

# 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  $\lambda = (y_2 - y_1)(x_2 - x_1)^{-1}$   
 $\lambda = (4 + 4)(15 - 0)^{-1} = 8(15)^{-1} \quad (15^{-1} \equiv 0 \pmod{5})$   
 $15$  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  
 $\lambda = (3x_1^2 + a)(2y_1)^{-1}$   
 $\lambda = (3(0) - 20)(2(4))^{-1}$   
 $\lambda = (-20)(8)^{-1} \quad (8^{-1} \equiv 5 \pmod{5})$   
 $\lambda = (-20)(5) = -100 \equiv 0 \pmod{5}$   
 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:  
 $\lambda = (3x_1^2 + a)(2y_1)^{-1}$   
 $\lambda = (3(15)^2 - 20)(2(-4))^{-1} \quad (-8^{-1} \equiv 6 \pmod{7}) = (675 - 20)(6) \pmod{7} = 655(6) \pmod{7} = 3930 \pmod{7} = 3$   
 $\lambda = 3$   
 $x_3 = 3^2 - 15 - 15 \pmod{7} = 0$   
 $y_3 = 3(15 - 0) + 4 \pmod{7} = 0$   
 Entonces  $2Q = (0, 0)$   
 Ahora ya podemos obtener  $3Q$ , y para esto hay que sumar  $(15, -4)$  y  $(0, 0)$ .  
 Como son diferentes entonces  $\lambda = (y_2 - y_1)(x_2 - x_1)^{-1}$   
 $\lambda = (0 + 4)(0 - 15)^{-1} = (4)(-15)^{-1} \quad ((-15)^{-1} \equiv 6 \pmod{7})$   
 $\lambda = 4(6) = 24 \pmod{7} = 3$   
 $\lambda = 3$   
 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.

```

*** 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.")
  
```

$O$  , (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

```

metodo que saca el orden de un punto
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.

```

puntos.py - Tarea03 - Visual Studio Code
Punto > suma2
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)
        lambda2=self.lambda2(punto2,a,p)
        lambda2=lambda[0]
        punto3.x=((lambda2 * lambda2)-x1-x2)%p
        punto3.y=((lambda2*(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  $347 | 558414 - 30974 = 1520$ ,  $P \in F_{347}$

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  $172 \cdot 2$ , 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  $\mathbb{E} : F(x,y)=y^2 - x^3 - 2x - 7$  sobre  $\mathbb{Z}_{31}$  con  $\neq \mathbb{E} = 39$  y  $P = (2,9)$  es un punto de orden 39 sobre  $\mathbb{E}$ , el ECIES simplificado definido sobre  $\mathbb{E}$  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  $18^3 + 2(18) + 7 = 5875 \equiv 16 \pmod{31}$ .

$y = \pm 4$ , 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.