

Tarea 3

Criptografía y Seguridad

Curvas Elípticas

Castro Mejia Jonatan Alejandro 314027687
Leyva Castillo Luis Angel 314050577
Rosado Cabrera Diego 314293804

June 24, 2020

1. Sea $E: y^2 + 20x = x^3 + 21 \pmod{35}$ y sea $Q = (15, -4) \in E$.

a) Factoriza 35 tratando de calcular $3Q$.

Hay que obtener $2Q$, y esto es haciendo $Q + Q$, y como son iguales, entonces: $\lambda = (3x_1^2 + a)(2y_1)^{-1}$
Entonces $\lambda = (3(15)^2 - 20)(2(-4))^{-1}(-8^{-1} \equiv 13 \pmod{35}) = (675-20)(13) \pmod{35} = 655(13) = 8515 \pmod{35}$

$$\lambda = 10$$

Ahora hay que calcular $x_3 = \lambda^2 - x_1 - x_2$ y $y_3 = \lambda(x_1 - x_3) - y_1$

$$x_3 = 10^2 - 15 - 15 \pmod{35}$$

$$= 100 - 30 \pmod{35} = 70 \pmod{35} = 0$$

$$y_3 = 10(15-0)+4 = 154 \pmod{35} = 14.$$

Entonces $2Q = (0, 14)$.

Ahora ya podemos obtener $3Q$, y para eso hay que sumar $(15, -4)$ y $(0, 14)$.

Como son diferentes entonces $\lambda = (y_2 - y_1)(x_2 - x_1)^{-1}$

$\lambda = (14 + 4)(15 - 0)^{-1} = 18(15)^{-1} (15^{-1} \equiv 1 \pmod{35})$ entonces esto nos indica que hay que sacar el **mcd(15, 35) = 5**. y este es un factor de factorización.

b) Factoriza 35 tratando de calcular $4Q$ duplicándolo.

Del ejercicio anterior ya tenemos $2Q$ y como son iguales, entonces hay que calcular

$$\lambda = (3x_1^2 + a)(2y_1)^{-1}$$

$$\lambda = (3(0)^2 - 20)(2(14))^{-1}$$

$\lambda = (-20)(28)^{-1} (28^{-1} \equiv 1 \pmod{35})$ entonces hay que sacar el **mcd(28, 35) = 7**, entonces este es una factor de factorización

c) Calcula $3Q$ y $4Q$ sobre $E \pmod{5}$ y sobre $E \pmod{7}$ explica por que el factor 5 se obtiene calculando $3Q$ y por que el factor 7 se obtiene calculando $4Q$.

- Al calcular $3Q$ llegamos a un problema, este problema es que no podemos sacar el inverso de 15 en el grupo 35. Esto ocurre ya que 15 y 35 no son primos, por lo que tenemos que sacar el **mcd(15, 35)** que nos da 5. por eso es que el factor 5 se obtiene calculando $3Q$.

- Al calcular $4Q$ llegamos a un problema, este problema es que no podemos sacar el inverso de 28 en el grupo 35. Esto ocurre ya que 28 y 35 no son primos, por lo que tenemos que sacar el **mcd(28, 35)** que nos da 7, por eso es que el factor 7 se obtiene calculando $4Q$.

- Calculando $3Q$ sobre $E \pmod{5}$

Hay que obtener $2Q$, y esto es haciendo $Q + Q$, y como son iguales, entonces:

$$\lambda = (3x_1^2 + a)(2y_1)^{-1}$$

$$\text{Entonces } \lambda = (3(15)^2 - 20)(2(-4))^{-1}(-8^{-1} \equiv 2 \pmod{5}) = (675-20)(2) \pmod{5} = 655(2) = 1310 \pmod{5}$$

$$\lambda = 0$$

Ahora hay que calcular $x_3 = \lambda^2 - x_1 - x_2$ y $y_3 = \lambda(x_1 - x_3) - y_1$

$$x_3 = 0^2 - 15 - 15 \pmod{5}$$

$$= -30 \pmod{5} = 70 \pmod{5} = 0$$

$$y_3 = 0(15-0)+4 = 4 \pmod{5} = 4.$$

Entonces $2Q = (0, 4)$.

- Ahora ya podemos obtener $3Q$, y para eso hay que sumar $(15, -4)$ y $(0, 4)$.
 Como son diferentes entonces $\lambda = (y_2 - y_1)(x_2 - x_1)^{-1}$
 $\lambda = (4 + 4)(15 - 0)^{-1} = 8(15)^{-1} \ (15^{-1} \equiv 0 \pmod{5})$
 15 no tiene inverso en 5 multiplicativo entonces terminamos aquí.
- Calculando $4Q \pmod{5}$
 Ya tenemos $2Q$ para obtener $4Q$ hay que sumar $2Q + 2Q$
 Como son iguales
 $\lambda = (3x_1^2 + a)(2y_1)^{-1}$
 $\lambda = (3(0) - 20)(2(4))^{-1}$
 $\lambda = (-20)(8)^{-1} \ (8^{-1} \equiv 5 \pmod{5})$
 $\lambda = (-20)(5) = -100 \equiv 0 \pmod{5}$
 Entonces $4Q = (0, 1)$
 - Calculando $3Q$ sobre $E(\pmod{7})$
 Hay que obtener $2Q$, y esto es haciendo $Q + Q$, y como son iguales, entonces:
 $\lambda = (3x_1^2 + a)(2y_1)^{-1}$
 $\lambda = (3(15)^2 - 20)(2(-4))^{-1} (-8^{-1} \equiv 6 \pmod{7}) = (675 - 20)(6) \pmod{7} = 655(6) \pmod{7} = 3930 \pmod{7} = 3$
 $\lambda = 3$
 $x_3 = 3^2 - 15 - 15 \pmod{7} = 0$
 $y_3 = 3(15 - 0) + 4 \pmod{7} = 0$
 Entonces $2Q = (0, 0)$
 Ahora ya podemos obtener $3Q$, y para esto hay que sumar $(15, -4)$ y $(0, 0)$.
 Como son diferentes entonces $\lambda = (y_2 - y_1)(x_2 - x_1)^{-1}$
 $\lambda = (0 + 4)(0 - 15)^{-1} = (4)(-15)^{-1} \ ((-15)^{-1} \equiv 6 \pmod{7})$
 $\lambda = 4(6) = 24 \pmod{7} = 3$
 $\lambda = 3$
 Ahora hay que calcular $x_3 = \lambda^2 - x_1 - x_2$ y $y_3 = \lambda(x_1 - x_3) - y_1$
 $x_3 = 3^2 - 15 - 0 = 9 - 15 = -6 \equiv 1 \pmod{7}$
 $y_3 = 3(15 - 1) + 4 = 46 \equiv 4 \pmod{7}$
 Entonces $3Q = (1, 4)$
 - Calculando $4Q$ sobre $E(\pmod{7})$
 Ya tenemos $2Q$ para obtener $4Q$ hay que sumar $2Q + 2Q$
 Como son iguales
 $\lambda = (3x_1^2 + a)(2y_1)^{-1}$
 $\lambda = (3(0) - 20)(2(0))^{-1} = (-20)(0)^{-1}$
 Pero no podemos obtener el valor del inverso de 0 , ya que no existe.

2. Sea E la curva elíptica $y^2 = x^3 + x + 28$ definida sobre \mathbb{Z}_{71}

a) Calcula y muestra el número de puntos de E .

Para poder realizar este pregunta creamos una clase curva en python debido a que realizarlo a mano nos tomaría demasiado tiempo por lo cual decidimos programarlo para que nos dieran los puntos correspondientes los cuales anotamos a continuación (el código se puede ver en la imagen Calcula puntos)

Calcula Puntos en una curva.

```

titled-1  puntos.py x
puntos.py > ...
*** Metodo que calcula los puntos dentro de la curva***
def calculaPuntosEncurva(self):
    print(self)
    print("Puntos")
    listaPuntos= []
    for i in range(0,self.p):
        x = ((i**3) + (self.a*i) + self.b) % self.p
        for j in range(0,self.p):
            y = (j**2) % self.p
            if x==y:
                punto= Punto(i,j)
                print("\t(" +str(i)+","+str(j)+"),")
                listaPuntos.append(punto)
    return listaPuntos
print("\t0.")

```

```

59)
9)
12)
15)
66)
41)
54)
27)
39)
35)
-1)
18, 6, 6, 12, 12, 36, 36, 4, 4, 18, 18, 18, 18, 36, 36, 36, 6, 6, 3, 3, 36, 36, 18, 18, 36, 18, 18, 2
9, 36, 36, 36, 36, 12, 12, 9, 9, 36, 36, 6, 6, 36, 36, 36, 36, 36, 36, 36, 36, 4, 4, 12, 12, 2, 18, 18, 1
9, 9, 18, 18, 12, 12, 18, 18, 1

```

O, (1,32), (1,39), (2,31), (2,40), (3,22), (3,49), (4,5), (4,66), (5,4), (5,67), (6,26), (6,45), (12,8), (12,63), (13,26), (13,45), (15,9), (15,62), (19,27), (19,44), (20,5), (20,66), (21,3), (21,68), (22,30), (22,41), (23,19), (23,52), (25,22), (25,49), (27,0), (31,32), (31,39), (33,1), (33,70), (34,23), (34,48), (35,14), (35,57), (36,12), (36,59), (37,33), (37,38), (39,32), (39,39), (41,7), (41,64), (43,22), (43,49), (47,5), (47,66), (48,11), (48,60), (49,24), (49,47), (52,26), (52,45), (53,0), (58,27), (58,44), (61,15), (61,56), (62,0), (63,17), (63,54), (65,27), (65,44), (66,18), (66,53), (69,35), (69,36).

b) Muestra que E no es un grupo cíclico.

c) ¿Cuál es el máximo orden de un elemento en E? Encuentra un elemento que tenga ese orden.

El máximo numero es 36, lo sabemos debido a que creamos un Sricpt en python que sacara el orden, modificando la instrucciones que hicimos para el script uno pudimos devolver una lista de puntos y a cada punto le sacábamos el orden con el código que se puede ver en la imagen de orden

```

def calculaOrden(self,punto,a,p):
    puntoNuevo=Punto(self.x,self.y)
    puntoInfinito=Punto(-1,-1)
    orden=1
    iteraciones=0
    while(p>iteraciones):
        if(puntoNuevo.esIgual(puntoInfinito) ):
            break
        orden=orden+1
        iteraciones=iteraciones+1
        puntoNuevo=puntoNuevo.suma2(self,a,p)
        print(puntoNuevo)
    return orden

```

Calcula Orden.

```

listaOrden=[]
for i in puntosCurva:
    #print(i.calculaOrden(i,1,71))
    listaOrden.append(i.calculaOrden(i,1,71))

print(listaOrden)

```

Imagen donde mostramos como calculamos el orden de cada punto que nos devolvió el método calculaPuntos .

Y para realizar la suma de puntos utilizábamos este método que creamos en una clase puntos se puede ver en la imagen de suma.

```

def suma2(self,punto2,a,p):
    x1=self.x
    y1=self.y
    x2=punto2.x
    y2=punto2.y
    listaFinal=[]
    if( x1==x2 and ((y1*-1)== y2 )):
        punto3=Punto(-1,-1)
        return punto3
    if(x1==x2 and y1!=y2 ):
        print("Hola")
        punto3=Punto (-1,-1)
        return punto3
    else:
        punto3=Punto(0,0)
        lambd=self.lambd(punto2,a,p)
        lambd2=lambd[0]
        punto3.x=((lambd2 * lambd2)-x1-x2)%p
        punto3.y=((lambd2*(x1-punto3.x))-y1)%p
        return punto3

```

Suma de puntos.

3. Sea $E : y^2 - 2 = x^3 + 333x$ sobre \mathbb{F}_{347} y sea $P = (110, 136)$.

a) ¿Es $Q = (81, -176)$ un punto de E ?

Para verificar esto hay que sustituir en E Q ,
 $(-176)^2 - 2 = (81)^3 + 333(81)$
 $30976 - 2 = 531441 + 26973$
 $30974 = 558414 \pmod{347}$
Entonces $347 \mid 558414 - 30974 = 1520$
 $\therefore Q = (81, -176) \in E_{347}$

b) si sabemos que $|E| = 358$ ¿Podemos decir E es criptográficamente útil? ¿Cuál es el orden de P ?
¿Entre que valores se puede escoger la clave privada?

El orden de $P = 179$. E no es criptográficamente útil, ya que no es capaz de dividir a un número primo grande, este número se determina por $179 \cdot 2$, siendo 2 nuestro primo.

c) si tu clave privada es $k=101$ y algún conocido te ha enviado el mensaje cifrado ($M_1=(232,278)$ y $M_2=(135,214)$) ¿Cuál era el mensaje original?

$M = M_2 - kM_1$
 $M = (135, 214) - 101(232, 278)$
aplicando sumas consecutivas $-101(232, 278) = (275, 176)$
 $M = (135, 214) - (275, 176)$
 $M = (135, 214) + (275, -176)$
 $M = (74, 87)$ mensaje original

4. Sea $E : F(x,y)=y^2 - x^3 - 2x - 7$ sobre \mathbb{Z}_{31} con $\neq E = 39$ y $P = (2,9)$ es un punto de orden 39 sobre E , el ECIES simplificado definido sobre E tiene \mathbb{Z}_{31}^* como espacio de texto plano, supongamos que la clave privada es $m = 8$.

a) Calcula $Q=mP$

Hay que calcular $Q = 8P$
 $= 4P + 4P = (2P+2P) + (2P+2P)$

Como son los mismos puntos tenemos $\lambda = (3x_1^2 + A) (2y_1)^{-1} = (3(2)^2 + 2)(2(9))^{-1}$ hay que encontrar el inverso de 9 mod 31 usando el algoritmo extendido de euclides, $2(9)^{-1} \equiv 18^{-1} \equiv 19 \pmod{31}$.

Entonces $\lambda = (12+2) \times 19 = 266$.

Queda calcular $x_3 = \lambda^2 - x_1 - x_2$, $y_3 = \lambda(x_1 - x_3) - y_1$.

$x_3 = (266)^2 - 2 - 2 = 70,756 - 4 = 70,752 \equiv 10 \pmod{31}$.

$y_3 = 266(2 - 70,752) - 9 = -18,819,509 \equiv 2 \pmod{31}$.

Entonces $2P = (10, 2)$.

$4P = 2P + 2P = (10, 2) + (10, 2)$.

Entonces $\lambda = (3(10)^2 + 2)(2(2))^{-1} = 2,416$.

$x_3 = (2,416)^2 - 10 - 10 = 5,837,036 \equiv 15 \pmod{31}$.

$y_3 = 2,416(10 - 5,837,036) - 2 = -14,102,254,818 \equiv 8 \pmod{31}$.

Por lo que $4P = (15, 8)$, solo falta calcular $8P = 4P + 4P = (15, 8) + (15, 8)$.

Ahora $\lambda = (3(15)^2 + 2)(2(8)^{-1})$; $2(8)^{-1} \equiv 2 \pmod{31}$.

entonces $\lambda = 677 \times 2 = 1354$.

$x_3 = 1,354^2 - 15 - 15 = 1,833,286 \equiv 8 \pmod{31}$.

$y_3 = 1354(15 - 1,833,286) - 8 = -24,82,248,942 \equiv 15 \pmod{31}$.

Entonces $8P = (8, 15)$.

b) Descifra la siguiente cadena de texto cifrado:

$((18,1),21),((3,1),18),((17,0),19),((28,0),8)$

$E : y^2 = x^3 + 2x + 7 \pmod{31}$

1) $((18,1),21)$

Evaluamos 18 en E :

Entonces $18^3 + 2(18) + 7 = 5875 \equiv 16 \pmod{31}$.

$y \equiv \pm 4$, ahora hay que fijarnos en la segunda entrada la cual nos dice que $y \equiv 1 \pmod{2}$, entonces

- $y = 27$.
 El punto de descompresión es $(18,27)$, entonces $8(18,27) = (15,8)$
 Ahora hay que encontrar $15^{-1} \equiv 29 \pmod{31}$, y con esto hay que calcular $29(21) \pmod{31}$ que nos da: 20.
- 2) $((3,1),18)$
 Evaluamos 3 en E :
 Entonces $3^3 + 2(3) + 7 = 40 \equiv 9 \pmod{31}$
 $y = \pm 3$, ahora hay que fijarnos en la segunda entrada la cual nos dice que $y \equiv 1 \pmod{2}$, entonces $y = 28$
 El punto de descompresión es $(3,28)$, entonces $8(3,28) = (2,22)$
 Ahora hay que encontrar $2^{-1} \equiv 16 \pmod{31}$, y con esto hay que calcular $16(18) \pmod{31}$ que nos da: 9.
- 3) $((17,0),19)$
 Evaluamos 17 en E:
 Entonces $17^3 + 2(17) + 7 = 4954 \equiv 25 \pmod{31}$
 $y = \pm 5$, ahora hay que fijarnos en la segunda entrada la cual nos dice que $y \equiv 0 \pmod{2}$, entonces $y = 26$
 El Punto de descompresión es $(17,26)$, entonces $8(17,26) = (30,29)$
 Ahora hay que encontrar $30^{-1} \equiv 30 \pmod{31}$, y con esto hay que calcular $30(19) \pmod{31}$ que nos da: 12
- 4) $((28,0),8)$
 Evaluamos 28 en E:
 Entonces $28^3 + 2(28) + 7 = 22015 \equiv 5 \pmod{31}$ Hay que sumarle a 5, 31 tantas veces como sea necesario para que nos genere un cuadrado perfecto. En este caso $5 + 31 = 36$.
 Entonces $y = \pm 6$, ahora nos fijamos en la segunda entrada la cual nos dice que $y \equiv 0 \pmod{2}$, entonces $y = 25$
 El punto de descompresión es $(28,26)$, entonces $8(28,25) = (14,12)$
 Ahora hay que encontrar $14^{-1} \equiv 20 \pmod{31}$, y con esto hay que calcular $20(8) \pmod{31}$ que nos da: 5.
- c) Supongamos que cada texto plano representa un caracter alfabético, convierte el texto plano en una palabra en ingles, usa la asociación $(A \rightarrow 1, \dots, Z \rightarrow 26)$ en este caso 0 no es considerado como un texto plano o par ordenado.
 Del ejercicio anterior obtuvimos los valores $\{20, 9, 12, 5\}$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Y con los valores obtenemos: **TILE** como mensaje descifrado.