# ARQUITECTURA MODULAR SECUENCIAL

## ALGORITMOS DE PARTICIONADO, RASGADO Y ORDENAMIENTO.

# Algoritmos de PR&O

**Particionado**: Detección de tramos que contienen reciclos y reducción a pseudonodos que los almacenen.

**Rasgado**: definición de la(s) corriente(s) iteradora(s) de cada pseudonodo.

**Ordenamiento**: determinación del orden de precedencia de los módulos.

# Algoritmos de PR&O

Nos interesa plantearnos la utilidad de los métodos discutidos y su relación con un simulador de procesos.

Al fin y al cabo una simulación consiste en un sistema de ecuaciones por lo que la relación resulta obvia.

Una planta completa tendrá asociada miles de ecuaciones y variables. Un simulador que responde a la filosofía de representar a todo el proceso a simular por un único sistema de ecuaciones se conoce como de arquitectura global u orientado a ecuaciones.

Bajo esta arquitectura, todo lo discutido hasta aquí es directamente aplicable.

# Algoritmos de PR&O

Por otra parte, conviene remarcar que al existir un gran número de alternativas posibles, el problema tiene una gran flexibilidad y puede resultar apropiado para tomar decisiones, contar con conocimientos intrínsecos y/o específicos del sistema a resolver.

Históricamente, al implementarse los primeros simuladores, no se recurrió a la filosofía o enfoque global, sino que se utilizó una alternativa conocida como arquitectura modular secuencial.

# Algoritmos de PR&O

La estrategia modular secuencial:

- Interpreta al complejo a simular como una unión de subunidades o módulos específicos (equipos).
- Matemáticamente la podemos interpretar como un particionado del sistema de ecuaciones de la planta completa en subunidades (subsistemas)
- La diferencia es que esta partición no es guiada por un criterio de optimización (algoritmos presentados), sino por la conveniencia física de disponer datos y submódulos estructurados de una manera dada.

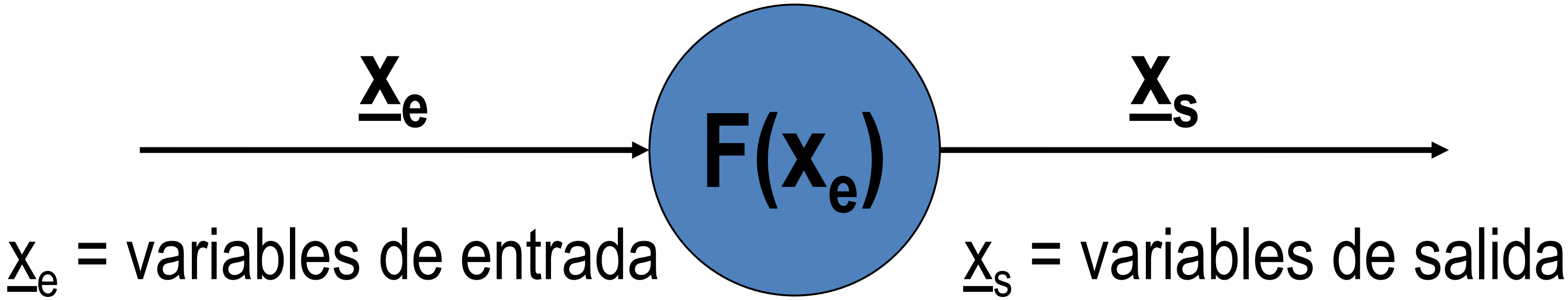
# Algoritmos de PR&O

Al forzar la partición del sistema global en subsistemas, se pierde gran parte de la flexibilidad original, sacrificando seguramente alternativas óptimas de particionado.

Es el precio a pagar por utilizar una guía no matemática, pero conveniente desde el punto de vista físico o de ingeniería.

# Algoritmos de PR&O

Esquemáticamente, cada módulo o paquete de ecuaciones correspondientes a cada equipo puede ahora ser representado según:




Se supone que podemos construir el modelo de una unidad de proceso por medio de un sistema de ecuaciones, y que conocemos las variables (generalmente asociadas a las corrientes físicas) de entrada, siendo el objetivo el cálculo de las variables (corrientes) de salida.

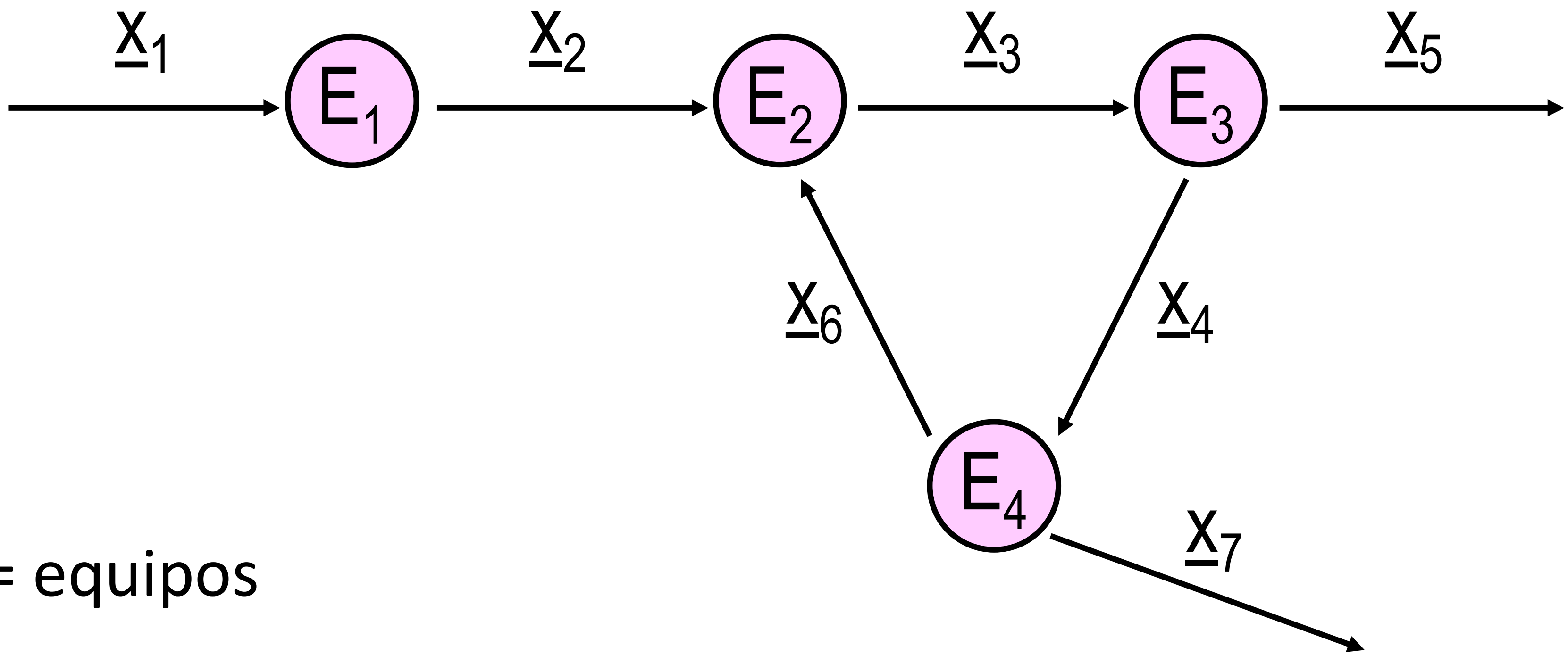
# Algoritmos de PR&O

Cada módulo debe resolverse por el método más conveniente. Se supone que se han aplicado todos los procedimientos vistos, de tal manera de optimizar la secuencia de resolución, fijados los $x_e$.

Debe tenerse en cuenta que en los balances de materia y energía, generalmente deben utilizarse métodos para estimar propiedades fisicoquímicas lo que agrega un número importante de ecuaciones y no linealidades.

# Algoritmos de PR&O

Dada una planta, compuesta por diversos equipos conectados entre sí, todos representados por su correspondiente sistema de ecuaciones, se puede obtener un esquema (DFI):



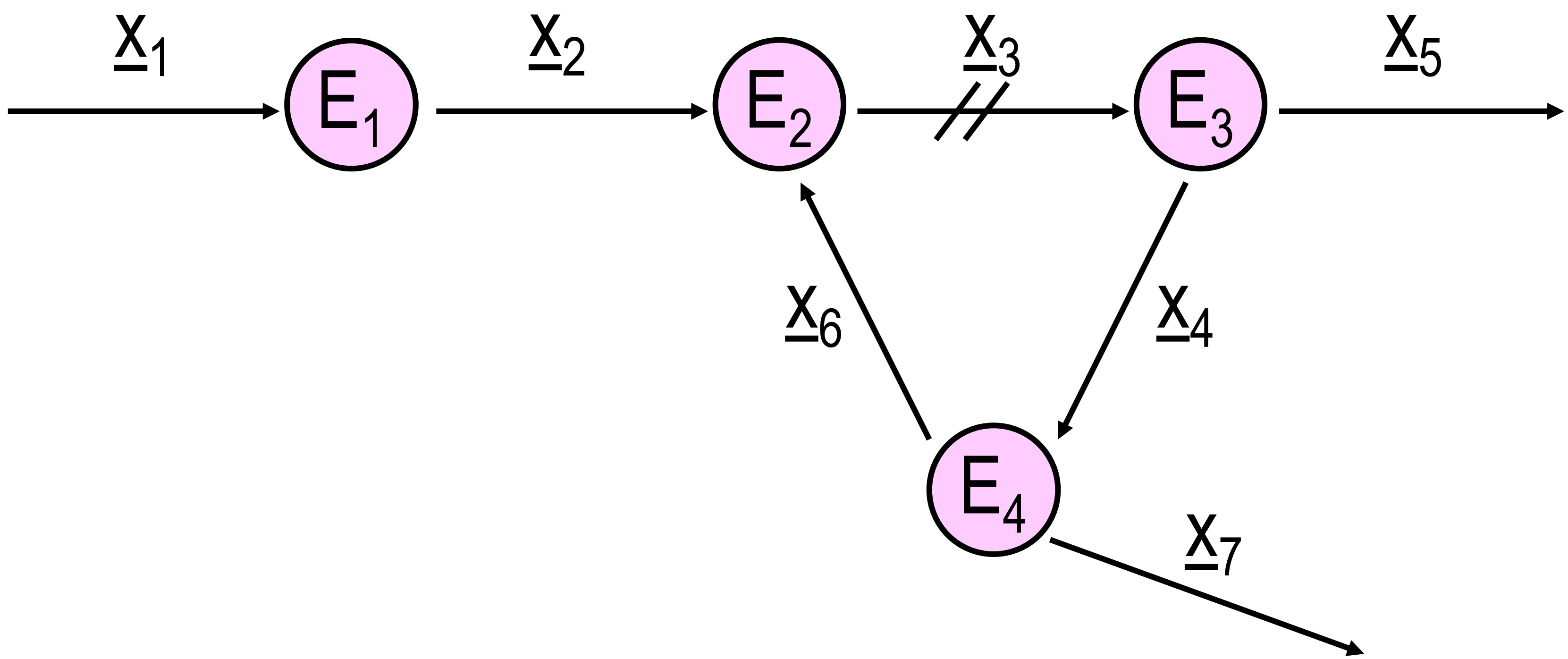

$E_i$ = equipos

$\underline{x}_i$ = variables de entrada o salida o *"corriente"*

DFI: Diagrama de flujo de información

# Algoritmos de PR&O

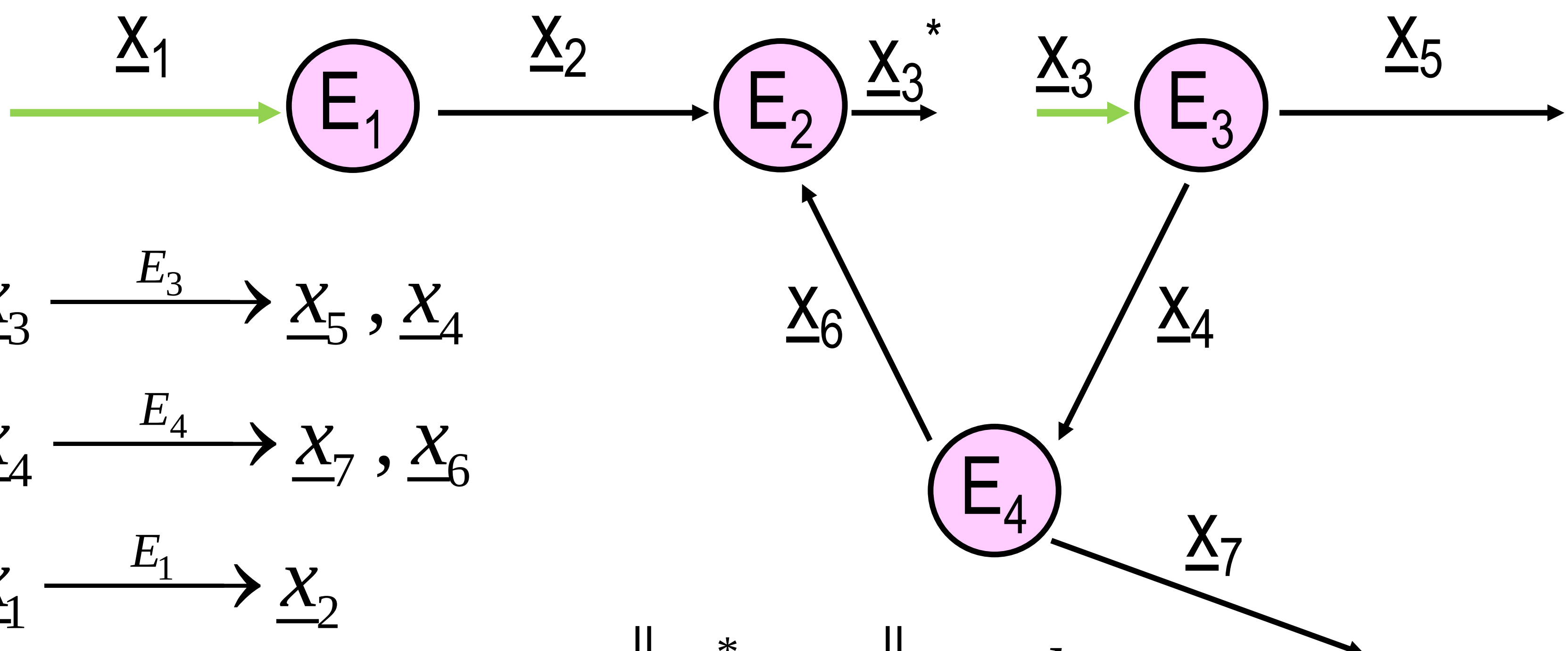
Para poder resolver el proceso completo (todas las variables de salida e intermedias), ya que las de entrada por definición se suponen especificadas ($x_1$ en este caso), se deberá recurrir a rasgar el grafo (corrientes iteradoras).



# Algoritmos de PR&O

Una posible secuencia de resolución sería:

- se conoce $x_1$.
- se supone conocido además el valor de la corriente $x_3$.




$$\underline{x}_3 \xrightarrow{E_3} \underline{x}_5\,,\,\underline{x}_4$$

$$\underline{x}_4 \xrightarrow{E_4} \underline{x}_7\,,\,\underline{x}_6$$

$$\underline{x}_1 \xrightarrow{E_1} \underline{x}_2$$

$$\underline{x}_6\,,\,\underline{x}_2 \xrightarrow{E_2} \underline{x}_3^{\,*}$$

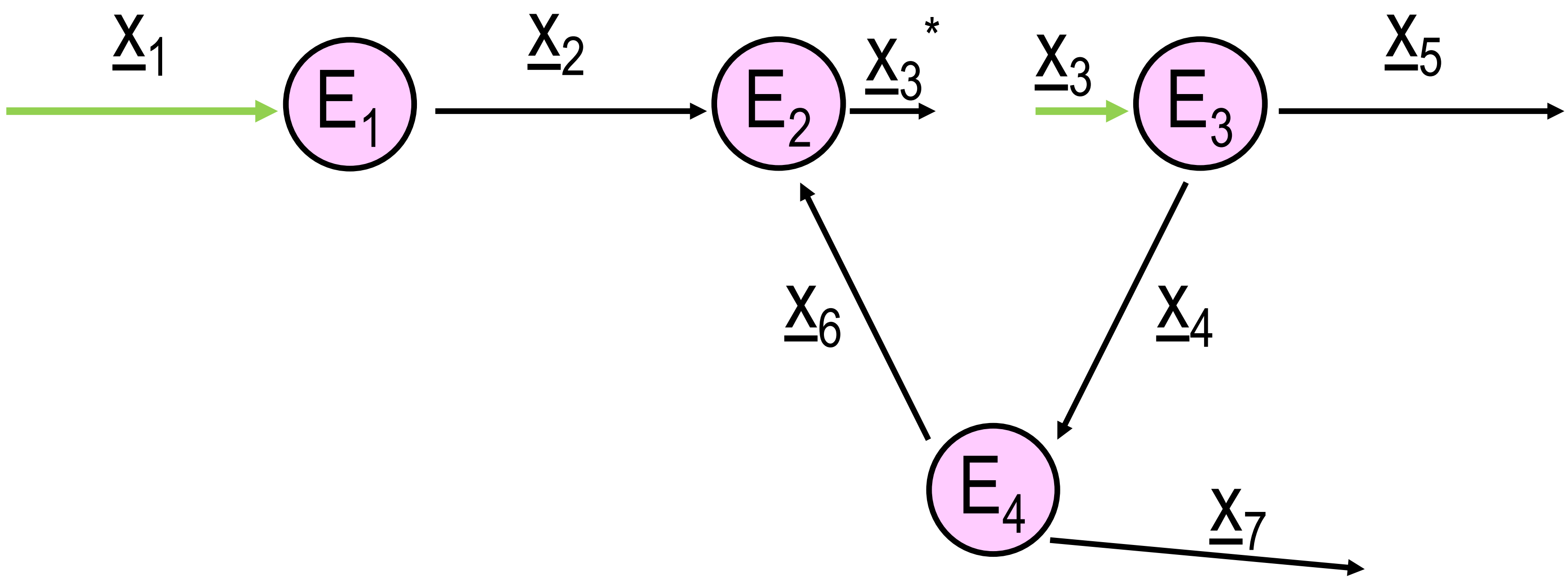
$$\left\| \underline{x}_3^{\,*} - x_3 \right\| \leq tol$$

# Algoritmos de PR&O

El orden de resolución se llama **orden de procedencia o de resolución** y las secuencias no necesariamente son únicas.

A las corrientes iteradoras se las llama también corrientes de corte (en este caso $x_3$).

Al proceso de identificar los ciclos se lo llama **particionado**.



# Algoritmos de PR&O

La estructura modular secuencial surge como consecuencia de una asignación que se orienta según los módulos de equipos o bien las relaciones físicas en el proceso, contrariamente al **flujo de información matemático** inherente a las relaciones entre las variables y funciones, según la estructura del sistema.

Estrategias:

- El problema global se resuelve simultáneamente y para ello se particiona en subsistemas con un criterio que da prioridad a la estructura (orientado a ecuaciones).
- Resolver los equipos o módulos según una secuencia guiada por las interacciones físicas, (aplicar un criterio modular secuencial).

# RASGADO DEL DIAGRAMA DE FLUJO O GRAFO

# Rasgado del diagrama de flujos o grafo

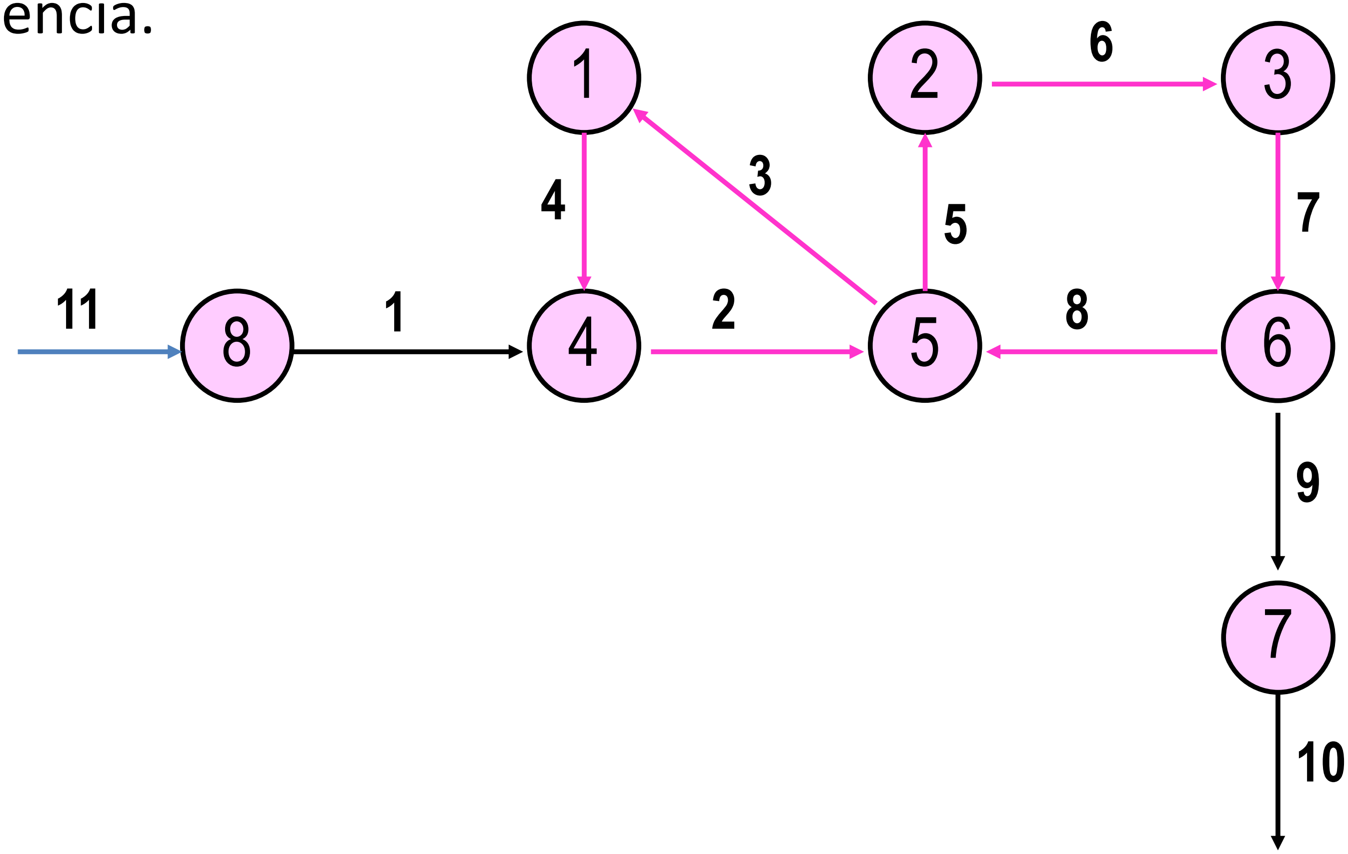
El resultado de aplicar los algoritmos de particionado es **detectar los ciclos**, de tal manera de transformar el grafo original en una secuencia lineal.

Esta secuencia puede tener subgrafos cíclicos que luego se deberan resolver como un subproblema (linealizar un grafo cíclico).

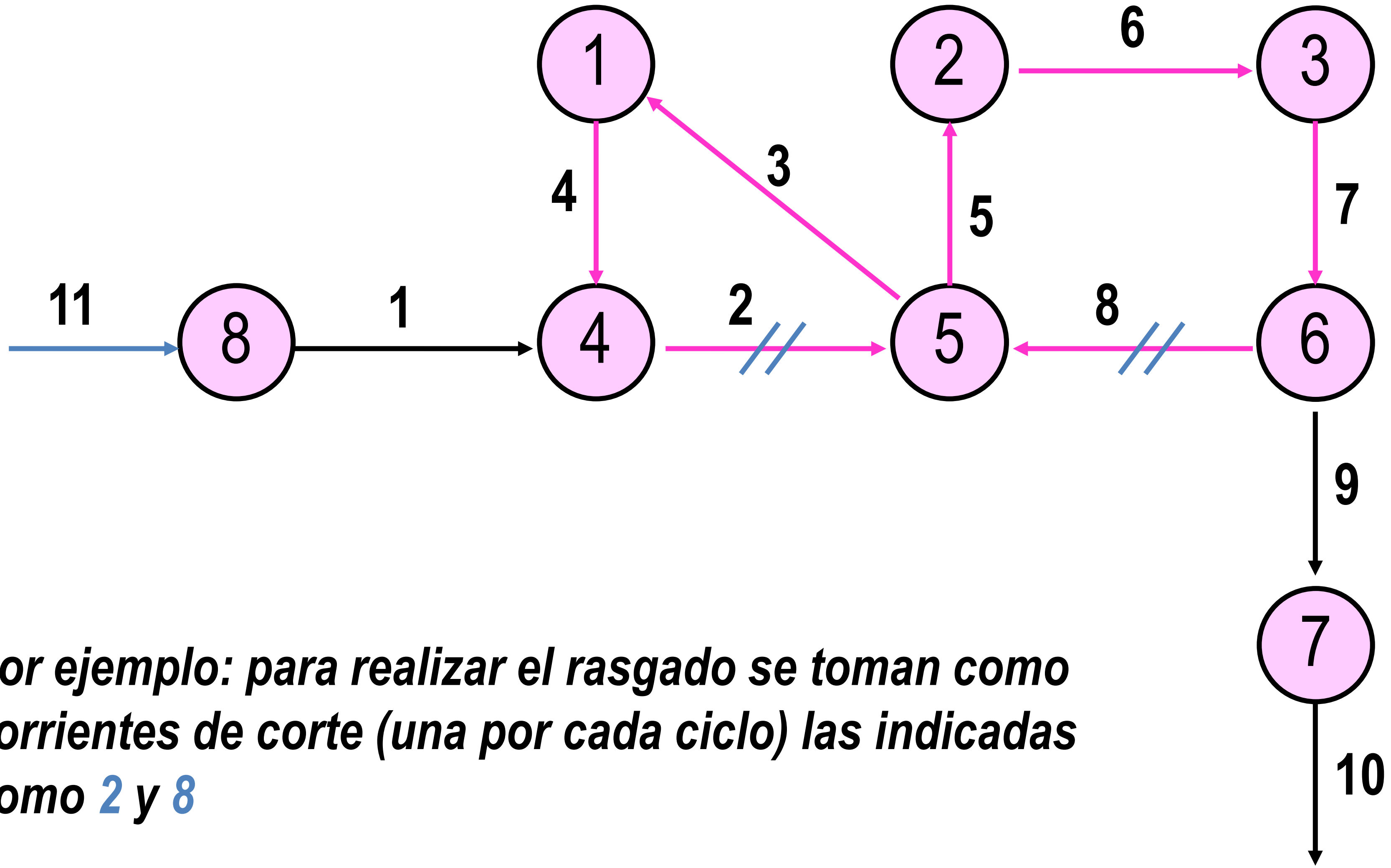
La técnica de rasgado consiste en detectar las **corrientes de corte** que permitan que cada subgrafo cíclico pueda ser resuelto, esto es, detectar las corrientes de corte que permitan que cada subgrafo cíclico pueda ser solucionado mediante una técnica iterativa.

# Rasgado del diagrama de flujos o grafo

Asignar una corriente de corte es similar a definir una nueva corriente de entrada a la planta, sólo que sus valores son supuestos y sirven para generar una secuencia que permita resolver todas las ecuaciones del sistema, tantas veces como sea necesario hasta lograr convergencia.

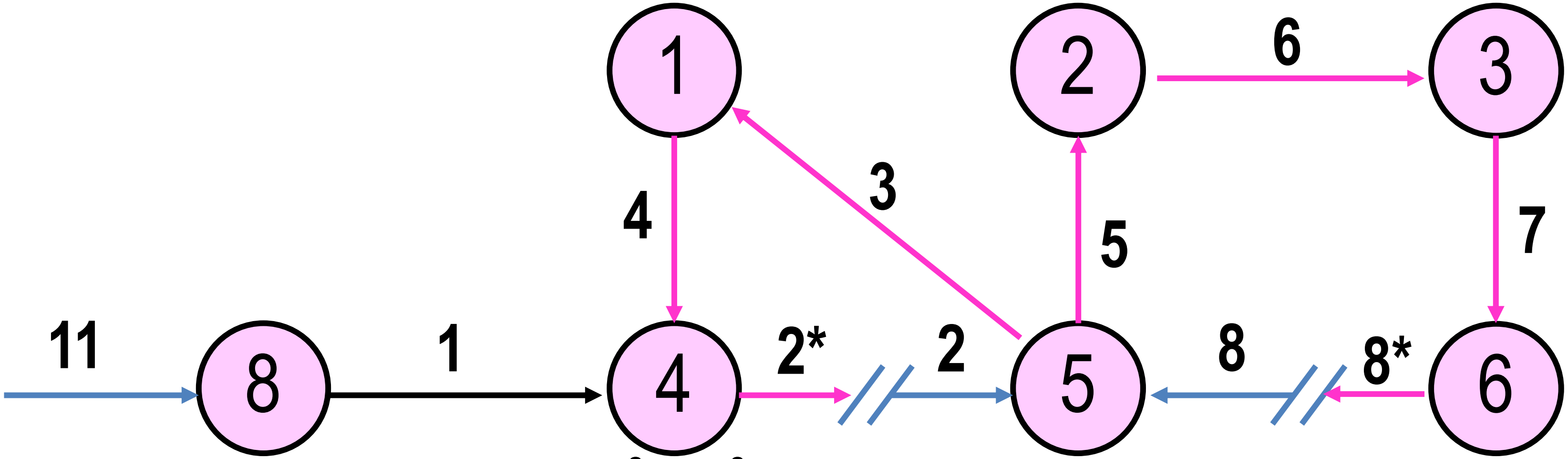


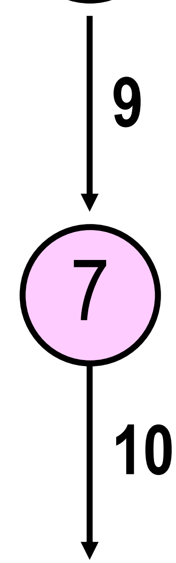
# Rasgado del diagrama de flujos o grafo




***Por ejemplo: para realizar el rasgado se toman como corrientes de corte (una por cada ciclo) las indicadas como 2 y 8***

# Rasgado del diagrama de flujos o grafo




A partir de los valores iniciales $\underline{x}_2^0$ y $\underline{x}_8^0$,se pueden calcular:

$\underline{x}_3^1$ y $\underline{x}_5^1$ del nodo 5 ya que se conoce $\underline{x}_2^0$ y $\underline{x}_8^0$

$\underline{x}_4^1$ del nodo 1, ya que se conoce $\underline{x}_3^1$

$\underline{x}_1^1$ del nodo 8, ya que la corriente 11, es de entrada.

$\underline{x}_6^1$ del nodo 2, ya que se dispone de $\underline{x}_5^1$.

$\underline{x}_7^1$ del nodo 3, ya que se dispone de $\underline{x}_6^1$.

$\underline{x}_9^1$ del nodo 6, ya que se conoce $\underline{x}_7^1$.

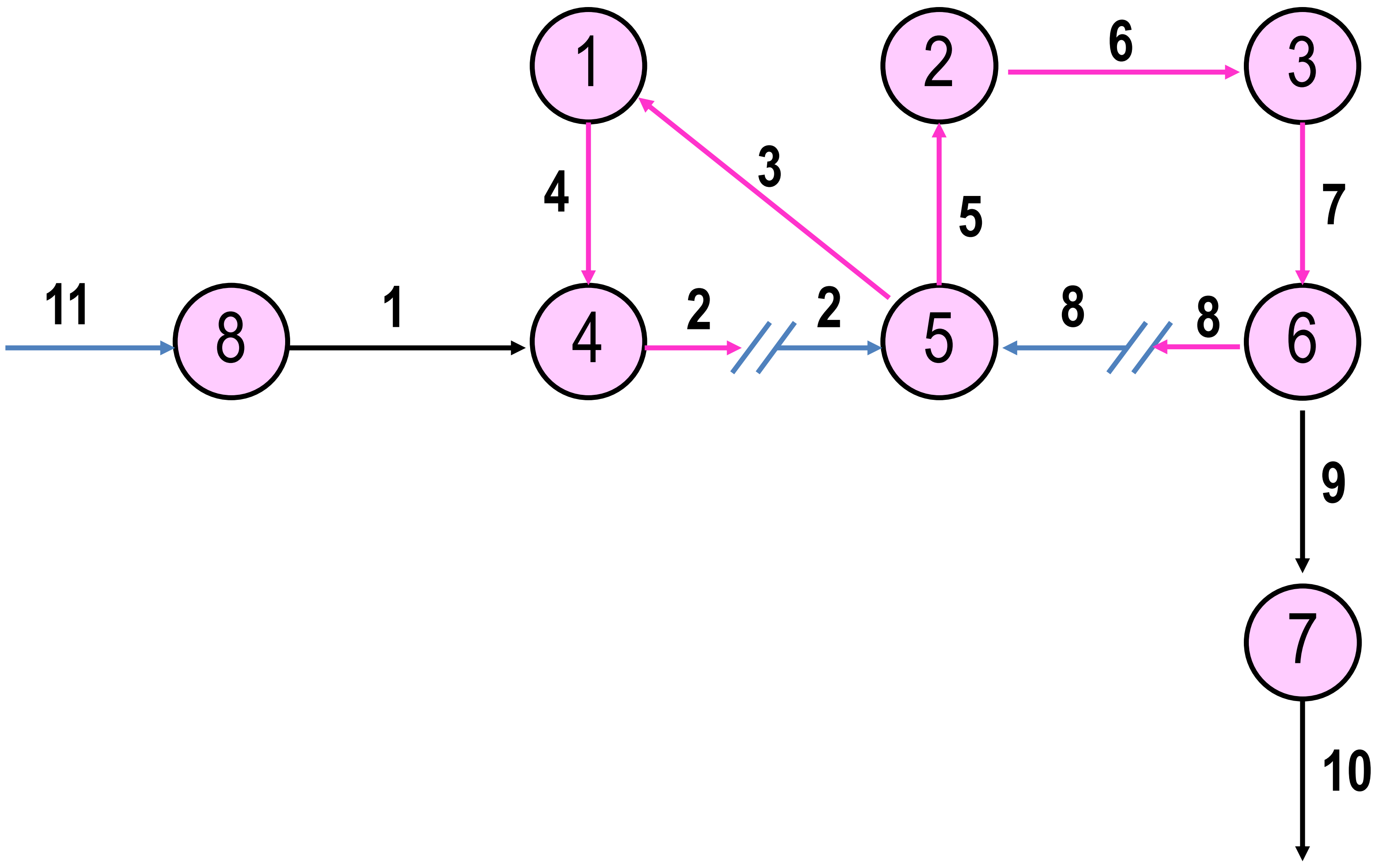
$\underline{x}_{10}^1$ del nodo 7, ya que se conoce $\underline{x}_9^1$.

Y recalcular…………

$\underline{x}_8^1$ del nodo 6, ya que se conoce $\underline{x}_7^1$

$\underline{x}_2^1$ del nodo 4, ya que se conoce $\underline{x}_4^1$ y $\underline{x}_4^1$

# Rasgado del diagrama de flujos o grafo



# Rasgado del diagrama de flujos o grafo

Si bien obtuvimos todos los valores asociados a las variables de todas las corrientes, éstos pertenecen a la primera iteración. Se debe verificar si los valores calculados $x_2^1$ y $x_8^1$ coinciden con los supuestos $x_2^0$ y $x_8^0$ dentro del margen de error especificado. Si lo hacen, finaliza el cálculo.

De lo contrario, y aplicando sustitución directa, se proponen nuevos valores, generando una secuencia tal que finaliza cuando se obtiene el criterio de error deseado.

Si bien es simple identificar las corrientes de corte en un grafo sencillo, no resulta equivalente con cientos de nodos y/o corrientes. Se necesita un método sistemático, implementable en computadora, que permita tal selección.

# Rasgado del diagrama de flujos o grafo

Dado que se trata de un particionado de ecuaciones, lo lógico resultaría pensar en un criterio que minimice el esfuerzo de cálculo. Pero no existen tales criterios o lineamientos sin conocer en detalle el problema a resolver.

El problema es que el algoritmo debe tratar casos generales, por lo que debiéramos obtener criterios universales.

Si se supone que todas la corrientes poseen la misma cantidad de variables, es lógico pensar que se deben buscar el mínimo número de corrientes de corte para linealizar el ciclo (debido a que ello implica el mínimo número de variables iteradoras).

# Rasgado del diagrama de flujos o grafo

Sin embargo, no está demostrado que un número mayor de corrientes de corte implique mayor esfuerzo de cómputo. No obstante, se puede asumir que así será en la mayoría de los casos.

El algoritmo debería permitir que el usuario le introduzca pesos penalizando ciertas corrientes y favoreciendo otras, de tal manera de recorrer las alternativas considerando tales criterios.

# ALGORITMO DE BARKELEY Y MOTARD

## (1972)

# Algoritmo de B&M

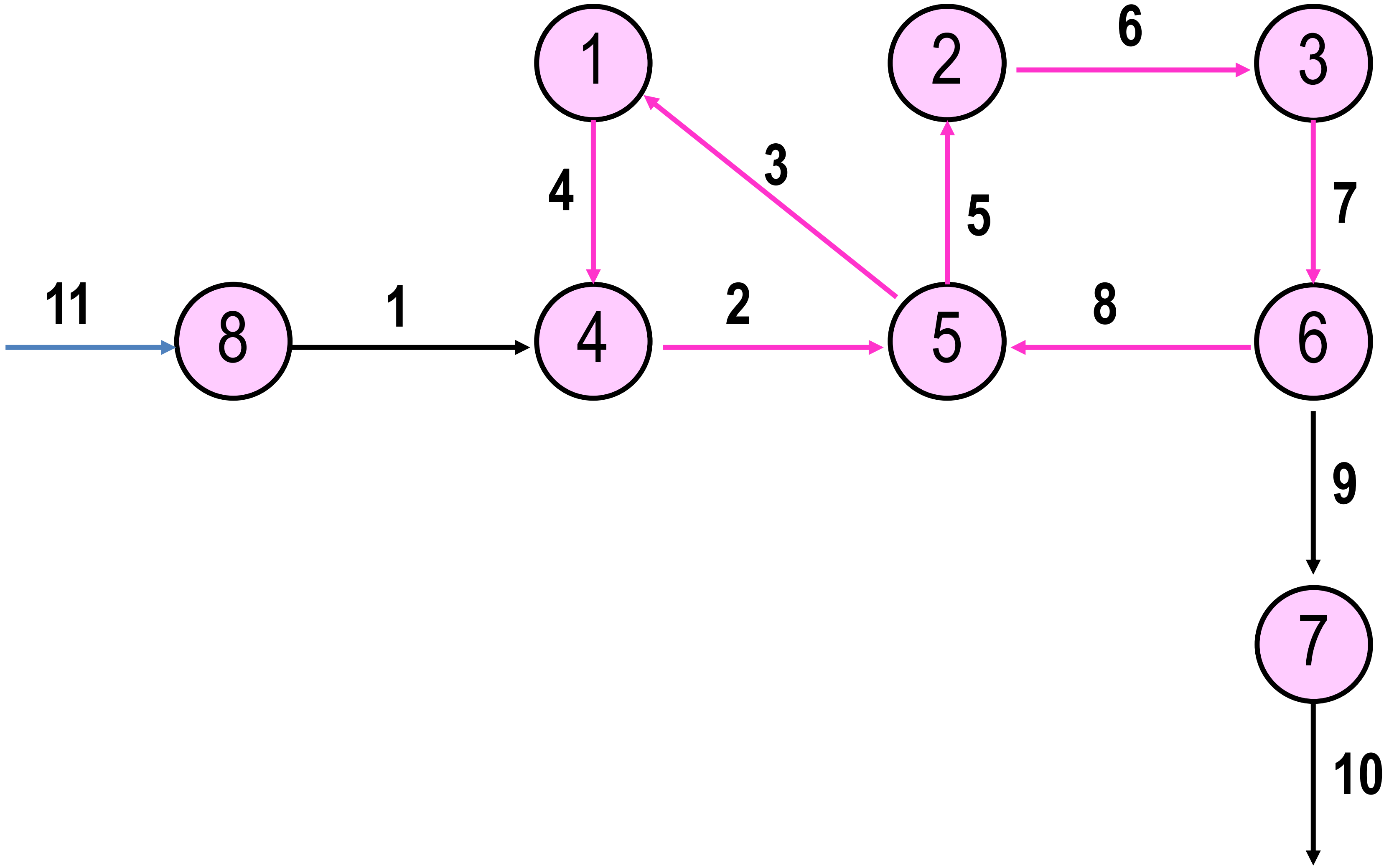
El algoritmo propuesto por Barkeley y Motard tiene como objetivo el rasgado de los subgrafos cíclicos para obtener un conjunto de corte con el menor número de corrientes iteradoras.

Este algoritmo se basa en el concepto de grafo de corrientes (S) o grafo dual al ya visto. Éste se logra intercambiando los roles, esto es, los nodos ahora son las corrientes y los arcos se obtienen a través del flujo de información en el DFI.

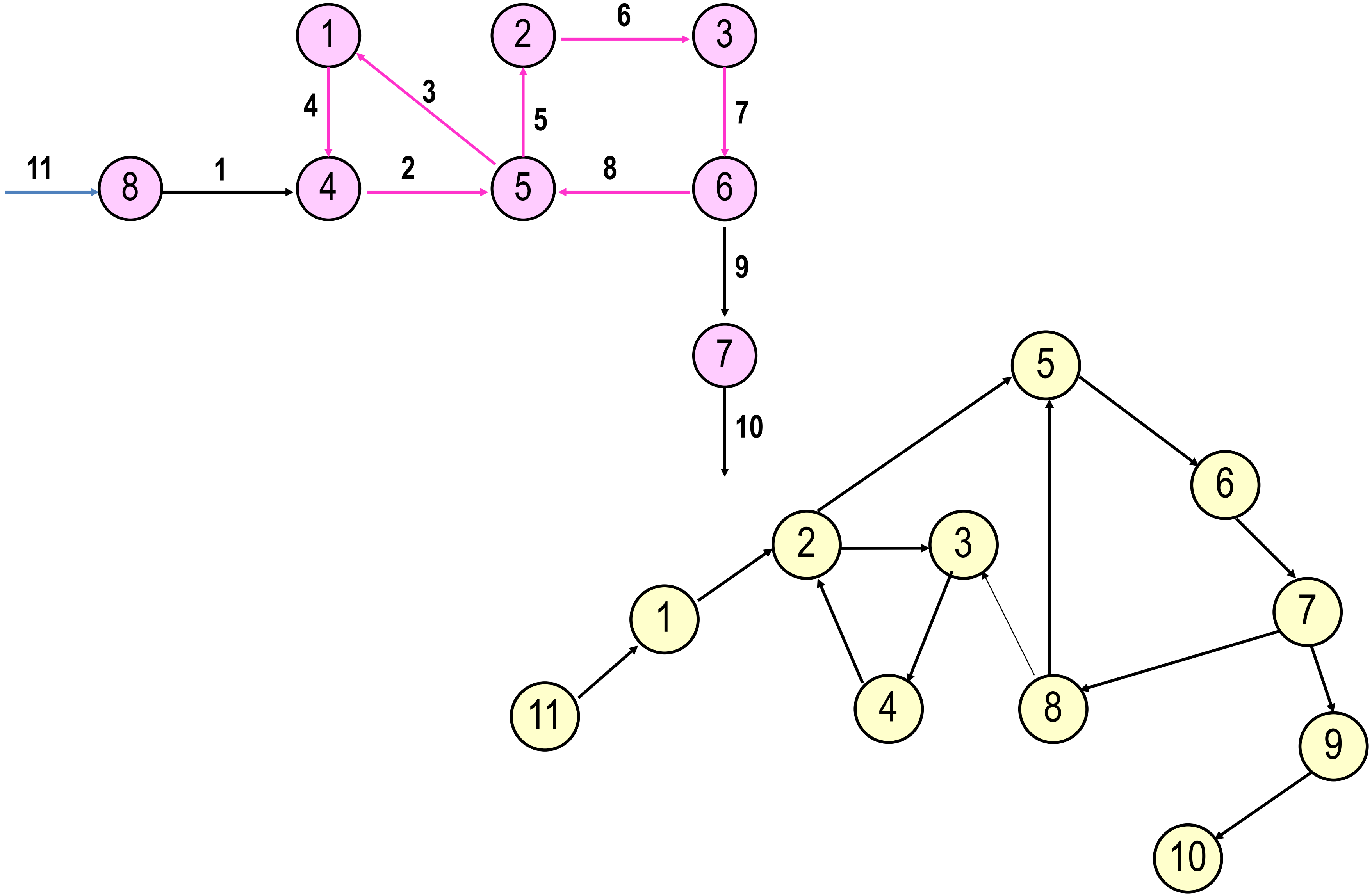
Para obtener el grafo S correspondiente a un diagrama de flujo de información:

1. Incorporar tantos nodos como corrientes existan.
2. Vincular éstos según el sentido de la información que circula entre las corrientes en el grafo original.

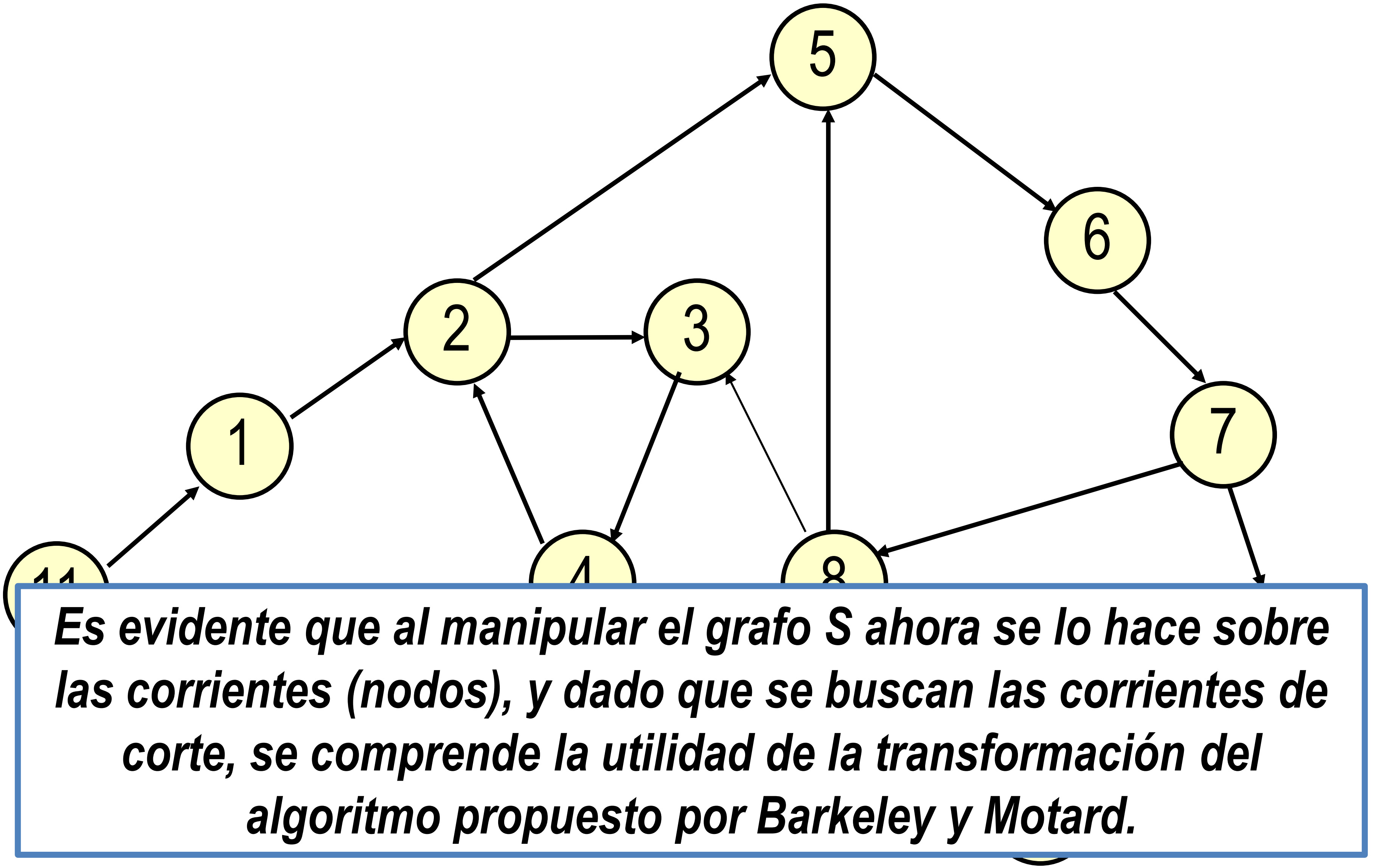
# Algoritmo de B&M



# Algoritmo de B&M - Grafo S



# Algoritmo de B&M - Grafo S



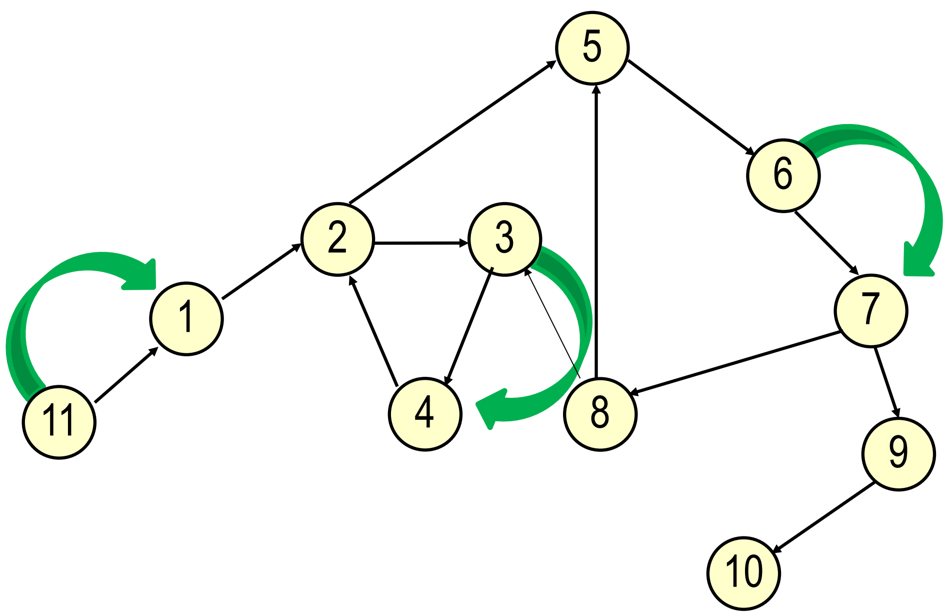

***Es evidente que al manipular el grafo S ahora se lo hace sobre las corrientes (nodos), y dado que se buscan las corrientes de corte, se comprende la utilidad de la transformación del algoritmo propuesto por Barkeley y Motard.***

# Algoritmo de B&M - Grafo S – Nodo dominado

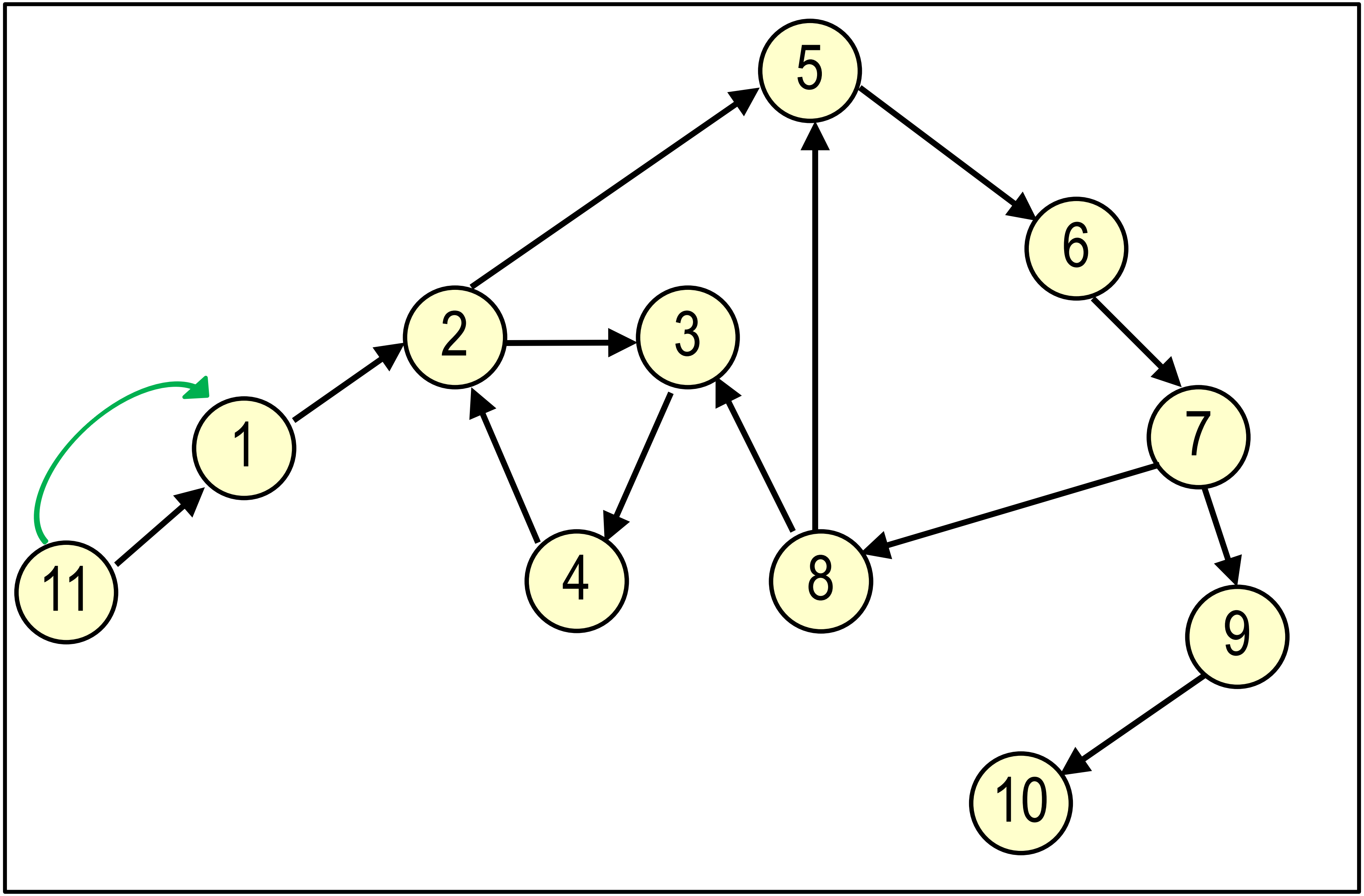
Se dice que un nodo cualquiera $n_i$ en S es dominado por otro $n_j$ si $n_j$ es el único antecesor inmediato de $n_i$.

Los autores proponen un proceso de reducción de S mediante el procedimiento de englobar (engullir o fundir) los nodos dominados por sus dominantes sin perder la información en el grafo S.

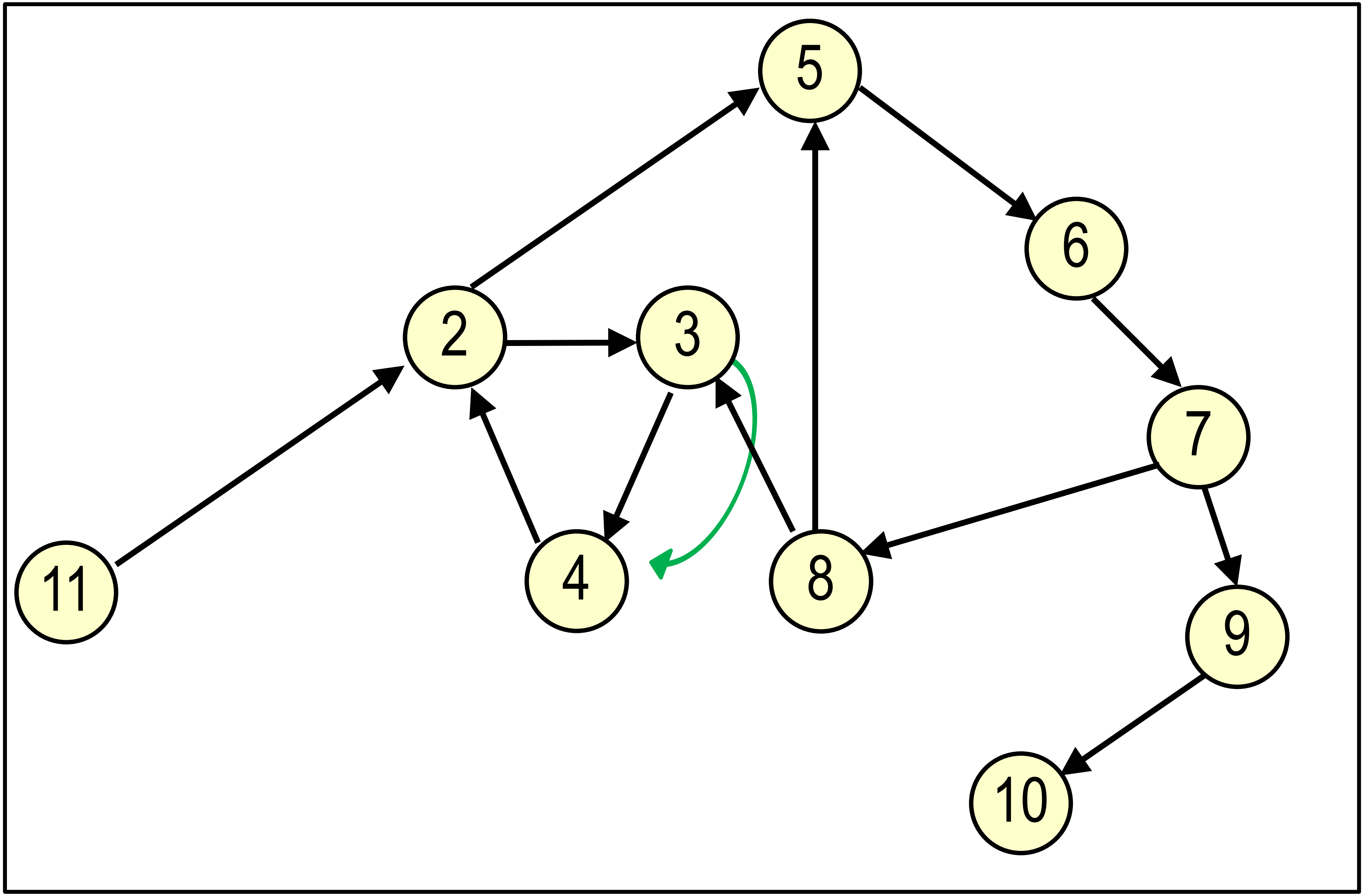
Por ejemplo, el nodo 1 es dominado por el 11, el 4 lo es por el 3 y el 7 por el 6.



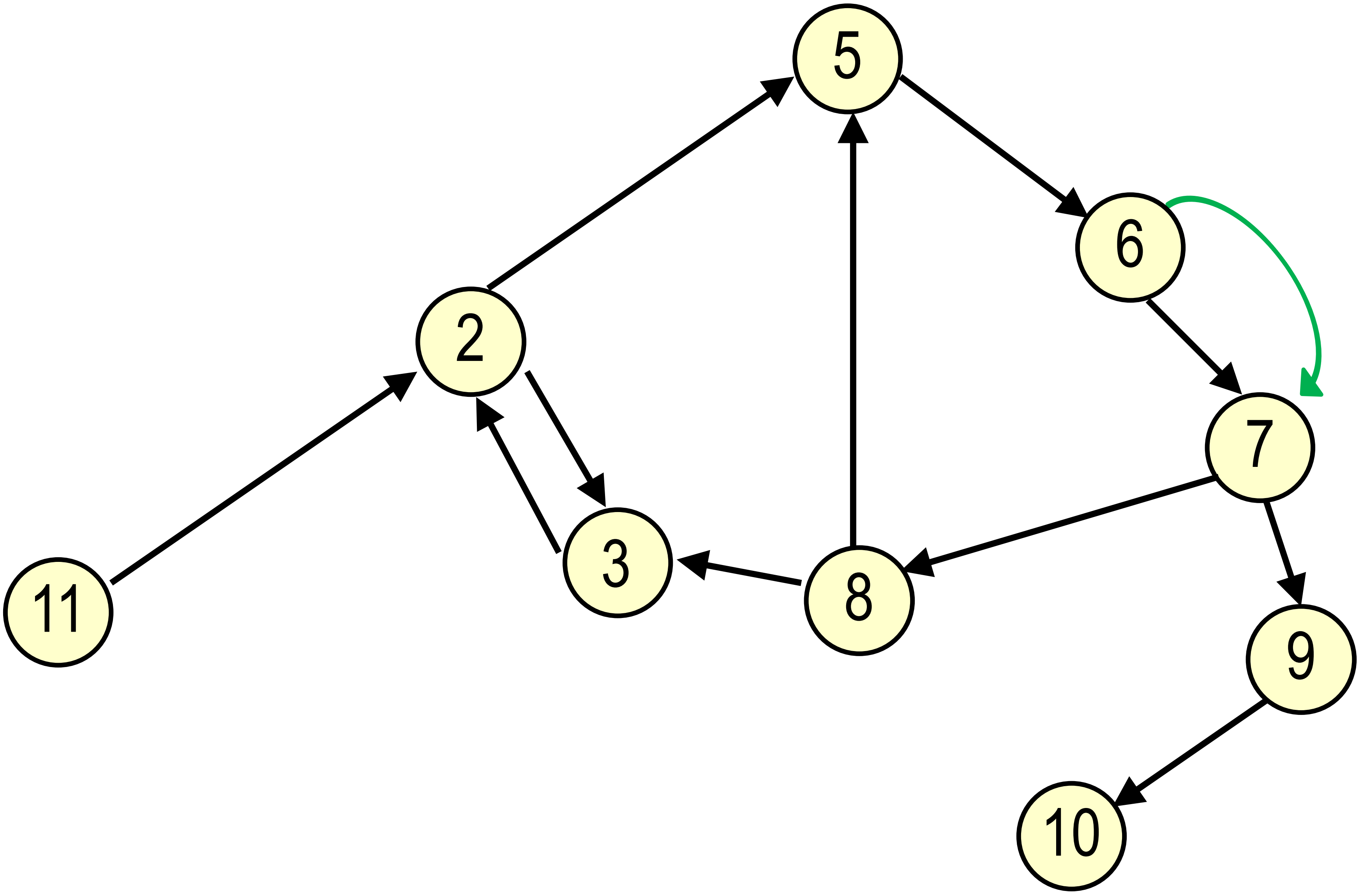
# Reducción del grafo S



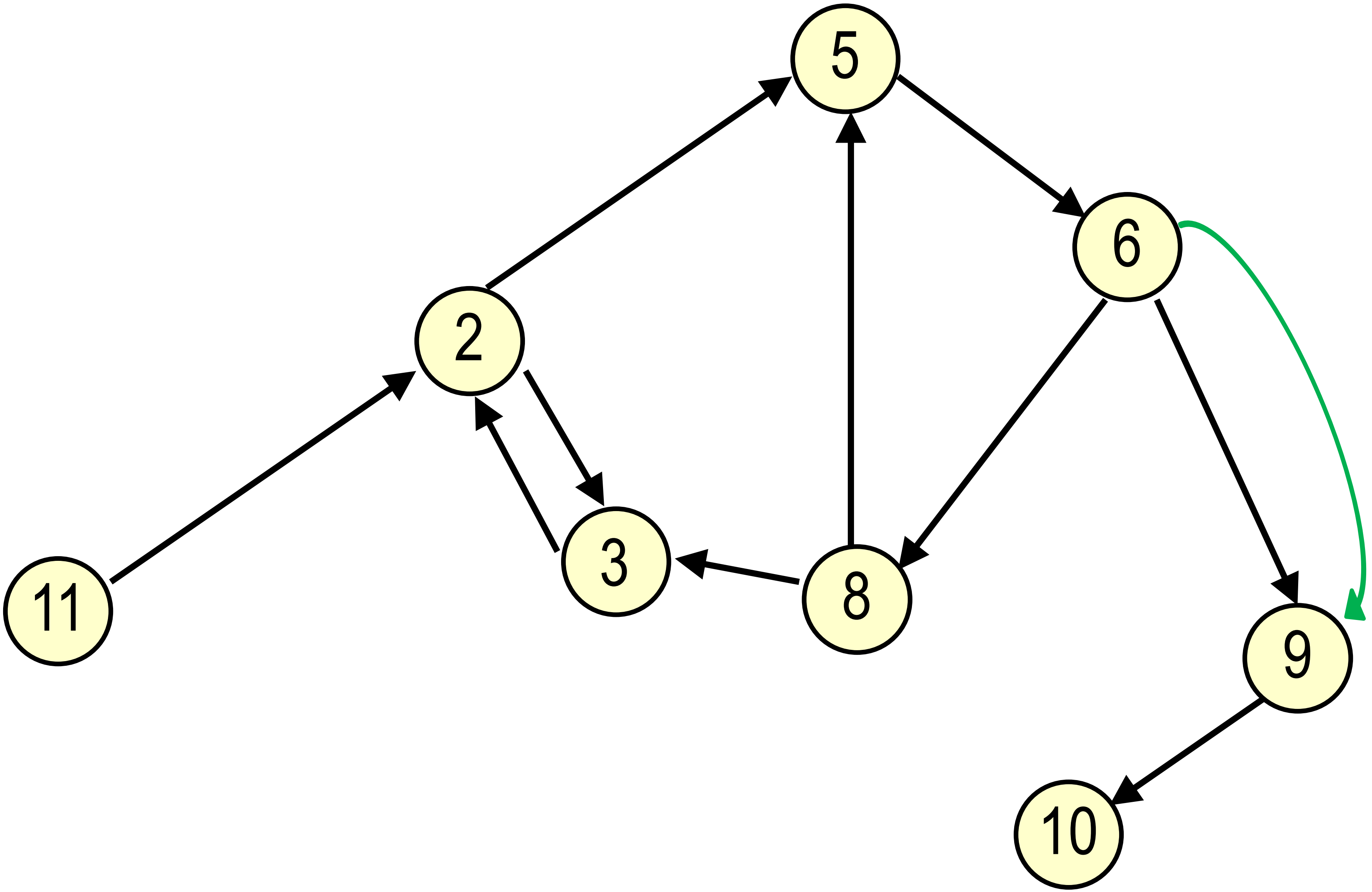
# Reducción del grafo S



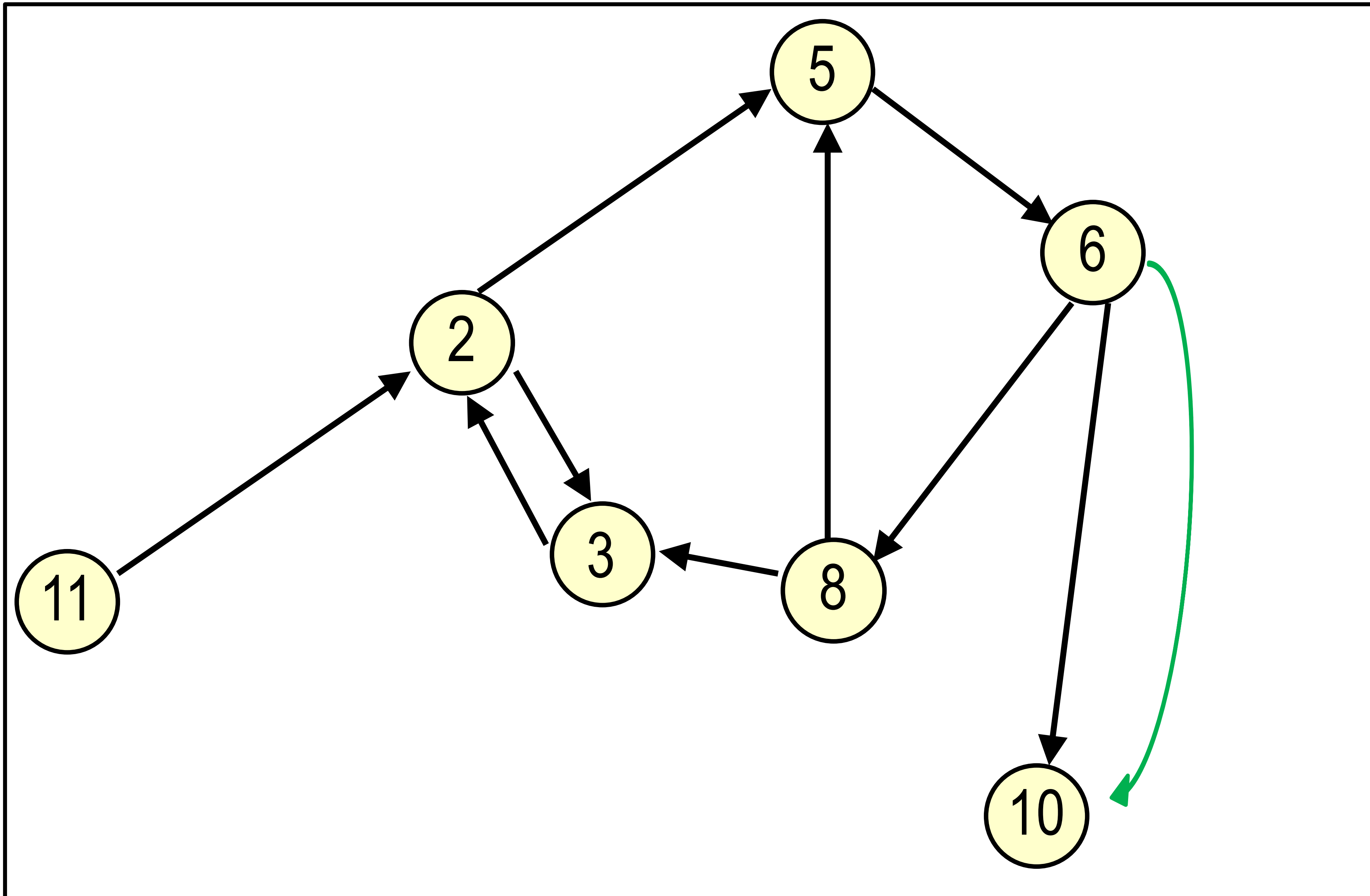
# Reducción del grafo S



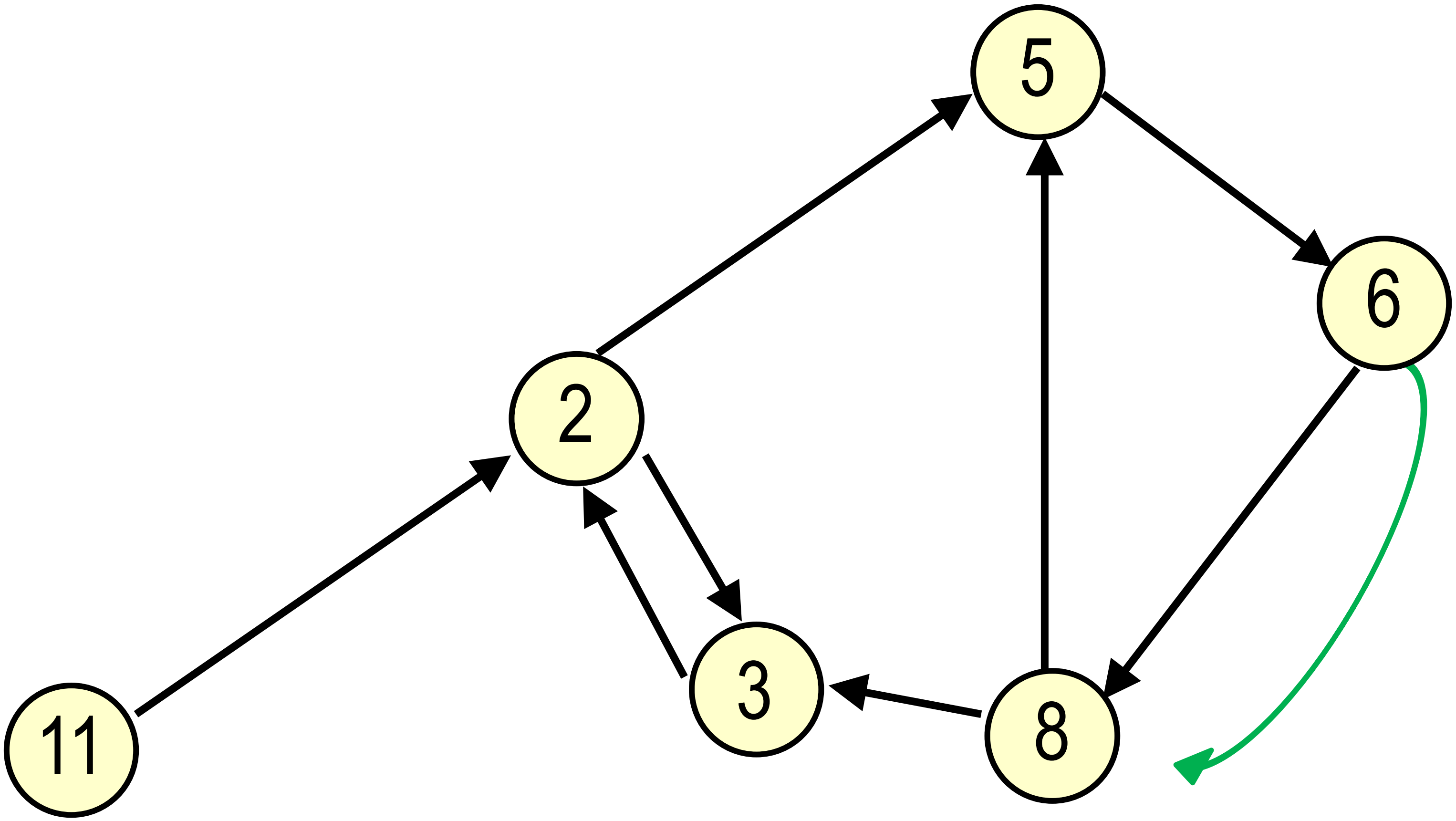
# Reducción del grafo S



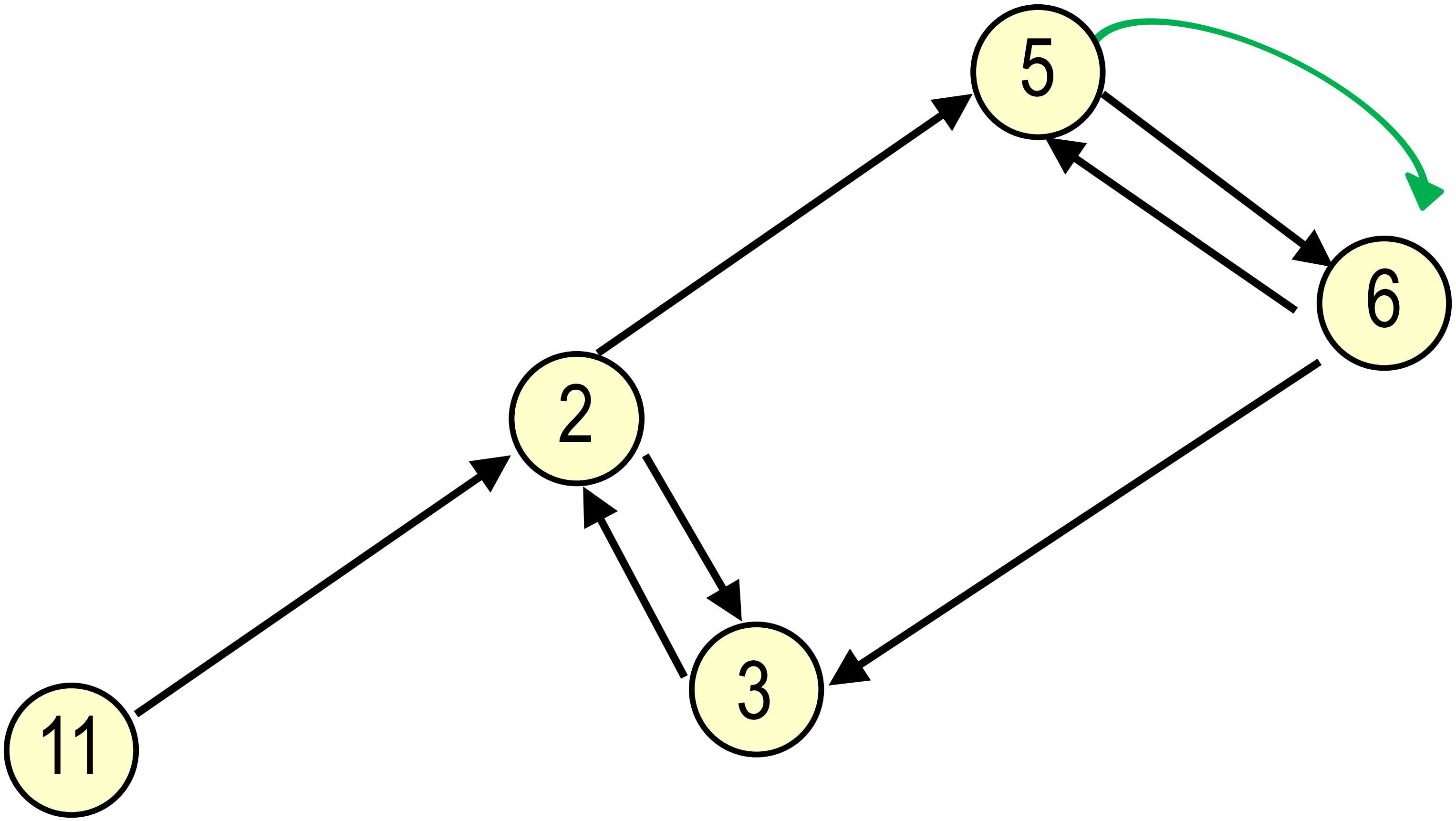
# Reducción del grafo S



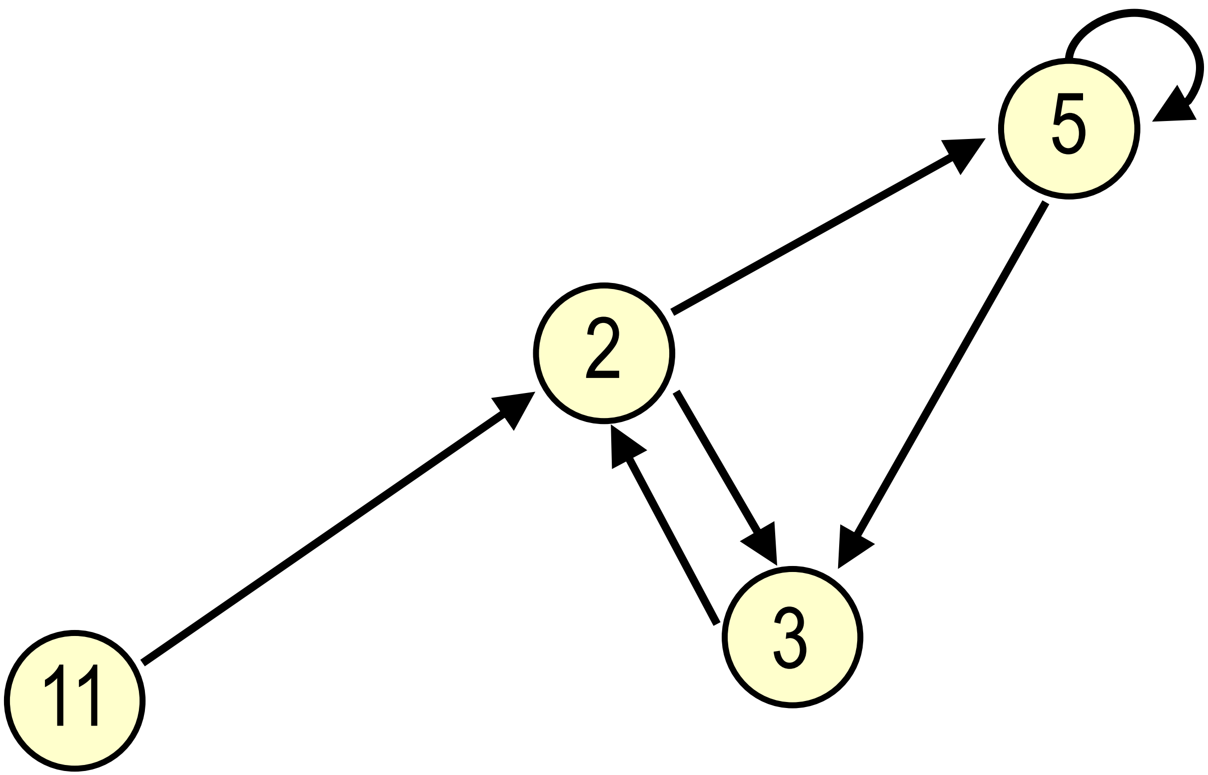
# Reducción del grafo S



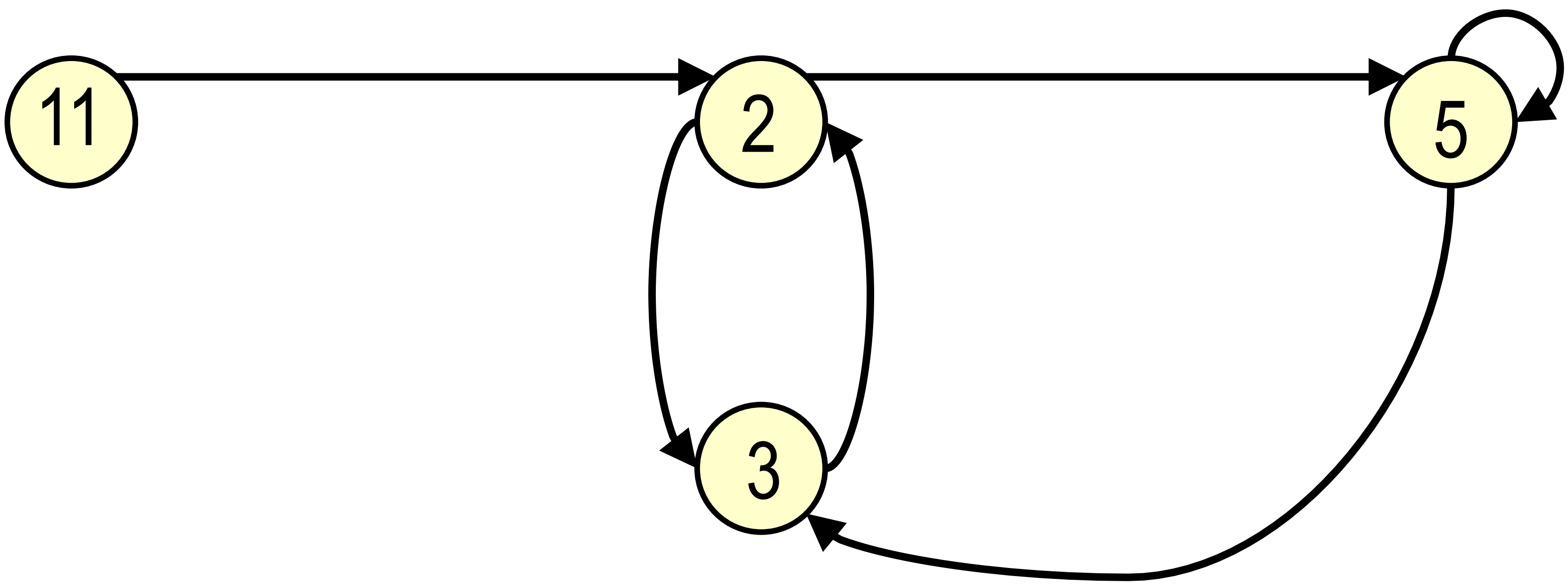
# Reducción del grafo S



# Reducción del grafo S



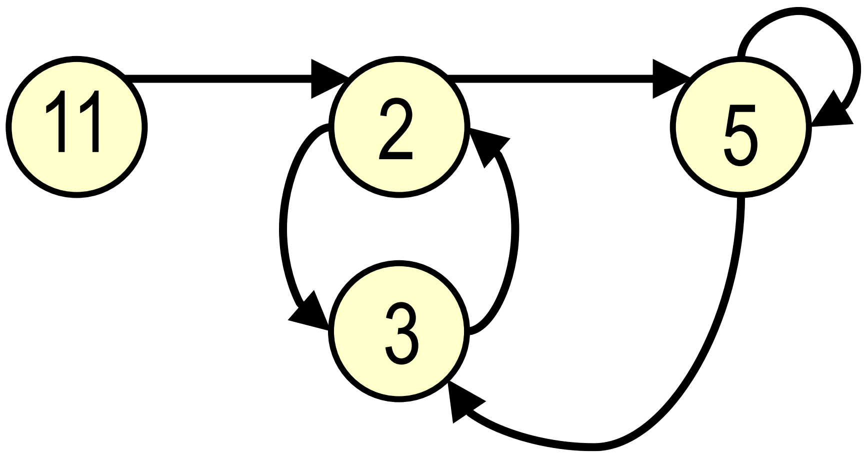
# Reducción del grafo S



# Reducción del grafo S

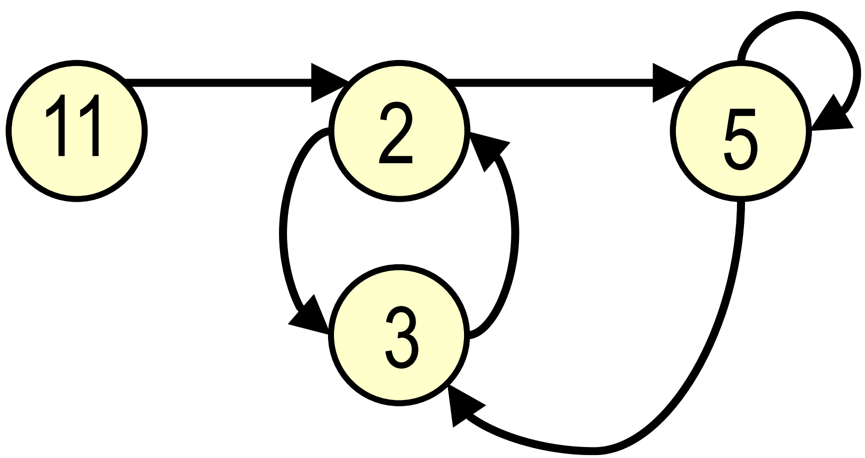
Se puede observar que no puede reducirse más el grafo S, ya que:

- El nodo 2 tiene más de un antecesor (11 y 3).
- El nodo 3 tiene más de un antecesor (2 y 5).
- El nodo 5 tiene más de un antecesor (2 y 5).



# Algoritmo de B&M

Aquí se introduce un nuevo concepto, el de autociclo, que es precisamente la particularidad que presenta el nodo 5 que están en ciclo con él mismo, al ser antecesor y sucesor de sí mismos simultáneamente.



# Algoritmo de B&M

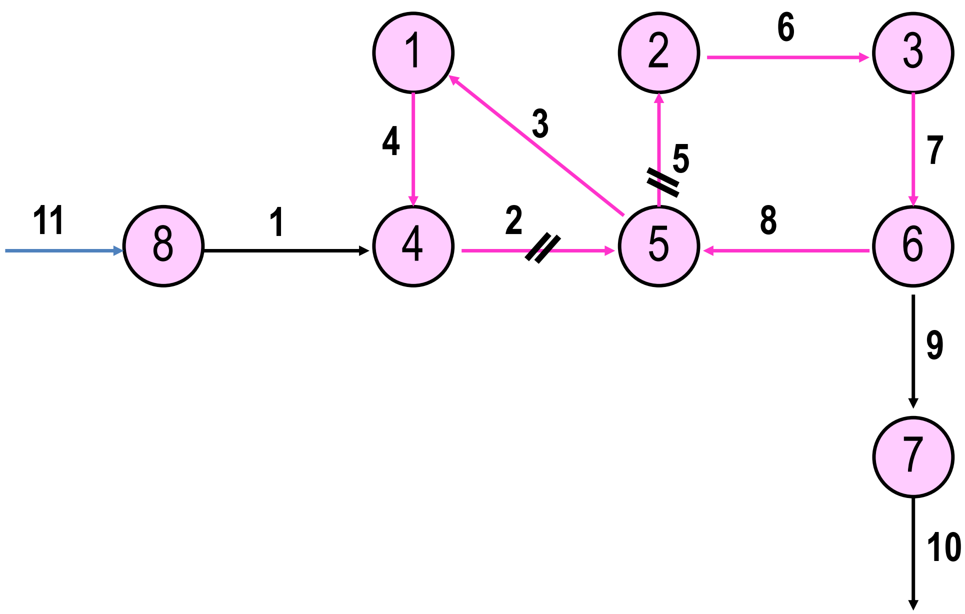
Este hecho está íntimamente relacionado con la definición de rasgado o corriente de corte, ya que por definición, cada corriente puede ser calculada sólo si se conocen las entradas al equipo (nodo) del cual sale.

Si una corriente forma un autociclo, esto implica que no puede calculársela en el DFI si no se conoce su valor previamente, o lo que es lo mismo, si no se procede al rasgado del ciclo al cual pertenece.

# Algoritmo de B&M

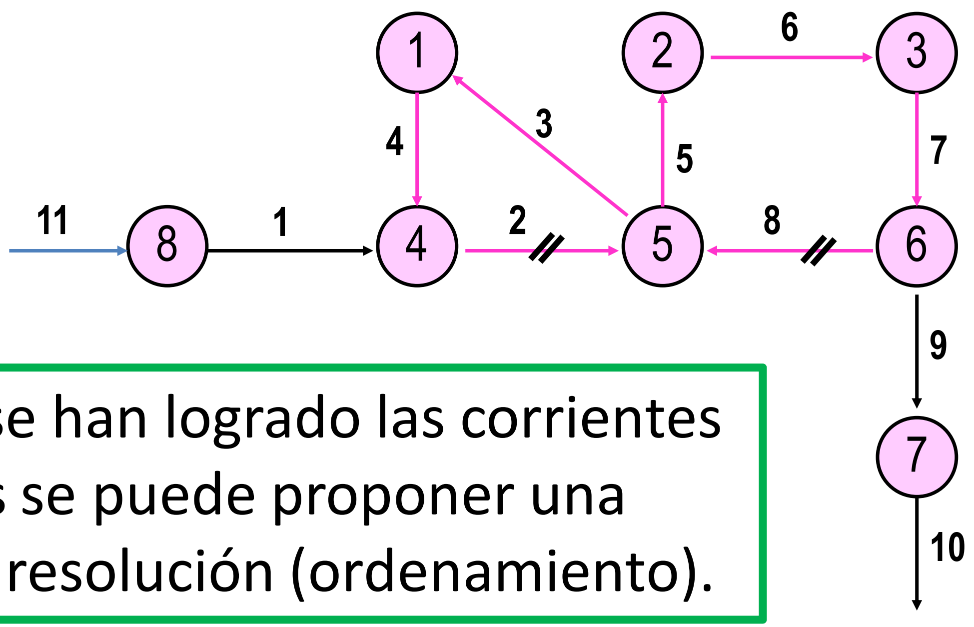
Para este ejemplo, las corriente 2 y 5 conforman un conjunto de corrientes de corte de tamaño mínimo.

Como se puede deducir en función del proceso de reducción, no necesariamente el conjunto (2,5) es el único resultado, ya que se podrían obtener otros.



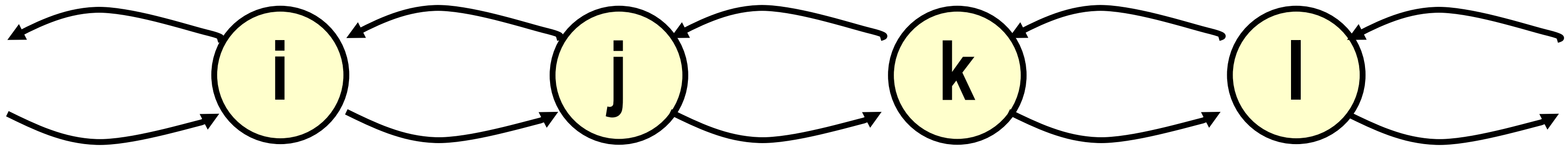
# Algoritmo de B&M

Previamente se había propuesto el conjunto (2,8), que a los efectos prácticos (asumiendo que todas las corrientes tienen la misma cantidad de variables, y no disponiendo de ninguna otra información del problema específico), resultará equivalente al conjunto (2,5).




Una vez que se han logrado las corrientes iteradoras se puede proponer una secuencia de resolución (ordenamiento).

# Situaciones especiales o particulares



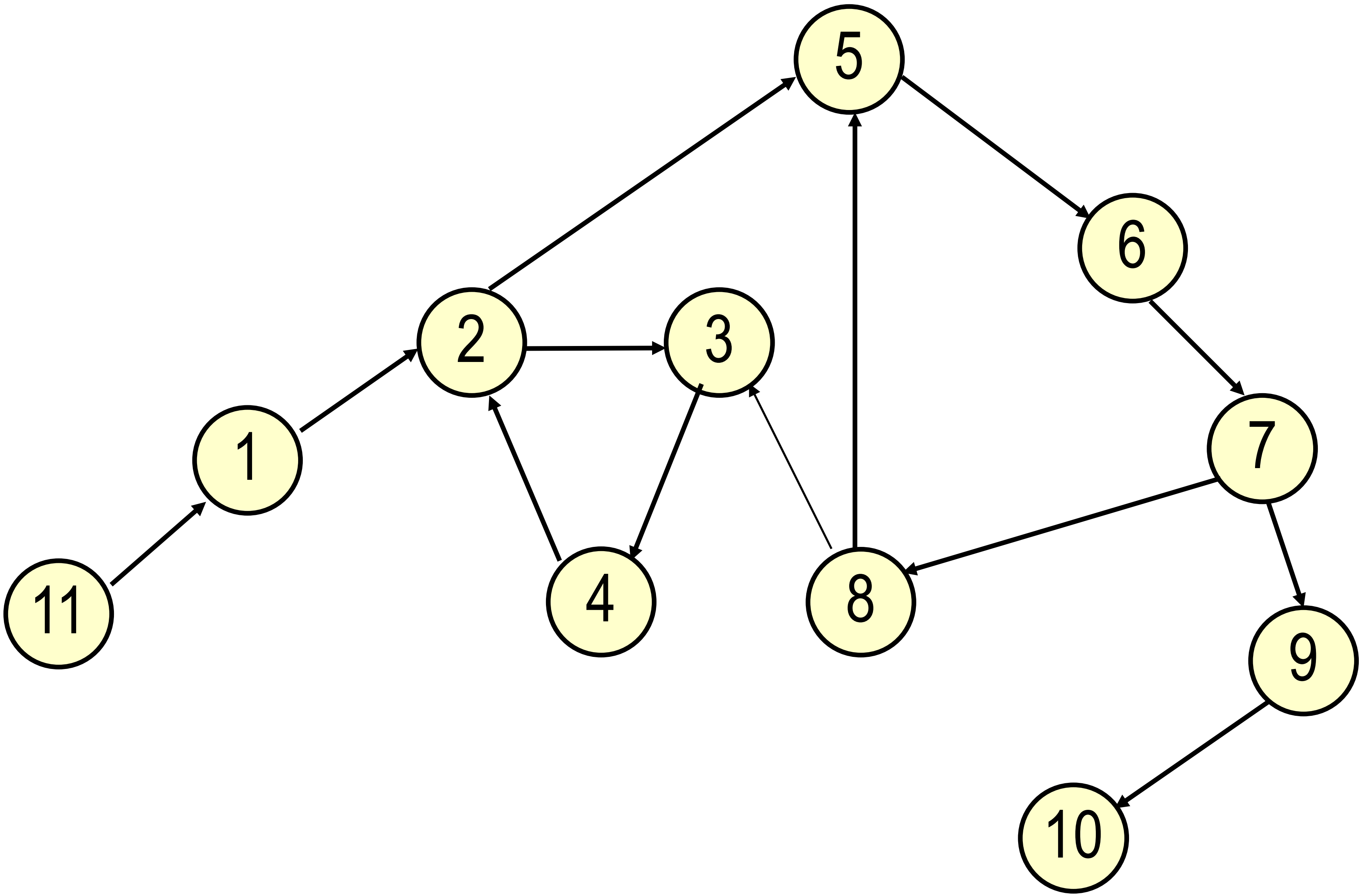

- Aquí, no existen nodos en los cuales se encuentre un único antecesor, por lo que no puede ser reducido.
- Se lo llama ciclo de dos corrientes y sólo se puede resolver (reducir) cortando una de las corrientes.
- Si se presenta una sucesión de varios ciclos, en general, es conveniente cortar corrientes intermedias que permitan rasgar más de un ciclo simultáneamente.

# Resumen

El algoritmo consiste en los siguientes pasos:

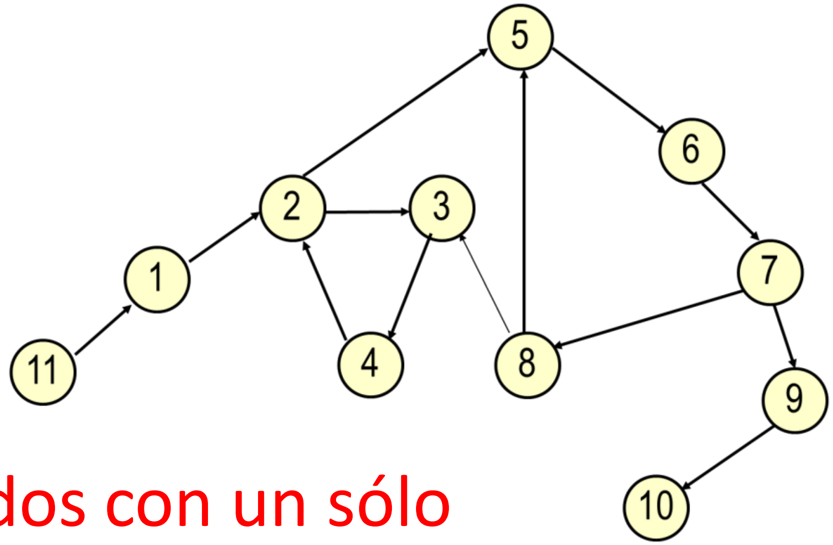
1. Reducción de los nodos del grafo hasta detectar autociclos o ciclos de dos corrientes.
2. Elección del conjunto de corrientes de corte, según el criterio expuesto.

# Algoritmo de procesamiento



# Algoritmo de procesamiento

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **1** | 11 |
| **2** | 1, 4 |
| **3** | 2, 8 |
| **4** | 3 |
| **5** | 2, 8 |
| **6** | 5 |
| **7** | 6 |
| **8** | 7 |
| **9** | 7 |
| **10** | 9 |




Nodos con un sólo antecesor inmediato

Se eliminan de la lista esos nodos y se los reemplaza por sus dominantes

# Algoritmo de procesamiento

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **1** | 11 |
| **2** | 1, 4 |
| **3** | 2, 8 |
| **4** | 3 |
| **5** | 2, 8 |
| **6** | 5 |
| **7** | 6 |
| **8** | 7 |
| **9** | 7 |
| **10** | 9 |

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **2** | 11, 3 |
| **3** | 2, 5 |
| **5** | 2, 5 |

# Algoritmo de procesamiento

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **2** | 11, 3 |
| **3** | 2, 5 |
| **5** | 2, 5 |

¿existen en la lista de nodos un autociclo?

En la tabla figuran a la izquierda y derecha en la misma fila

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **2** | 11, 3 |
| **3** | 2 |

Se selecciona el nodo como corriente de corte y luego se lo elimina de la tabla. (nodo 5)

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **2** | 11, 2 |

¡Es una entrada!

# Algoritmo de procesamiento

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **2** | 2 |

¿existen en la lista de nodos un autociclo?

Se selecciona el nodo como corriente de corte y luego se lo elimina de la tabla. (nodo 2)

Al eliminar 2 (autociclo), queda la lista vacía

Dos corrientes de corte: 2 y 5

Algoritmo de procesamiento

# ETAPA DE ORDENAMIENTO

# Algoritmo de procesamiento

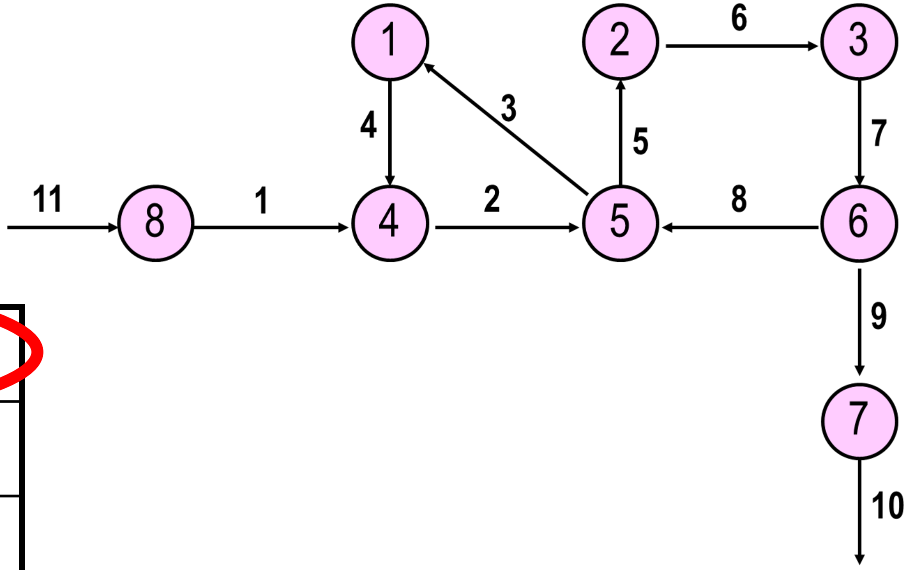
Una vez que se han obtenidos los ciclos y se han rasgado, debe ordenarse el conjunto de nodos en la forma en que serán resueltos.

En general, con la información que proveen los algoritmos ya vistos (los subgrafos cíclicos y las corrientes de corte que los linealizan), es posible por inspección en las listas disponibles (pasos intermedios en cada algoritmo) ordenar los nodos según la secuencia de resolución que imponen las corrientes iteradoras seleccionadas.

# Matriz de adyacencia

**NODOS**

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | | | | 1 | | | | |
| **2** | | | 1 | | | | | |
| **3** | | | | | | 1 | | |
| **4** | | | | | 1 | | | |
| **5** | 1 | 1 | | | | | | |
| **6** | | | | | 1 | | 1 | |
| **7** | | | | | | | | |
| **8** | | | | 1 | | | | |




$a_{ij}$=1: existe un arco que va desde el nodo i al j.

$a_{ij}$=0: caso contrario

# Algoritmo de particionado de Keham y Shacham

# Algoritmo de K&S

Introduce la matriz de índices “I”.

Esta se define como una matriz de m filas (siendo m el número de elementos no nulos de “A”) y dos columnas.

Para una fila dada:

- Contiene todos los nodos que dispongan de sucesor inmediato
- La columna de la derecha contiene dicho sucesor inmediato.

Keham y Shacham propusieron un algoritmo basado en la matriz de índices que logra ubicar los ciclos

# Algoritmo de K&S - Matriz I

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | | | | 1 | | | | |
| **2** | | | 1 | | | | | |
| **3** | | | | | | 1 | | |
| **4** | | | | | 1 | | | |
| **5** | 1 | 1 | | | | | | |
| **6** | | | | | 1 | | 1 | |
| **7** | | | | | | | | |
| **8** | | | | 1 | | | | |

$$\underline{\underline{I}} =$$

| | |
|---|---|
| 1 | 4 |
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 4 | 5 |
| 5 | 1 |
| 5 | 2 |
| 6 | 5 |
| 6 | 7 |
| 8 | 4 |

# Algoritmo de K&S - Matriz $I_r$

$$\underline{\underline{I}} = \begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 4 \\ \hline 2 & 3 \\ \hline 3 & 6 \\ \hline 4 & 5 \\ \hline 5 & 1 \\ \hline 5 & 2 \\ \hline 6 & 5 \\ \hline 6 & 7 \\ \hline 8 & 4 \\ \hline \end{array}$$

Una segunda reducción se logra eliminando los nodos:

**de entrada**: aquellos que no tienen antecesores inmediatos (en la matriz figuran en la columna de la izquierda y no en la columna de la derecha).

**de salida**: aquellos que no tienen sucesores y figuran en la columna de la derecha pero no en la izquierda.

Este paso permite la eliminación de información irrelevante y la creación de la matriz reducida "Ir"

# Algoritmo de K&S - Matriz $I_r$

$$\underline{\underline{I}} = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 2 & 3 \\ 3 & 6 \\ 4 & 5 \\ 5 & 1 \\ 5 & 2 \\ 6 & 5 \\ 6 & 7 \\ 8 & 4 \end{bmatrix}$$

$$\underline{\underline{I_r}} = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 2 & 3 \\ 3 & 6 \\ 4 & 5 \\ 5 & 1 \\ 5 & 2 \\ 6 & 5 \end{bmatrix}$$

# Algoritmo de K&S – Potencias de $I_r$

A continuación se computan las sucesivas potencias de $I_r$ (por ejemplo, $I_r^2$) , de la siguiente manera:

- Se toma cada elemento de la columna izquierda de la matriz anterior ($I_r$) y se lo escribe nuevamente en la columna izquierda de la matriz potencia.
- En la columna de la derecha de la matriz potencia se ubica el nodo sucesor inmediato del que se encontraba en la columna derecha en la matriz $I_r$.

# Algoritmo de K&S – Potencias de $I_r$

$\underline{\underline{I_r}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 4 |
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 4 | 5 |
| 5 | 1 |
| 5 | 2 |
| 6 | 5 |

$\underline{\underline{I_r^2}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 5 |
| 2 | 6 |
| 3 | 5 |
| 4 | 1 |
| 4 | 2 |
| 5 | 4 |
| 5 | 3 |
| 6 | 1 |
| 6 | 2 |

# Algoritmo de K&S – Potencias de $I_r$

$\underline{\underline{I_r}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 4 |
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 4 | 5 |
| 5 | 1 |
| 5 | 2 |
| 6 | 5 |

$\underline{\underline{I_r^2}} =$

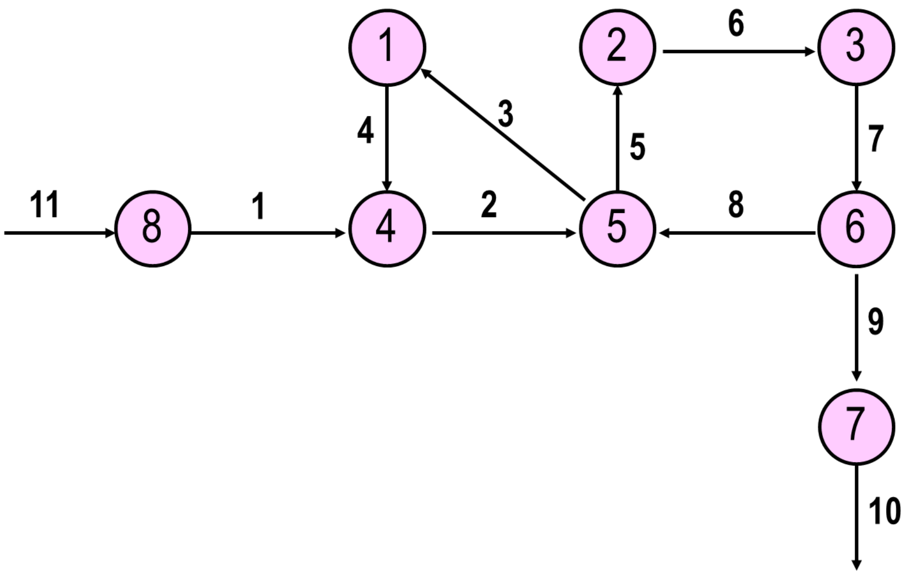
| | |
|---|---|
| 1 | 5 |
| 2 | 6 |
| 3 | 5 |
| 4 | 1 |
| 4 | 2 |
| 5 | 4 |
| 5 | 3 |
| 6 | 1 |
| 6 | 2 |

# Algoritmo de K&S – Potencias de $I_r$

$\underline{\underline{I_r^2}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 5 |
| 2 | 6 |
| 3 | 5 |
| 4 | 1 |
| 4 | 2 |
| 5 | 4 |
| 5 | 3 |
| 6 | 1 |
| 6 | 2 |

$\underline{I}_r^2$ contienen la información de todos los caminos de longitud dos que se encuentran en el grafo (por ejemplo, 1 → 4 → 5).



# Algoritmo de K&S – Potencias de $I_r$

$\underline{\underline{I_r^2}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 5 |
| 2 | 6 |
| 3 | 5 |
| 4 | 1 |
| 4 | 2 |
| 5 | 4 |
| 5 | 3 |
| 6 | 1 |
| 6 | 2 |

$\underline{\underline{I_r}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 4 |
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 4 | 5 |
| 5 | 1 |
| 5 | 2 |
| 6 | 5 |

$\underline{\underline{I_r^3}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 1 |
| 1 | 2 |
| 2 | 5 |
| 3 | 1 |
| 3 | 2 |
| 4 | 4 |
| 4 | 3 |
| 5 | 5 |
| 5 | 6 |
| 6 | 4 |
| 6 | 3 |

# Algoritmo de K&S – Potencias de $I_r$

$\underline{\underline{I_r^2}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 5 |
| 2 | 6 |
| 3 | 5 |
| 4 | 1 |
| 4 | 2 |
| 5 | 4 |
| 5 | 3 |
| 6 | 1 |
| 6 | 2 |

$\underline{\underline{I_r}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 4 |
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 4 | 5 |
| 5 | 1 |
| 5 | 2 |
| 6 | 5 |

$\underline{\underline{I_r^3}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 1 |
| 1 | 2 |
| 2 | 5 |
| 3 | 1 |
| 3 | 2 |
| 4 | 4 |
| 4 | 3 |
| 5 | 5 |
| 5 | 6 |
| 6 | 4 |
| 6 | 3 |

# Algoritmo de K&S – Potencias de $I_r$

$$\underline{\underline{I_r^3}} =$$

| | |
|---|---|
| 1 | 1* |
| 1 | 2 |
| 2 | 5 |
| 3 | 1 |
| 3 | 2 |
| 4 | 4* |
| 4 | 3 |
| 5 | 5* |
| 5 | 6 |
| 6 | 4 |
| 6 | 3 |

Cuando se obtienen en una fila valores iguales en las dos columnas, existe un camino que nace y termina en el nodo en cuestión.

Aquí obtenemos, además de los caminos de longitud 3, tres nodos (*) que pertenecen a un camino cíclico de longitud 3.

El algoritmo prosigue asignando los nodos a un pseudonodo (llamémoslo **1**) que los engloba .

Luego se reemplazan en Ir y se inicia nuevamente el proceso (a partir de $I_{r,2}$).

# Algoritmo de K&S – Nueva matriz ($I_{r,2}$)

$\underline{\underline{I_r^3}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 1* |
| 1 | 2 |
| 2 | 5 |
| 3 | 1 |
| 3 | 2 |
| 4 | 4* |
| 4 | 3 |
| 5 | 5* |
| 5 | 6 |
| 6 | 4 |
| 6 | 3 |

$\underline{\underline{I_r}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 4 |
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 4 | 5 |
| 5 | 1 |
| 5 | 2 |
| 6 | 5 |

$\underline{\underline{I_{r,2}}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 1 | 1 |
| 1 | 1 |
| 1 | 2 |
| 6 | 1 |

# Algoritmo de K&S – Nueva matriz ($I_{r,2}$)

$\underline{\underline{I_{r,2}}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 1 | 1 |
| 1 | 1 |
| 1 | 2 |
| 6 | 1 |

$\underline{\underline{I_{r,2}}} =$

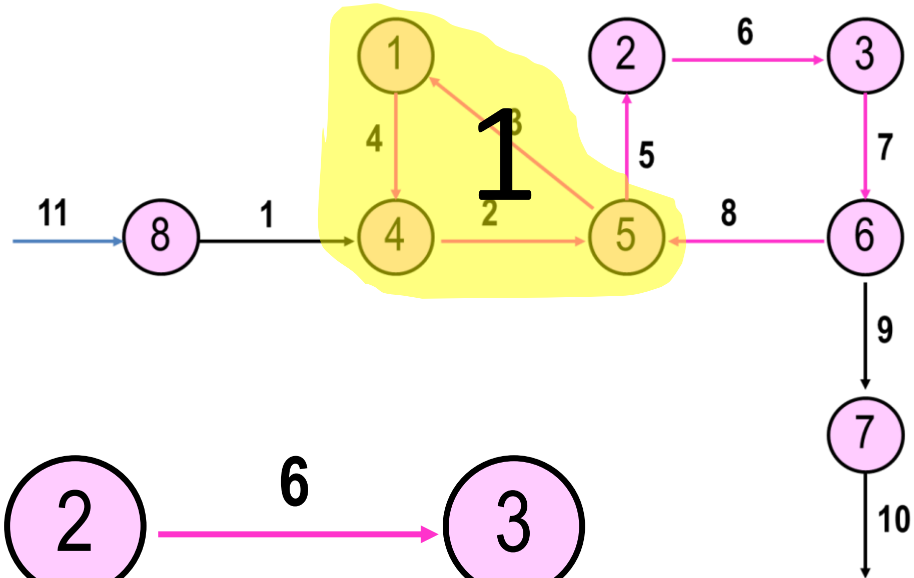
| | |
|---|---|
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 1 | 2 |
| 6 | 1 |

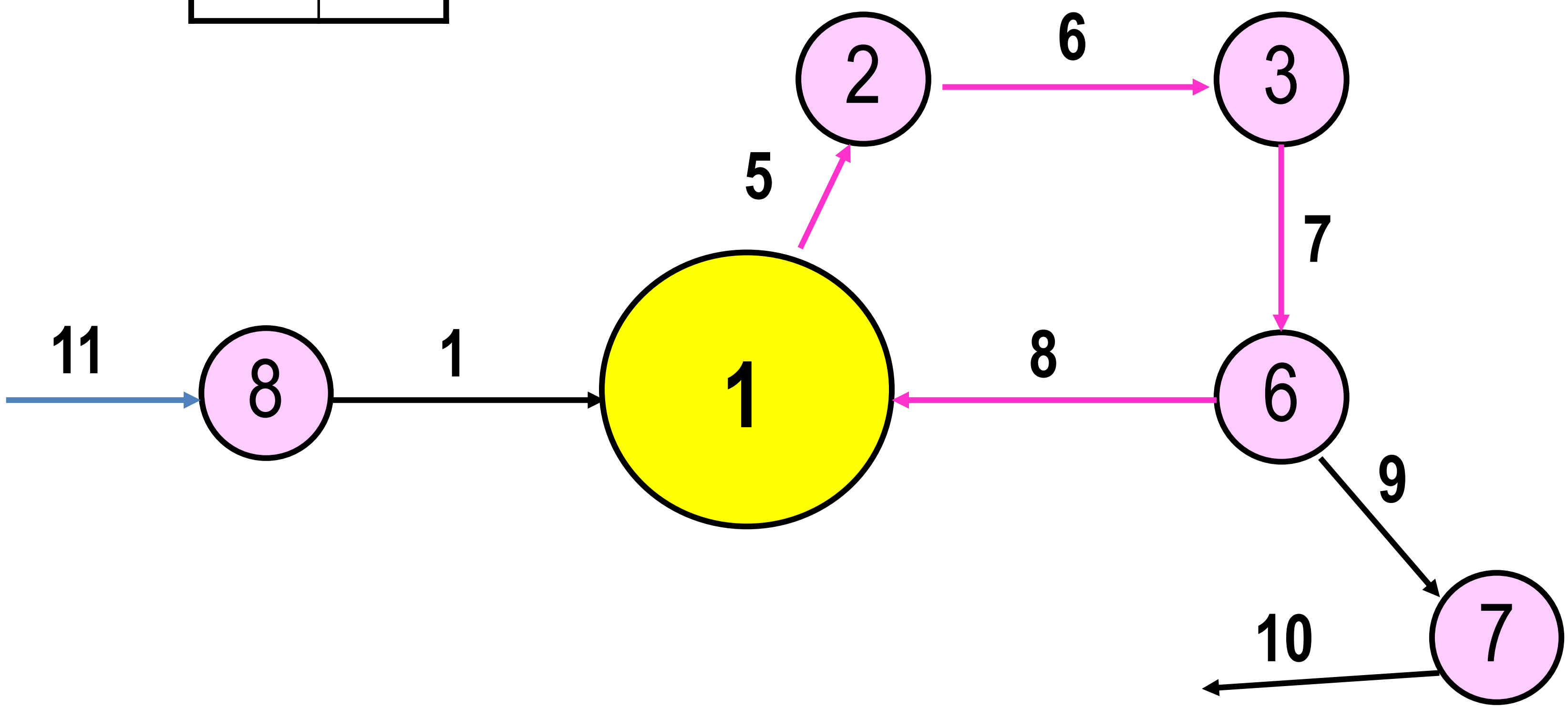
- Los valores iguales en ambas columnas se eliminan porque no aportan información adicional.
- En este caso no existen nodos de entrada y salida para eliminar.

# Algoritmo de K&S – Pseudonodo

$$\underline{\underline{I_{r,2}}} =$$

| | |
|---|---|
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 1 | 2 |
| 6 | 1 |



# Algoritmo de K&S – Potencias de $I_{r,2}$

$\underline{\underline{I_{r,2}}} =$

| | |
|---|---|
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| **1** | 2 |
| 6 | **1** |

$\underline{\underline{I_{r,2}^2}} =$

| | |
|---|---|
| 2 | 6 |
| 3 | **1** |
| **1** | 3 |
| 6 | 2 |

$\underline{\underline{I_{r,2}^3}} =$

| | |
|---|---|
| 2 | **1** |
| 3 | 2 |
| **1** | 6 |
| 6 | 3 |

# Algoritmo de K&S – Potencias de $I_{r,2}$

$$\underline{\underline{I_{r,2}}} = \begin{array}{|c|c|}\hline 2 & 3 \\ \hline 3 & 6 \\ \hline \mathbf{1} & 2 \\ \hline 6 & \mathbf{1} \\ \hline \end{array} \qquad \underline{\underline{I_{r,2}^{3}}} = \begin{array}{|c|c|}\hline 2 & \mathbf{1} \\ \hline 3 & 2 \\ \hline \mathbf{1} & 6 \\ \hline 6 & 3 \\ \hline \end{array} \qquad \underline{\underline{I_{r,2}^{4}}} = \begin{array}{|c|c|}\hline 2 & 2 \\ \hline 3 & 3 \\ \hline \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ \hline 6 & 6 \\ \hline \end{array}$$

# Algoritmo de K&S – Potencias de $I_{r,2}$

$\underline{\underline{I^{4}_{r,2}}} =$

| | |
|---|---|
| 2 | 2 |
| 3 | 3 |
| **1** | **1** |
| 6 | 6 |

$\underline{\underline{I_{r,2}}} =$

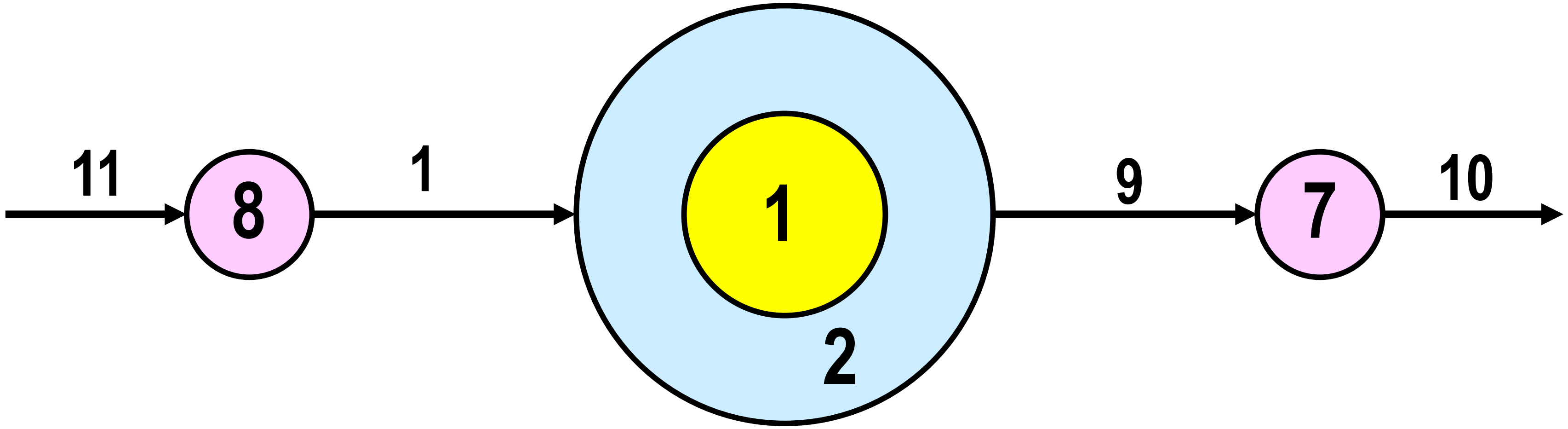
| | |
|---|---|
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| **1** | 2 |
| 6 | **1** |

$\underline{\underline{I_{r,3}}} =$

| | |
|---|---|
| **2** | **2** |
| **2** | **2** |
| **2** | **2** |
| **2** | **2** |

- Encontramos un ciclo de longitud 4.
- Si se reemplazan los nodos por otro pseudonodo (**2**), se tendrá un sólo nodo en la matriz $I_{r,3}$, por lo que el mismo será de entrada/salida y el proceso habrá finalizado.

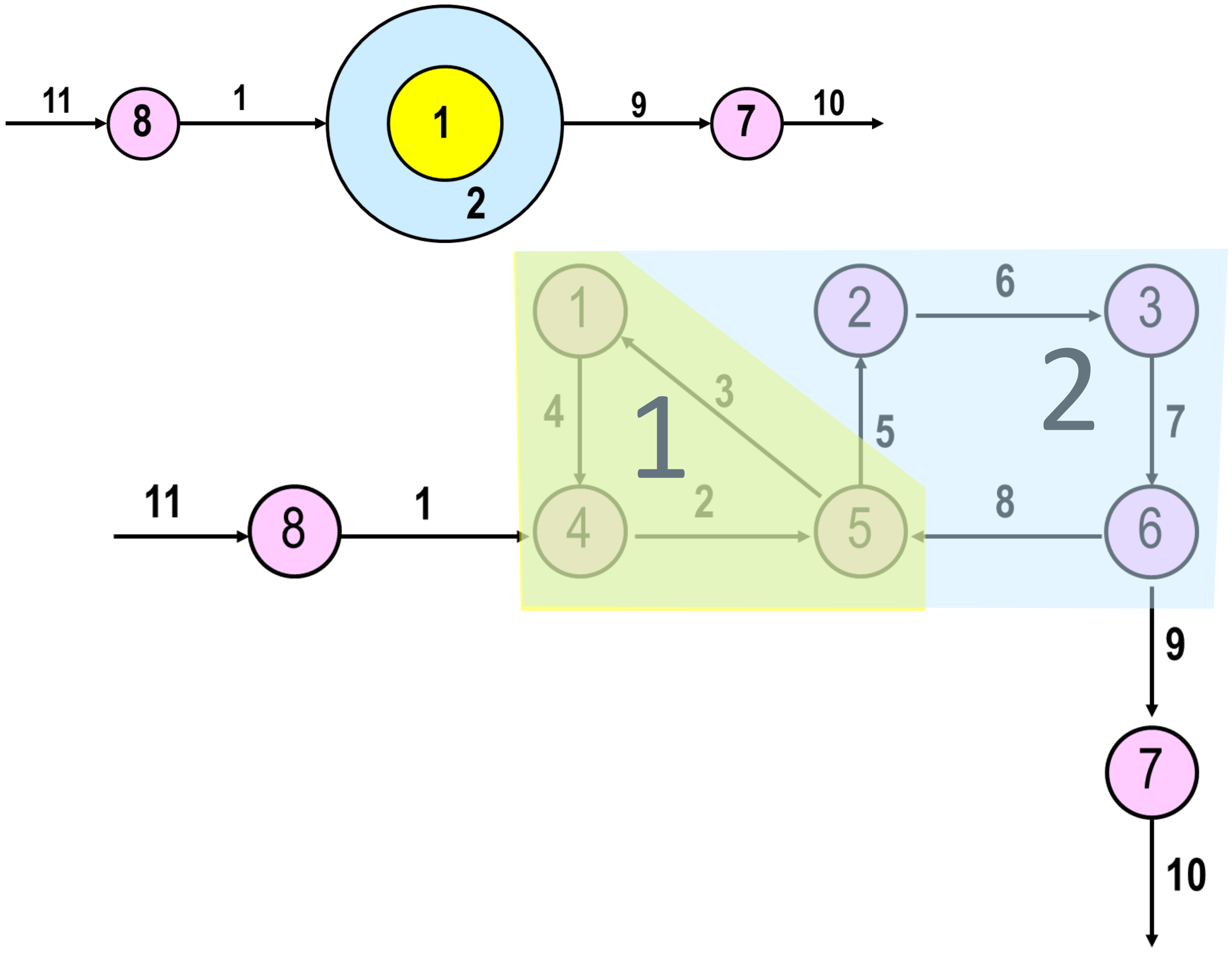
# Algoritmo de K&S



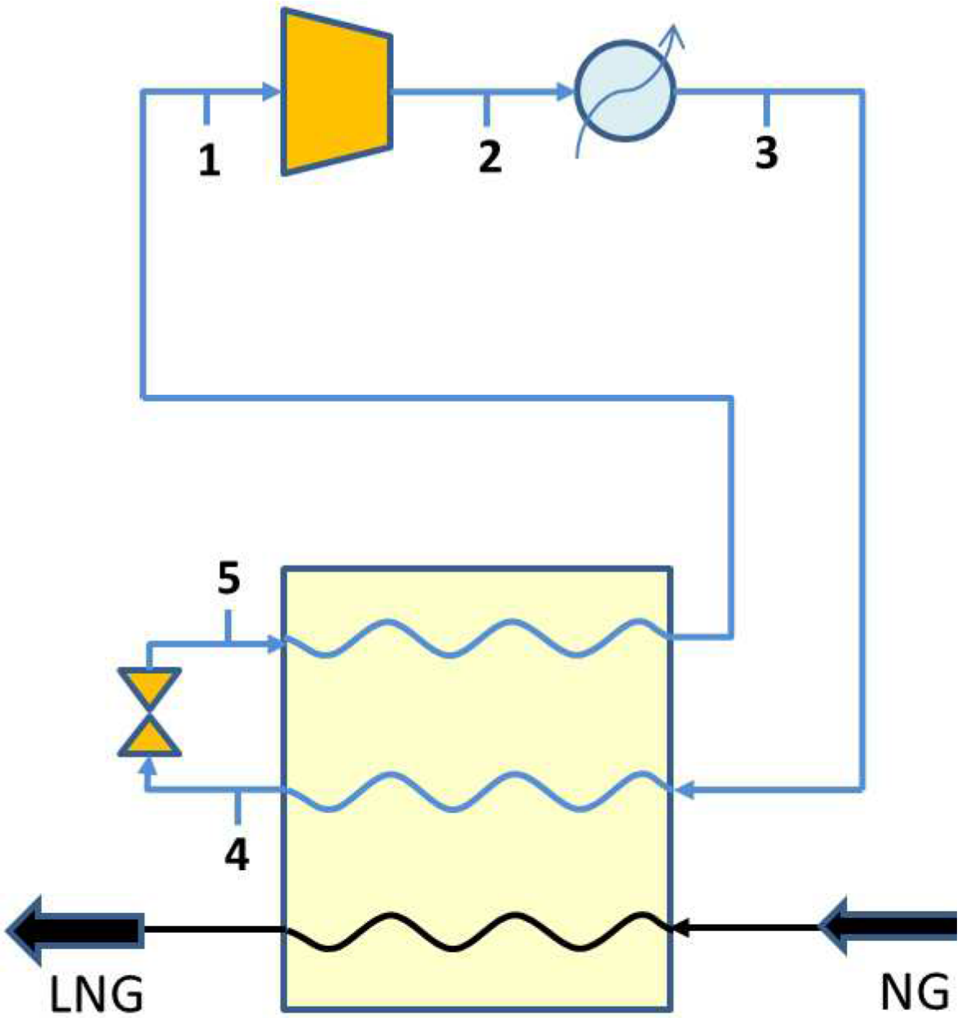

- Se puede observar que se obtienen los ciclos y un orden de resolución.

- No obstante, se sabe que para resolver cada ciclo hay que designar una corriente iteradora. El criterio para decidir cada una de ellas no se obtiene de este algoritmo.

# Algoritmo de K&S

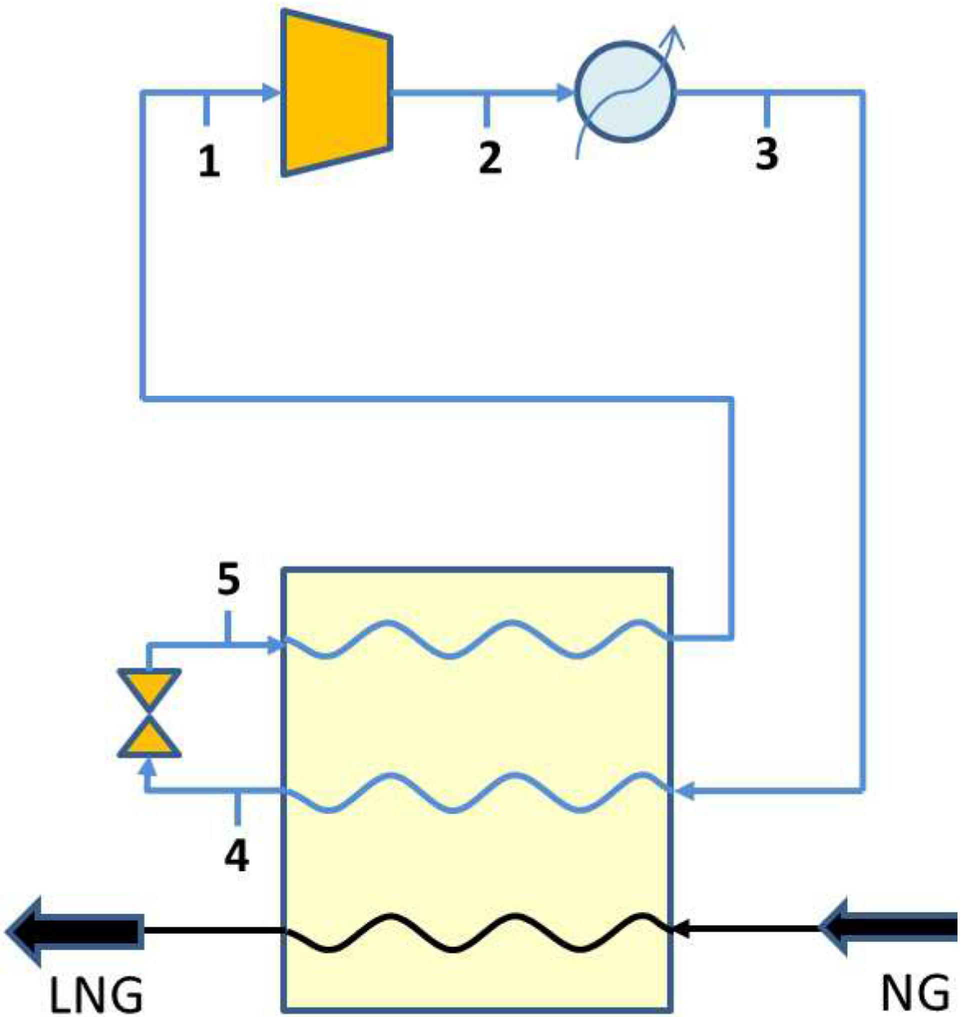


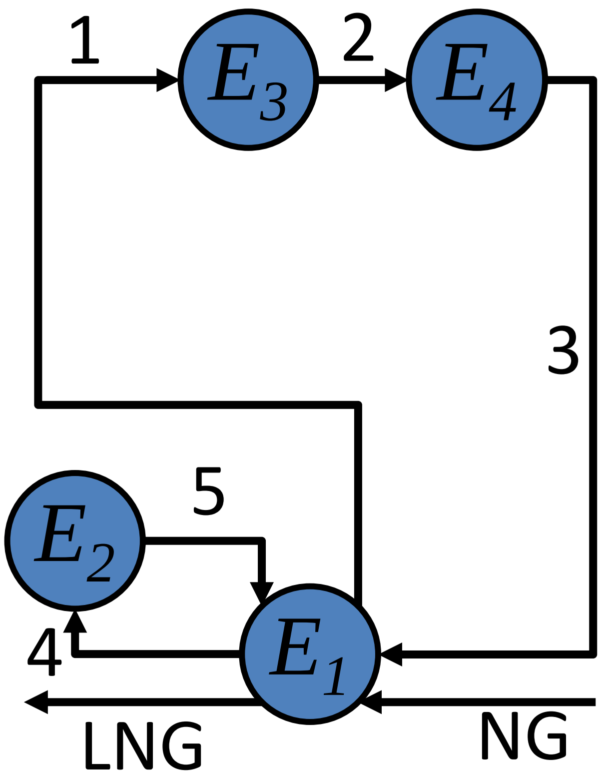
# Ejemplo



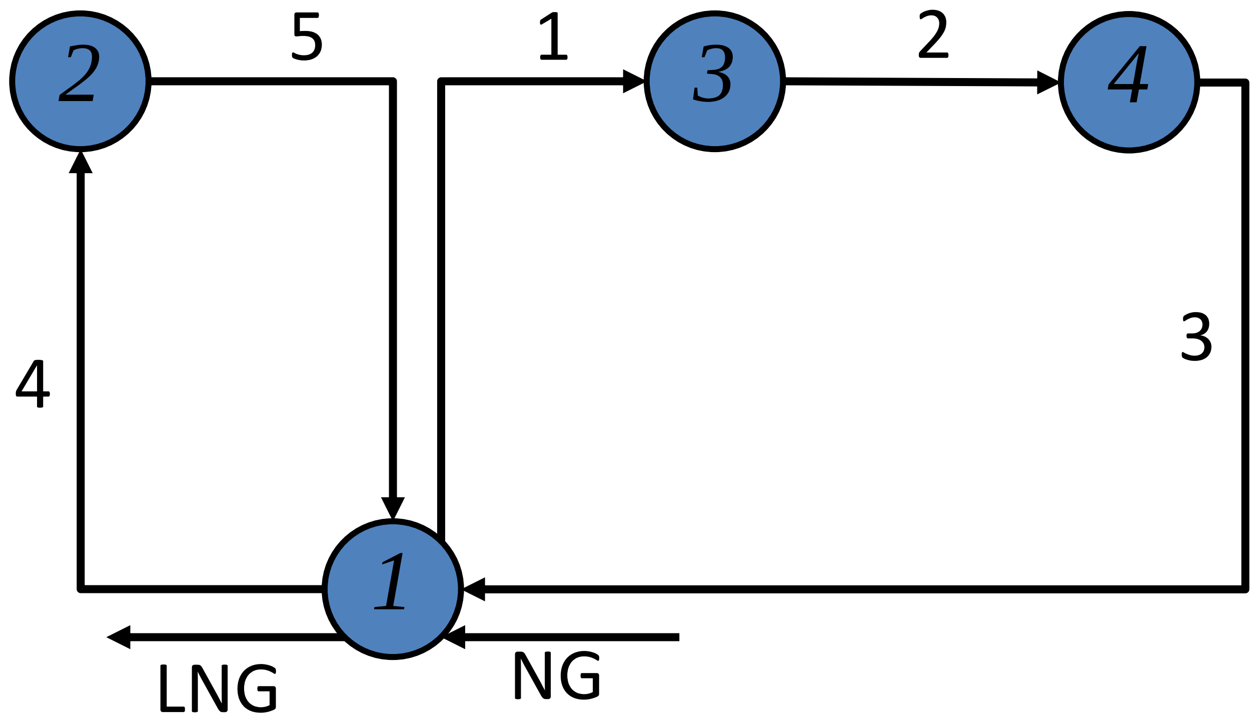

Simple liquefaction cycle with mixed refrigerant.

# Ejemplo: Construimos el DFI



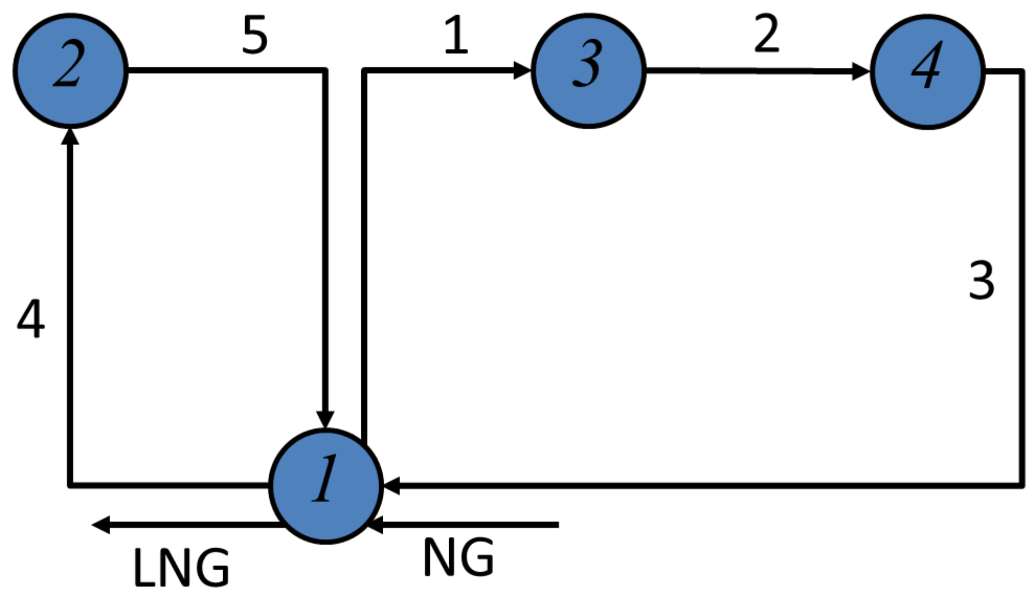
# Algoritmo de K&S - ejemplo



# Algoritmo de K&S - ejemplo

$\underline{\underline{A}} =$

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| **1** | | 1 | 1 | |
| **2** | 1 | | | |
| **3** | | | | 1 |
| **4** | 1 | | | |




$\underline{\underline{I}} = \underline{\underline{I_r}} =$

| | |
|---|---|
| 1 | 2 |
| 1 | 3 |
| 2 | 1 |
| 3 | 4 |
| 4 | 1 |

# Algoritmo de K&S - ejemplo

$$\underline{\underline{I_r}} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 3 \\ 2 & 1 \\ 3 & 4 \\ 4 & 1 \end{bmatrix}$$

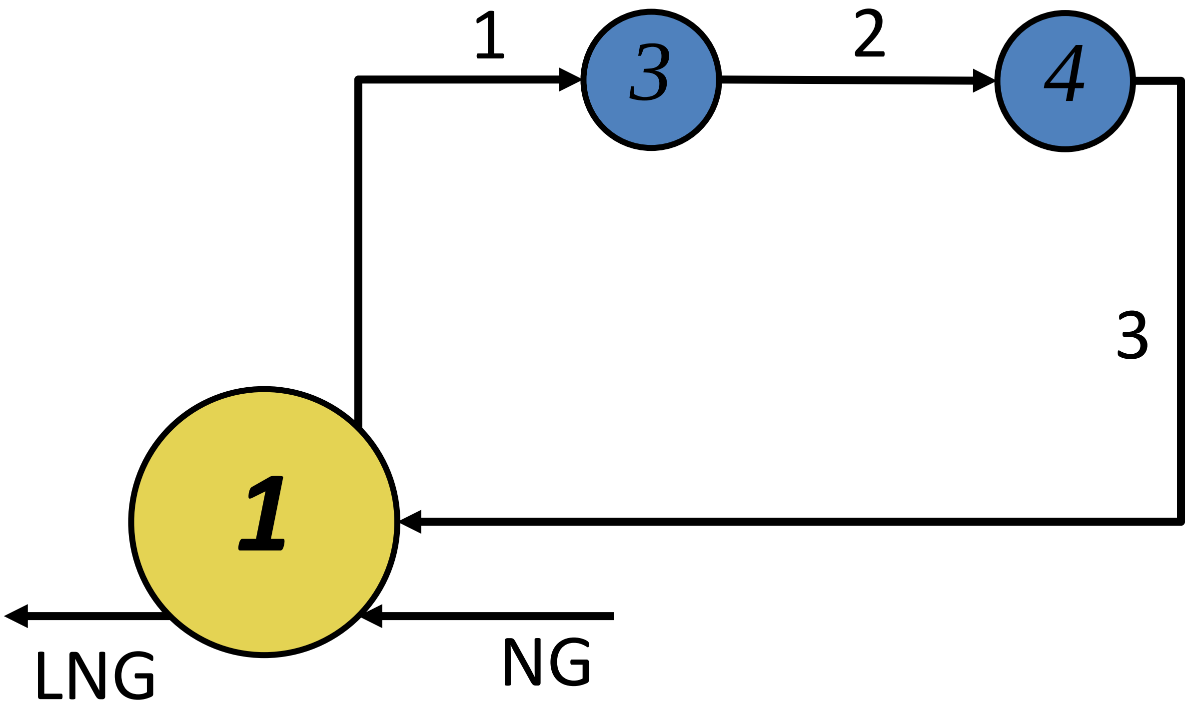
$$\underline{\underline{I_r^2}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 4 \\ 2 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 1 \\ 4 & 2 \\ 4 & 3 \end{bmatrix}$$

pseudonodo **1**

$$\underline{\underline{I_{r,2}}} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ \mathbf{1} & 3 \\ \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ 3 & 4 \\ 4 & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

$$\underline{\underline{I_{r,2}}} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

# Algoritmo de K&S - Pseudonodo 1



# Algoritmo de K&S - ejemplo

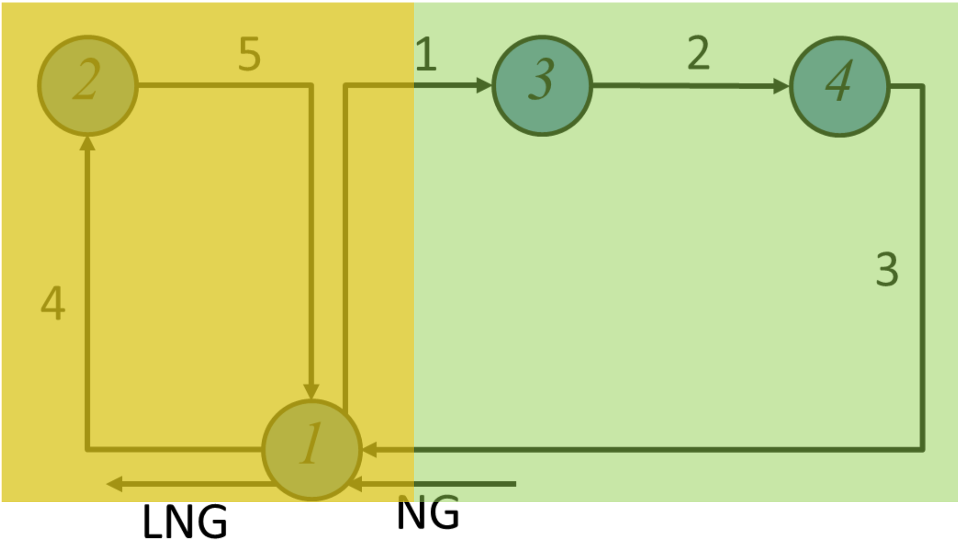
$$\underline{\underline{I_{r,2}}} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 1 \end{bmatrix} \qquad \underline{\underline{I_{r,2}^{2}}} = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 3 & 1 \\ 4 & 3 \end{bmatrix}$$

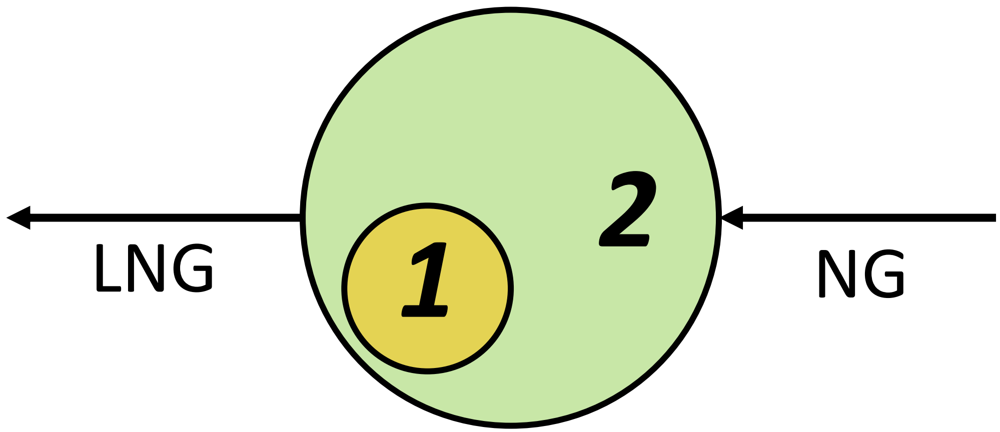
$$\underline{\underline{I_{r,2}^{3}}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 3 & 3 \\ 4 & 4 \end{bmatrix}$$

pseudonodo 2

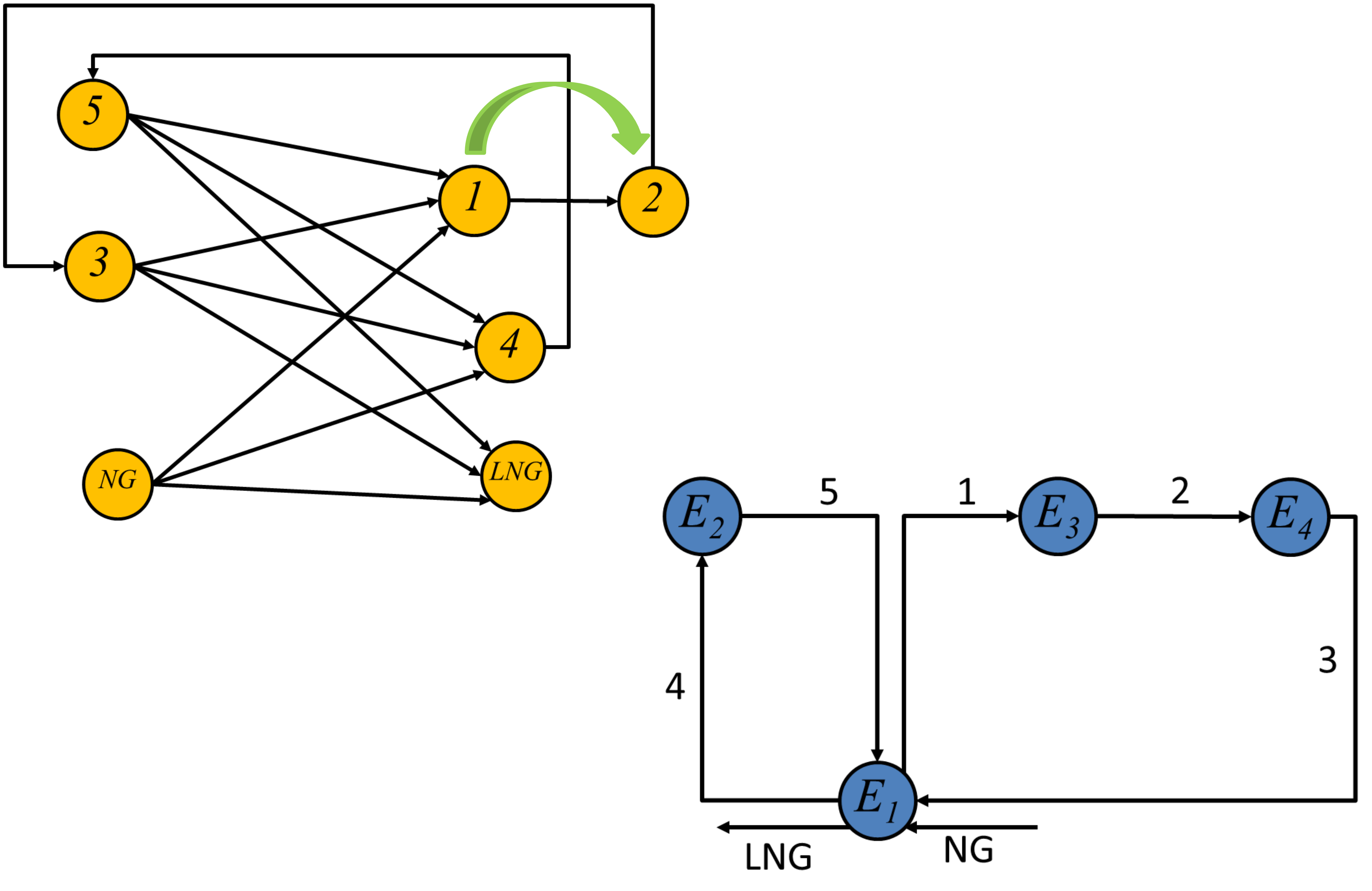
$$\underline{\underline{I_{r,3}}} = \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 2 & 2 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}$$

# Algoritmo de K&S - ejemplo

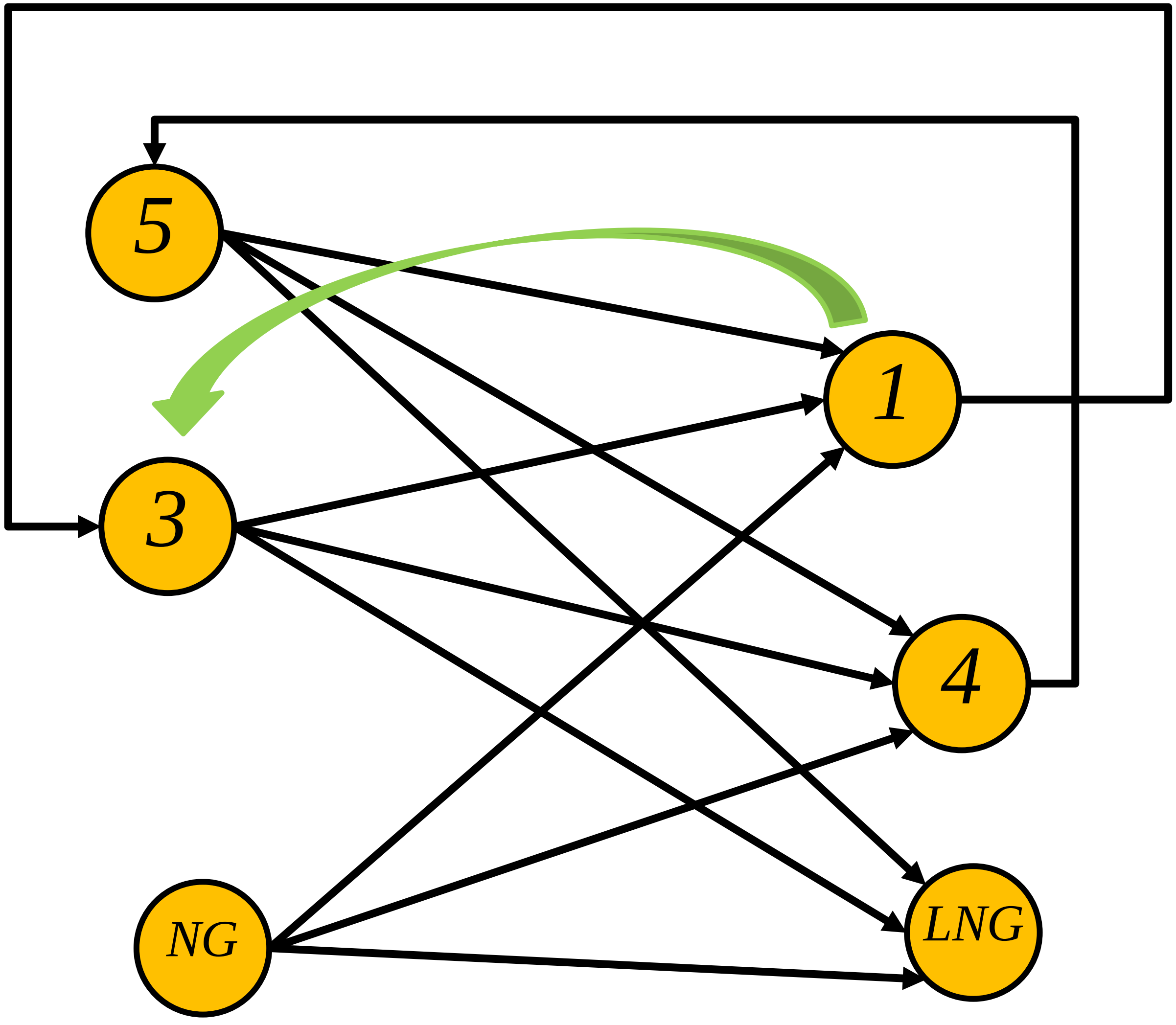


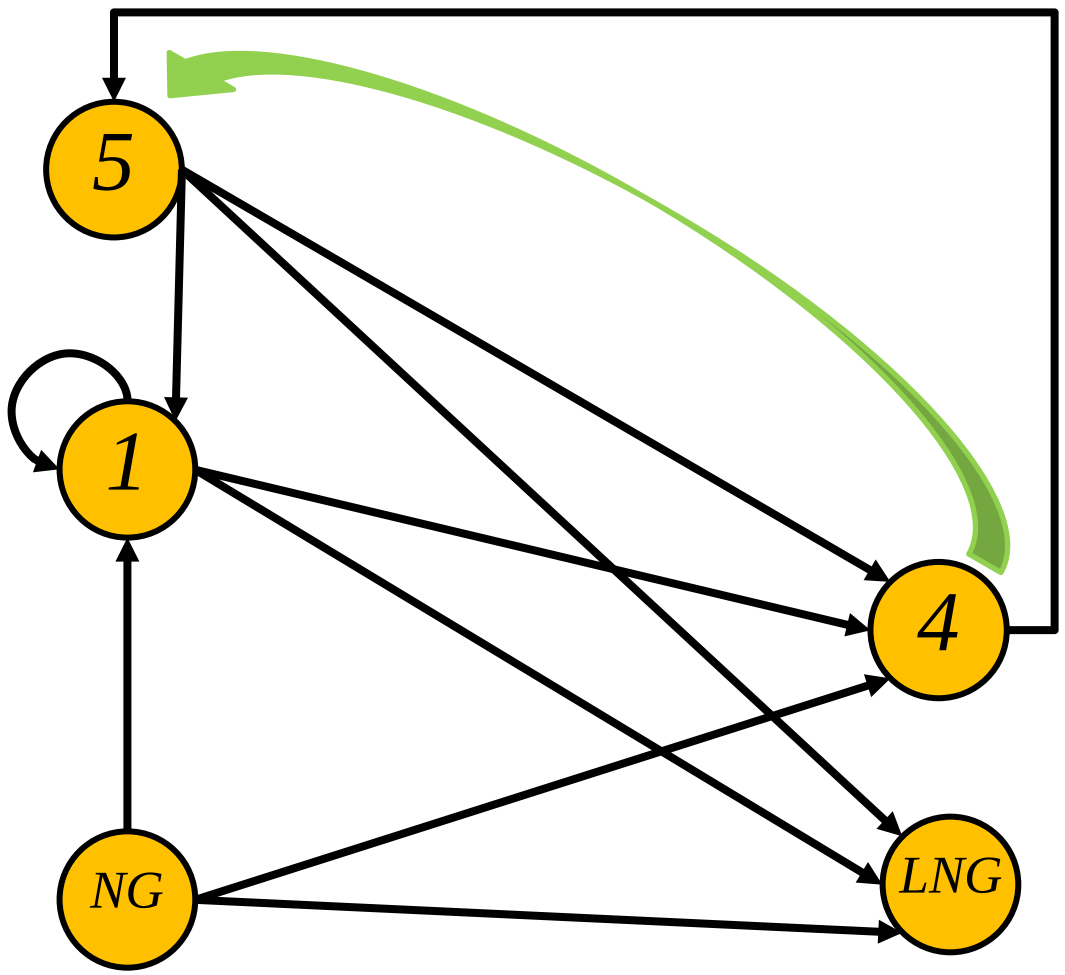
# Rasgado - Grafo S



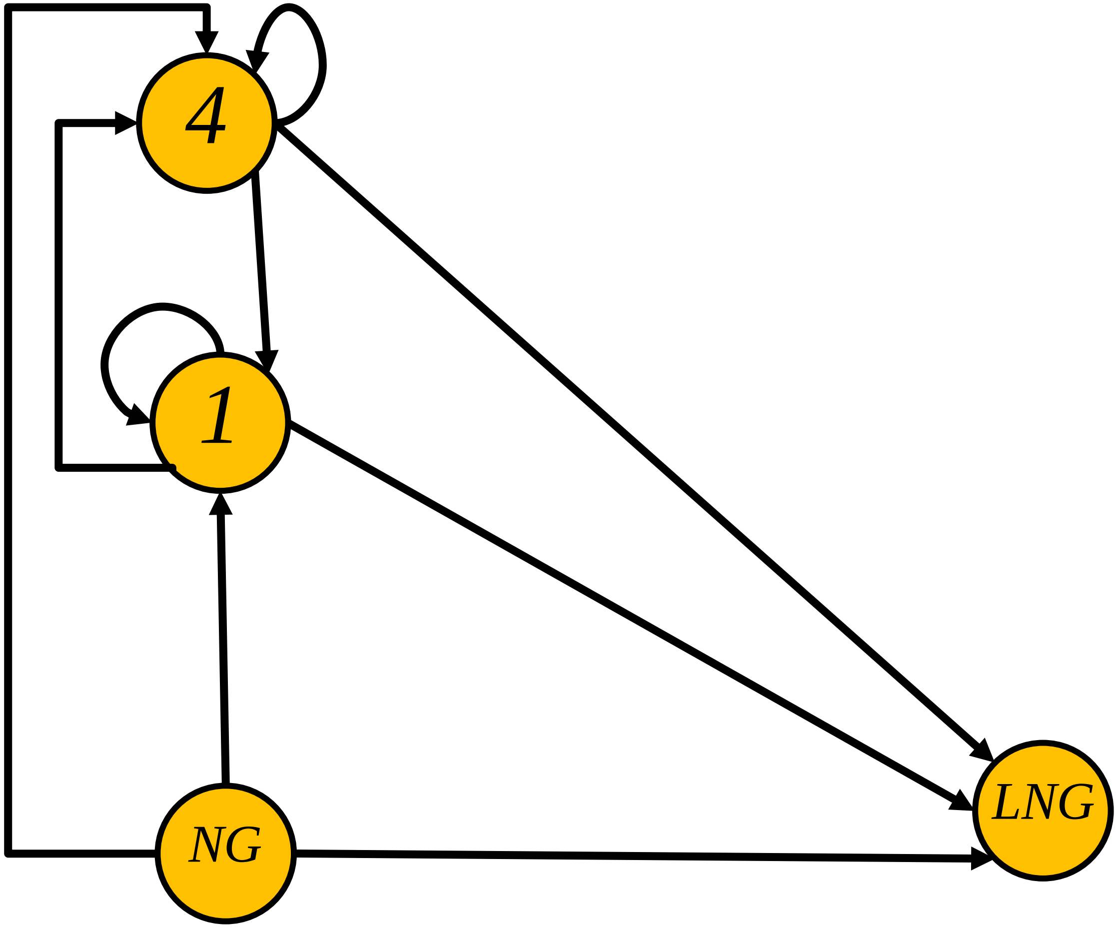
# Rasgado - Grafo S



# Rasgado - Grafo S

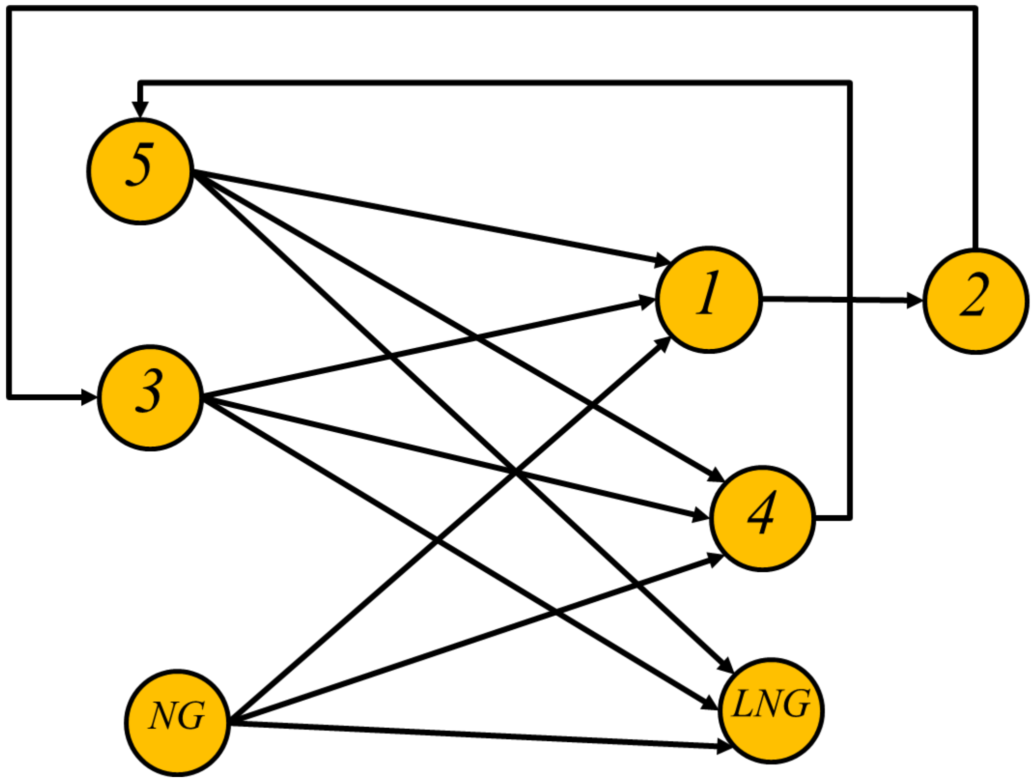


# Rasgado - Grafo S



# Rasgado - Grafo S

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **LNG** | NG, 3, 5 |
| **1** | NG, 3, 5 |
| **2** | 1 |
| **3** | 2 |
| **4** | NG, 3, 5 |
| **5** | 4 |



# Rasgado - Grafo S

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **LNG** | NG, 3, 5 |
| **1** | NG, 3, 5 |
| **2** | 1 |
| **3** | 2 |
| **4** | NG, 3, 5 |
| **5** | 4 |

¿Autociclo?

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **LNG** | NG, 3, 5 |
| **1** | NG, 3, 5 |
| **3** | 1 |
| **4** | NG, 3, 5 |
| **5** | 4 |

¿Autociclo?

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **LNG** | NG, 1, 5 |
| **1** | NG, 1, 5 |
| **4** | NG, 1, 5 |
| **5** | 4 |

¿Autociclo?
¡Si!

# Rasgado - Grafo S

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **LNG** | NG, 1, 5 |
| **1** | NG, 1, 5 |
| **4** | NG, 1, 5 |
| **5** | 4 |

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **LNG** | NG, 5 |
| **4** | NG, 5 |
| **5** | 4 |

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **LNG** | NG, 4 |
| **4** | NG, 4 |

¿Autociclo?
¡Si!

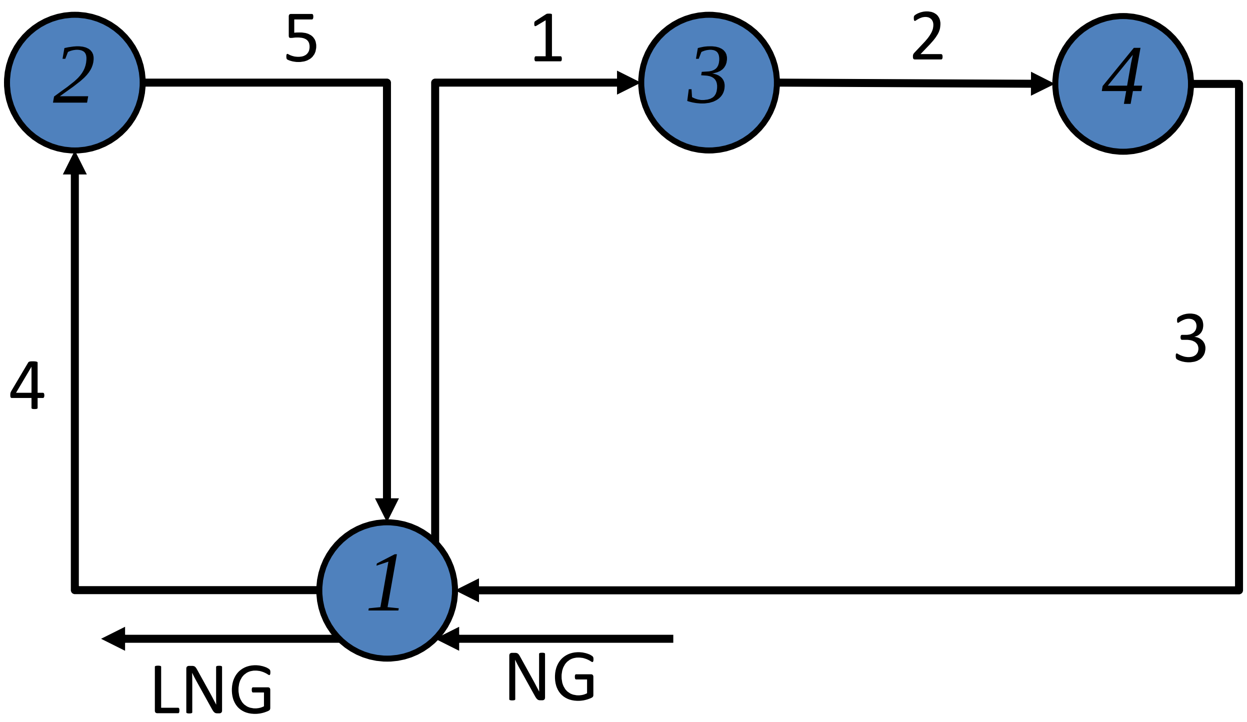
Es una salida!

| Nodo | Antecesor |
|---|---|
| **LNG** | NG |

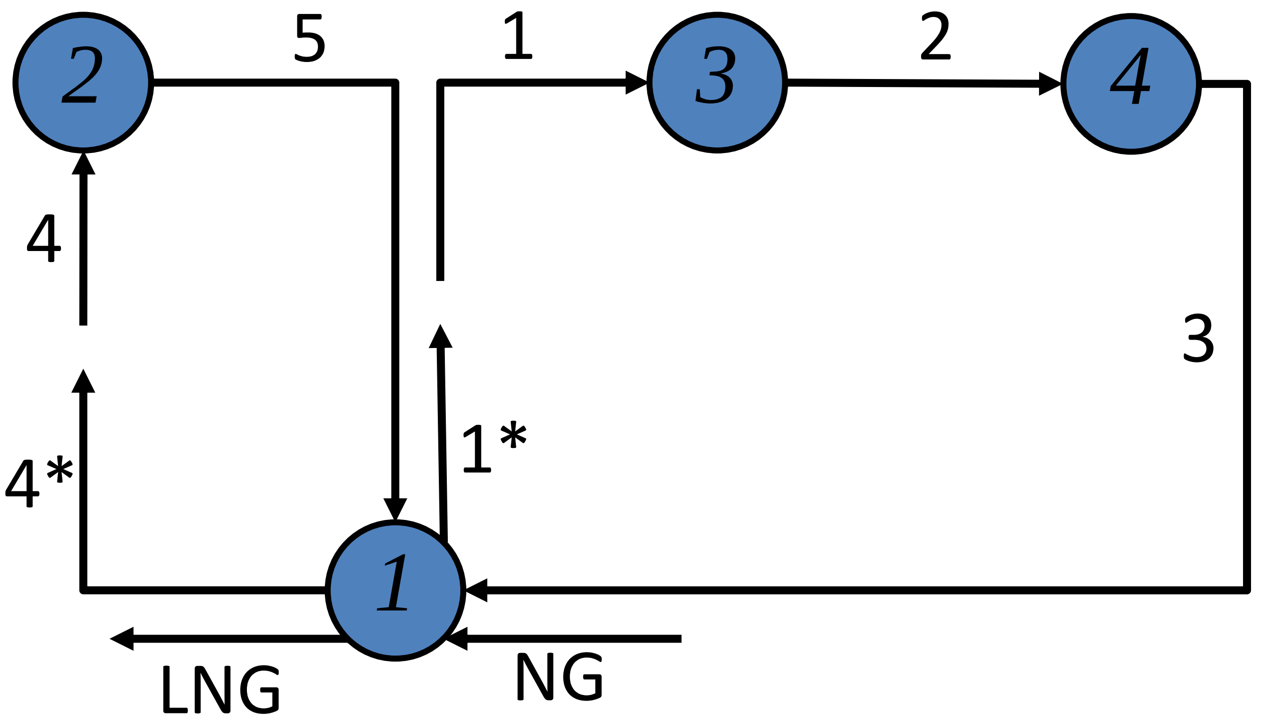
Es una entrada!

Terminamos, nuestras corrientes de corte son 1 y 4

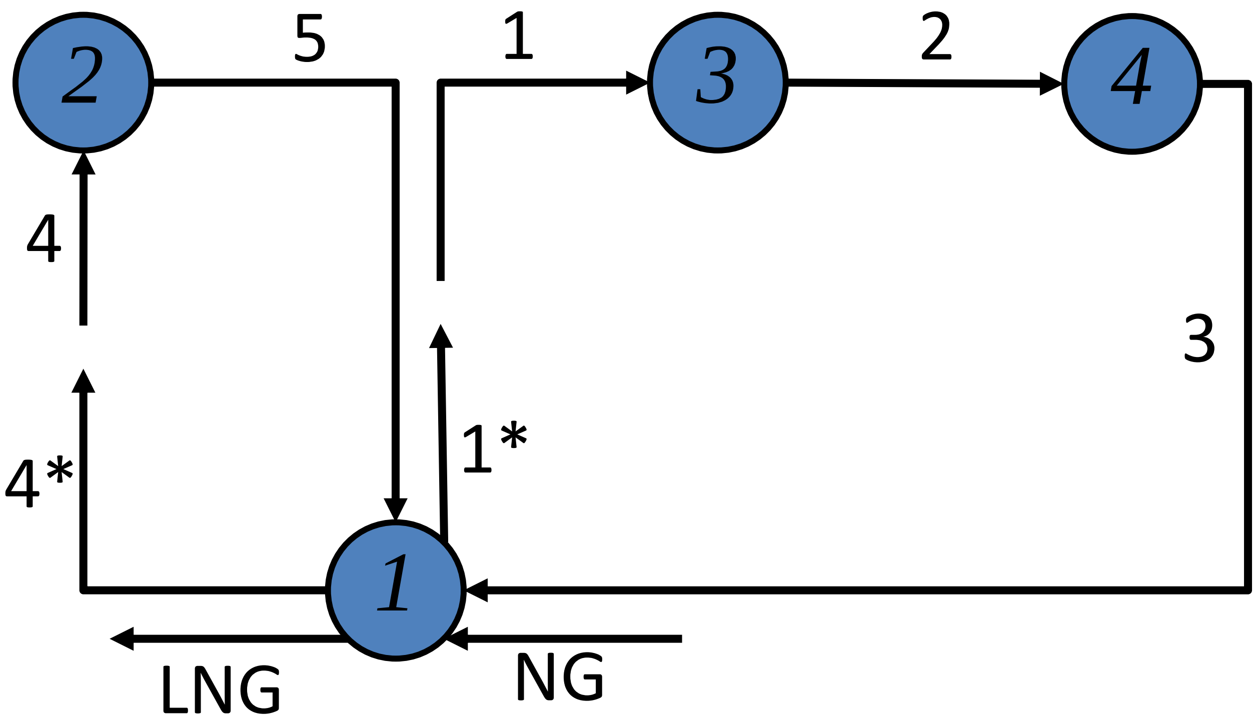
# Esquema de Resolución



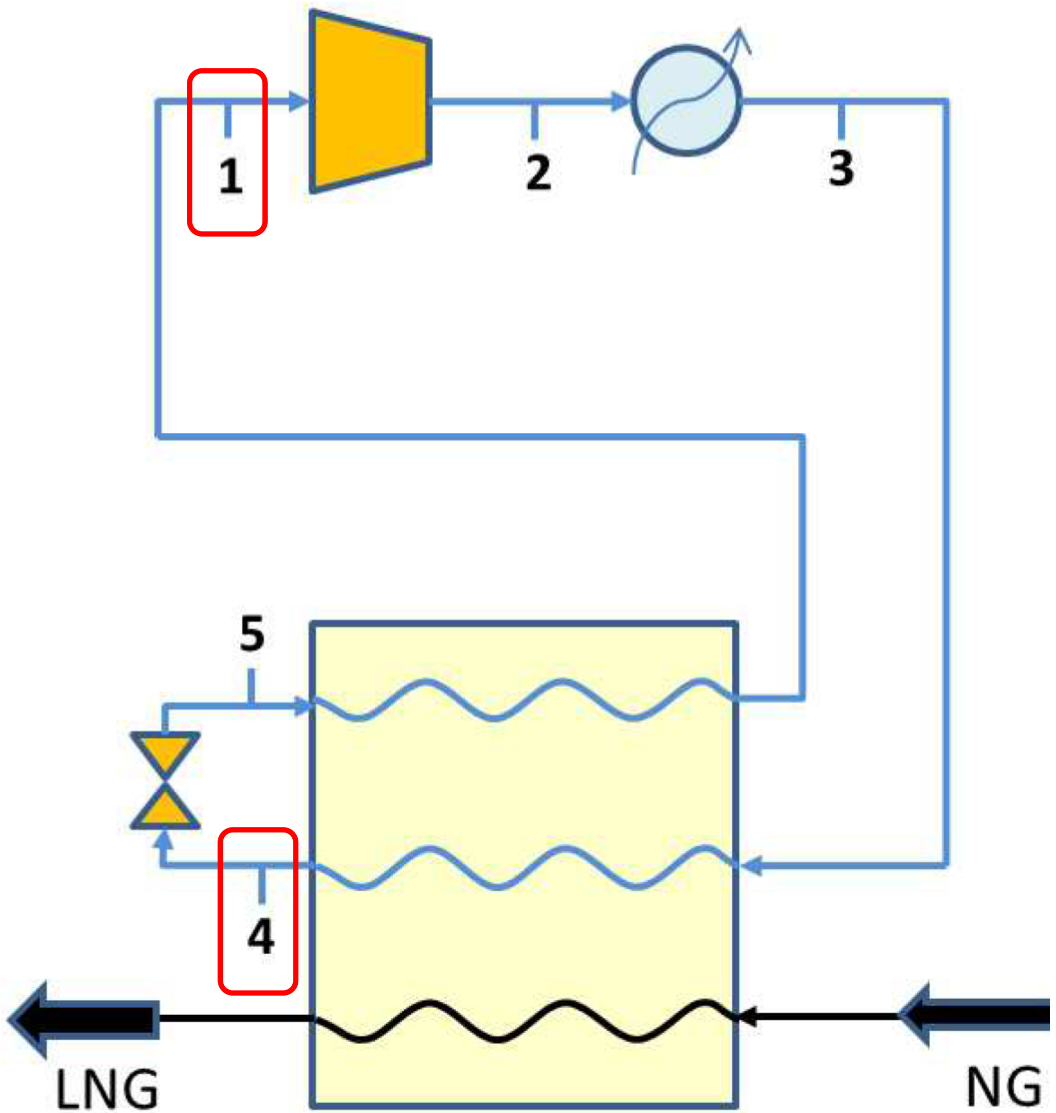
# Esquema de Resolución



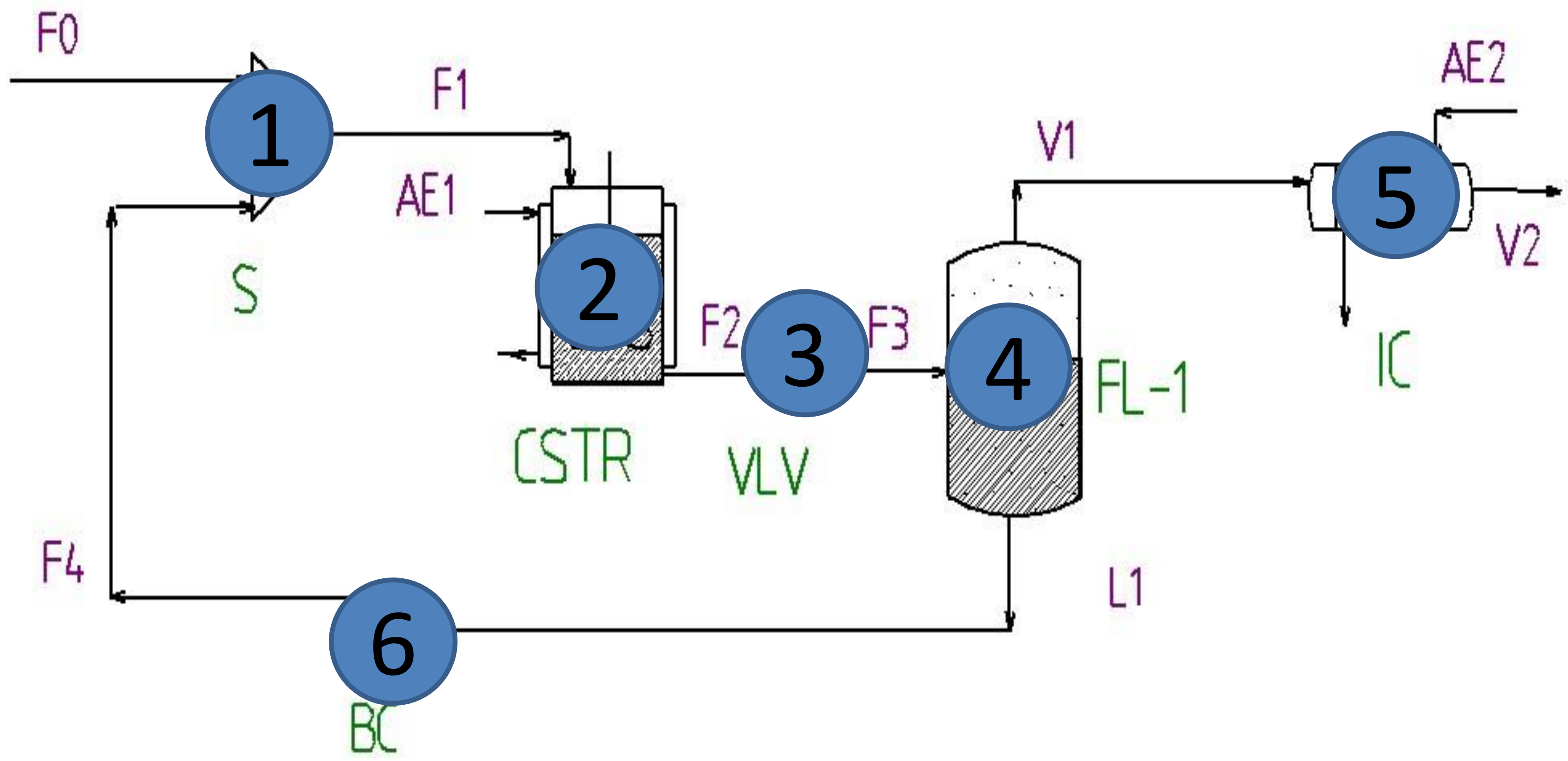
# Esquema de Resolución



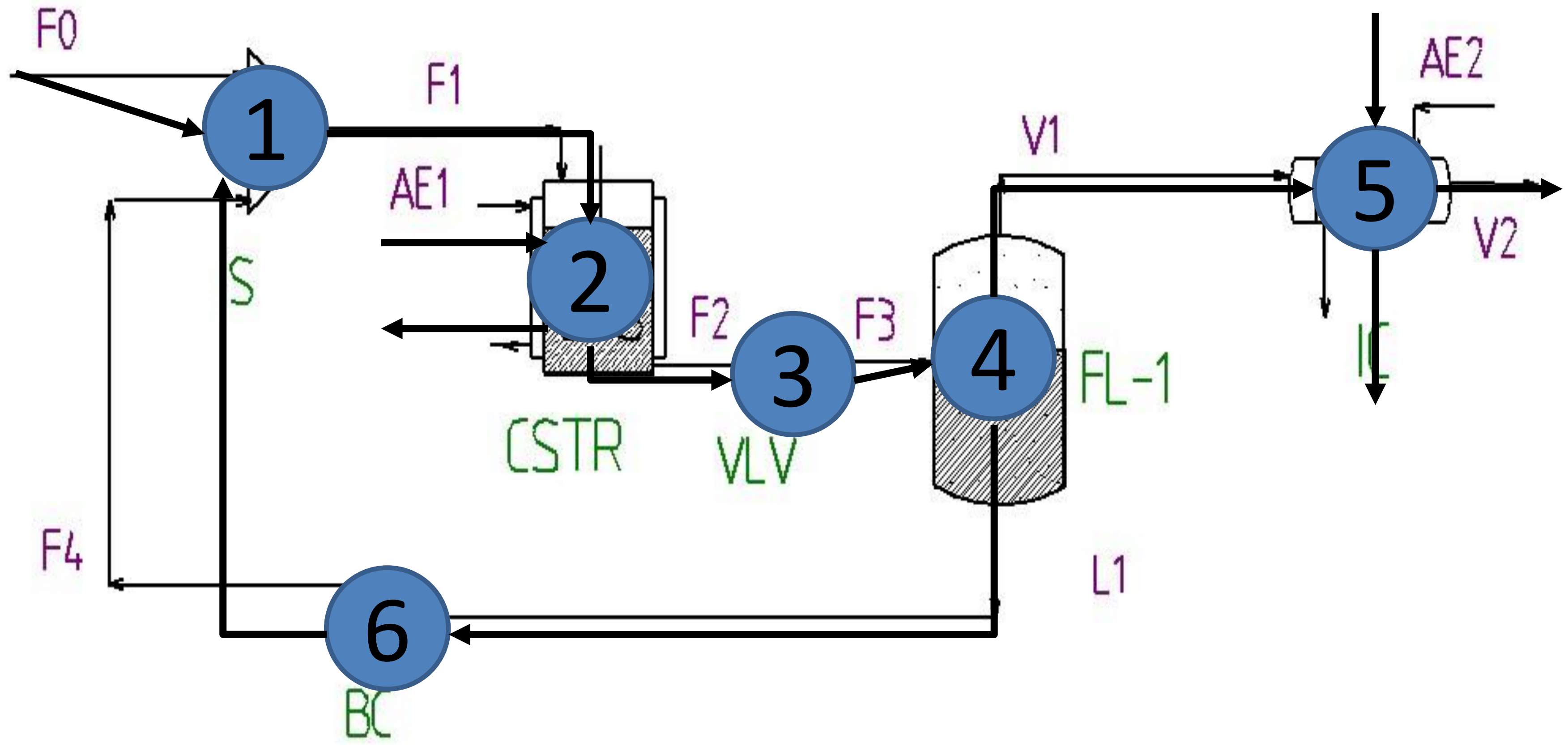
# Esquema de Resolución



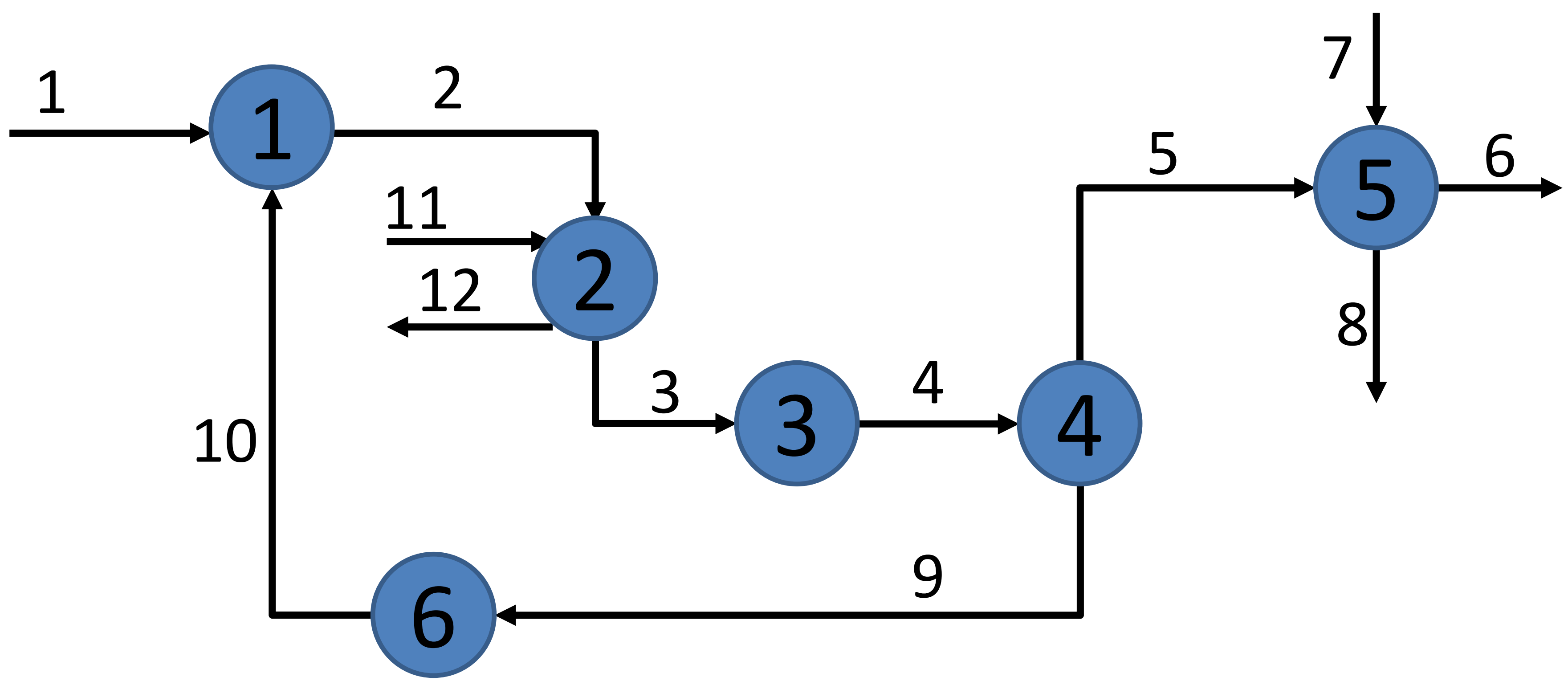
# Ejercicio



# Ejercicio



# Ejercicio



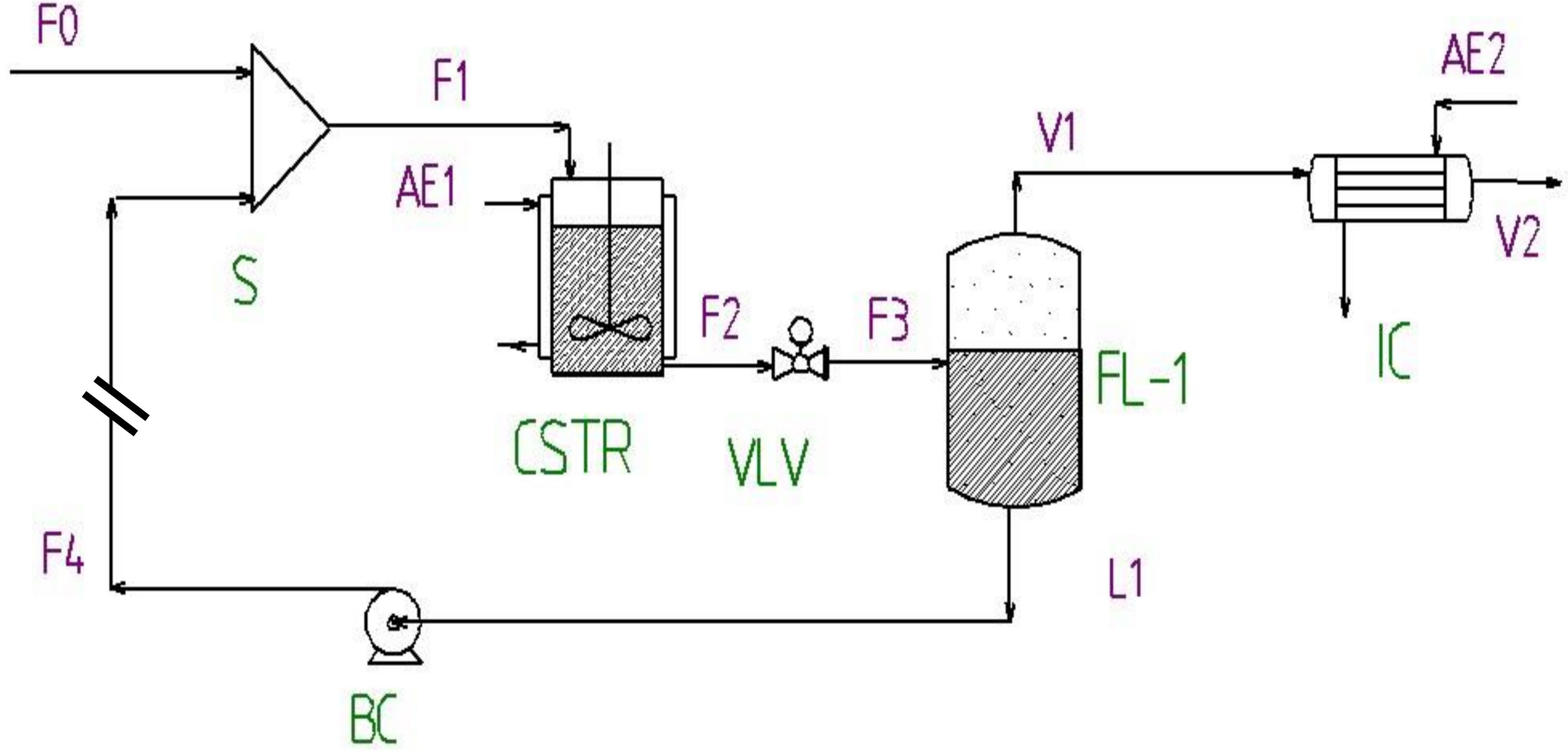
# Análisis

¿Qué significa que una corriente esté perfectamente conocida?

Se conocen su:

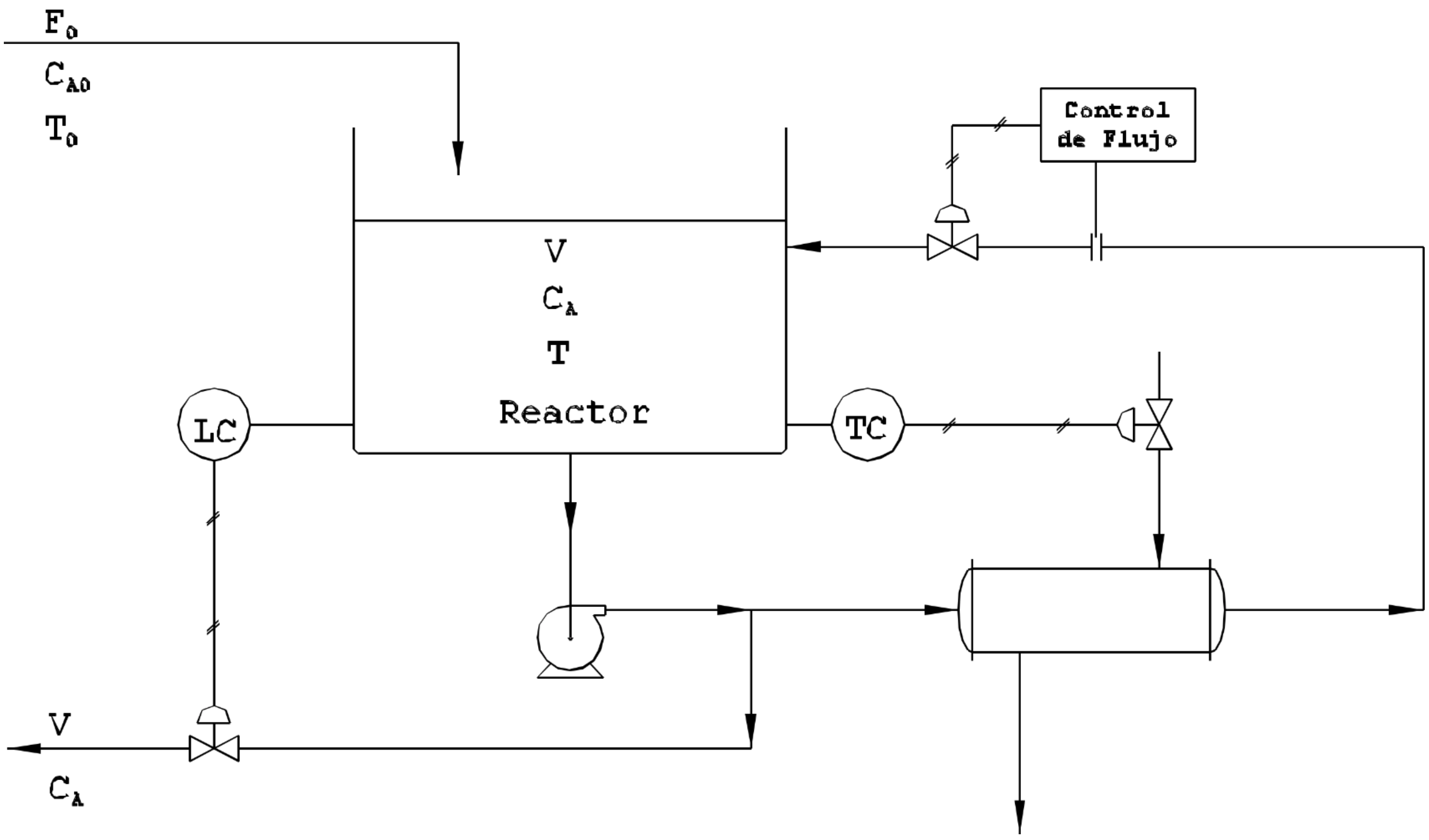
- Composición global.
- Dos variables intensivas (T y P, P y H, T y H, P y fracción vaporizada, T y fracción vaporizada, etc).
- Flujo de materia (molar, masico, volumétrico, etc).

# Ejercicio

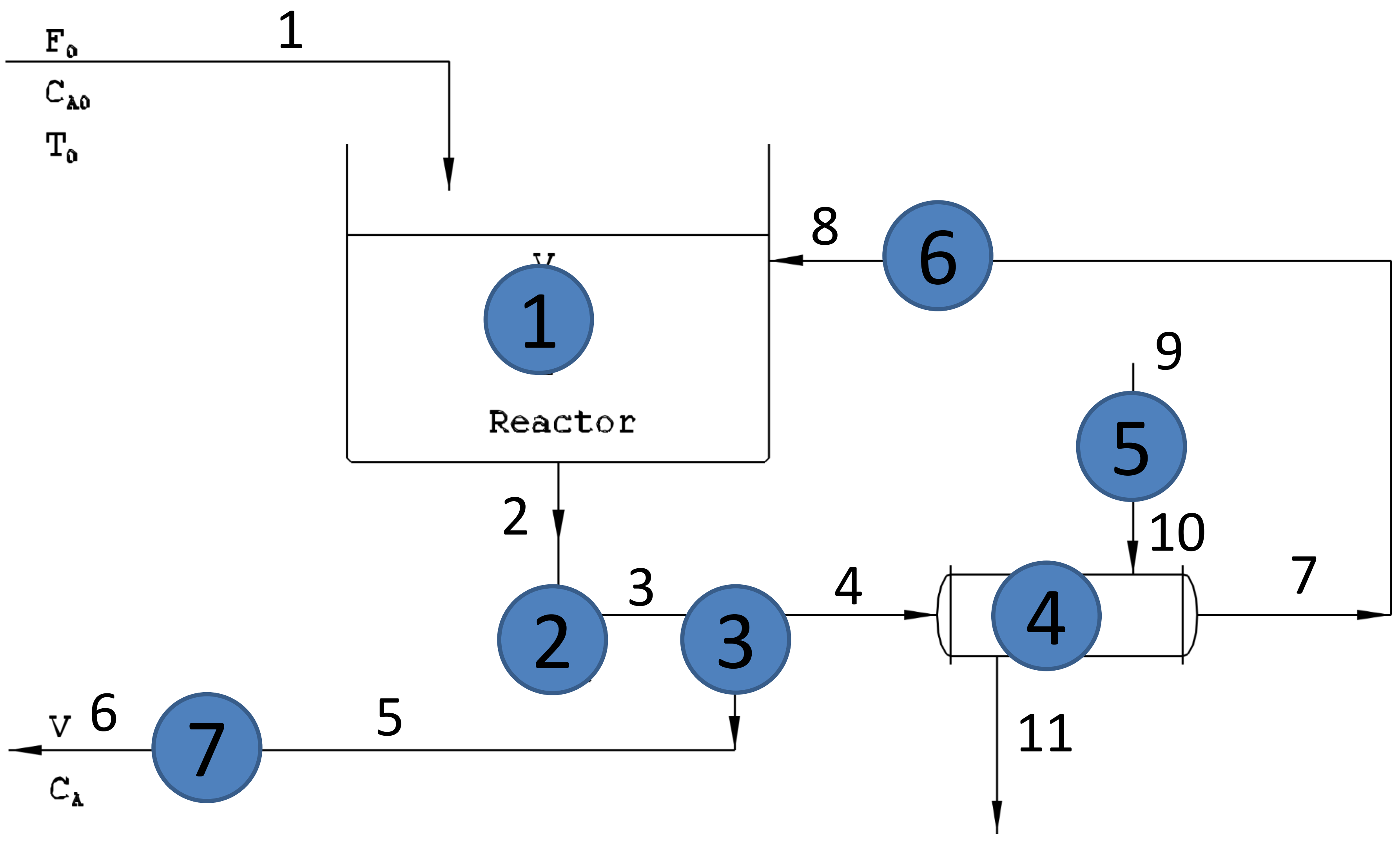


# Ejercicio

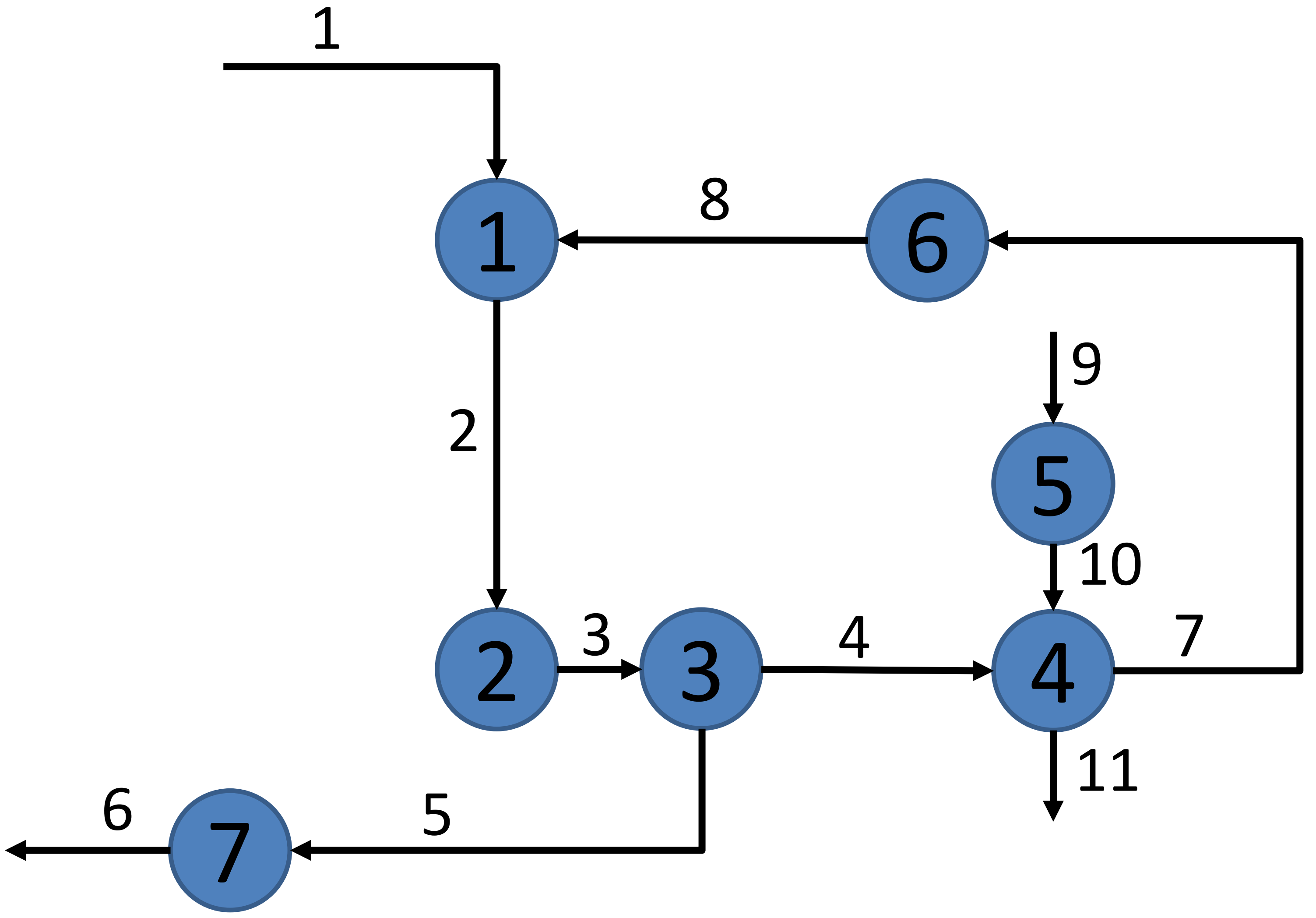
Determine el mínimo conjunto de corte para el proceso indicado en la Figura. Suponer que cada equipo indicado debe implementarse como un módulo independiente (no tener en cuenta los controladores).



# Ejercicio



# Ejercicio



# Ejercicio