (stream cipher), como función resumen (hash function), y como generador de números pseudoaleatorios.

El elegido en noviembre de 2000 por AES fue el propuesto por Rijndael. Los cifradores de flujo o "stream ciphers", son usados donde se cuente con un ancho de banda restringido (el número de bits que se transmiten a la vez), además de que se requiere independencia en los bloques transmitidos, entonces la mejor opción es cifrar bit por bit o byte por byte, este tipo de cifradores tiene la característica además de ser muy rápido. Los algoritmos más conocidos de este tipo están **RC-4, SEAL** y **WAKE.**

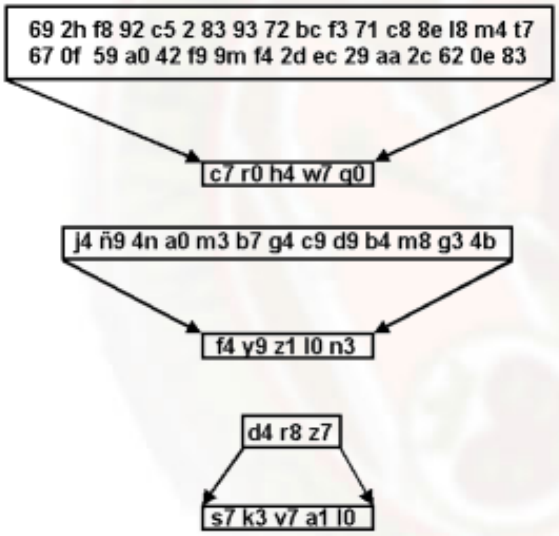
Entre los ataques más potentes a la criptografía simétrica están el criptoanálisis diferencial y lineal, sin embargo no han podido ser muy eficientes en la práctica por lo tanto, por el momento después de que un sistema criptografíco es publicado y se muestra inmune a estos dos tipos de ataques (y algunos otros más) la mayor preocupación es la longitud de las claves.

4.- Funciones Hash

Una herramienta fundamental en la cripotografía, son las funciones hash, son usadas principalmente para resolver el problema de la integridad de los mensajes, así como la autenticidad de mensajes y de su origen. Una función hash es también ampliamente usada para la firma digital, ya que los documentos a firmar son en general demasiado grandes, la función hash les asocia una cadena de longitud 160 bits que los hace más manejables para el propósito de firma digital.

De forma gráfica la función hash efectúa lo siguiente: un mensaje de longitud

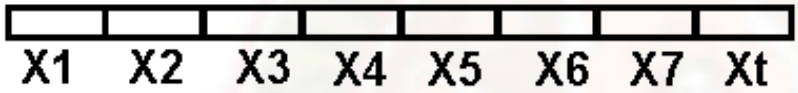
arbitraria lo transforma de forma "única" a un mensaje de longitud constante.



¿Cómo hace esto? La idea general es la siguiente:

La función hash toma como entrada una cadena de longitud arbitraria, digamos 5259 bits, luego divide éste mensaje en pedazos iguales, por ejemplo de 160 bits, como en este caso y en general el mensaje original no será un múltiplo de 160, entonces para completar un número entero de pedazos de 160 bits al último se le agrega un relleno, digamos de ceros. En nuestro caso en 5259 caben 32 fragmentos de 160 bits y sobran 139, entonces se agregarán 21 ceros más.

El mensaje toma la forma X = X1, X2, X3,...,Xt donde cada Xi tiene igual longitud (160 bits por ejemplo).



Posteriormente se asocia un valor constante a un vector inicial IV y H0=IV

Ahora se obtiene H1 que es el resultado de combinar H0 con X1 usando una función de compresión *f*

H1 = *f*(H0,X1)

Posteriormente se obtiene H2, combinando H1 y X2 con f

H2 = *f*(H1,X2)

Se hace lo mismo para obtener H3

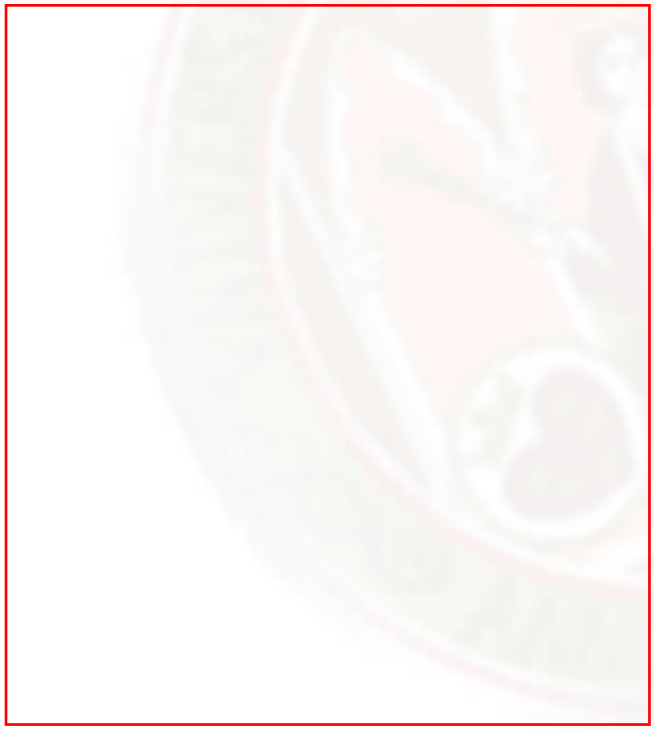
H3 = *f*(H2,X3)

Hasta llegar a Ht

Ht = *f*(Ht-1, Xt)

Entonces el valor hash será *h*(M) = Ht

De alguna forma lo que se hace es tomar el mensaje partirlo en pedazos de longitud constante y combinar de alguna forma pedazo por pedazo hasta obtener un mensaje único de longitud fija como muestra la figura:

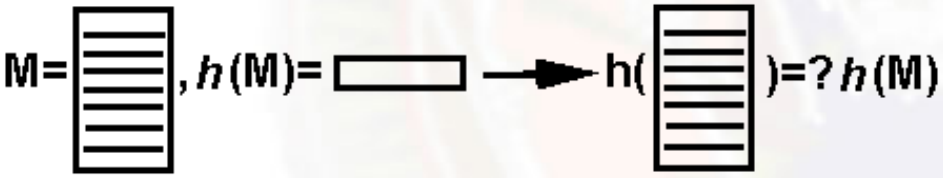


Las funciones hash (o primitivas hash) pueden operar como: **MDC** (**M**odification **D**etection **C**odes) ó **MAC** (**M**assage **A**uthentication **C**odes).

Los **MDC** sirven para resolver el problema de la integridad de la información, al mensaje se le aplica un **MDC** (una función hash) y se manda junto con el propio mensaje, al recibirlo el receptor aplica la función hash al mensaje y comprueba que sea igual al hash que se envió antes.

Es decir, se aplica un hash al mensaje **M** y se envía con el mensaje (**M**, *h*(**M**)), cuando se recibe se le aplica una vez más el hash (ya que **M** es público) obteniendo *h*'(**M**), si *h*(**M**)=*h*'(**M**), entonces se acepta que el mensaje sea

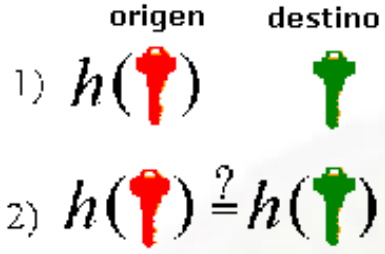
transmitido sin alteración.



Los **MAC** sirven para autenticar el origen de los mensajes (junto con la integridad), un **MAC**. Es decir, se combina el mensaje **M** con una clave privada **K** y se les aplica un hash *h*(**M,K**), si al llegar a su destino *h*(**M, K**) se comprueba de integridad de la clave privada **K**, entonces se demuestra que el origen es solo el que tiene la misma clave **K**, probando así la autenticidad del origen del mensaje.

De forma simple se muestra en la siguiente figura el funcionamiento de un **MAC**

.



Las propiedades que deben de tener las primitivas hash son:

1. **Resistencia a la preimagen** significa que dada cualquier imagen, es computacionalmente imposible encontrar un mensaje *x* tal que $h(x)=y$. Otra forma como se conoce esta propiedad es que *h* sea de un solo sentido.

2. **Resistencia a una segunda preimagen** significa que dado *x*, es computacionalmente imposible encontrar una *x*' tal que $h(x)=h(x')$. Otra forma de conocer esta propiedad es que h sea resistente a una colisión suave.

3. **Resistencia a colisión** significa que es computacionalmente imposible

encontrar dos mensajes diferentes x, x' tal que $h(x)=h(x')$. Esta propiedad también se conoce como resistencia a colisión fuerte.

Para ilustrar la necesidad de estas propiedades veamos los siguientes ejemplos:

Consideremos un esquema de firma digital con apéndice, entonces la firma se aplica a $h(x)$, en este caso h debe ser un **MDC** con resistencia a una 2° preimagen, ya que de lo contrario un atacante **C** que conozca la firma sobre $h(x)$, puede encontrar otro mensaje x' tal que $h(x) = h(x')$ y reclamar que la firma es del documento x'.

Si el atacante **C** puede hacer que el usuario firme un mensaje, entonces el atacante puede encontrar una colisión (x, x') (en lugar de lo más difícil que es encontrar una segunda preimagen de x) y hacer firmar al usuario a x diciendo que firmo x'. En este caso es necesaria la propiedad de resistencia a colisión.

Por último si (e,n) es la clave pública **RSA** de **A**, **C** puede elegir aleatoriamente un y y calcular $z = y^e \bmod n$, y reclamar que y es la firma de z, si **C** puede encontrar una preimagen x tal que $z = h(x)$, donde x es importante para **A**. Esto es evitable si h es resistente a preimagen.

Las funciones hash más conocidas son las siguientes: las que se crean a partir de un block cipher como **DES, MD5**], **SHA-1** y **RIPEMD 160**.

Actualmente se ha podido encontrar debilidades en las funciones hash que tienen como salida una cadena de 128 bits, por lo que se ha recomendado usar salidas de 160 bits. Así mismo se han encontrado ataques a **MD5** y **SHA-0** (antecesora de **SHA-1**), esto ha dado lugar que se dirija la atención sobre la función has **RIPEMD-160**.

El ataque más conocido (fuerza bruta) a una función hash es conocido como "birthday attack" y se basa en la siguiente paradoja, si hay 23 personas en un local existe una probabilidad de al menos 1/2, de que existan dos personas con el mismo cumpleaños. Aunque parezca muy difícil esa posibilidad se puede mostrar que en general al recorre la raíz cuadrada del número de un conjunto de datos, se tiene la probabilidad de al menos ½ de encontrar dos iguales.

Al aplicar esto a una función hash, es necesario recorrer entonces la raíz cuadrada de 2160 mensajes para poder encontrar dos con el mismo hash, o sea encontrar una colisión. Por lo tanto una función hash son salida 2160 tiene una complejidad de 280, y una función de 128 bits de salida tiene una complejidad de 264, por lo que es recomendable usar actualmente salida de 160 bits (48 dígitos).

La criptografía simétrica, es claramente insuficiente para llevar a cabo comunicaciones seguras a través de canales inseguros -léase internet-, debido a que los dos interlocutores necesitan compartir una clave secreta -llamada "clave de sesión"-. Dicha clave debe ser transmitida en algún momento desde un extremo a otro del canal de comunicación de forma segura, ya que de ella depende la protección de toda la información que se transmita a lo largo de esa sesión en particular.Se necesita, pues, un canal seguro para poder crear otro canal seguro. Es la pescadilla que se muerde la cola.

La criptografía asimétrica ofrece una salida al problema, proporcionando ese canal seguro de comunicación que va a permitir a los participantes intercambiar las claves de sesión. Y ésa no es la única ventaja, ya que los algoritmos asimétricos ofrecen mecanismos fiables para que ambos interlocutores se puedan identificar frente al otro de manera segura. La razón por la que no se emplean algoritmos asimétricos todo el tiempo es porque, entre otras ventajas, los criptosistemas simétricos resultan mucho más eficaces y rápidos.

Utilizar MD5 para recurrir las multas de tráfico

Un australiano consigue anular una multa de tráfico ante la imposibilidad de las autoridades de tráfico de demostrar fehacientemente que la imagen registrada por un radar no ha sido alterada.

Todo empezó cuando un australiano circulaba con su coche por una carretera que estaba siendo controlada con un radar que registra aquellos vehículos que circulan a una velocidad superior a la permitida. Si se sobrepasa la velocidad, automáticamente se emite una denuncia y se expide la correspondiente multa.

Hasta aquí nada destacable. Lo curioso del caso empieza cuando el abogado que representa al multado recurre la denuncia, argumentando que no se ha probado que la imagen obtenida por la cámara asociada al radar no ha sido modificada de ninguna forma.

Las autoridades australianas del tráfico responden a esta argumentación que se utiliza el algoritmo matemático MD5 para obtener una suma de control de las imágenes obtenidas por el radar. El problema radica en que no encuentran a ningún perito que demuestre ante el tribunal la validez de dicho algoritmo.

El algoritmo MD5 permite obtener una suma de control de longitud fija (habitualmente 128 ó 160 bits) a partir de una entrada arbitrariamente larga, con la característica que el valor obtenido es único y no reversible.

Este algoritmo se ha venido utilizando habitualmente para obtener una suma de control de archivos informáticos, con el objeto de garantizar que no han sido modificados. También se utiliza en los procesos de cifrado de información y la firma digital, conjuntamente con los sistemas de clave pública.

En el caso de la suma de control, se suponía que cualquier archivo informático produciría una suma de control única. Es decir, que cualquier modificación en un archivo tiene como resultado una suma de control diferente y que no hay dos archivos diferentes que generen el mismo valor para su suma de control.

A finales del año pasado unos investigadores anunciaron diversas vulnerabilidades en los algoritmos utilizados para la obtención de sumas de control, afectando a MD5 y SHA, consistentes en el descubrimiento de colisiones. Esto es, se había demostrado que las sumas de control no eran únicas. Para simplificar, dos archivos diferentes podían tener exactamente la misma suma de control.

En el caso de los radares de tráfico australianos, se sacaba una suma de control de las imágenes obtenidas. Esta suma de control se obtenía aplicando el algoritmo MD5.

Y esto es justamente lo que ha permitido recurrir la multa de tráfico. Las autoridades de tráfico de Australia no han conseguido que ningún perito demostrara ante el tribunal que la suma de control MD5 identificaba de forma inequívoca y única a cada fotografía tomada, garantizando que no se ha realizado ninguna modificación en la misma. Por tanto, en teoría la fotografía podía haber sido retocada para cambiar la matrícula del automóvil y se carecía de la certeza de demostrar la realización de este cambio.

Ante la imposibilidad de garantizar la validez de la prueba fotográfica, que era la única aportada por las autoridades

australianas, se retiró la denuncia presentada y, en consecuencia, se anuló la multa.

Fuente:
http://www.hispasec.com/

Más información:

NSW speed cameras in doubt
http://theage.com.au/articles/2005/08/10/1123353368652.html?oneclick=true

All speed camera fines in doubt
http://www.news.com.au/story/0,10117,16204811-1242,00.html

Cryptanalysis of MD5 and SHA
http://www.schneier.com/crypto-gram-0409.html#3

Criptoanálisis de MD5 y SHA
http://www.kriptopolis.com/more.php?id=239_0_1_0_M12

Crypto-Gram (15 agosto 2005)
http://www.schneier.com/crypto-gram-0508.html

5.- Criptografía Asimétrica

La criptografía asimétrica, es aquella que utiliza dos claves diferentes para cada usuario, una para cifrar que se le llama clave pública y otra para descifrar que es la clave privada. El nacimiento de la criptografía asimétrica se dio al estar buscando un modo más práctico de intercambiar las llaves simétricas. Diffie y Hellman, proponen una forma para hacer esto, sin embargo no fue hasta que el popular método de **R**ivest **S**hamir y **A**dleman **RSA** publicado en 1978, cuando toma forma la criptografía asimétrica, su funcionamiento esta basado en la imposibilidad computacional de factorizar números enteros grandes.

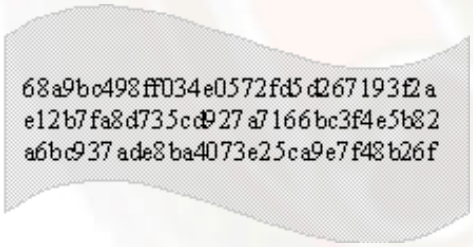
Actualmente la criptografía asimétrica es muy usada, sus dos principales aplicaciones son el intercambio de claves privadas y la firma digital, una firma digital se puede definir como una cadena de caracteres que se agrega a un archivo digital que hace el mismo papel que la firma convencional que se escribe en un documento de papel ordinario. Los fundamentos de la criptografía asimétrica pertenecen a la teoría de números.

En la actualidad la criptografía asimétrica o de clave pública se divide en tres familias según el problema matemático del cual basan su seguridad. La primera familia es la que basa su seguridad en el **P**roblema de **F**actorización **E**ntera **PFE** , los sistemas que pertenecen a esta familia son, el sistema **RSA**, y el de **R**abin **W**illiams **RW** . La segunda familia es la que basa su seguridad en el **P**roblema del **L**ogaritmo **D**iscreto **PLD**, a esta familia pertenece el sistema de **D**iffie **H**ellman **DH** de intercambio de claves y el sistema **DSA** de firma digital. La tercera familia es la que basa su seguridad en el **P**roblema del **L**ogaritmo **D**iscreto **E**líptico **PLDE**, en este caso hay varios esquemas tanto de intercambio de claves como de firma digital que existen como el **DHE** (Diffie Hellman Elíptico), **DSAE**, (**N**yberg-**R**ueppel) **NRE**, (**M**enezes, **Q**u, **V**anstone) **MQV** , etc.

somete a la siguiente operación (donde *e* es constante y público)

$$c = m^e \bmod n$$

e. Entonces el mensaje *c* puede viajar sin problema por cualquier canal inseguro



f. cuando la información cifrada llega a su destino el receptor procede a descifrar el mensaje con la siguiente fórmula

$$c = m^e \bmod n$$

g. Se puede mostrar que estas formulas son inversas y por lo tanto dan el resultado deseado, (*n*,*e*) son la clave pública, la clave privada es la pareja (*p*,*q*) o equivalentemente el número *d*. La relación que existe entre *d* y *e* es que uno es el inverso multiplicativo del otro módulo λ (*n*) donde λ (*n*) es el mínimo común múltiplo de *p*-1 y *q*-1, o también puede usarse φ (*n*)=(*p*-1)(*q*-1) esto significa que la clave privada o el la pareja *p*,*q* o es el número *d*.

En términos muy generales es así como funciona el sistema **RSA**. Sin embargo en la realidad existen dos formas que son las más comunes, estas formas depende de la aplicación y se llaman el esquema de firma y el esquema de cifrado, cada una de estas dos diferentes aplicaciones consiste en una serie de pasos que a continuación se describen

Esquema de cifrado RSA

Uso: este esquema se usa principalmente en cifrar claves de sistemas simétricos (claves de 128 bits aprox.)

1. Se toma el mensaje **M** (por ejemplo una clave simétrica de 128 bits), como en la practica actual es recomendable usar bloques de longitud de

1024 bits, los complementa esos 128 bits con una serie de técnicas para obtener uno de 1024 bits, después se aplica un proceso de codificación para que el ordenador entienda al mensaje como un número entero *m*.

2. Se le aplica la formula de cifrado de **RSA** al entero *m*

3. Se envía el número entero *c*

4. Al recibir este número se aplica la formula de descifrado al entero *c* para obtener el entero *m*

5. Se decodifica m para obtener el mensaje **M**

Ejemplo simple:

Generación de parámetros

1. $p = 3$, $q = 5$ (se eligen dos números primos como clave privada)

2. $n = 15$ (se calcula el producto, es la clave pública)

3. $\varphi(n)=(3-1)(5-1)=8$

4. Sea $e=3$, entonces $d=3$, ya que $e*d = 3*3 = 9 \bmod 8 = 1$ (como este caso solo es para mostrar el funcionamiento no importa que *d* sea igual a *e*, sin embargo en la práctica *e* es pequeño y *d* es muy grande)

5. Si el mensaje es $m=2$

Proceso de cifrado

6. El mensaje cifrado es $c= m^e \bmod n$, es decir, $c=2^3 \bmod 15$, o sea $c=8$

Proceso de descifrado

7. Para descifrar el mensaje $m=8^3 \bmod 15$, es decir, $m=512 \bmod 15$, asi $m=2$ (ya que $512/15=2 \bmod 15 = m$)

Por lo tanto es correcto el funcionamiento.

FACTORIZACIÓN Y LOGARITMOS DISCRETOS

Curiosamente, la inmensa mayoría de los algoritmos asimétricos que se usan en la actualidad -por no decir todos- se apoyan en problemas como el de la factorización o el de los logaritmos discretos. En realidad existen otros algoritmos que se basan en teorías diferentes, pero hoy por hoy no están suficientemente estudiados como para ser considerados seguros de forma general, por lo que no se suelen emplear en la práctica. Sistemas como RSA, Diffie-Hellman, e incluso la criptografía de curva elíptica depositan su seguridad en estos dos problemas. Todos ellos descansan en la supuesta imposibilidad de resolverlos de forma algorítmicamente eficiente, y se dice "supuesta" porque nadie ha demostrado que no pueda existir un algoritmo capaz de hacerlo de forma satisfactoria.

El problema de la factorización es justo el inverso a la multiplicación. Si para multiplicar se parte de la existencia de dos números y se trata de hallar su producto (para lo cual existen algoritmos claramente definidos), en el caso de la factorización se parte de un número y se trata de hallar sus factores primos. Por ejemplo, si se tiene el 342, se llega a que $342=2*3*3*19$. Desgraciadamente (o afortunadamente, según se mire) no se conoce ningún algoritmo capaz de hacer esto de forma rápida y eficiente cuando el número a factorizar es muy grande.

El problema del logaritmo discreto es algo más complejo. Se define sobre aritmética modular y consiste en averiguar cuántas veces que hay que multiplicar un número consigo mismo para que nos dé otro concreto. Por

ejemplo, el logaritmo base 4 de 12 módulo 13 es el número de veces que hay que multiplicar el 4 por sí mismo para que nos dé 12 módulo 13. El resultado es 3, ya que 4*4*4=64 =12 mod 13. (lo de "módulo 13" significa tomar el resto de la división por 13). De todas formas, existe una íntima relación entre este problema y el anterior, hasta tal punto que basta con tener resuelto uno de ellos para deducir una solución al otro.

Llegados a este punto parece claro cómo funcionaría la misteriosa "caja negra". Ésta analizaría el tráfico de la red, rescatando tantas claves públicas como pudiera. Esas claves serían clasificadas según el tipo de algoritmo asimétrico sobre el que estuvieran definidas (RSA, Diffie-Hellman...), para luego resolver el problema particular de factorización que plantea cada una, lo cual nos conduce a las claves privadas correspondientes. Ahora ya sólo quedaría capturar las claves de sesión e ir decodificando las comunicaciones en tiempo real.

COMPLEJIDAD ALGORÍTMICA

Pero, ¿qué es un algoritmo "eficiente"? Alguien podría decir que cuando haya ordenadores más y más rápidos, problemas que ahora son difíciles se podrán resolver, y eso es radicalmente falso. En Teoría de Algoritmos, se define el orden de complejidad de un algoritmo como una función "O(n)" de la entrada "n". Esta medida nos dice cómo crece el tiempo de computación a medida que aumenta el tamaño de la entrada. Por ejemplo, si un algoritmo fuera cuadrático, es decir, O(n^2), se tiene que el tiempo de ejecución es proporcional al cuadrado de la entrada. Eso quiere decir que si sobre la entrada dos tarda cuatro minutos, sobre la entrada 10 debe tardar cien, sobre 1000 un millón de minutos, etc.

Según esto, si se desea factorizar un número, se puede tratar de dividirlo por todos los números menores que él, uno por uno. Suponiendo que la prueba de divisibilidad se ejecutara en un tiempo constante x -simplificación que en realidad no es cierta-, el algoritmo necesitaría aproximadamente n pasos para tratar de el número n. Eso quiere decir que el programa podrá factorizar sin problemas números pequeños, pero si al ejecutarlo sobre un número de 1024 bits (el módulo de una clave típica RSA), se precisan llevar a cabo una cantidad de pasos elementales enorme. Por desgracia, es imposible construir una máquina capaz de llevar a cabo semejante computación.

Si por el contrario se pudiera encontrar un algoritmo capaz de resolver el problema anterior en un número de pasos proporcional, por ejemplo, al logaritmo de n, se podría factorizar un número de 1024 bits con sólo cien veces más pasos que los que necesitaríamos para hacerlo con un número de tan sólo 10 bits. No se trata, pues, de tener máquinas más rápidas -que por supuesto ayuda- sino de investigar en algoritmos con órdenes de complejidad menores, capaces de resolver los mismos problemas en menos pasos.

EL ALGORITMO RSA Y LA FACTORIZACION

Para finalizar, se comenta brevemente la forma concreta en la que RSA explota el problema de la factorización. Este algoritmo está definido de tal forma que tanto la codificación como la decodificación se llevan a cabo mediante una exponenciación en aritmética modular, así:

C=M^e (mod n)

M=C^d (mod n)

siendo C el mensaje cifrado, M el mensaje original, e la clave pública (para codificar) y d la clave privada (para decodificar). Cifrar el mensaje consistirá, pues, en elevarlo a la clave pública y luego quedarse con el resto que sale al dividir por n.

Para que se cumpla esta relación, debe darse la siguiente propiedad:

e*d=1 (mod Ø(n))

donde Ø(n) es la llamada función Totient de Euler. Curiosamente, esta función es muy fácil de calcular si se conocen los factores de n, y muy difícil en el caso contrario. De hecho, si n=p*q, Ø(n)=(p-1)*(q-1). Puesto que la clave pública ha de estar constituida por el par (n,e) para que alguien pueda cifrar un mensaje, si fuera posible factorizar n, el algoritmo RSA estaría sencillamente perdido.

UN MENSAJE TRANQUILIZADOR

Afortunadamente, los matemáticos cada vez están más seguros de que los problemas en los que descansa casi toda la criptografía asimétrica conocida (y ciertamente toda la que se usa en la práctica) son computacionalmente intratables, por lo que no es posible llevarse ninguna desagradable sorpresa al respecto en los próximos años. De todas formas, hay que mantenerse en guardia y seguir investigando, porque siempre será mejor que un descubrimiento en este campo se haga en la comunidad científica y de cara al público, que en el departamento de investigación y desarrollo de una oscura agencia al servicio de algún gobierno.

6.- Otras Herramientas criptográficas

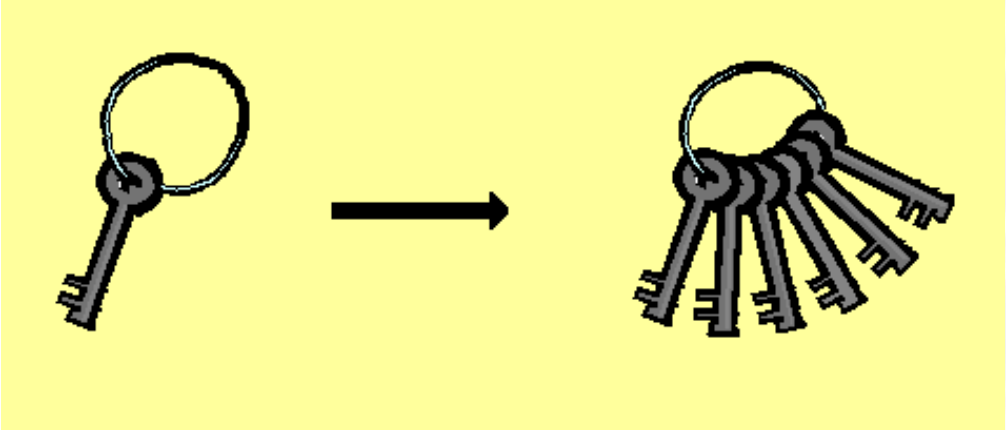
En esta sección se enumeran otro tipo de herramientas o técnicas que son usadas en criptografía, cada una de ellas tiene una gran aplicación y tienen un propósito muy especifico dentro del ámbito de la criptografía, sin embargo su descripción completa no es el propósito, así que solo se mencionarán, para un mayor estudio puede consultarse la bibliografía.

Compartición de Secretos

La compartición de secretos, como su nombre lo dice es una técnica criptográfica que se dedica a partir un secreto, que puede ser una clave

secreta, en la responsabilidad de varias personas y que solo con el número mínimo de personas se podrá reconstruir el secreto compartido. Por ejemplo si el secreto es el número 100 y este debe ser compartido por tres personas A1, A2 y A3 una forma de poder hacerlo es generar un número aleatorio menor a 100, digamos el 33 posteriormente se genera otro número aleatorio menor a 100-33, digamos el 27, y finalmente la tercera parte será *100-(27+33)=46*. Así el secreto 100 esta compartido por A1(33), A2(27) y A3(46), cada quién con su parte correspondiente. Como ninguno de ellos sabe las otras partes, solo los tres juntos podrán reconstruir el mensaje sumando sus partes. Claro está es solo un ejemplo para explicar el concepto.

La comparición de secretos puede ser usada para compartir digamos la combinación de una caja fuerte, la clave de lanzamiento de algún proyectil, la clave secreta de una autoridad certificadora, la clave de activación de algún dispositivo de alto riesgo, etc.,



Uno de los mejores métodos de compartición de secretos y más conocido es el esquema (*n*,*k*) límite de Shamir. Consiste en partir una clave *K* en *n* partes, y se tiene como mínimo (límite) el número *k* de partes para reconstruir la clave, es decir cualquiera *k* de los *n* custodios pueden reconstruir la clave *K*, pero ningún subgrupo de *k*-1 custodios podrá hacerlo.

Un ejemplo simple de esquema de Shamir se basa en lo siguiente:

1. Se define el número de custodios *t*, digamos *t*=2

2. Se generan aleatoriamente los coeficientes necesarios para construir un polinomio de *t*-1 grado, en nuexpa0 1 9,

El método para recuperar el secreto *s*, es reconstruir el polinomio $f(x)$ a partir de las partes cualquiera, esto se hace por medio de la interpolación de Lagrange.

En nuestro caso el secreto se puede reconstruir de la siguiente formula:

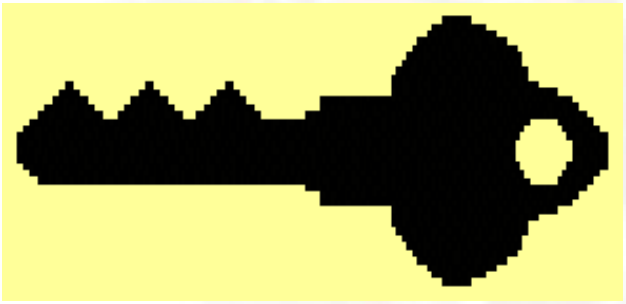
$$s = c_1 y_1 + c_2 y_2$$

donde y_1 ,y_2 son las partes (5 y el 8) y $c_1=2$, $c_2= -1$. El secreto es entonces $2(5)-(8)=2$.

Criptografía Visual

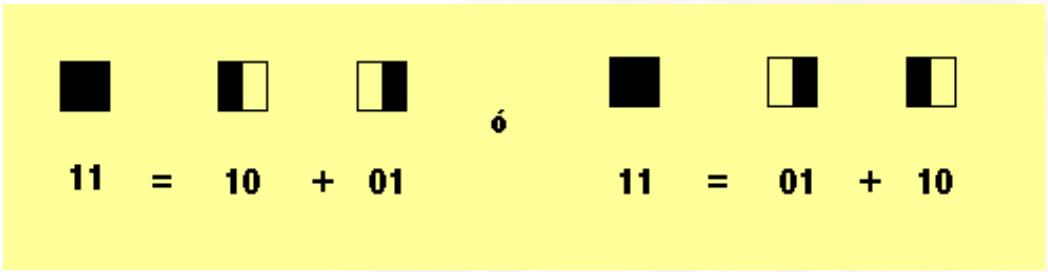
Una idea ingeniosa de usar un método de comparición de secretos con un esquemas límite (n,k) es la criptografía visual, esto consiste en lo siguiente: una imagen se divide en n partes, y si se sobreponen al menos k de estas partes se puede reconstruir la imagen.

Veamos en ejemplo de un esquema (2,2), esto trabaja considerando que si la imagen es de blanco y negro, entonces la imagen podrá ser un conjunto de cuadros completamente blancos y completamente negros, por ejemplo la siguiente imagen

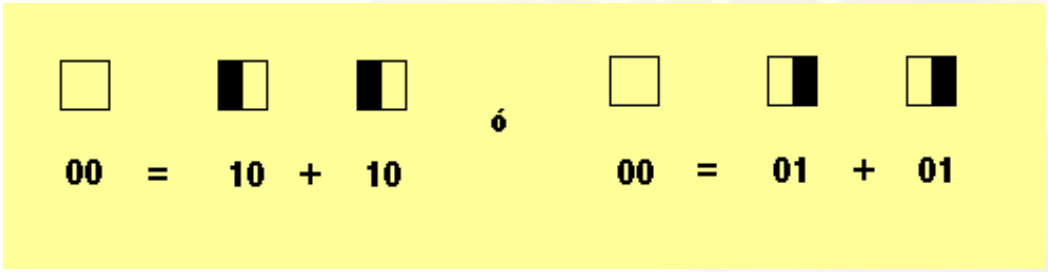


Ahora cada cuadro de la imagen podrá ser considerado como blanco o negro, equivalentemente con valores 0 y 1. Para partir esta imagen en dos partes $n=2$ y considerando el límite con $k=2$, se procede como sigue:

Cada cuadro que es completamente negro podrá ser partido en dos partes de la siguiente forma:



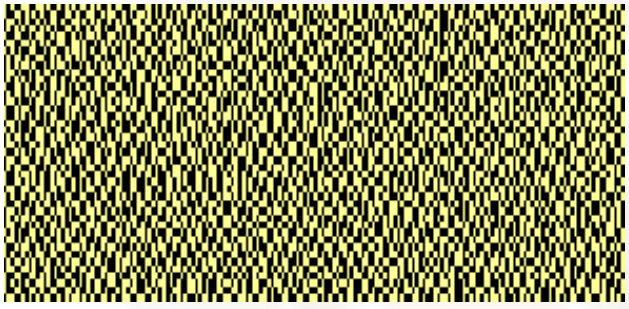
Y un cuadro completamente blando podrá ser partido en dos de la forma siguiente:



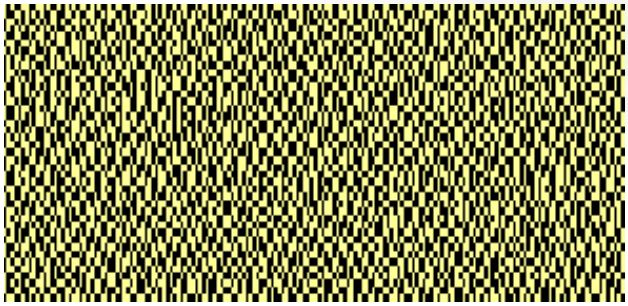
Que significa suma módulo 2, es decir 1+0=1, 0+1=1, 0+0=0 pero también 1+1=0, de este modo se pueden tomar cualquiera de las dos particiones de los cuadros de color blanco.

Para formar las dos partes de la figura en un acetato se elige aleatoriamente una de las combinaciones anteriores según se parta un cuadro blanco o uno negro

En el caso de nuestra figura una ves elegidas las partes, la figura partida en un esquema limite (2,2) queda así:

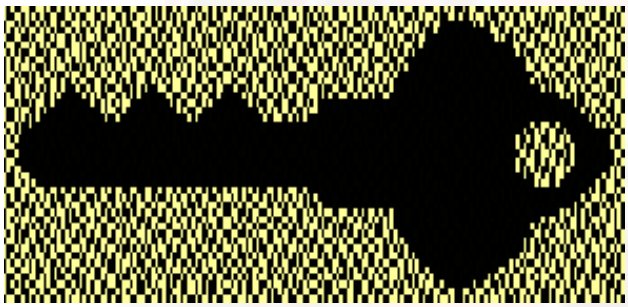


Parte 1



Parte 2

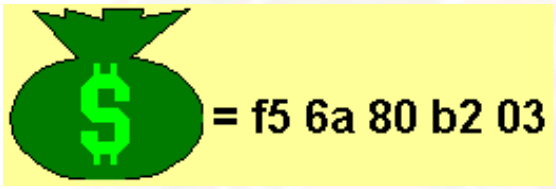
De esta forma se tiene partida la figura en dos partes y se recuperara solo sobreponiendo una sobre la otra. Al sobreponer las dos partes se recupera la figura, de la siguiente forma:



En el caso general se parte los cuadros blancos y negros en *n* pedazos y hasta no tener *k* pedazos negros el cuadro reconstruido será siendo blanco, a partir de k pedazos negros hasta *n* el cuadro reconstruido será negro. En nuestro caso, un cuadro con solo la mitad negra será considerado blanco, es necesario que tenga dos mitades negras para que el cuadro reconstruido se considere negro, que es el caso del esquema (2,2).

Dinero Electrónico

Una aplicación más, que puede ser realidad gracias a la criptografía de clave pública es conocida como dinero electrónico, en términos sencillos el dinero electrónico es otra representación de lo que conocemos como dinero o valor, por ejemplo tenemos dinero en billetes emitidos por algún país, podemos tener cheques pagaderos en un banco, bonos, pagarés pagaderos en algún plazo, en fin. El dinero electrónico es físicamente un número que se genera aleatoriamente, se le asigna un valor, se cifra y firma y se envía al banco, ahí el banco valida el número y certifica el valor, y lo retorna al usuario firmado por el banco, entonces el usuario puede efectuar alguna transacción con ese billete electrónico.



Las principales propiedades del dinero electrónico son las siguientes:

1. **Independencia:** la seguridad del dinero digital no debe depender de la el lugar físico donde se encuentre, por ejemplo en el disco duro de una PC

2. **Seguridad:** el dinero digital (el número) no debe de ser usado en dos diferentes transacciones

3. **Privacidad:** el dinero electrónico debe de proteger la privacidad de su usuario, de esta forma cuando se haga una transacción debe de poder cambiarse el número a otro usuario sin que el banco sepa que dueños tuvo antes.

4. **Pagos fuera de línea:** el dinero electrónico no debe de depender de la conexión de la red, así un usuario puede transferir dinero electrónico que tenga en una "smart card" a un ordenador, el dinero digital debe ser independiente al medio de transporte que use.

5. **Transferibilidad:** el dinero electrónico debe de ser transferible, cuando un usuario transfiere dinero electrónico a otro usuario debe de borrarse la identidad del primero.

6. **Divisibilidad:** el dinero electrónico debe de poder dividirse en valores fraccionarios según sea el uso que se da, por ejemplo en valor de 100, 50 y 25

La serie de pasos que puede seguir una transacción que se realiza con dinero electrónico en un escenario simple es la siguiente:

Supóngase que el usuario **A** quiere mandar un cheque a **B**, usando ahora dinero electrónico.

1. **A** genera un número aleatorio grande N de digamos 100 dígitos y le da un valor digamos 1000 euros

2. **A** cifra este número junto a su valor con su clave secreta asimétrica.

3. **A** firma este número y lo transmite a su banco.

4. El banco de **A** usa, la clave pública de **A** para descifrar el número y verificar la firma, así recibe la orden y sabe que es de **A**. El banco borra la firma de **A** del documento electrónico.

5. El banco revisa que **A** tenga en sus cuentas la cantidad pedida 1000 euros y la debita de alguna de sus cuentas.

6. El banco firma el número que mando **A**, con el valor asignado de 1000 euros

7. El banco regresa el número que ya es dinero a, **A**

8. A envía este dinero a **B**

9. B verifica la firma del banco de **A**, que esta en N

10. **B** envía N a su banco

11. EL banco de **B** reverifica la firma del banco de **A** en N

12. El banco de **B** verifica que N no este en la lista de números "ya usados"

13. El banco de **B** acredita la cantidad de 1000 euros a la cuenta de **B**

14. El banco de **B** pone a N en la lista de números "ya usados"

15. Finalmente el banco de **B** envía un recibo firmado donde establece que tiene 1000 euros más en su cuenta

En el mundo comercial existen varias empresas privadas que proveen el servicio de dinero electrónico en diferentes modalidades entre ellas están: CheckFree, CyberCash, DigiCash, First Virtual, Open Market y NetBill.

En http://www.ecashtechnologies.com/ pueden encontrarse algunos ejemplos interactivos de cómo trabaja el dinero electrónico en la práctica

7.- Certificados digitales

Los certificados digitales, tienen una similitud con las licencias de conducir, las primeras permiten viajar por las carreteras, los certificados digitales permiten navegar por internet, la principal característica es que da identidad al usuario y puede navegar con seguridad. De igual forma que la licencia de conducir o un pasaporte sirve para dar identidad a quien la porta en ciertos casos, el

certificado digital da identidad a una clave pública y se comporta como una persona en el espacio cibernético.

El nacimiento del certificado digital fue a raíz de resolver el problema de administrar las claves públicas y que la identidad del dueño no pueda ser falsificada. La idea es que una tercera entidad intervenga en la administración de las claves públicas y asegure que las claves públicas tengan asociado un usuario claramente identificado. Esto fue inicialmente planteado por Kohnfelder del MIT en su tesis de licenciatura.

Las tres partes más importantes de un certificado digital son:

- Una clave pública
- La identidad del implicado: nombre y datos generales,
- La firma privada de una tercera entidad llamada autoridad certificadora que todos reconocen como tal y que válida la asociación de la clave pública en cuestión con el tipo que dice ser.

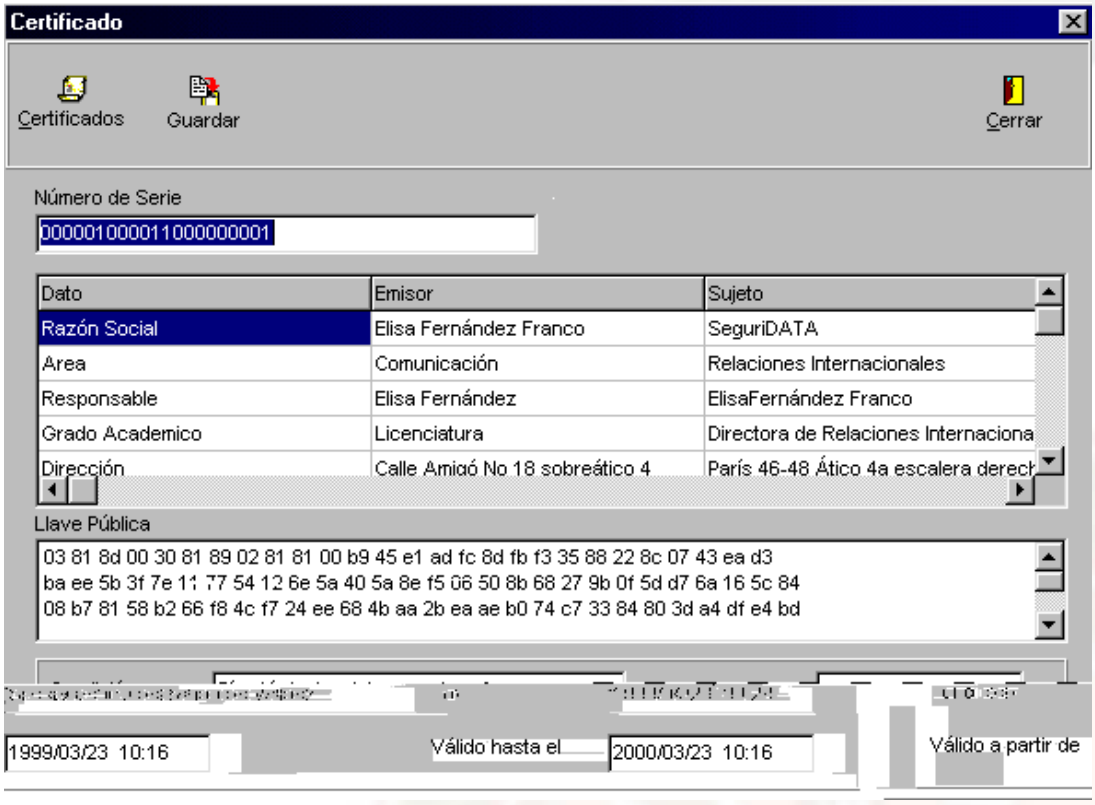
En la actualidad casi todas las aplicaciones de comercio electrónico y transacciones seguras requieren un certificado digital, se ha propagado tanto su uso que se tiene ya un formato estándar de certificado digital, este es conocido como X509 v. 3

Algunos de los datos más importantes de este formato son los siguientes:

Versión: 1,2 o 3
Número de Serie: 0000000000000000
Emisor del Certificado: VeriMex
Identificador del Algoritmo usado en la firma: RSA, DSA o CE
Período de Validez: De Enero 2002 a Dic 2003
Sujeto: Maco048
Información de la clave pública del sujeto: la clave, longitud, y demás parámetros
Algunos datos opcionales, extensiones que permite la v3
Firma de la Autoridad Certificadora

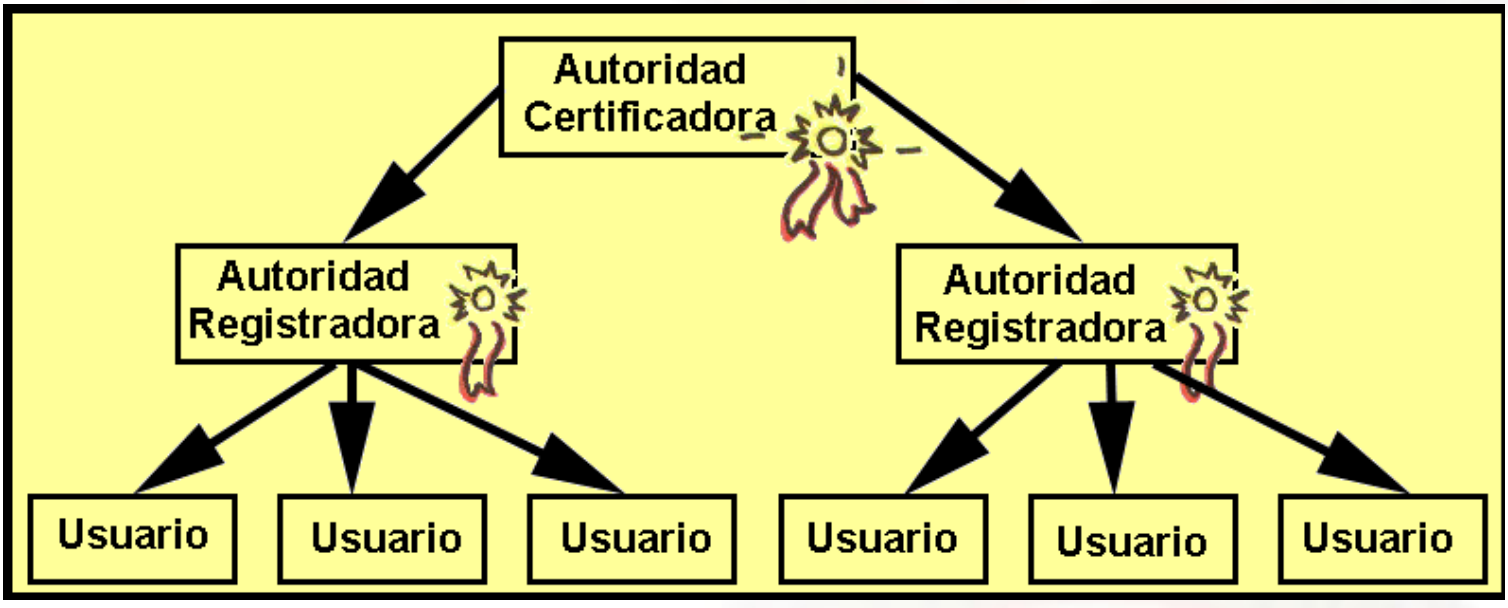
Un certificado digital entonces se reduce a un archivo de uno o dos koctetos de tamaño, que autentica a un usuario de la red.

En una aplicación un certificado digital se puede ver como la siguiente pantalla:



8.- Infraestructura de claves públicas

Teniendo ya un certificado digital que es generado con la ayuda de un algoritmo de clave pública ahora el problema es como administración todos estos, la estructura más básica es la siguiente:



El papel de la Autoridad certificadora (**AC**) es de firmar los certificados digitales de los usuarios, generar los certificados, mantener el status correcto de los certificados, esto cumple el siguiente ciclo:

1. La generación del certificado se hace primero por una solicitud de un usuario, el usuario genera sus claves pública y privada y manda junto con los requerimientos de la solicitud su clave pública para que esta sea certificada por la **AC**.

2. Una vez que la **AR** (es la **AC** regional) verifica la autenticidad del usuario, la **AC** vía la **AR** firma el certificado digital y es mandado al usuario

3. El status del usuario puede estar en: activo, inactivo o revocado. Si es activo el usuario puede hacer uso del certificado digital durante todo su periodo válido

4. Cuando termina el período de activación del certificado el usuario puede solicitar su renovación.

Entre las operaciones que pudiera realizar una **AC** están:

Generar certificados

Revocar certificados

Suspender certificados

Renovar certificados

Mantener un respaldo de certificados.....

Entre las que pudiera realizar una **AR** están:

Recibir las solicitudes de certificación

Proceso de la autenticación de usuarios

Generar las claves

Respaldo de las claves

Proceso de Recobrar las claves

Reportar las revocaciones....

Y las actividades de los usuarios:

Solicitar el certificado

Solicitar la revocación del certificado

Solicitar la renovación del certificado....

Una ves que algún usuario tiene un certificado digital este puede usarlo para poder navegar por la red con nombre y apellido en forma de bits, esto permite entrar al mundo del comercio electrónico, al mundo de las finanzas electrónicas y en general a la vida cibernética con personalidad certificada. El usuario dueño de un certificado digital tiene la potencialidad de poder autentificarse con cualquier otra entidad usuaria, también puede intercambiar información de forma confidencial y estar seguro de que esta es íntegra, así estar seguro que contactos vía el certificado digital no serán rechazados. Los primeros usuarios de certificados digitales fueron los servidores, actualmente son quienes más los usan, sin embargo también se ha incrementado el número de personas que los usan.

Si suponemos que algún tipo de aplicación funciona ya con certificados digitales, esta tendrá una **AC** y las correspondientes **AR**, sin embargo es común que haya mas autoridades certificadoras y que sus usuarios puedan interoperar con sus respectivos certificados, a esto se le conoce como certificación cruzada y opera de la siguiente forma:

Las diferentes **AC** pueden estar certificadas enviándose una a otra sus respectivos certificados que ellas mismas generan

2. Entonces la **AC X** tendrá el certificado de la **AC Y** y viceversa, podiendo generar un certificado para **Y** que genera **X** y otro para **X** que genera **Y**

3. Ahora como un usuario **A** de la **AC X** puede comunicarse con un usuario **B** de la **AC Y**

4. El usuario **B** envía a **A** el certificado de **B** que genera **Y** (**Cert y B**) junto con el certificado de **Y** que el mismo se genera (**Cert y Y**)

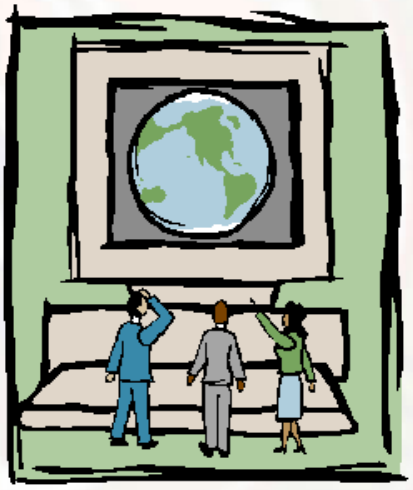
5. Ahora **A** puede validar a **B** (**Cert y B**) usando el certificado de **Y** que genera **X**

En la práctica se ha demostrado que el estatus de un certificado cambia con gran frecuencia, entonces la cantidad de certificados digitales revocados crece considerablemente, el problema esta en que cada vez que se piensa realizar una comunicación y es necesario validar un certificado se debe de comprobar que este no esta revocado. La solución que se ha venido usando es la de crear una lista de certificados revocados **LCR** y así verificar que el certificado no esta en esa lista, para poder iniciar la comunicación. El manejo de las listas de certificados revocados ha llegado a tener un gran costo que sin embargo aún no se ha reemplazar por otra técnica a pesar que se han propuesto ya salidas al problema.

Las operaciones de la administración de los certificados digitales puede cambiar de acuerdo a las leyes particulares de cada país o entidad.

9.- Comercio electrónico

Hoy en día, gran parte de la actividad comercial ha podido transformarse gracias a redes de conexión por ordenadores como Internet, esta transformación facilita hacer transacciones en cualquier momento, de cualquier lugar del mundo. Todo lo que esta alrededor de esta nueva forma de hacer negocios es lo que se ha llamado comercio electrónico, sin duda la gran variedad de actividades que giraban alrededor del quehacer comercial se ha tenido que juntar con las nuevas técnicas cibernéticas. Así hoy tanto un comerciante, un banquero, un abogado o una matemático puede hablar de comercio electrónico enfocándose a la parte que le corresponde.



Existen diferentes niveles de hacer comercio electrónico, y su clasificación aún esta por formarse, sin embargo, la parte más visible es la que cualquier usuario en una computadora personal puede ver, esto es hacer comercio electrónico se convierte a comprar o vender usando una conexión por Internet en lugar de ir a la tienda. La forma de hacer esto es muy similar a lo que tradicionalmente se hace, por ejemplo: en la tienda uno entra al establecimiento, de forma electrónica se prende el ordenador y una ves conectado a Internet entra a la página del negocio, enseguida un comprador revisa los productos que posiblemente compre y los coloca en una carrito, de la misma forma en la computadora se navega por la página del negocio y con el browser se revisa los productos que éste vende, al escoger éstos se colocan en un carrito virtual, que no es nada mas que un archivo del usuario. Una vez elegido bien los productos de compra se pasa a la caja, donde se elige un sistema de pago y se facturan los productos al comprador. De forma similar en la computadora se pueden borrar productos que no se quieren comprar o añadir nuevos, una ves elegidos éstos se procede a una parte de la pagina que toma los datos y solicita el método de pago, generalmente se lleva a cabo con tarjeta de crédito.

En la parte tradicional de comprar al pagar en la caja termina el proceso, en la parte por ordenador aún tiene que esperarse que sean enviados los productos. A pesar de esto las ventajas que ofrece el comercio electrónico son magníficas, ya que es posible comprar en un relativo corto tiempo una gran cantidad de productos sin necesidad de moverse de lugar, es decir al mismo tiempo se puede comprar una computadora, un libro, un regalo, una pizza, hacer una transacción bancaria etc., de la forma tradicional se llevaría al menos un día completo y eso si los negocios esta en la misma ciudad, si no, el ahorro de tiempo que representa comprar por Internet es incalculable.

Al efectuar una operación comercial por Internet se presentan nuevos problemas, por ejemplo cómo saber que la tienda virtual existe verdaderamente, una vez hecho el pedido cómo saber que no se cambia la información, cuando se envía el número de tarjeta de crédito cómo saber si este permanecerá privado, en fin, para el comerciante también se presentan problemas similares, cómo saber que el cliente es honesto y no envía información falsa, etc. Todos estos problemas pueden ser resueltos de manera satisfactoria si se implementan protocolos de comunicación segura usando criptografía. En la siguiente sección nos dedicamos a describir como es que estos protocolos resuelven los problemas planteados.

Protocolos de seguridad

Un protocolo de seguridad es la parte visible de una aplicación, es el conjunto de programas y actividades programadas que cumplen con un objetivo especifico y que usan esquemas de seguridad criptográfica.

El ejemplo más común es **SSL** (**S**ecure **S**ockets **L**ayer) (que vemos integrado en el navegador de Netscape y hace su aparición cuando el candado de la barra de herramientas se cierra y también sí la dirección de Internet cambia de http a https, otro ejemplo es **PGP** que es un protocolo libre ampliamente usado de intercambio de correo electrónico seguro, uno más es el conocido y muy publicitado **SET** que es un protocolo que permite dar seguridad en las transacciones por Internet usando tarjeta de crédito, **IPsec** que proporciona seguridad en la conexión de Internet a un nivel más bajo.

Estos y cualquier protocolo de seguridad procura resolver algunos de los problemas de la seguridad como la integridad, la confidencialidad, la autenticación y el no rechazo, mediante sus diferentes características

Las características de los protocolos se derivan de las múltiples posibilidades con que se puede romper un sistema, es decir, robar información, cambiar información, leer información no autorizada, y todo lo que se considere no autorizado por los usuarios de una comunicación por red.

Enseguida vemos un escenario donde puede ocurrir algo de esto:

Por ejemplo sobre la seguridad por Internet se deben de considerar las siguientes tres partes: seguridad en el navegador (Netscape, Opera, ...), la seguridad en el Web server (el servidor al cual nos conectamos) y la seguridad de la conexión.

Un ejemplo de protocolo es **SET**, objetivo efectuar transacciones seguras con tarjeta de crédito, usa certificados digitales, criptografía de clave pública y criptografía clave privada.

SSL Es el protocolo de comunicación segura más conocido y usado actualmente, **SSL** actúa en la capa de comunicación y es como un túnel que protege a toda la información enviada y recibida. **SSL** es usado en gran cantidad de aplicaciones que requieren proteger la comunicación.

Con **SSL** se pueden usar diferentes algoritmos para las diferentes aplicaciones, por ejemplo usa **DES**, **TDES**, **RC2**, **RC4**, **MD5**, **SHA-1**, **DH** y **RSA**, cuando una comunicación esta bajo **SSL** la información que se cifra es:

El URL del documento requerido

El contenido del documento requerido

El contenido de cualquier forma requerida

Los "cookies" enviados del browser al servidor

Los "cookies" enviados del servidor al browser

El contenido de las cabeceras de los http

El procedimiento que se lleva acabo para establecer una comunicación segura con **SSL** es el siguiente:

1. EL cliente (browser) envía un mensaje de saludo al Server "ClientHello"
2. El servidor responde con un mensaje "ServerHello"
3. El servidor envía su certificado
4. El servidor solicita el certificado del cliente
5. El cliente envía su certificado: si es válido continua la comunicación si no para o sigue la comunicación sin certificado del cliente
6. El cliente envía un mensaje "ClientKeyExchange" solicitando un intercambio de claves simétricas si es el caso

7. El cliente envía un mensaje "CertificateVerify" si se ha verificado el certificado del servidor, en caso de que el cliente este en estado de autenticado

8. Ambos cliente y servidor envían un mensaje "ChangeCipherSpec" que significa el comienzo de la comunicación segura.

9. Al término de la comunicación ambos envían el mensaje "finished" con lo que termina la comunicación segura, este mensaje consiste en un intercambio del hash de toda la conversación, de manera que ambos están seguros que los mensajes fueron recibidos intactos (íntegros).

La versión más actual de **SSL** es la v3, existen otro protocolo parecido a **SSL** solo que es desarrollado por **IETF** que se denomina **TLS** (**T**ransport **L**ayer **S**ecurity Protocol) y difiere en que usa un conjunto un poco más amplio de algoritmos criptográficos. Por otra parte existe también **SSL** plus, un protocolo que extiende las capacidades de **SSL** y tiene por mayor característica que es interoperable con **RSA**, **DSA/DH** y **CE** (**C**riptografía **E**líptica).
SET este protocolo esta especialmente diseñado para asegurar las transacciones por Internet que se pagan con tarjeta de crédito. Esto es debido a que una gran cantidad de transacciones de compra son efectuadas con tarjeta de crédito, por otro lado **SSL** deja descubierto alguna información sensible cuando se usa para lo mismo. La principal característica de **SET**, es que cubre estos huecos en la seguridad que deja **SSL**.

Por ejemplo con **SSL** solo protege el número de tarjeta cuando se envía del cliente al comerciante, sin embargo no hace nada para la validación del número de tarjeta, para chequear sí el cliente esta autorizado a usar ese número de tarjeta, para ver la autorización de la transacción del banco del comerciante etc., Además que el comerciante puede fácilmente guardar el número de tarjeta del cliente. En fin todas estas debilidades son cubiertas por **SET**, éste permite dar seguridad tanto al cliente, al comerciante como al banco emisor de la tarjeta y al banco del comerciante.

El proceso de **SET** es más o menos el siguiente:

1. **El cliente inicializa la compra:** consiste en que el cliente usa el browser para seleccionar los productos a comprar y llena la forma de orden correspondiente. **SET** comienza cuando el cliente hace clic en "pagar" y se envía un mensaje de iniciar **SET**.

2. **El cliente usando SET envía la orden y la información de pago al comerciante:** el software **SET** del cliente crea dos mensajes uno conteniendo la información de la orden de compra, el total de la compra y el número de orden. El segundo mensaje contiene la información de pago, es decir, el número de la tarjeta de crédito del cliente y la información del banco emisor de la tarjeta. El primer mensaje es cifrado usando un sistema simétrico y es empaquetada en un sobre digital que se cifra usando la clave pública del comerciante. El segundo mensaje también es cifrado pero usando la clave pública del banco (esto previene que el comerciante tenga acceso a los números de tarjetas de los clientes). Finalmente el cliente firma ambos mensajes.

3. **El comerciante pasa la información de pago al banco:** el software **SET** del comerciante genera un requerimiento de autorización, éste es comprimido (con un hash) y firmado por el comerciante para probar su identidad al banco del comerciante, además de ser cifrado con un sistema simétrico y guardado en un sobre digital que es cifrado con la clave pública del banco.

4. **El banco verifica la validez del requerimiento:** el banco descifra el sobre digital y verifica la identidad del comerciante, en el caso de aceptarla descifra la información de pago del cliente y verifica su identidad. En tal caso genera una requerimiento de autorización lo firma y envía al banco que genero la tarjeta del cliente.

5. **El emisor de la tarjeta autoriza la transacción:** el banco del cliente (emisor de la tarjeta) confirma la identidad del cliente, descifra la información recibida y verifica la cuenta del cliente en caso de que no haya problemas, aprueba el requerimiento de autorización, lo firma y lo regresa al banco del comerciante.

6. **El banco del comerciante autoriza la transacción:** una ves recibida la autorización del banco emisor, el banco del comerciante autoriza la

transacción la firma y la envía al servidor del comerciante.

7. **El servidor del comerciante complementa la transacción:** el servidor del comerciante da a conocer que la transacción que la tarjeta fue aprobada y muestra al cliente la conformidad de pago, y procesa la orden que pide el cliente terminado la compra cuando se le son enviados los bienes que compró el cliente.

8. **El comerciante captura la transacción:** en la fase final de SET el comerciante envía un mensaje de "captura" a su banco, esto confirma la compra y genera el cargo a la cuenta del cliente, así como acreditar el monto a la cuenta del comerciante.

9. **El generador de la tarjeta envía el aviso de crédito al cliente:** el cargo de SET aparece en estado de cuenta del cliente que se le envía mensualmente.

SET requiere un certificado digital en cada paso de autenticación y usa dos pares de claves, una para el cifrado del sobre digital y otra para la firma, (**SSL** solo usa un par de claves), actualmente **SET** usa la función hash **SHA-1**, **DES** y **RSA** de 1024 bits, estos parámetros fueron tomados para ser compatible con los certificados existentes, aunque el piloto de **SET** usó el sistema asimétrico de cifrado con curvas elípticas y se piensa que soporte también curvas elípticas en la próxima versión de **SET**.

Para saber sobre vulnerabilidades críticas en internet se recomeidna acceder a la web del Instituto Sans . Como ya es habitual la lista de fallos críticos la encabeza Microsoft, aunque aparecen programas de otras empresas como Oracle, Real Player y diversos antivirus. Actualmente este informe se publica trimestralmente, establece cinco criterios para determinar el grado de de riesgo de los agujeros de seguridad: número de usuarios afectados, el hecho de que el agujero haya sido o no parcheado, momento a partir del cual las amenazas se hacen con el control del sistema, grado de conocimiento de los atacantes sobre la vulnerabilidad y la antigüedad de los agujeros de seguridad.

10.- Vocabulario

Sobre criptografía

Privacidad: se refiere a tener control en el acceso de la información y solo permitirlo a personas autorizadas

Autenticidad: se refiere a estar seguros de la identidad de una entidad ya sea mensaje, persona, servidor etc.

Integridad: se refiere a que la información no sea modificada

No-rechazo: se refiere a no poder negar la autoría de un mensaje o de una transacción.

Criptografía: es el conjunto de técnicas (entre algoritmos y métodos matemáticos) que resuelven los problemas de autenticidad, privacidad, integridad y no rechazo en la transmisión de la información.

Texto original: es un documento antes de ser cifrado

Cifrar: es la acción que produce un texto cifrado (Ilegible) a partir de un texto original

Texto cifrado: es un documento que ha sido cifrado

Descifrar: es la acción inversa de cifrar, es decir, convierte un texto cifrado a otro legible (texto original)

Firma digital: es un método que usa criptografía asimétrica y permite autenticar una entidad (persona o servidor), tiene una función igual que la firma convencional. Consiste en dos procesos, uno de firma y otro de verificación de la firma. Físicamente es una cadena de caracteres que se adjunta al documento.

Criptografía simétrica: es el conjunto de métodos que permite establecer comunicación cifrada, con la propiedad de que ambos lados de la comunicación tienen la misma clave, y ésta es secreta.

Criptografía asimétrica: es el conjunto de métodos que permite establecer comunicación cifrada, donde una de las claves es pública y la otra clave es privada (secreta). Cada usuario tiene un par de claves una pública y otra privada.

Clave privada: es la clave secreta que se usa en la criptografía asimétrica

Clave pública: es la clave públicamente conocida, que se usa en la criptografía asimétrica

Clave simétrica: es la clave secreta que tienen ambos lados de una comunicación en la criptografía simétrica.

Par de claves: se refiere al par de claves una privada y otra pública usadas en la criptografía asimétrica.

Longitud de la clave: es el número de bits (ceros y unos) que tienen las claves y es solo uno de los parámetros de los que depende la seguridad de un sistema criptográfico. Actualmente se usan 128 para las claves simétricas, 1024 para el sistema asimétrico RSA, 163 para los sistemas asimétricos que usan curvas elípticas.

Firma digital con apéndice: método de firma digital que requiere al mensaje como entrada en el proceso de verificación.

Firma digital con mensaje recuperable: método de firma digital que no requiere al mensaje como entrada en el proceso de verificación. El mensaje se recupera después de que se ha verificado la firma.

Certificado digital: físicamente es un archivo de hasta 2K de tamaño que contiene principalmente, los datos de una entidad una persona o un servidor, la clave pública de esa entidad, y la firma de una autoridad certificadora que es reconocida con la capacidad de poder comprobar la identidad de la persona (o servidor) y válida la clave pública que es asociada a la entidad.

Familia criptográfica: es el conjunto de sistemas criptográficos que basan su seguridad en el mismo problema matemático, actualmente las familias criptográficas más conocidas son las que basan su seguridad en el Problema de Factorización Entera (RSA, RW), los que la basan en el problema del logaritmo discreto (DH, DSA), y los que la basan en el problema del logaritmo discreto elíptico (DHE, DSAE, MQV)

Función hash: es una función de un solo sentido, resistente a colisiones que asocia una archivo o documento de longitud arbitraria a una cadena de longitud constante (se usa actualmente 160b de salida), las funciones hash más conocidas son: MD5, SHA1, RIPMED 160.

Cifrador de Bloque: es un sistema criptográfico que cifra de bloques en bloque, usualmente cada bloque es de 128 bits. Algunos sistemas conocido son, TDES, RC5, AES.

Cifrador de Flujo: es un sistema criptográfico de cifra de bit en bit, los más conocidos son, RC4, SEAL, WAKE.

Generador de números seudoaleatorios: es una función que tiene como entrada una cadena (conjunto de bits) llamada semilla y como salida otra cadena de bits que al aplicarle ciertas pruebas de aleatoriedad pasan con un

porcentaje aceptable (alrededor de un 95%)

Primitiva criptográfica: es la función más básica que compone un sistema criptográfico, existen la primitiva de cifrado, la primitiva de descifrado, la primitiva de firma, la primitiva de verificación de firma etc.

Esquema criptográfico: es un conjunto de primitivas que componen una aplicación criptográfica más completa, como el esquema de firma digital (compuesta de la primitiva de firma y la de verificación), el esquema de cifrado (compuesta con la primitiva de cifrado y la de descifrado) etc.

Protocolo (criptográfico): es la parte más visible de la aplicación y esta compuesto de esquemas criptográficos conjuntamente con otras operaciones que permiten proporcionar seguridad a una aplicación mas especifica, por ejemplo el protocolo SSL, SET, SMIME, IPsec etc.

Autoridad certificadora: es una entidad (compañía) que es reconocida para poder certificar la asociación de una clave pública a una persona o servidor.

Comercio electrónico: es todo lo relacionado con realizar comercio principalmente por Internet.

Compartición de secretos: es un esquema criptográfico que tiene como entrada un secreto (por ejemplo una clave criptográfica) y como salida un numero *n* de partes del secreto y todas o algunas de éstas *n* partes sirven para reconstruir el secreto.

Criptografía Visual: es un esquema de compartición de secretos donde el secreto es una imagen y las partes son también varias imágenes. La ventaja de este tipo de cripotgrafía es que no es necesaria una computadora para la reconstrucción del secreto.

Dinero electrónico: es un número (de alrededor de 100 dígitos) al que se le asocia cierto valor y pude ser usado como cualquier otro tipo de dinero. Este número va acompañado de la firma del dueño o de un banco.

Vocabulario Matemático usado frecuentemente en criptografía

Número primo: es un número entero que no tiene divisores diferentes a 1 y a sí mismo, ejemplo 2,3,5,7,11, ...

Generador probabilístico de números primos: es un proceso que tiene como entrada un número entero y como salida un probable número primo con gran grado de aceptación. El método más aceptado para generar primos es el de Miller Rabin.

Primo industrial: es un número primo generado probabilísticamente que tiene a lo más 1/(2^100) de probabilidad de error (de no ser número primo).

Problema de Factorización: es el problema inverso a la multiplicación, es decir el problema de encontrar los factores conocido el producto. En criptografía los números a factorizar son los productos de dos números primos de la misma longitud, el producto tiene al menos 768 bits. Actualmente se han podido factorizar números de hasta 512 bits (155 dígitos) producto de dos primos del mismo tamaño (256 bits).

Métodos de Factorización: es un método que tiene como entrada un número compuesto (no primo) y como salida uno de sus factores no triviales (diferentes a 1 y a el mismo). Actualmente el método más adecuado para factorizar números arbitrarios y que es usado para factorizar los números productos de dos primos es la criba de campos numéricos.

Problema del Logatirmo Discreto: es el problema de encontrar el número de veces que hay que multiplicar un número conocido para obtener como resultado, otro también conocido, por ejemplo dado el 1024 y el 2, ¿cuántas veces hay que multiplicar el 2 para obtener 1024? La respuesta es 10 y se dice que 10 es el logaritmo de 1024 base 2.

Métodos para calcular Logaritmos Discretos: hasta la fecha el método más adecuado para calcular logaritmos discretos es el método del Indice. Este método permite calcular logaritmos del mismo orden que las claves del sistema RSA, esto quiere decir que las claves de sistemas que usen logaritmos discretos deben de tener el mismo orden que las claves RSA.

Problema del Logaritmo Discreto Elíptico: en este caso el problema es encontrar cuantas veces hay que sumar un punto racional para obtener otro conocido. Dado P y Q encontrar x, tal que $xP=Q$.

Método para resolver el Problema del Lobaritmo Discreto Elíptico: actualmente el mejor algoritmo para calcular logaritmos discretos es el que se aplica a grupos en general llamado método de la raíz de Pollar.

Problema del Logaritmo Discreto Hiperelíptico: es el problema de encontrar un número de veces que hay que sumar un divisor dado D para obtener otro divisor D'.

Aritmética modular: son las operaciones de suma o producto que se llevan a cabo sobre los números enteros módulo algún entero n. Es decir el resultado de una suma o un producto es el residuo de la división entre n.

Números "Grandes": se considera que un número es grande si tiene longitud al menos de 512 bits (155 dígitos), a causa de que los procesadores

actuales manejan solo números de 32 bits, se tienen que diseñarse programas para poder efectuar las operaciones sobre este tipo de números.

Teorema Chino del Residuo TCR: es un resultado que permite calcular la solución de ciertas ecuaciones modulares y es usado en el esquema de descifrado RSA que permite descifrar más rápidamente.

Función exponencial modular: es la operación que se usa para cifrar u descifrar en varios sistemas cripotgráficos (RSA, RW, DH, DSA) y consiste en multiplicar modularmente muchas veces un mismo número.

Números de Fermat: los números de Fermat son de la forma (2^(2^n)+1), el número 1 de Fermat es (2^(2^1)+1)=5, el número 2 de Fermat es (2^(2^2)+1)=17, el siguiente es (2^(2^3)+1)=257, y el 4 es (2^(2^4)+1)=65537. Fermat había afirmado que todos estos números eran primos aunque esto no es cierto. El número 4 de Fermat se usa como exponente público (*e*) en el sistema RSA, como su representación hexadecimal es 01 00 01 es óptimo para ser usado como exponente.

Inverso multiplicativo modular: dado un número su inverso multiplicativo es el número que al multiplicarlo el resultado será uno (1). Por ejemplo en $\mathbf{Z_3}$ el inverso multiplicativo de 2 es 2 ya que 2*2 = 4 mod 3= 1. En los números enteros módulo otro número entero, no todos los números tienen inverso multiplicativo. En cripotgrafía la clave privada *d* (del sistema RSA) es precisamente el inverso multiplicativo de la parte de la clave pública *e*. O sea $d = e^{-1} \bmod n$.

Campo primo ($\mathbf{Z_p}$): cuando en $\mathbf{Z_n}$, *n* es número primo *n=p*, entonces todos los elementos tienes inverso multiplicativo. Esto es tanto la suma como el producto cumplen las mismas propiedades que los números Racionales o los números Reales. En cripotgrafía es ampliamente usado este tipo de campos.

Campo de característica 2 ($\mathbf{F_2^n}$): este tipo de campos son conjuntos de n-adas (cunjuntos de ceros y uno de longitud *n*) a los que se les define operaciones de suma y multiplicación y tienen también las propiedades de lo números Racionales o Reales. Este tipo de campos son usados también en cripotgrafía principalmente porque es fácil fabricar un chip (circuito) que efectúa eficientemente las operaciones de suma y producto.

Función de Euler (phi, φ): esta función tiene como entrada un número entero y da como resultado el número de primos relativos a *n* que son menores a *n*. Para el caso de RSA es usado phi(*n*) con n la clave pública, en este caso phi(*n*)=(*p*-1)(*q*-1)

Función de Carmichael (lamda λ): esta función tiene como estrada un número entero y da como salida (para el caso *n=pq*) al mínimo común

múltiplo de $(p-1)(q-1)$. En el sistema RSA es usado para realizar el cifrado y descifrado más eficientemente, se asume esta función en el PKCS #1 v 2.

Curva elíptica: una curva elíptica en el caso de la cripotgrafia se considera como una ecuación de dos variables de grado 3, es decir la máxima potencia de las variables debe ser 3. Por ejemplo $y^2=x^3+2x+3$ es una curva elíptica. Además de no contener puntos malos en criptografía llamados singulares.

Punto racional: es una pareja (x,y) de elementos de un campo que satisfacen la ecuación de una curva elíptica. El conjunto de puntos racionales de la curva elíptica $y^2=x^3+ax+b$, se denota como E: $y^2=x^3+ax+b$.

Número de puntos racionales: en un sistema criptográfico con curvas elípticas es muy importante el número de puntos racionales (llamado el orden de la curva) ya que este número debe contener como factor a un número primo de al menos 163 bits para considerar que la curva sea segura en criptografía.

Curva supersingular: son curvas elípticas que por un lado tienen la propiedad de ser muy fácil calcular el número de puntos racionales pero por el otro existe un método llamado MOV (de Menezes, Okamoto, Vanstone) que permite calcular logaritmos discretos y así no son recomendables para su uso en criptografía.

Curva no supersingular: son curvas elípticas que son inmunes (en la práctica) al MOV además de ser muchas curvas y son las más recomendables para el uso en cripotgrafía por los estándares actuales.

Curva anómala: es una curva elíptica que tiene tantos puntos racionales como elementos tiene el campo finito (en uso), para este tipo de curvas existe un método que calcular logaritmos discretos, por que se recomienda evitarlas.

Curva hiperelíptica: es una curva que generaliza a una curva elíptica y que también han sido propuestas para ser usadas en criptografía.

Divisores: el papel de puntos racional de una curva elíptica lo toman los divisores.

Retícula: es otro conjunto de elementos que han propuesto para ser usados en cripotografía de hecho ya existen sistemas comerciales que las usan.

Campo numérico real: es un conjunto del tipo $a+(d^{1/2})\ b$, donde a,b son números reales y que tienen propiedades que permiten ser usados en criptografía. También existen sistemas comerciales que lo usan.

Tema relacionado:

Gestión de riesgos en ingeniería del softare

Enlaces relacionados:

Criptografía y seguridad en computadores
Criptografía recreativa
Información y telecomunicaciones
Taller de criptografía

Página de apuntes de la asignatura Informática Aplicada a la Gestión Pública(GAP). Universidad de Murcia

Correo electrónico: barzana@um.es