

Sesión S02: Diseño de pruebas de caja blanca

Diseño de casos de prueba: *structural testing*

Control flow testing: Método del camino básico

- Paso 1: Análisis de código: Construcción del CFG
- Paso 2: Selección de caminos: Cálculo de CC y caminos independientes
- Paso 3. Obtención del conjunto de casos de prueba

Ejemplos y ejercicios

Vamos al laboratorio...

P

DISEÑO DE CASOS DE PRUEBA

S

S

Selección de un subconjunto mínimo de entradas para evidenciar el máximo número de errores posibles

Ya conocemos lo que es una **Tabla de casos de prueba**, en el laboratorio hemos confeccionado una tabla de este tipo, con casos de prueba que os hemos proporcionado, e incluso habéis añadido alguna fila

Tabla de casos de prueba

ID	d1	d2	...	Expected Output
C1	?	?	?	?
C2				
C3				
...				
<u>CN?</u>				

Cada FILA de la tabla es un CASO DE PRUEBA

Caso de prueba =
datos entrada
concretos +
resultado esperado

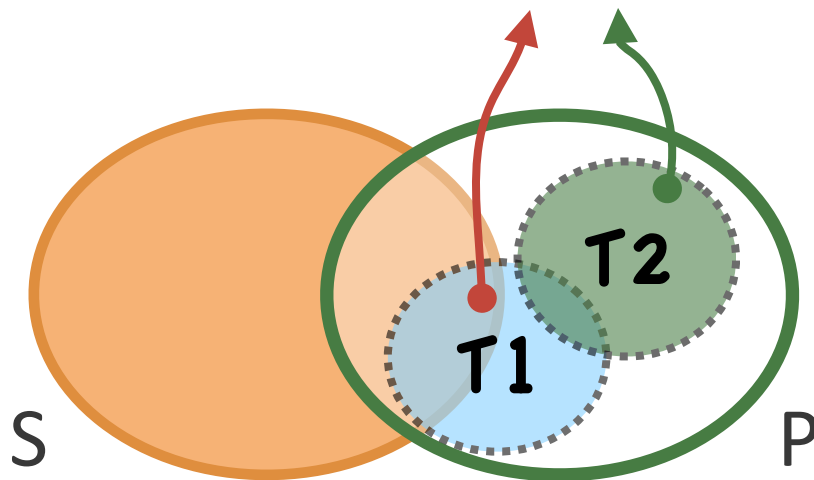
- ¿COMO RELLENAMOS LAS FILAS DE LA TABLA?
- ¿CUÁNTAS FILAS ES NECESARIO AÑADIR?

Utilizando un MÉTODO de DISEÑO de casos de prueba!!!!

FORMAS DE IDENTIFICAR LOS CASOS DE PRUEBA

STRUCTURAL TESTING

Comportamientos probados



Para ELEGIR los datos de entrada únicamente nos basamos en el CÓDIGO
El resultado esperado SIEMPRE lo obtendremos a partir del conjunto S

- Consiste en determinar los valores de entrada de los casos de prueba a partir de la IMPLEMENTACIÓN. También se conoce con el nombre de “**diseño de caja blanca**”
- Los comportamientos probados podrán estar o no especificados
- Es esencial conocer conceptos de teoría de grafos para entender bien esta aproximación



Los métodos de diseño de casos de prueba basados en el **CÓDIGO**:

1. **Analizan** el código y obtienen una representación en forma de GRAFO
2. **Seleccionan** un conjunto de **camino**s en el grafo según algún criterio
3. **Obtienen** un conjunto de **casos de prueba** que ejercitan dichos caminos



EL ANÁLISIS DEL CÓDIGO SE PUEDE BASAR EN ...



representar el FLUJO DE **CONTROL**

Hace referencia al flujo de control entre INSTRUCCIONES.

La idea principal es seleccionar convenientemente un conjunto de "caminos" en un programa y observar si la ejecución de dichos caminos seleccionados producen el resultado esperado

Un "camino" es una determinada secuencia de acciones conducentes a obtener un resultado concreto (comportamiento)

Para seleccionar los caminos necesitamos:

1. generar un **CFG** (Control Flow Graph)
2. establecer un **criterio para seleccionar** dichos caminos (p.ej. seleccionar los caminos de forma que cada sentencia se ejecute al menos una vez)

Ejemplo de método de diseño: *McCabe's basis path method*



representar el FLUJO DE LOS **DATOS**

Hace referencia a la **propagación de valores** desde una variable (o constante) a otra variable. Las definiciones y usos de las variables determinan el flujo de datos en un programa.

A partir de una representación del flujo de valores de las variables, podemos:

- ▶ detectar de forma **ESTÁTICA** potenciales defectos del programa (anomalías de datos), identificando situaciones "anormales" que deben revisarse. Por ejemplo: variables definidas dos veces consecutivas
- ▶ detectar de forma **DINÁMICA** defectos en el programa identificando caminos en los que se manipulan las variables. Por ejemplo: ejecutar todos los caminos en los que una variable es definida y usada

STRUCTURAL TESTING. OBSERVACIONES

DISEÑO

Los métodos estructurales **NO** pueden DETECTAR **TODOS** los defectos en el programa (**defecto** = **fault** = **bug**).

Aunque seleccionemos todas las posibles entradas, no podremos detectar todos los defectos si "faltan caminos" en el programa.

De forma intuitiva, diremos que falta un camino en el programa si no existe el código para manejar una determinada condición de entrada.

Por ejemplo: si la implementación no prevé que un divisor pueda tener un valor cero, entonces no se incluirá el código necesario para manejar esta situación



CONTROL FLOW TESTING



Los dos tipos de sentencias básicas en un programa son.



- Sentencias de **asignación**
Por defecto se ejecutan de forma secuencial
- Sentencias **condicionales**
Alteran el flujo de control secuencial en un programa

Las llamadas a "funciones" son un mecanismo para proporcionar abstracción en el diseño de un programa

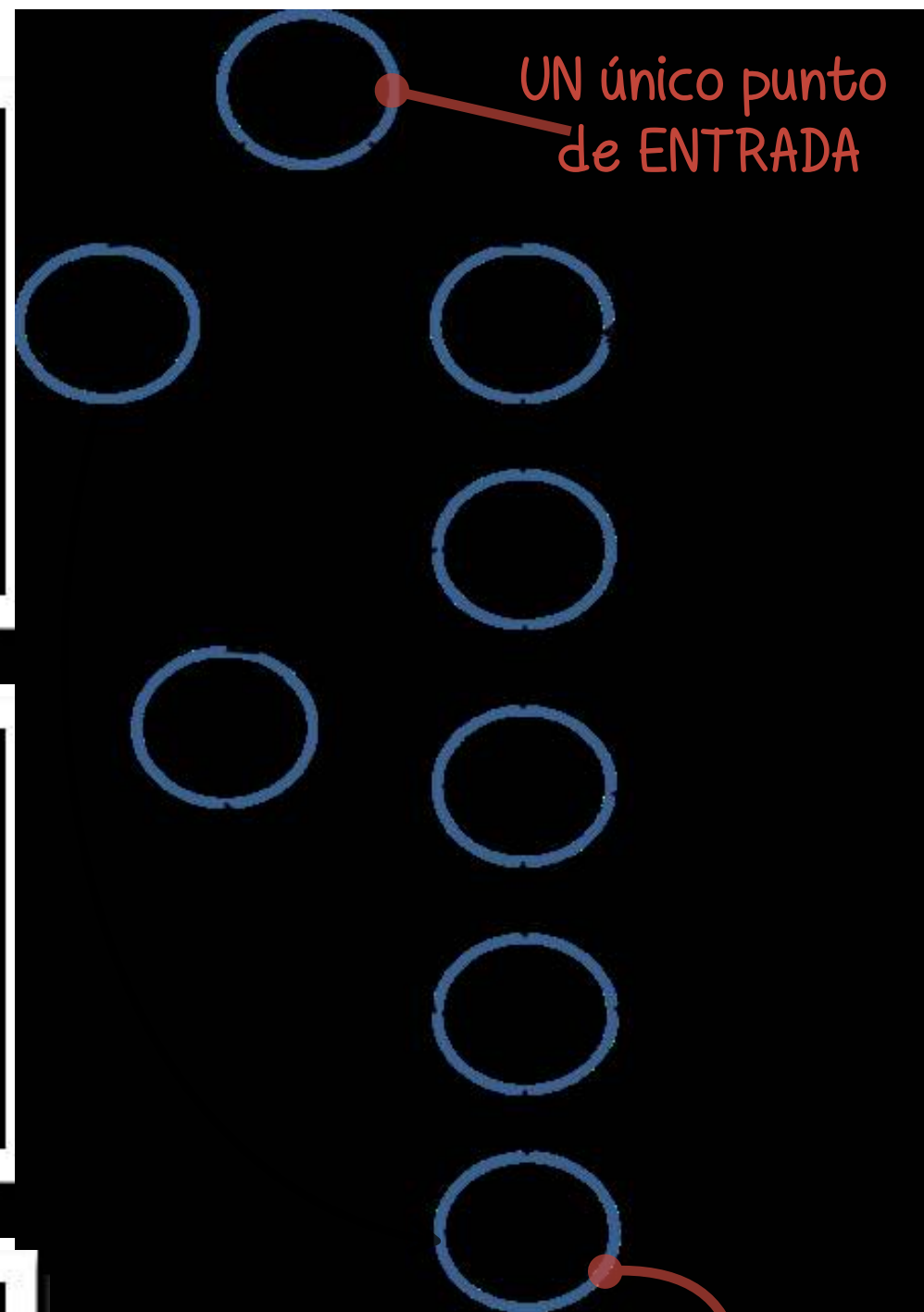
- Una llamada a una "función" cede el control a dicha función
- Dentro de la unidad a probar, la invocación de una "función" es una sentencia secuencial

Cada camino en el grafo se corresponde con un comportamiento!!!

La **EJECUCIÓN** de una secuencia de instrucciones desde el punto de entrada al de salida de una unidad de programa se denomina **CAMINO** (path)

En una unidad de programa puede haber un **número** potencialmente **grande** de caminos, incluso infinito.

Un **valor** específico de **entrada** provoca que se **ejecute** un camino específico en el programa



UNIDAD de

programa =
método Java

UN único punto
de SALIDA

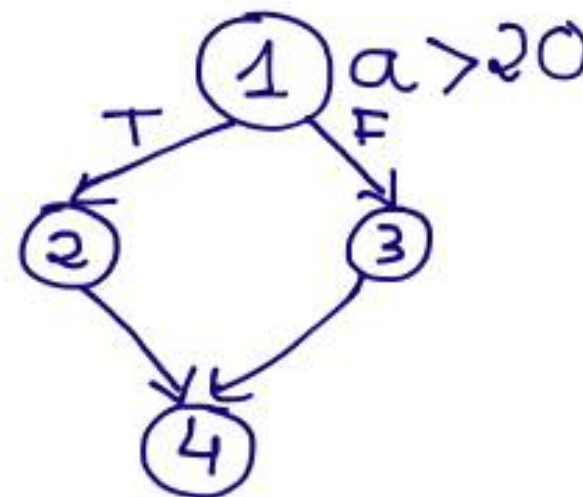
GRAFO DE FLUJO DE CONTROL (CFG)

1 nodo por condición!!!
1 nodo representa cero o más
sentencias secuenciales
+ cero o una condición

Un CFG es una **representación gráfica** de una **unidad** de programa. Usaremos un **GRAFO DIRIGIDO**, en donde:

- Cada **nodo** representa una o más sentencias secuenciales y/o una ÚNICA CONDICIÓN (así como los puntos de entrada y de salida de la unidad de programa)
 - * Cada nodo estará etiquetado con un entero cuyo valor será único
 - * Si un nodo contiene una condición anotaremos a su derecha dicha condición
- Las **aristas** representan el flujo de ejecución entre dos conjuntos de sentencias (representadas en los nodos)
 - * Si uno nodo contiene una condición etiquetaremos las aristas que salen del nodo con "T" o "F" dependiendo de si el valor de la condición que representa es cierto o falso.

```
if (a > 20) {  
    k = "valor correcto"  
} else {  
    k = "repita entrada"  
}
```





CONSTRUCCIÓN DE UN CFG (I)



Hay que tener claro cómo funcionan las sentencias de control del lenguaje!!!

● Representa los grafos de flujo asociados a los siguientes códigos java:



```
if ((a > 1) && (a < 200)) {  
    ...  
}
```



Inténtalo!

```
1. if ((a != b) && (a != c) && (b != c)) {  
2.     ...  
3. } else {  
4.     if (a==b) {  
5.         if (a==c) {  
6.             ...  
7.         }  
8.     } else {  
9.         ...  
10.    }  
11. }
```


P

CONSTRUCCIÓN DE UN CFG (II)



Puedes practicar con ejemplos sencillos para cada sentencia de control en Java!!!

P

- Fíjate que para poder crear correctamente el CFG necesitamos conocer BIEN el funcionamiento del subconjunto de sentencias de CONTROL del lenguaje de programación utilizado
- Por ejemplo, en Java se utilizan sentencias try..catch, para capturar y tratar las excepciones:

```
1. try {  
2.     s1; //puede lanzar Exception1;  
3.     s2; //no lanza ninguna excepción  
4.     ...  
5. } catch (Exception1 e) {  
6.     ...  
7. } finally {  
8.     ...  
9. }  
10. siguienteSentencia;
```



Inténtalo!

CRITERIOS DE SELECCION DE CAMINOS

Recuerdas por qué tenemos que "seleccionar"??

- **Estructuralmente** un camino es una secuencia de instrucciones en una unidad de programa (desde el punto de entrada, hasta el punto de salida)
- **Semánticamente** un camino es una instancia de una ejecución de una unidad de programa
- Es necesario **escoger** un conjunto de caminos con algún **criterio de selección**. Algunos ejemplos son:
 - Elegimos todos los caminos del grafo
 - Elegimos el conjunto mínimo de caminos para conseguir ejecutar TODAS las SENTENCIAS al menos una vez
 - Elegimos el conjunto mínimo de caminos para conseguir ejecutar TODAS las CONDICIONES al menos una vez
- No generaremos entradas para los tests en las que se ejecute el mismo camino varias veces. Aunque, si cada ejecución del camino actualiza el estado del sistema, entonces múltiples ejecuciones del mismo camino pueden no ser idénticas

*Cada método de diseño selecciona con un criterio diferente!!!!
Ese criterio depende de un OBJETIVO. Pero cualquier método de diseño proporciona un conjunto de casos de prueba efectivos y eficientes para ese objetivo!!!*



MCCABE'S BASIS PATH METHOD

(Método del camino básico)

- Es un método de DISEÑO de pruebas de caja blanca que permite ejercitar (ejecutar) cada camino independiente en el programa
- Fue propuesto inicialmente por Tom McCabe en 1976. Este método permite al diseñador de casos de prueba obtener una medida de la complejidad lógica de un diseño procedimental y usar esta medida como guía para la definición de un conjunto básico de caminos de ejecución
- El método también se conoce como "Método del camino básico"



El objetivo del método es éste!!!

- Si ejecutamos TODOS los caminos independientes, estaremos ejecutando TODAS las sentencias del programa, al menos una vez

- Además estaremos garantizando que TODAS las condiciones se ejecutan en sus vertientes verdadero/falso

- ¿Qué es un camino independiente?

- Es un camino en un grafo de flujo (CFG) que difiere de otros caminos en al menos un nuevo conjunto de sentencias y/o una nueva condición (Pressman, 2001)

El número de caminos independientes determinará el número de filas de la tabla. Cada fila detectará defectos en un determinado subconjunto de sentencias del programa (ejercitando un determinado comportamiento)

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Recuerda que debes ser sistemático a la hora de aplicar los pasos y tener claro para qué estamos haciendo en cada uno de ellos!!!

1. Construir el grafo de flujo del programa (CFG) a partir del código a probar
2. Calcular la complejidad ciclomática (CC) del grafo de flujo
3. Obtener los caminos independientes del grafo
4. Determinar los datos de prueba de entrada de la unidad a probar de forma que se ejerciten todos los caminos independientes
5. Determinar el resultado esperado para cada camino, en función de la ESPECIFICACIÓN de la unidad a probar

Tabla resultante del diseño de las pruebas:

Camino	Entrada 1	Entrada 2	...	Entrada n	Resultado Esperado
C1	d11	d12	...	d1n	r1
...					
C2	d21	d22	...	d2n	r2

Recuerda que los valores de entrada y salida deben ser CONCRETOS!!!

Una columna para cada dato de entrada

Una columna para cada dato de salida

P

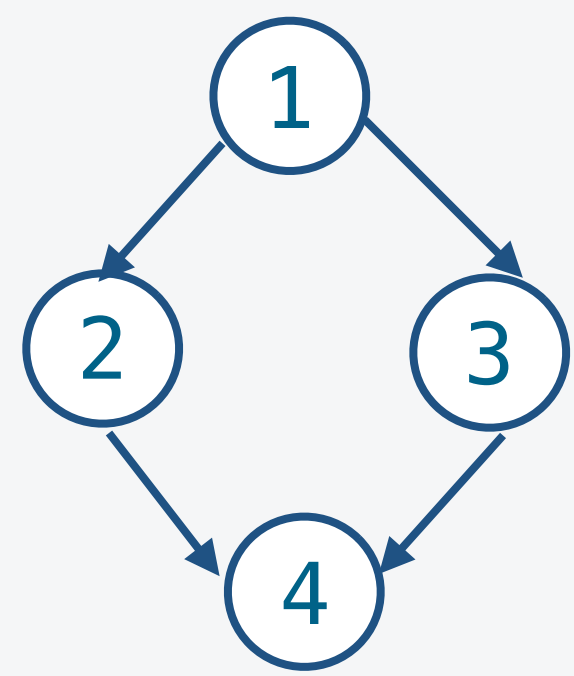
COMPLEJIDAD CICLOMÁTICA

S

Determina el número de FILAS de la tabla!!

P

- Es una MÉTRICA que proporciona una medida de la **complejidad lógica** de un componente software
- Se calcula a partir del grafo de flujo:
$$CC = \text{número de arcos} - \text{número de nodos} + 2$$
- El valor de CC indica el MÁXIMO número de caminos independientes en el grafo
- Ejemplo:



$$CC = 4 - 4 + 2 = 2$$

A mayor CC, mayor complejidad lógica, por lo tanto, mayor esfuerzo de mantenimiento, y también mayor esfuerzo de pruebas!!!

El valor máximo de CC comúnmente aceptado como "tolerable" es 10

OTRAS FORMAS DE CALCULAR CC

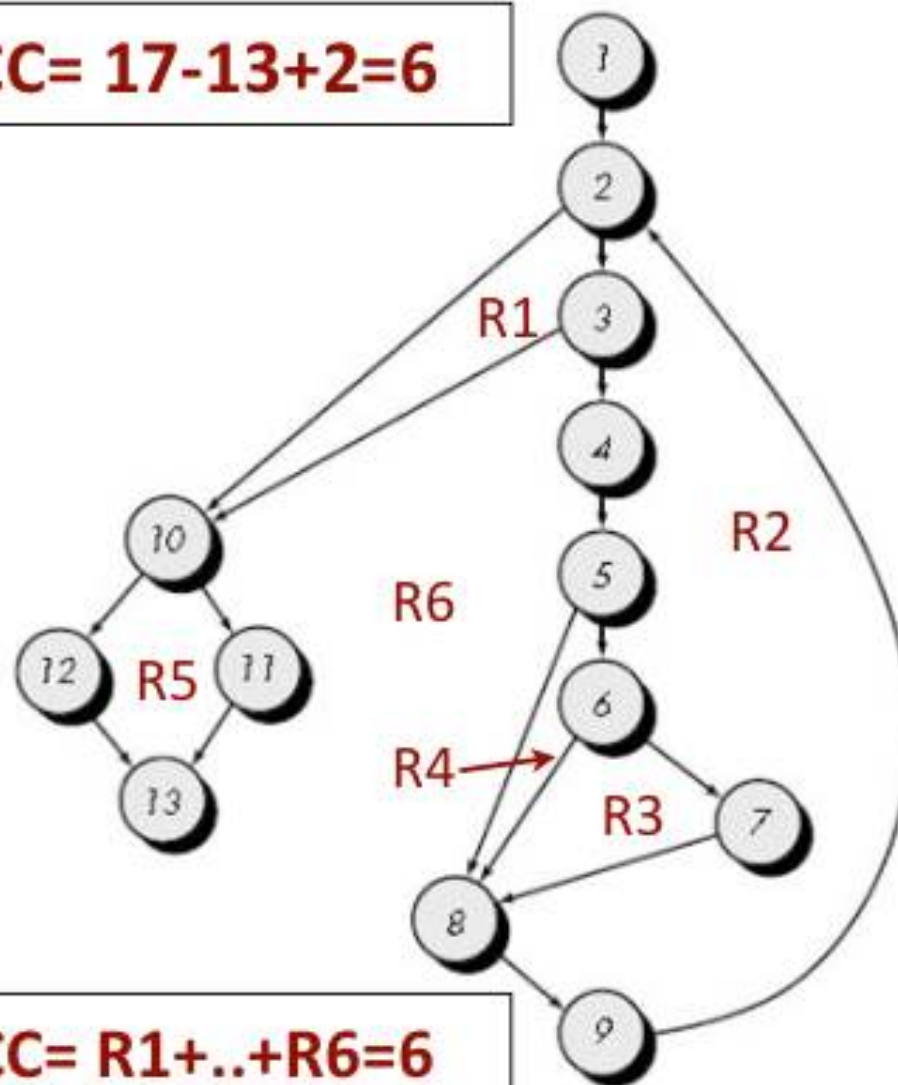
CC = número de arcos - número de nodos + 2

CC = número de regiones

CC = número de condiciones + 1

¡CUIDADO!: Las dos últimas formas de cálculo son aplicables SOLO si el código es totalmente estructurado (no saltos incondicionales)

CC= 17-13+2=6



$$CC = R1 + \dots + R6 = 6$$

```

...
i=1;
total.input=total.valid=0;
sum=0;
do while ((value[i] <> -999) && (total.input<100)) {
    total.input+=1;
    if (value[i]>= minimum && (value[i]<= maximum)) {
        total.valid+=1;
        sum= sum + value[i];
    }
    i+=1;
}
if (total.valid >0) {
    average= sum/total.valid;
} else average = -999;
return average;

```

$$CC = 5 + 1 = 6$$

$$CC = 5 + 1 = 6$$

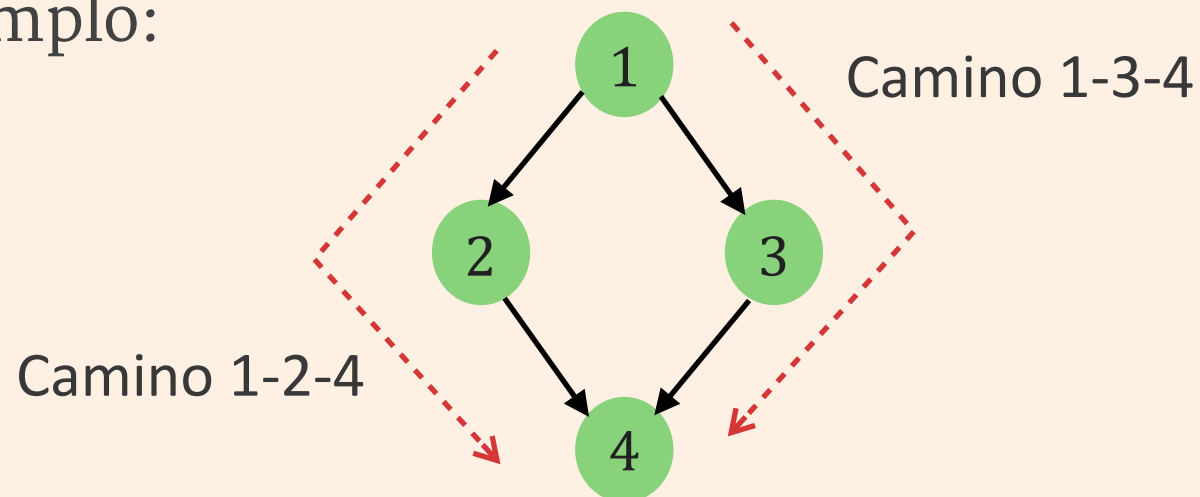
CAMINOS INDEPENDIENTES

■ Buscamos (como máximo) tantos caminos independientes como valor obtenido de CC

■ Cada camino independiente contiene un nodo, o bien una arista, que no aparece en el resto de caminos independientes

■ Con ellos recorreremos TODOS los nodos y TODAS las aristas del grafo

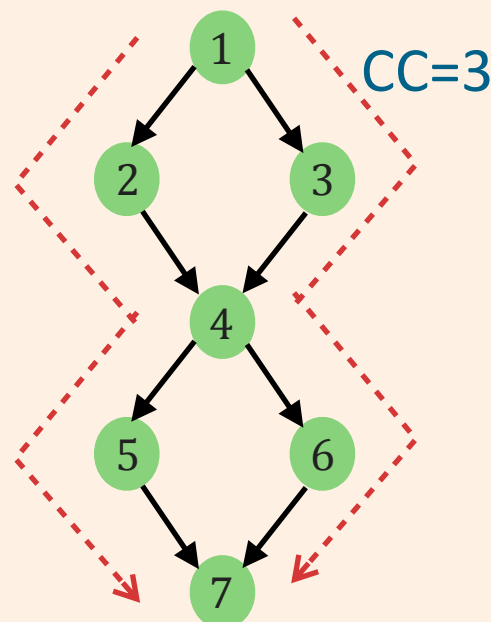
■ Ejemplo:



■ Es posible que con un número inferior a CC recorramos todos los nodos y todas las aristas

■ Ejemplo:

```
if (a >= 20) {  
    result = 0;  
} else {  
    result = 10;  
}  
if (b >= 20) {  
    result = 0;  
} else {  
    result = 10;  
}
```



opción 1:

C1 = 1-3-4-6-7
C2 = 1-3-4-5-7
C3 = 1-2-4-5-7

opción 2:

C1 = 1-3-4-6-7
C2 = 1-2-4-5-7

Ambas opciones son válidas

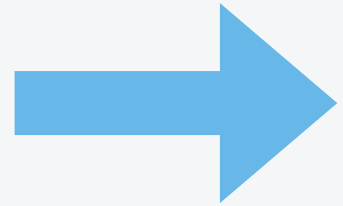
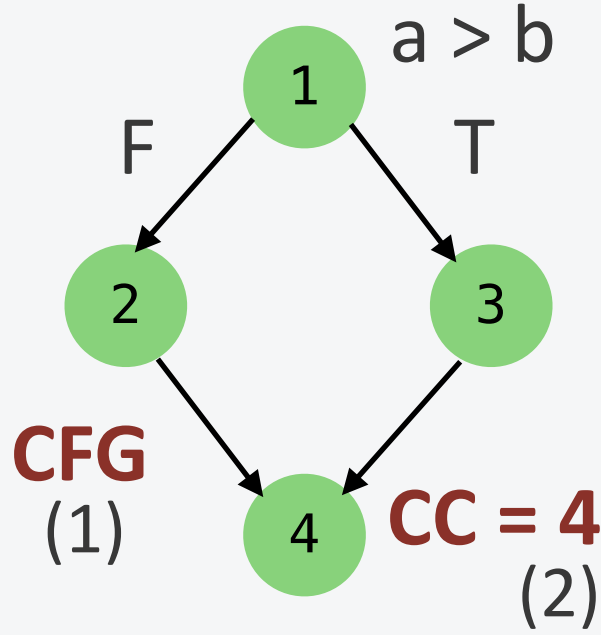
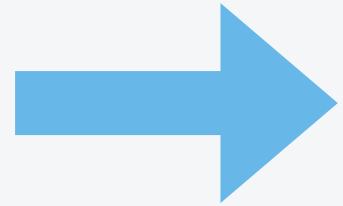


EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO



Método que compara dos enteros a y b, y devuelve 20 en caso de que el valor a sea mayor que b, y cero en caso contrario:

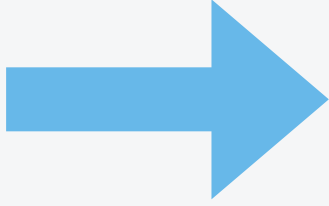
```
if (a > b) {  
    result = 20  
} else {  
    result = 0  
}
```



(3)
Caminos independientes
C1 = 1-3-4
C2 = 1-2-4

CC = 4 - 4 + 2 = 2
(2)

Tabla resultante del diseño de casos de prueba



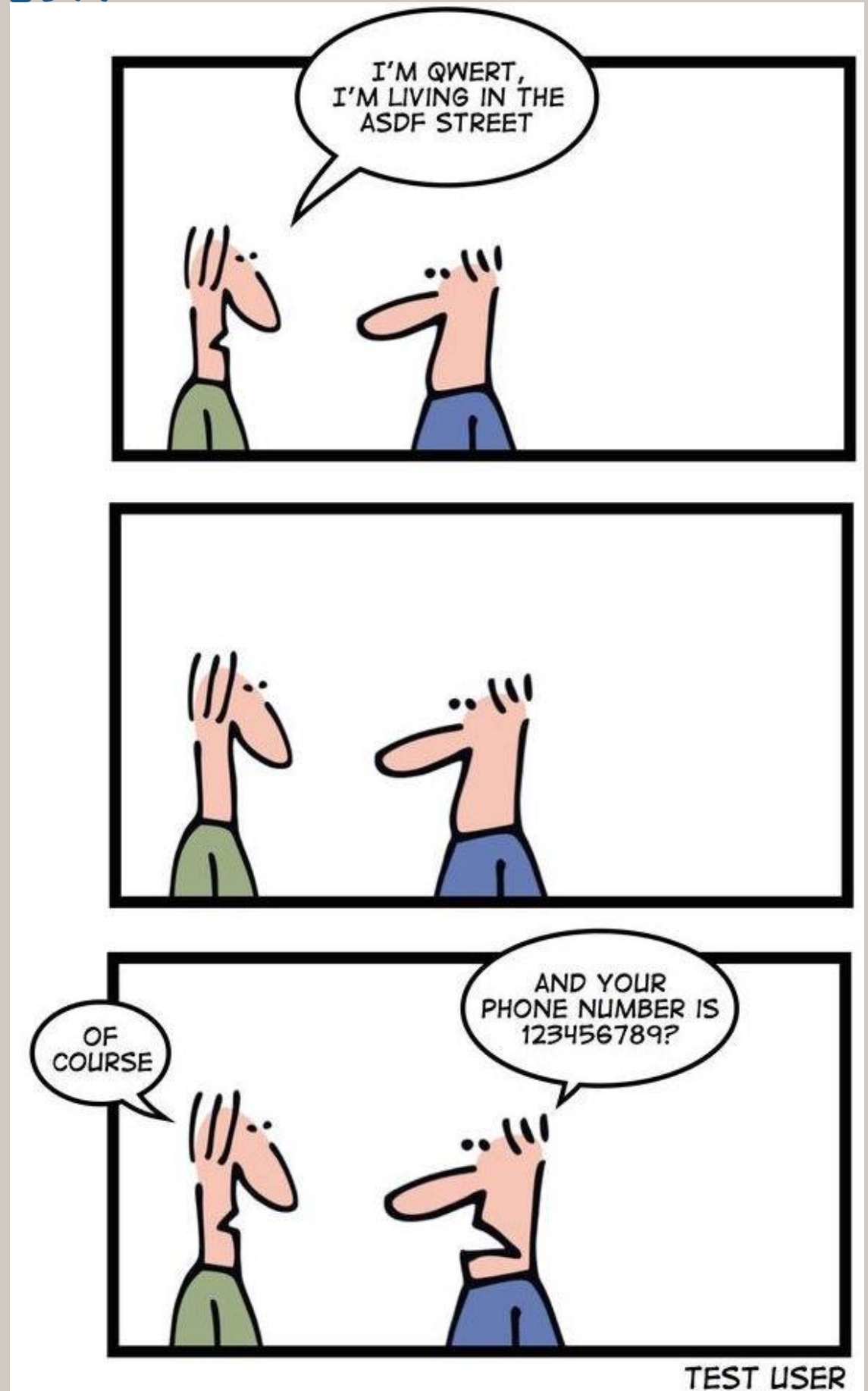
Camino	Datos Entrada		Resultado Esperado
C1	a = 20	b = 10	result = 20
C2	a = 10	b = 20	result = 0

(4)
Valores de entrada

(5)
Resultado esperado

CONCRECIÓN DE LOS CASOS DE PRUEBA

- Recuerda que los datos de prueba y la salida esperada deben ser SIEMPRE valores CONCRETOS:
 - Los casos de prueba tienen que poder REPETIRSE, y por lo tanto, dos ejecuciones del mismo test, tienen que tener valores de entrada IDÉNTICAS
 - Por ejemplo:
 - * D1= "cualquier dni válido" es INCORRECTO
 - * D1= "12345678" es CORRECTO
- ¿Por qué repetir los tests?
 - Piensa en razones por las que va a ser necesario repetir los tests
 - Piensa en las consecuencias de no repetir los tests





OBSERVACIONES SOBRE LOS DATOS DE PRUEBA



- Normalmente los datos de ENTRADA y/o SALIDA podremos identificarlos en los parámetros del elemento a probar, (y/o valores de retorno). Pero esto NO siempre es así:
 - Por ejemplo, supongamos que queremos probar el siguiente método:
 - * **nuevo_cliente()** añade un nuevo cliente a lista de clientes de nuestra tienda virtual. Si el cliente que se pasa como entrada ya es cliente de la tienda, entonces el método no hará nada. Supongamos que la signature del método es:
 - * **public void nuevo_cliente(Client cli)**, ¿cuáles son las entradas y salidas?
 - * En este caso, el estado de la lista de clientes "antes" de llamar al método lo tenemos que considerar como una entrada, y el estado de la lista de clientes "después" de llamar al método lo consideraremos una salida
- Si utilizamos un lenguaje orientado a objetos, como Java, consideraremos como datos de entrada los valores concretos de "cada atributo" del objeto
 - Por ejemplo, supongamos que la clase Cliente está formada por los campos dni, nombre, dirección, y teléfonos. Un ejemplo de dato de entrada para un Cliente podría ser éste:
 - * dni=12345678, nombre= pepe, dirección=calle del mar, teléfonos=(12345,99999)

EJEMPLO: BÚSQUEDA BINARIA

//Asumimos que la lista de elementos está ordenada de forma ascendente

```
class BinSearch
public static void search (int key, int [ ] elemArray, Result r) {
    int bottom = 0;    int top = elemArray.length -1;
    int mid;    r.found= false; r.index= -1;
    while (bottom <= top) {
        mid = (top+bottom)/2;
        if (elemArray [mid] == key) {
            r.index = mid;
            r.found = true;
            return;
        } else {
            if (elemArray [mid] < key)
                bottom = mid + 1;
            else top = mid -1;
        }
    } //while loop
} //search
} //class
```

Especificación del método search():
Dado un vector de enteros ordenados ascendentemente, y dado un entero (key) como entrada, el método search() busca la posición de key en el vector y devuelve el valor found=true si lo encuentra, así como su posición en el vector (dada por index). Si el valor de key no está en el vector, entonces devuelve el valor found=false

VAMOS A IDENTIFICAR LOS NODOS DEL GRAFO

//Asumimos que la lista de elementos está ordenada de forma ascendente

class BinSearch

public static void search (int key, int [] elemArray, Result r)

```
{  int bottom = 0;      int top = elemArray.length -1;
  int mid;              r.found= false; r.index= -1;
```

```
  while (bottom <= top) {
```

```
    mid = (top+bottom)/2;
```

```
    if (elemArray [mid] == key) {
```

```
      r.index = mid;
```

```
      r.found = true;
```

```
      return;
```

```
    } else {
```

```
      if (elemArray [mid] < key)
```

```
        bottom = mid + 1;
```

```
      else top = mid -1;
```

```
    }
```

```
  } //while loop
```

```
} //search
```

```
} //class
```

1

2

3

8

4

5

6

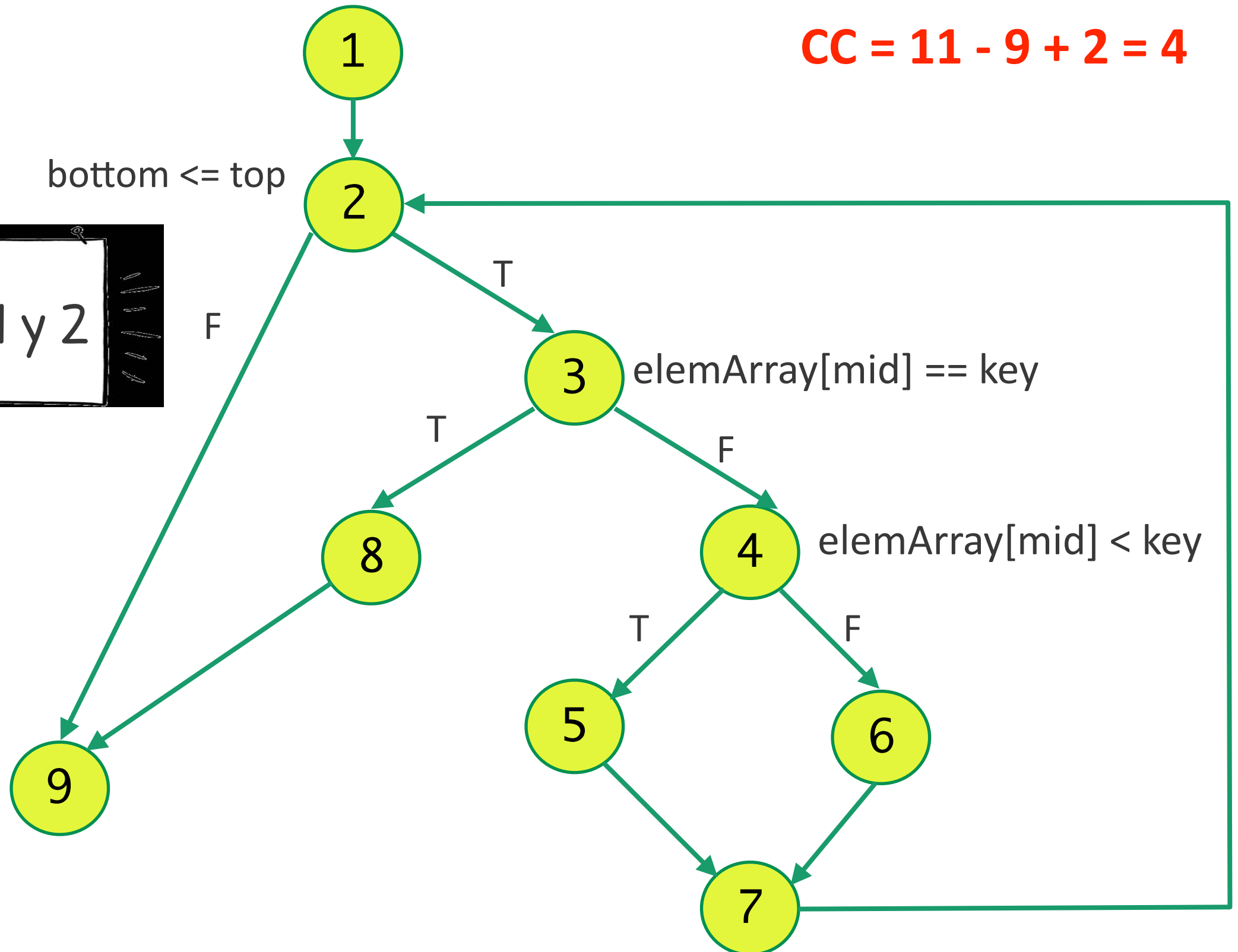
7

9

GRAFO ASOCIADO Y VALOR DE CC

$$CC = 11 - 9 + 2 = 4$$

bottom <= top





CAMINOS INDEPENDIENTES



Posible conjunto de caminos independientes



- C1: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 2, 9
- C2: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 2, 9
- C3: 1, 2, 3, 8, 9

Paso 3

En este ejemplo, con tres caminos podemos recorrer todos los nodos y todas las aristas

Ejercicio: Calcula la tabla resultante:

Camino	Datos Entrada		Resultado Esperado	
	key	elemArray	r.found	r.index
C1				
C2				
C3				

Pasos 4 y 5

Para indicar el valor del resultado esperado necesitamos conocer la ESPECIFICACIÓN del método



EJERCICIOS PROPUESTOS (1)

● **Calcula la CC para cada uno de estos códigos Java:**

```
public void divide(int numberToDivide, int numberToDivideBy) throws BadNumberException{
    if(numberToDivideBy == 0){
        throw new BadNumberException("Cannot divide by 0");
    }
    return numberToDivide / numberToDivideBy;
}
```

Código 1

```
public void callDivide(){
    try {
        int result = divide(2,1);
        System.out.println(result);
    } catch (BadNumberException e) {
        //do something clever with the exception
        System.out.println(e.getMessage());
    }
    System.out.println("Division attempt done");
}
```

Código 2

```
public void openFile(){
    try {
        // constructor may throw FileNotFoundException
        FileReader reader = new FileReader("someFile");
        int i=0;
        while(i != -1){
            //reader.read() may throw IOException
            i = reader.read();
            System.out.println((char) i );
        }
        reader.close();
        System.out.println("--- File End ---");
    } catch (FileNotFoundException e) {
        //do something clever with the exception
    } catch (IOException e) {
        //do something clever with the exception
    }
}
```

Código 3

EJERCICIOS PROPUESTOS (II)

Diseña los casos de prueba para el método validar_PIN(), cuyo código es el siguiente:

```
1.  public class Cajero {
2.  ...
3.  public boolean validar_PIN (Pin pinNumber) {
4.      boolean pin_valido= false;
5.      String codigo_respuesta="GOOD";
6.      int contador_pin= 0;
7.
8.      while ((!pin_valido) && (contador_pin <= 2) &&
9.             !codigo_respuesta.equals("CANCEL")) {
10.         codigo_respuesta = obtener_pin(Pin pinNumber);
11.         if (!codigo_respuesta.equals("CANCEL")) {
12.             pin_valido = comprobar_pin(pinNumber);
13.             if (!pin_valido) {
14.                 System.out.println("PIN inválido, repita");
15.                 contador_pin=contador_pin+1;
16.             }
17.         }
18.     }
19.     return pin_valido;
20. }
21. ...
22. }
```

la especificación la tenéis a continuación



EJERCICIOS PROPUESTOS (II) (CONTINUACIÓN)

Especificación del método `validar_PIN()`:



- El método `validar_PIN()` anterior valida un código numérico de cuatro cifras (objeto de la clase `Pin`). Dicho código se obtendrá después de introducirlo a través de un teclado (asumimos que en el teclado solamente hay teclas numéricas (0..9), y una tecla para cancelar). Si el usuario pulsa en algún momento la tecla de cancelar, entonces la validación se considerará "false". El usuario dispone de tres intentos para introducir un pin válido, en cuyo caso el método `validar_PIN()` devuelve cierto, así como el número de pin, y en caso contrario devuelve falso.

Nota: La introducción del código numérico se ha implementado en otra unidad (el método `obtener_pin()`), que se encargará de “leer” el código introducido por teclado creando una nueva instancia de un objeto `Pin`, y devuelve “GOOD” si no se pulsa la tecla para cancelar, o “CANCEL” si se ha pulsado la tecla para cancelar (carácter ‘\’).

Además usamos el método `comprobar_pin()`, que verifica que el código introducido tiene cuatro cifras y se corresponde con la contraseña almacenada en el sistema para dicho usuario, devolviendo cierto o falso, en función de ello.

Recuerda que el método del camino básico sólo lo aplicaremos a nivel de UNIDAD!!



P
P

Y AHORA VAMOS AL LABORATORIO...

El proceso de diseño lo haremos "manualmente"

Hay que tener claros TODOS los pasos!!!

Diseñaremos casos de prueba utilizando el método del CAMINO BÁSICO

```
package ppss;

public class Matricula {
    public float calculaTasaMatricula(int edad,
        boolean familiaNumerosa,
        boolean repetidor) {
        float tasa = 500.00f;

        if ((edad <= 25) && (!familiaNumerosa) || (!repetidor)) {
            tasa = tasa + 1500.00f;
        } else {
            if ((familiaNumerosa) || (edad > 65)) {
                tasa = tasa / 2;
            }
            if ((edad >= 50) && (edad < 65)) {
                tasa = tasa - 100.00f;
            }
        }

        return tasa;
    }
}
```

unidad a probar

CFG



CC

CC = ...

tabla de casos de prueba

caminos independientes

- C1: 1-2-4-... -14
 - C2: 1-3-6-... -14
 - ...
 - CN: 1-2-7-... -14
- (N ≤ CC)

Camino	DATOS DE ENTRADA				RESULTADO ESPERADO		
C1	d11	d12	...	d1q	r11	...	r1k
...							
CN	dn1	dn2	...	dnq	r n1		r nk

ESTA TABLA La utilizaremos en la siguiente práctica!!!...



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- A practitioner's guide to software test design. Lee Copeland. Artech House Publishers. 2004
 - Capítulo 10: Control Flow Testing
- Pragmatic software testing. Rex Black. Wiley. 2007
 - Capítulo 21: Control Flow Testing
- Software testing and quality assurance. Kshirasagar Naik & Priyadarshi Tripathy. Wiley. 2008
 - Capítulo 4: Control Flow Testing