

Paso de los diagramas de grafos a los diagramas de bloques

11.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los lenguajes de simulación más antiguo y más utilizado es el de los diagramas de bloques. De hecho, aún en la actualidad es el más frecuente en la simulación de sistemas dinámicos controlados y muchos programas comerciales siguen basándose en esta técnica para resolver cualquier sistema dinámico.

Sin embargo, el Bond-Graph ha supuesto una mejora en algunos aspectos, motivo por el cual mostraremos cómo plantear el diagrama de bloques a partir de un diagrama de grafos de manera que pueda utilizarse en la entrada de datos de dichos programas.

Para introducir al lector en la técnica de los diagramas de bloques, desarrollaremos paso a paso un ejemplo sencillo. En la figura 11.1, se presenta un modelo mecánico con su diagrama de grafos al que se le ha hallado la causalidad. A lo largo de la construcción del diagrama de bloques será muy importante tener presente en cada instante la causalidad de cada grafo.

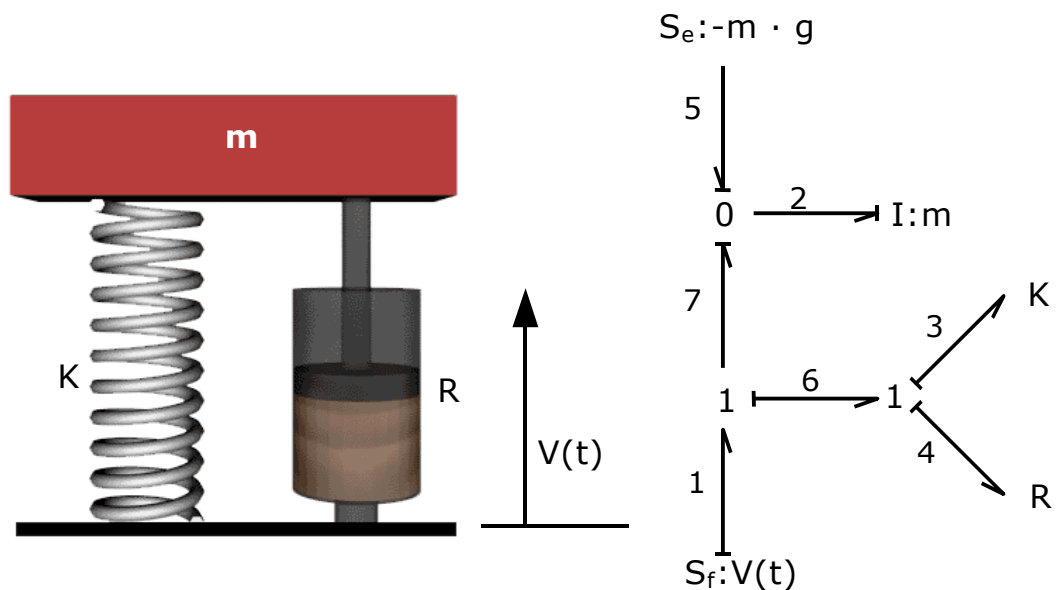


Figura 11.1

En la unión 0, formada por los grafos 1, 5 y 2, se tiene que el grafo 1 entra en la unión con flujo conocido al igual que el grafo 5, mientras que el 2, sale con flujo conocido. Es decir, en esta unión, atendiendo a la causalidad, puede decirse que se suma el flujo de 1 más el de 5 para dar el flujo en 2. Es decir, podría escribirse que:

$$f_1 + f_5 = f_2$$

No obstante, el grafo 5 toma como dirección la salida de la unión 0, lo que significa que entra en la unión con flujo conocido pero su signo es negativo.

En definitiva, en esta unión se cumplirá que:

$$f_1 - f_5 = f_2$$

En la figura 11.2, se representa el bloque de la fuente S_f , y el de la unión 0.

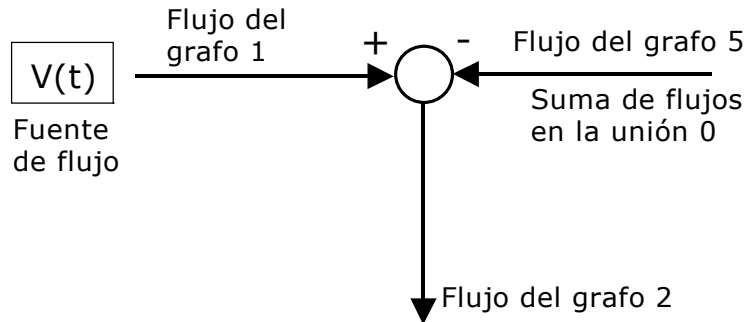


Figura 11.2

Siguiendo por el grafo 2, se llega a una unión 1 en donde, según la causalidad, los grafos 3 y 4 salen con flujo conocido ya que el grafo 2 se ha encargado de definir el flujo de la unión. En la figura 11.3, se añade al diagrama de bloques de la figura anterior, la representación de la unión 1 formada por los grafos 2, 3 y 4.

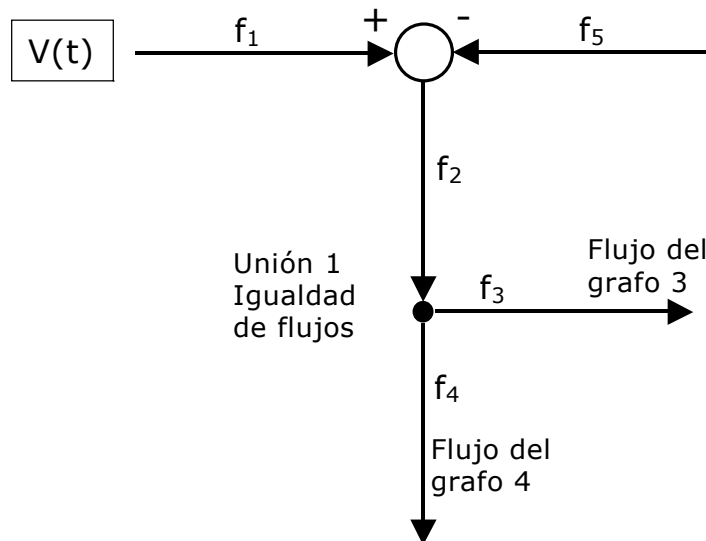


Figura 11.3

El grafo 3 es una puerta resorte en la que se cumple que:

$$e_3 = K \cdot x$$

En donde x , sería el desplazamiento en esta puerta.

Evidentemente, el desplazamiento x no es otra cosa que la integral del flujo f_3 en el tiempo.

$$x = \int f_3 \cdot dt$$

En la puerta resorte, por tanto, es necesario hacer dos operaciones: primero, integrar el flujo para obtener el desplazamiento y en segundo lugar, multiplicar el desplazamiento por la rigidez K asociada a la puerta. Al final se ha transformado el flujo de entrada en un esfuerzo.

En la figura 11.4 se representan los bloques necesarios para simular esta puerta.

Si se observa el diagrama de bloques de la figura 11.4, se llega a la conclusión de que por cada línea entre bloques, solamente va un parámetro físico, bien sea el flujo o el esfuerzo, pero nunca los dos. Este hecho es contrario a la estructura del Bond-Graph, en donde cada grafo lleva asociado tanto el flujo como el esfuerzo.

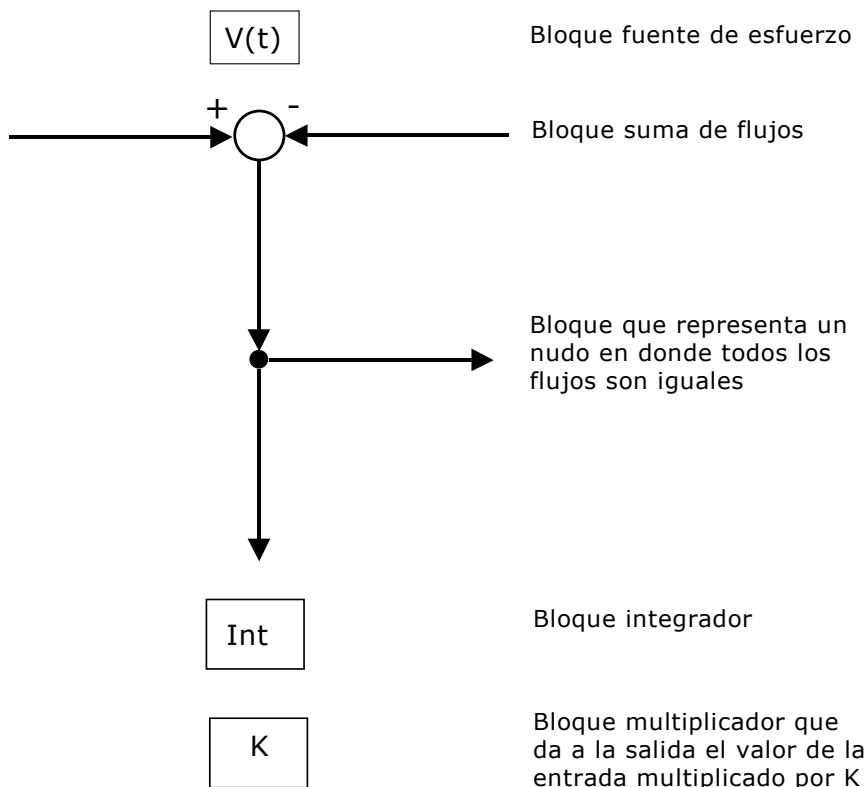
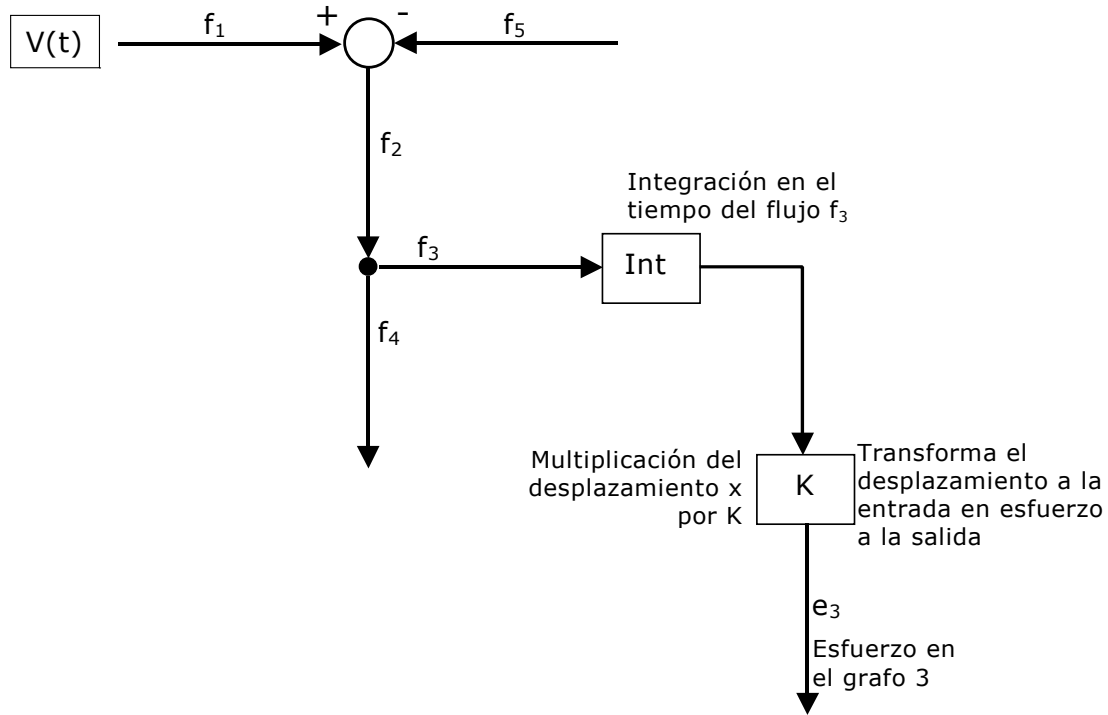


Figura 11.4

Continuemos con el desarrollo del ejemplo; el flujo del grafo 4 entra en una puerta resistencia. En esta puerta, al entrar con flujo conocido, se cumplirá que el esfuerzo asociado a la puerta es igual al flujo f_4 por R . En la figura 11.5, se muestra el bloque que simula la puerta R .

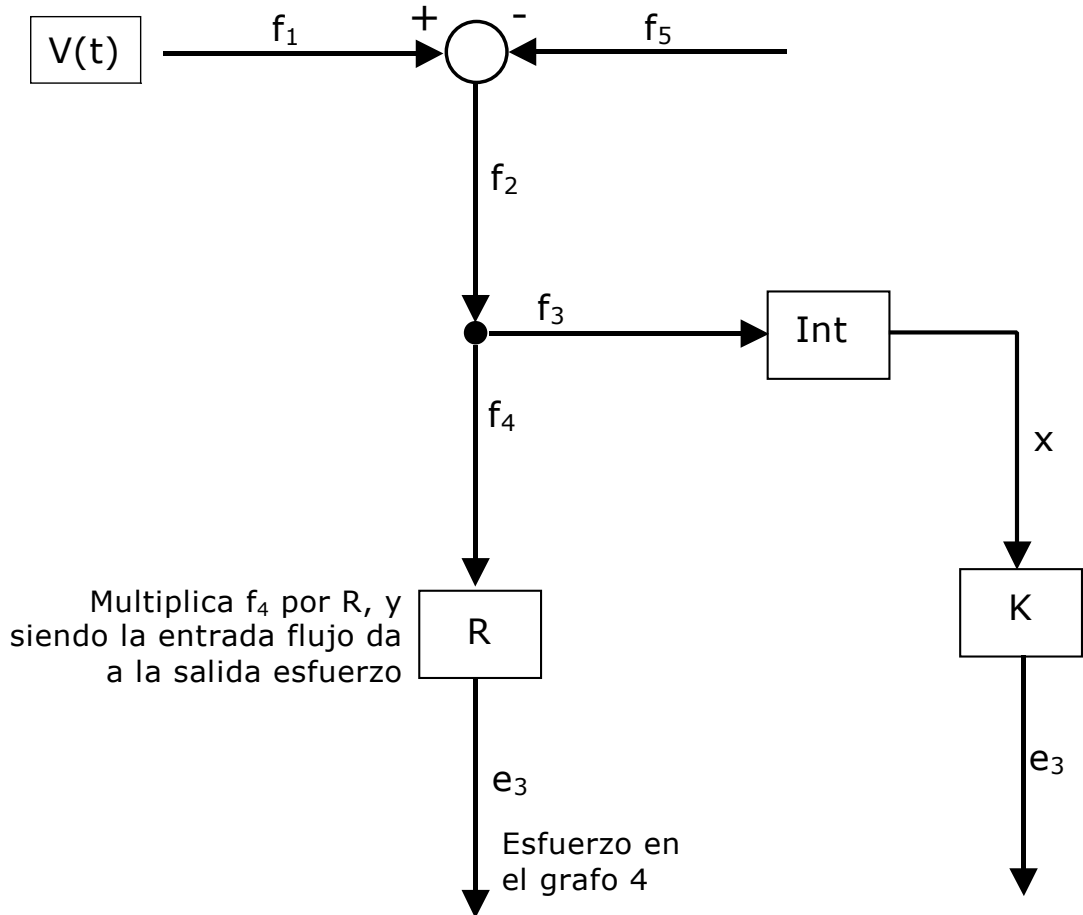


Figura 11.5

Una vez obtenidos en el diagrama de bloques los esfuerzos de los grafos 3 y 4, volvemos al Bond-Graph del modelo donde se observa la unión 1 formada por los grafos 3, 4 y 2. Si se atiende a la causalidad, el grafo 3 y el 4 entran en la unión con esfuerzo conocido y el grafo 2, sale de la unión con esfuerzo conocido.

Siguiendo pues el criterio de la causalidad, se tiene que:

$$e_2 = e_3 + e_4$$

Esta suma de esfuerzos se representará en el diagrama de bloques mediante un bloque tipo suma que ya había sido utilizado anteriormente. En la figura 11.6, se muestra la continuación del diagrama de bloques.

Anteriormente se había indicado que por cada línea del diagrama de bloques, solamente iba un parámetro físico; en la figura 11.7 puede observarse cómo esto implica que cada unión tenga que ser representada mediante dos bloques. Efectivamente, la unión 1 formada por los grafos 2, 3 y 4, necesita dos bloques, uno para indicar que el flujo de todos los grafos de la unión es igual, y el otro para que se cumpla la suma de esfuerzos.

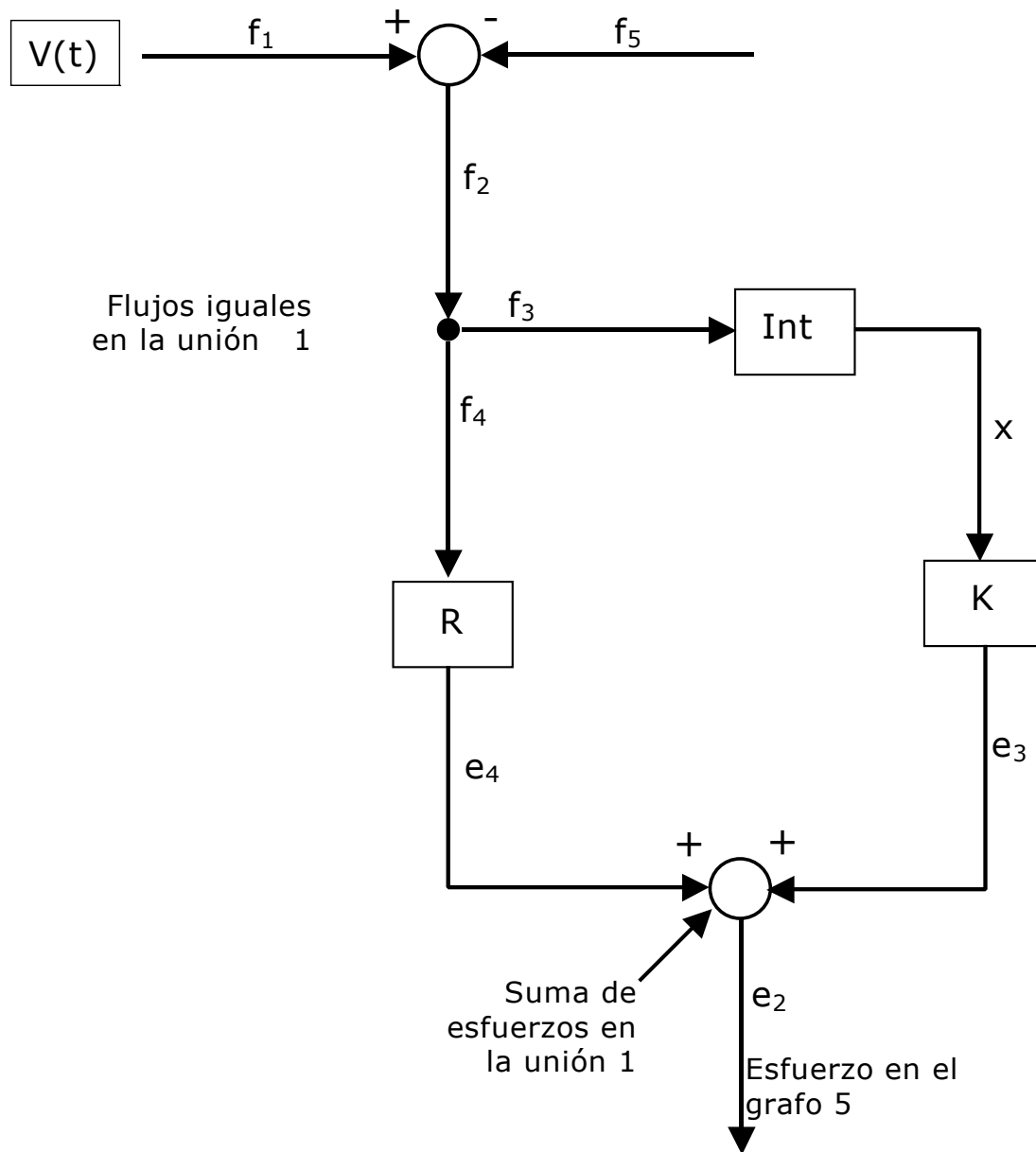


Figura 11.6

Una vez determinado el esfuerzo en el grafo 2 se llega a la unión 0 y como es lógico, los grafos 1 y 5 salen de la unión con esfuerzo conocido.

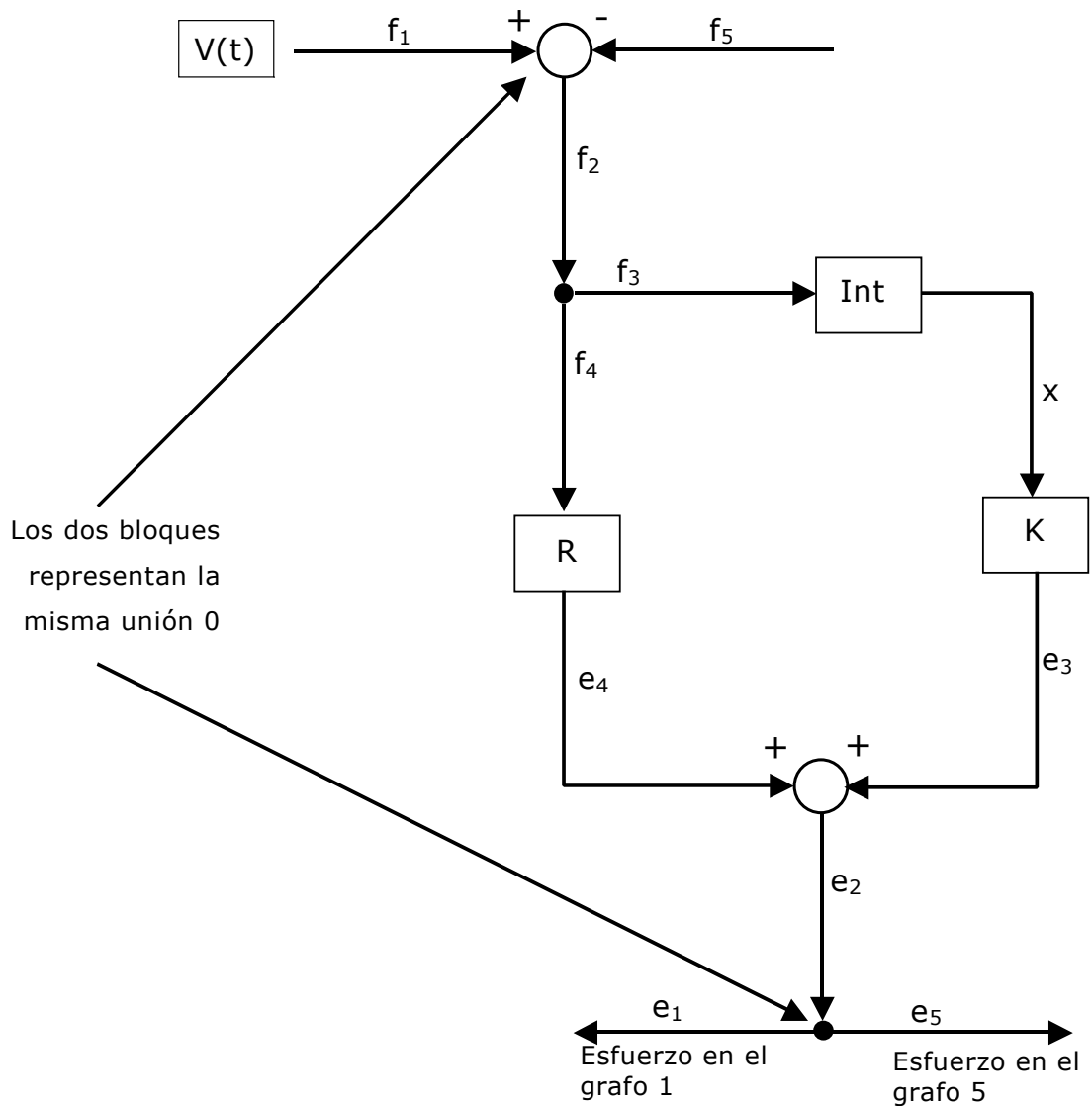


Figura 11.7

El esfuerzo del grafo 1 se lleva a un punto cercano al bloque de la fuente de flujo, para indicar que es el esfuerzo asociado a ella. El esfuerzo e_5 llega a una unión 1 formada por los grafos 5, 6 y 7. Atendiendo en esta unión a los criterios de causalidad puede decirse que:

$$e_6 = e_5 + e_7$$

Siendo el esfuerzo e_7 , procedente de una fuente de esfuerzo S_e .

En la figura 11.8, se añaden al diagrama de bloques tanto el bloque suma de esfuerzos, como el que representa la fuente de esfuerzo.

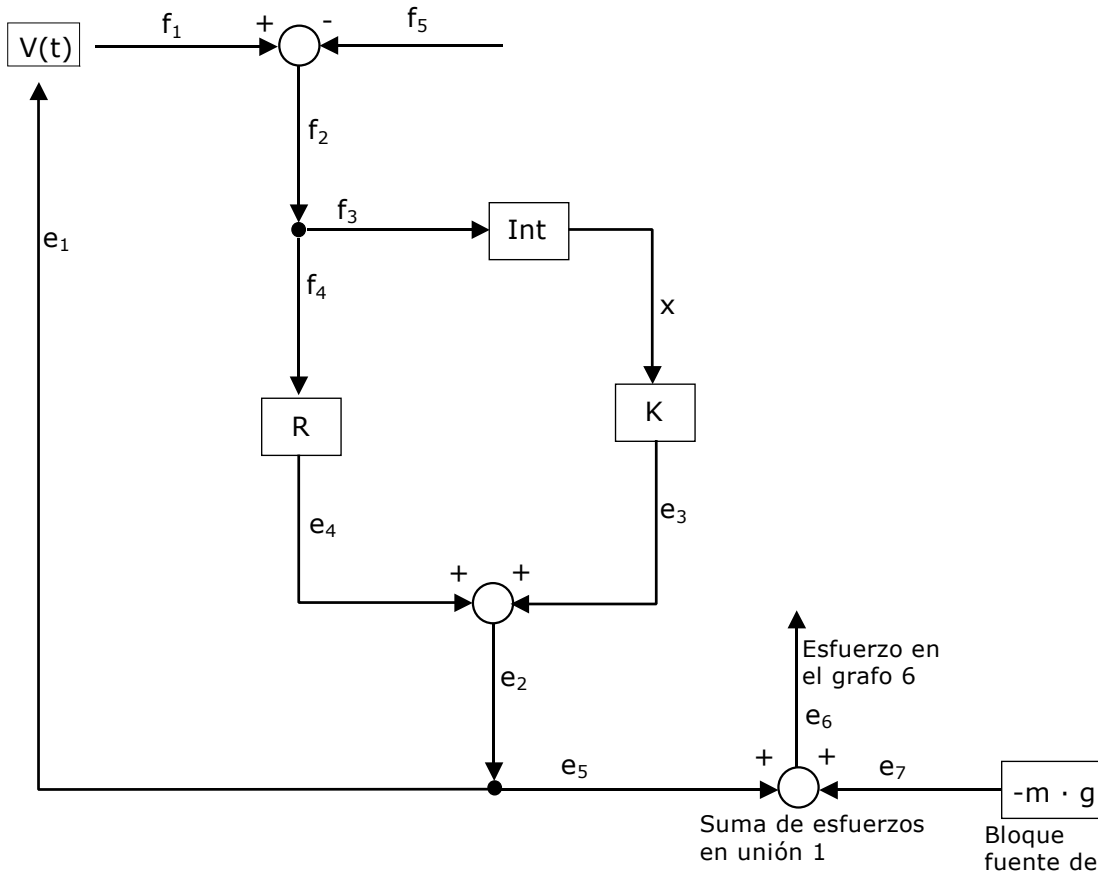


Figura 11.8

El grafo 6 es una puerta de inercia a la que se entra con esfuerzo conocido. Recordando la definición de la puerta de inercia se tiene que:

Siendo P el momento asociado a ella:

$$e_6 = dP/dt$$

Y por lo tanto, integrando el esfuerzo en el tiempo obtenemos:

$$\int e_6 \cdot dt = P$$

Y dividiendo P por el valor asociado a la puerta, queda:

$$P/m = f_6$$

Lo que significa que en la puerta de inercia se ha entrado con esfuerzo conocido y se sale con flujo conocido. En la figura 11.9 se añaden los bloques necesarios para simular el comportamiento de la puerta inercia.

Por último, el flujo f_6 entra en una unión 1 y define el flujo de todos los demás grafos de esta unión, de modo que los grafos 5 y 7 salen de la unión 1 con flujo conocido e igual a f_6 .

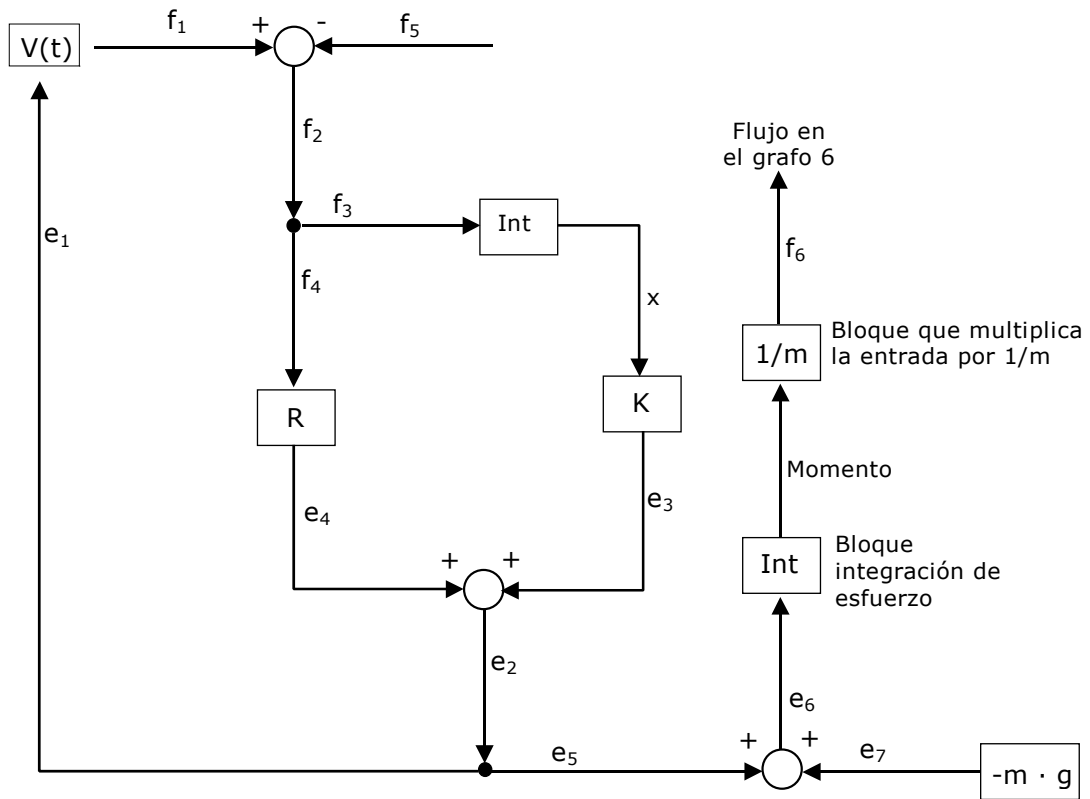


Figura 11.9

En la figura 11.10, se representa el diagrama de bloques ya terminado.

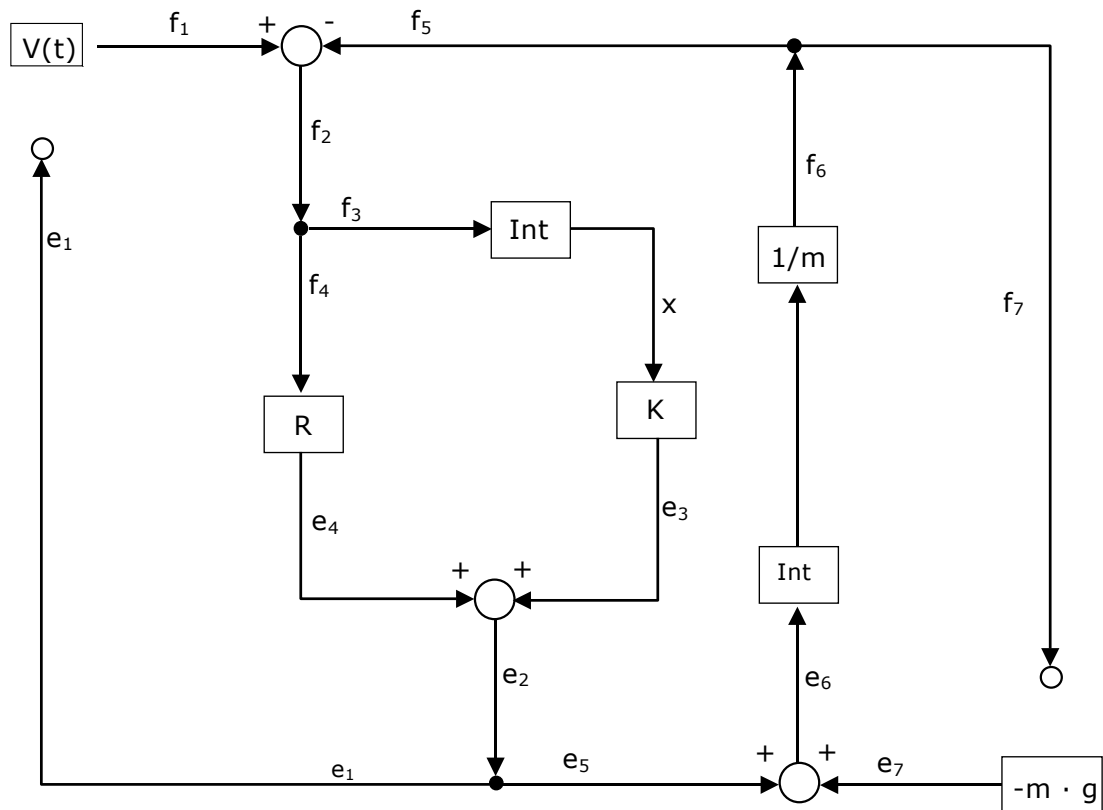


Figura 11.10

Con bloques, al igual que con los diagramas de grafos, puede representarse prácticamente cualquier dominio de la física.

Cada elemento del Bond-Graph tiene su representación mediante bloques. En las figuras 11.11 y 11.12, se representan las equivalencias entre elementos de Bond-Graph y bloques.

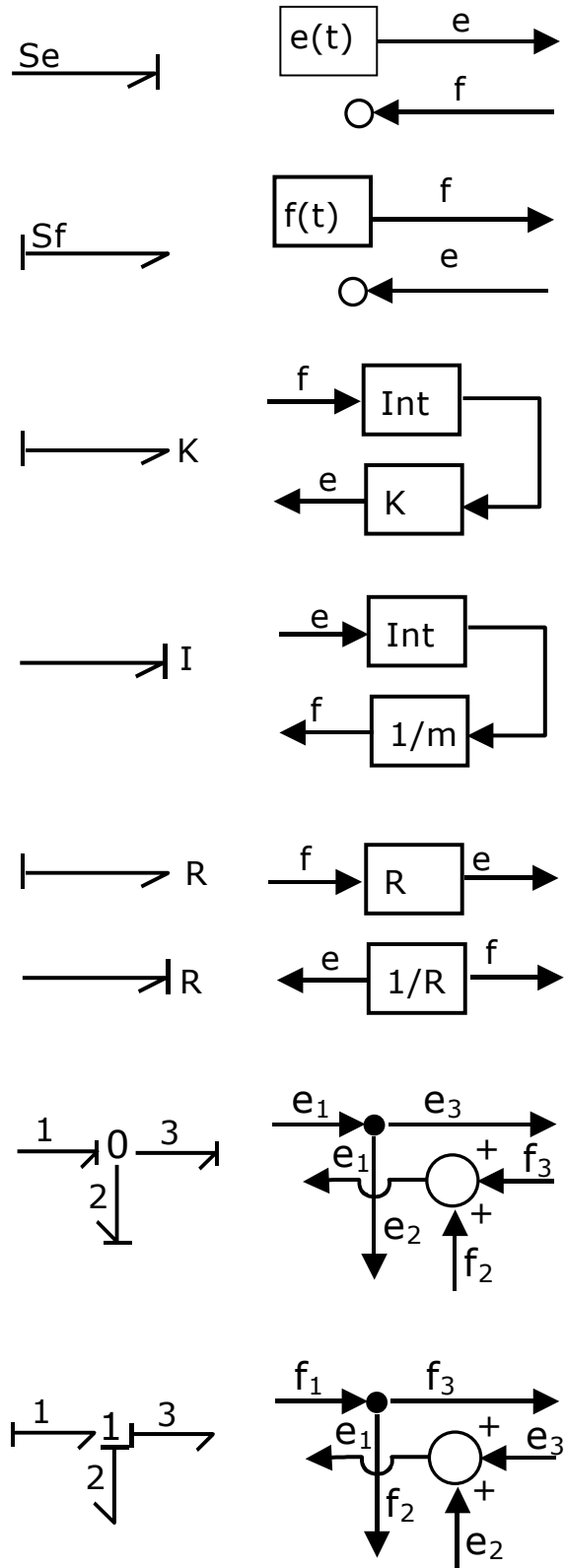


Figura 11.11

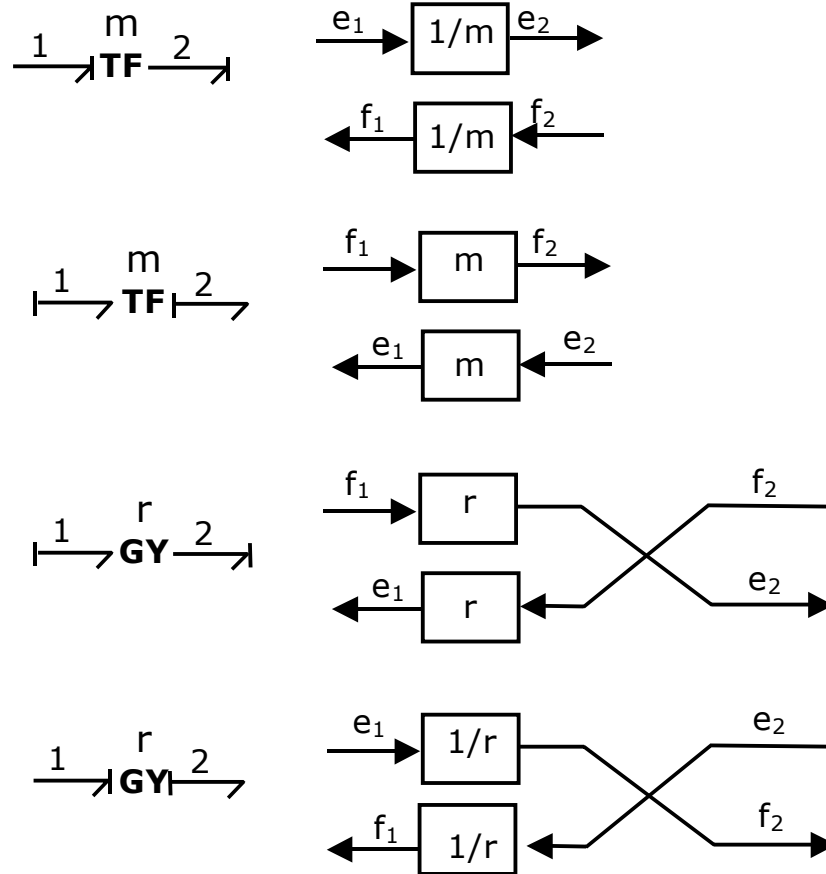


Figura 11.12

Para el paso de un diagrama de grafos a otro de bloques, hay que tener en cuenta principalmente dos cosas:

En los diagramas de bloques las líneas solo llevan asociado un parámetro físico.

La causalidad del bond-graph es lo que determina los criterios a seguir en el paso de un diagrama a otro.

11.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DE MODELOS MECÁNICO-HIDRÁULICOS

Uno de los ejemplos desarrollados en los primeros capítulos es el de las suspensiones hidroneumáticas. Utilizaremos aquel Bond-Graph en este apartado para obtener su diagrama de bloques.

El grafo 1 es una fuente de flujo que entra en un elemento transformer y que, evidentemente, tiene como causalidad el flujo.

El elemento transformer se representa en bloques mediante un multiplicador del parámetro físico que entra, siendo la razón del multiplicador la misma que la del transformer. En la figura se representa el equivalente del grafo 1 y del 2 en un diagrama de bloques.

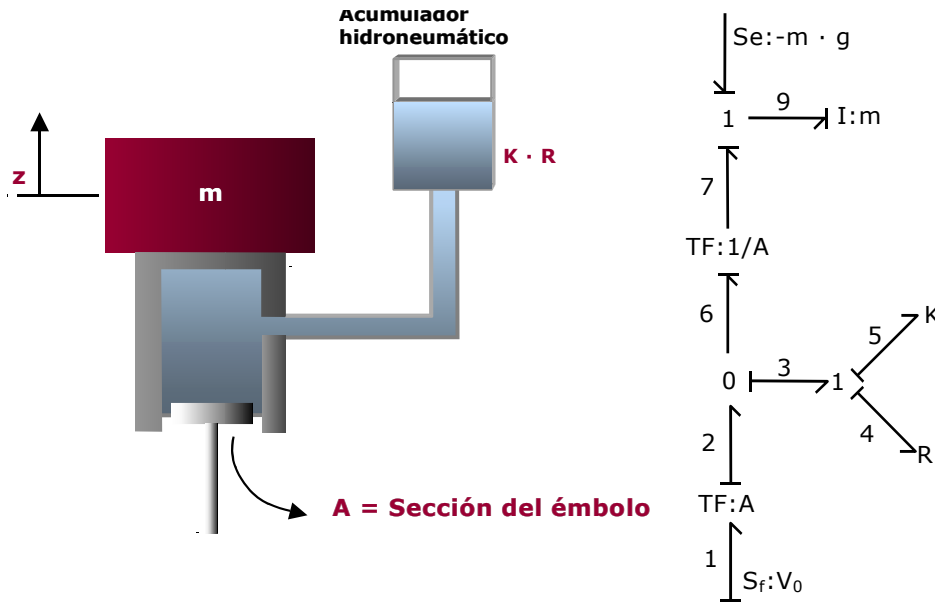


Figura 11.13

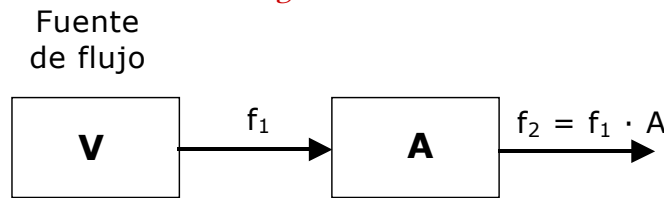


Figura 11.14

El bloque A es el encargado de multiplicar el flujo f_1 por A y dar a la salida el flujo f_2 de valor $f_1 \cdot A$.

En la unión 0, formada por los grafos 2, 3 y 6, el grafo 2 y el 6 entran con causalidad flujo conocido, mientras que el grafo 3 sale de la unión con causa flujo conocido. Como el grafo 6 sale de la unión 0, se cumple que: $f_2 - f_6 = f_3$

Siguiendo con el grafo 3, entra con flujo conocido en una unión 1 definiendo, por lo tanto, el flujo de salida de los demás grafos de la unión.

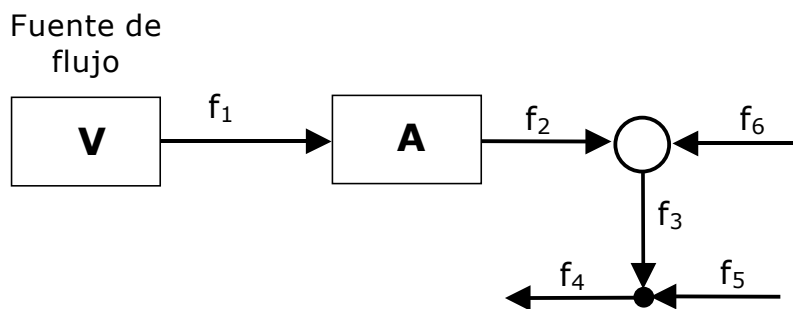


Figura 11.15

El grafo 5 entra con flujo conocido en una puerta resorte. Como se vio en el ejemplo anterior, primeramente es necesario integrar el flujo para obtener el desplazamiento y posteriormente, multiplicarlo por la rigidez K de la puerta para hallar el esfuerzo del grafo 5.

Por su parte, el flujo del grafo 4 entra en una puerta resistencia de valor R. Para obtener el esfuerzo e_4 , basta con multiplicar $f_4 \cdot R$.

Los esfuerzos de los grafos 4 y 5 entran en una unión 1, donde se cumple que:

$$e_4 + e_5 = e_3$$

Posteriormente, el esfuerzo e_3 llega a una unión 0, definiendo, en consecuencia, el esfuerzo de salida de todos los demás grafos de unión. Una vez definido el esfuerzo e_2 , este entra en el transformer A con esfuerzo conocido y define la salida en esfuerzo del grafo 1. Por otra parte, el esfuerzo e_6 entra en el transformer $1/A$, y se obtiene el esfuerzo e_7 .

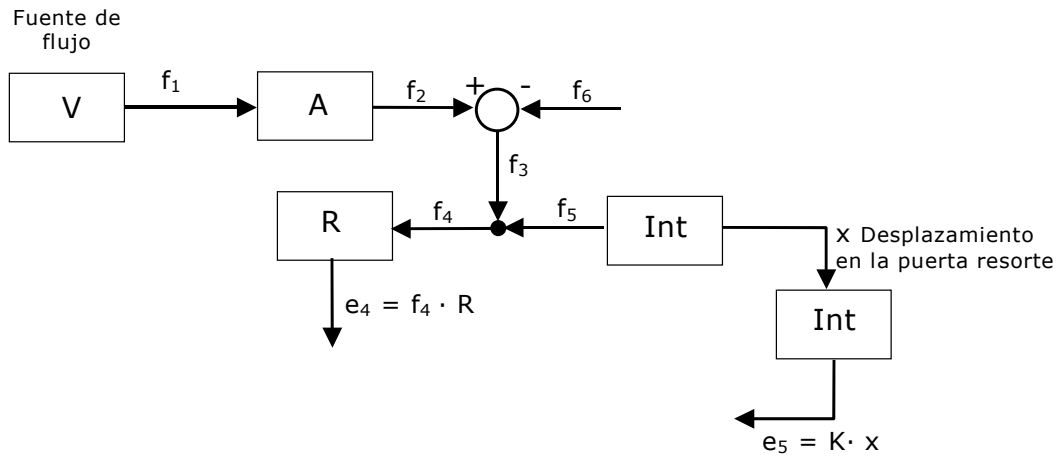


Figura 11.16

En la figura 11.17, se añaden al diagrama de bloques los últimos razonamientos.

El esfuerzo e_7 llega a una unión 1, en donde se cumple que: $e_7 + e_8 = e_9$

Posteriormente, el grafo 9 entra en una puerta de inercia donde es necesario integrar el esfuerzo para obtener el momento y después dividir este momento por el valor asociado a la puerta para obtener definitivamente el flujo f_9 . A su vez, este flujo entra en la unión 1 junto a los grafos 7 y 8, definiendo sus flujos de salida.

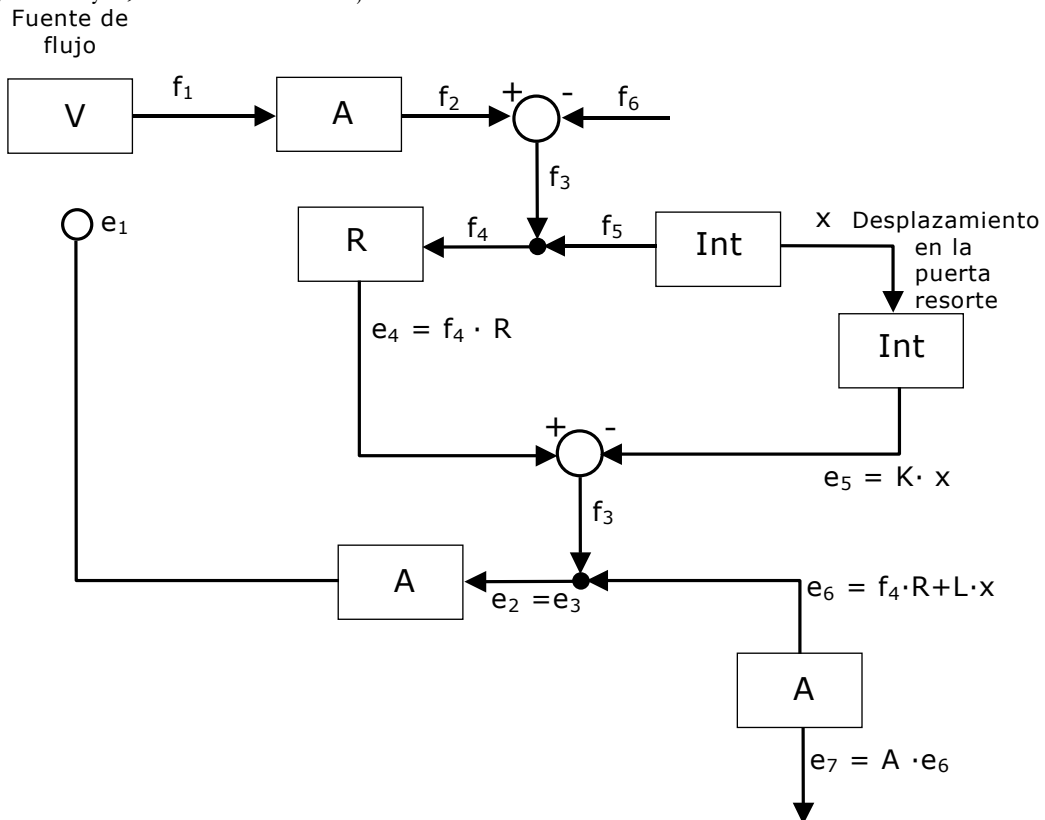


Figura 11.17

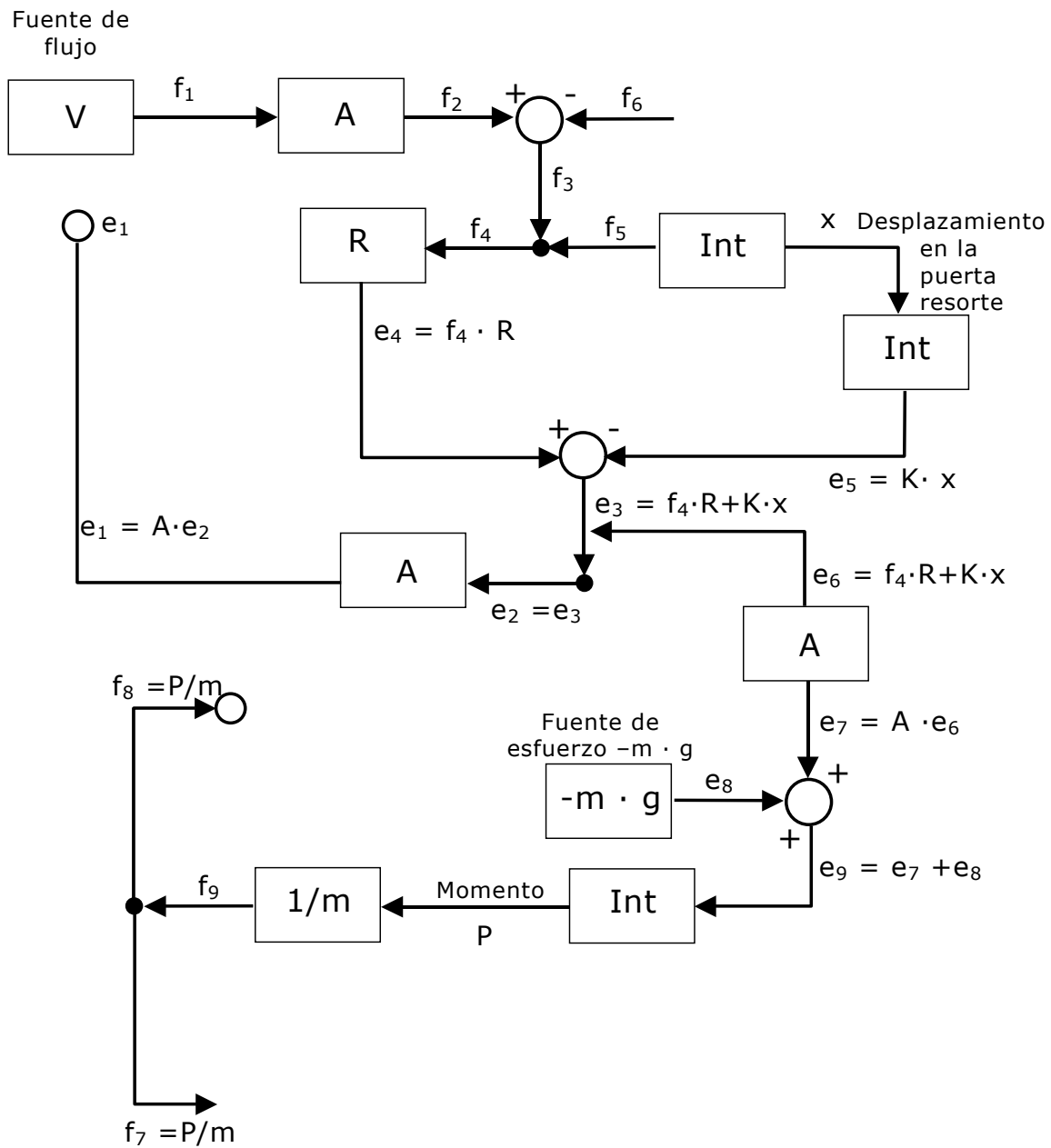


Figura 11.18

El flujo f_7 entra en el transformer de razón $1/A$ y se obtiene el flujo del grafo 6. Con esto se ha terminado el diagrama de bloques del modelo planteado.

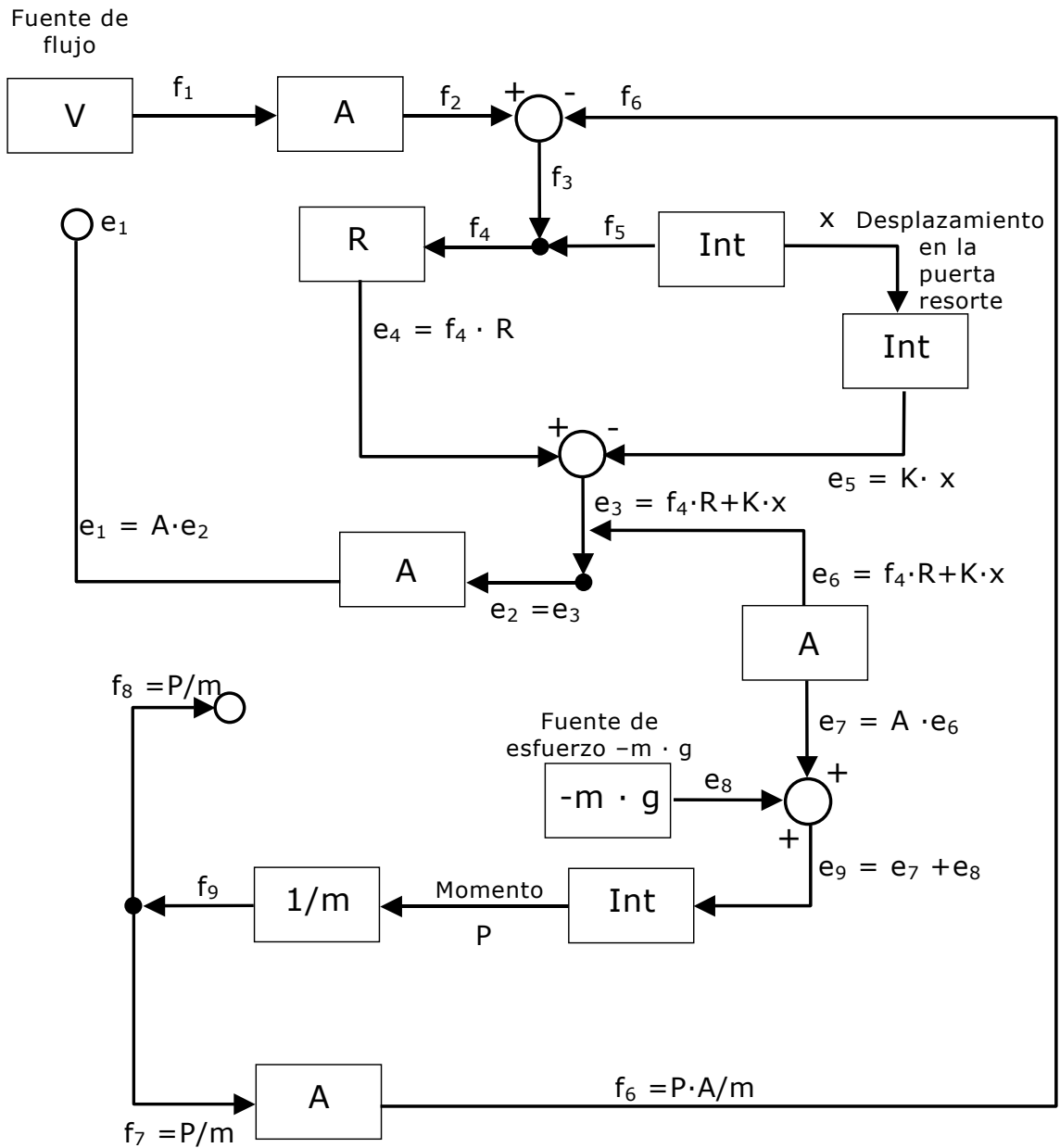


Figura 11.19

11.3. MODELOS CON PUERTAS DE INERCIA DE CAUSALIDAD FLUJO

Hasta ahora en todos los ejemplos planteados las puertas inercia tenían como causalidad el esfuerzo. En el modelo de la figura 11.20 hay una puerta de inercia con causalidad flujo. Veamos en este caso cómo se plantea el diagrama de bloques.

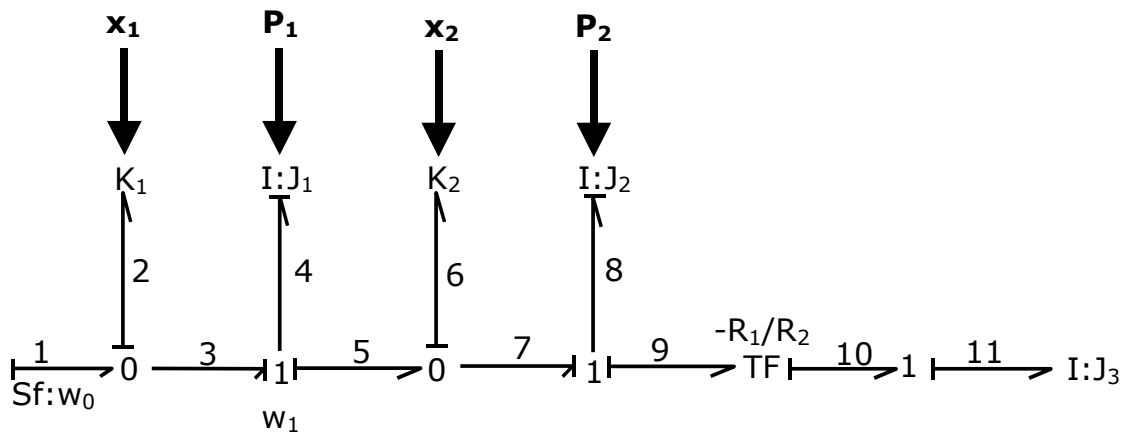
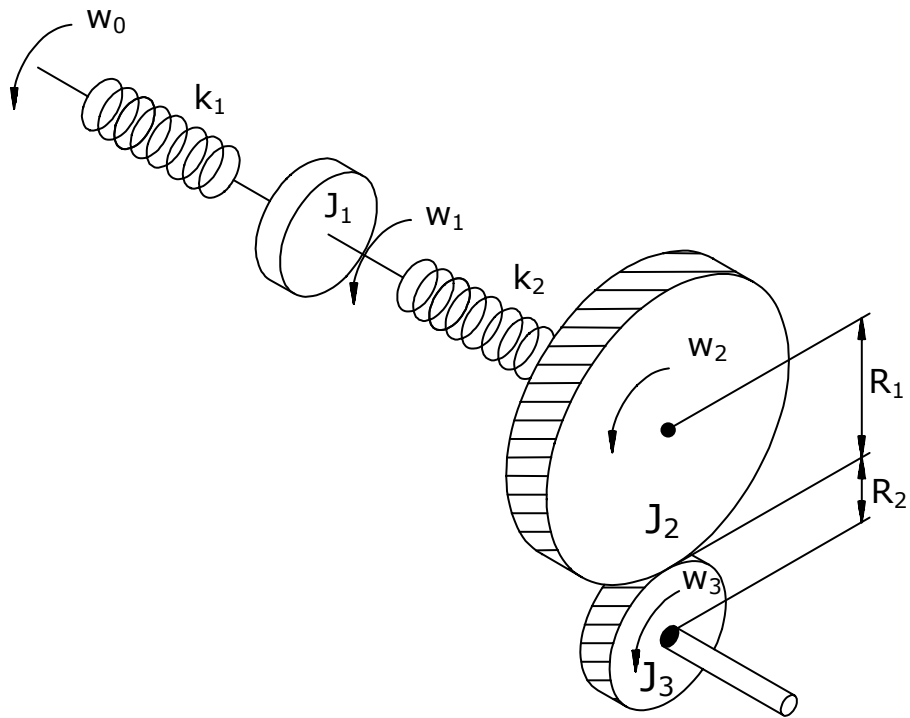


Figura 11.20

Se parte como de costumbre de una fuente que, en este caso, es única y de flujo.

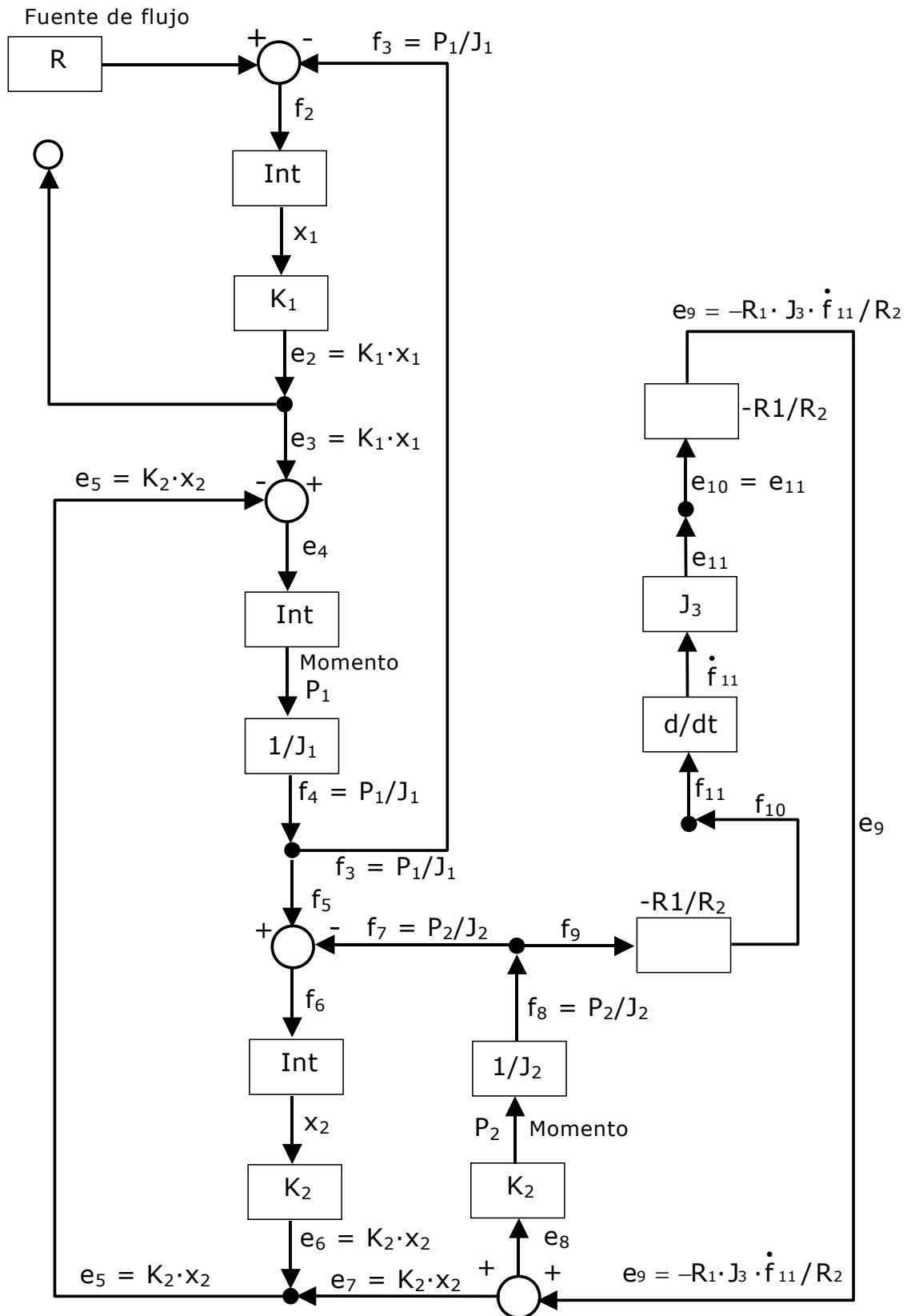


Figura 11.21

Dada una puerta de inercia a la que se entra con causalidad flujo, los pasos que se plantean en el diagrama de bloques son los siguientes:

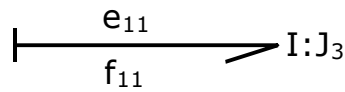


Figura 11.22

Al conocer el flujo f_{11} , se halla inicialmente la aceleración en la puerta de inercia sin más que derivar respecto al tiempo f_{11} .

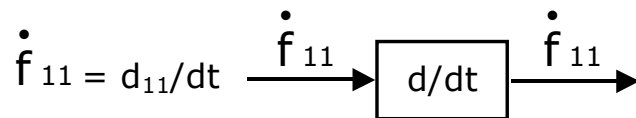


Figura 11.23

Como la aceleración en la puerta, multiplicada por el valor de esta es igual al esfuerzo, se tendrá:

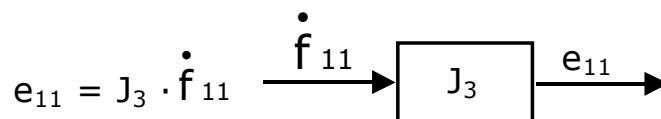


Figura 11.24

El resto de bloques de la figura 11.21, no incluyen ninguna novedad respecto a lo presentado en los ejemplos anteriores.

9.4. CASO DE QUE LA CAUSALIDAD EN LA PUERTA RESORTE SEA ESFUERZO

En la figura 11.25, se muestra un modelo en el que una de las puertas resorte tiene causalidad esfuerzo. Este caso ya había sido analizado en el capítulo de la causalidad, y aquí simplemente se desarrollará el diagrama de bloques.

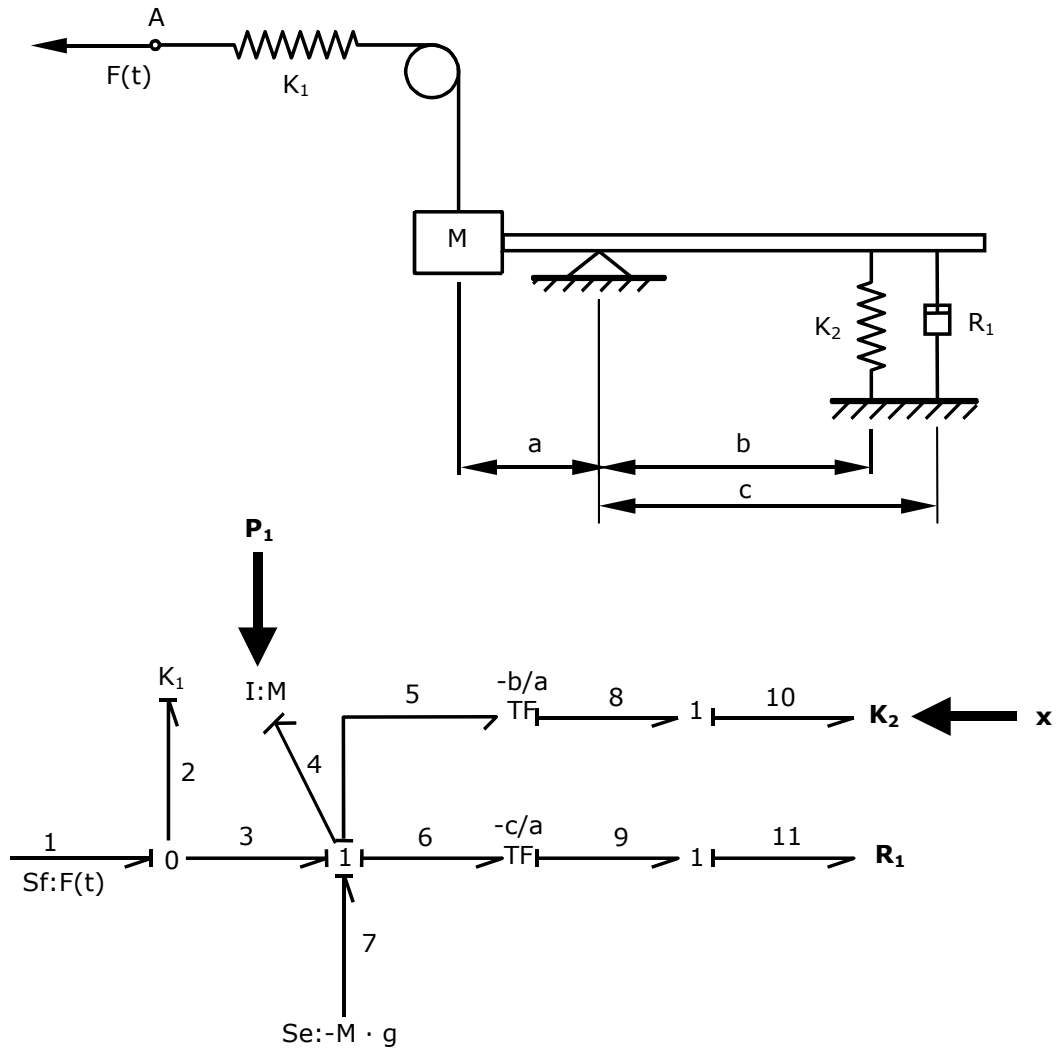


Figura 11.25

El grafo 2 representa una puerta resorte donde la causa es esfuerzo.

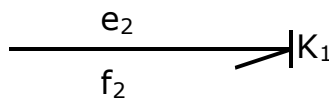


Figura 11.26

En este caso se conoce el esfuerzo e_2 , y el flujo f_2 se obtiene en dos pasos. Primeramente el esfuerzo es dividido por K_1 para obtener el desplazamiento asociado a la puerta.

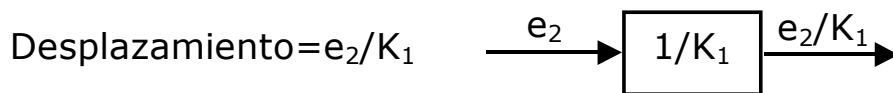


Figura 11.27

Por último, basta derivar respecto al tiempo el desplazamiento para obtener el flujo f_2 .

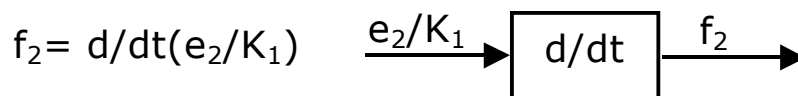


Figura 11.28

El resto del Bond-Graph se pasa al diagrama de bloques aplicando simplemente los criterios establecidos en los ejemplos anteriores.

En la figura 11.29, se muestra el diagrama completo de bloques del modelo en estudio.

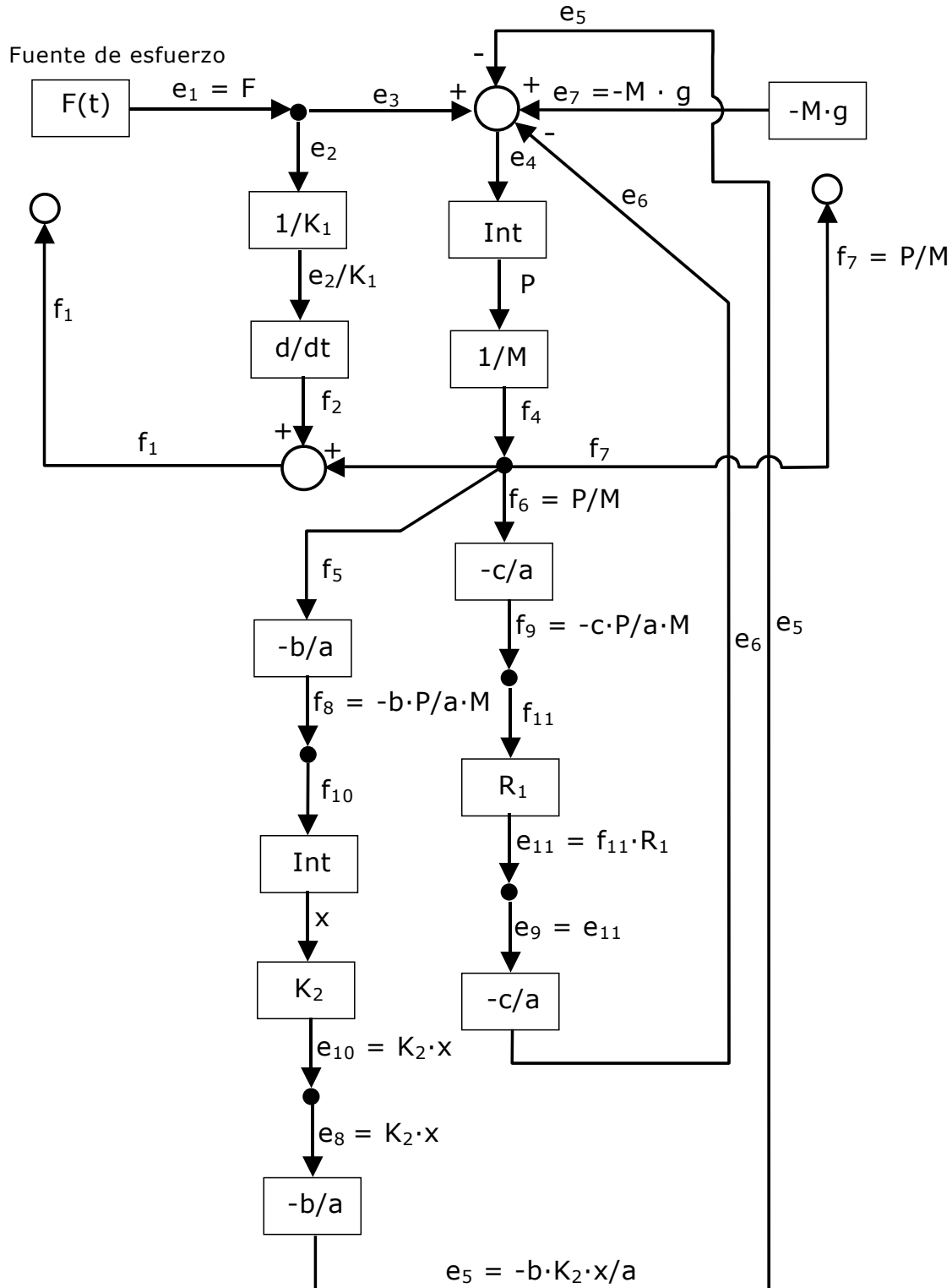


Figura 11.29

En definitiva, cuando una puerta resorte tiene causalidad flujo, su representación en bloques se realiza mediante una integración y una multiplicación, mientras que cuando la causalidad es esfuerzo se hace mediante una división y una derivación.

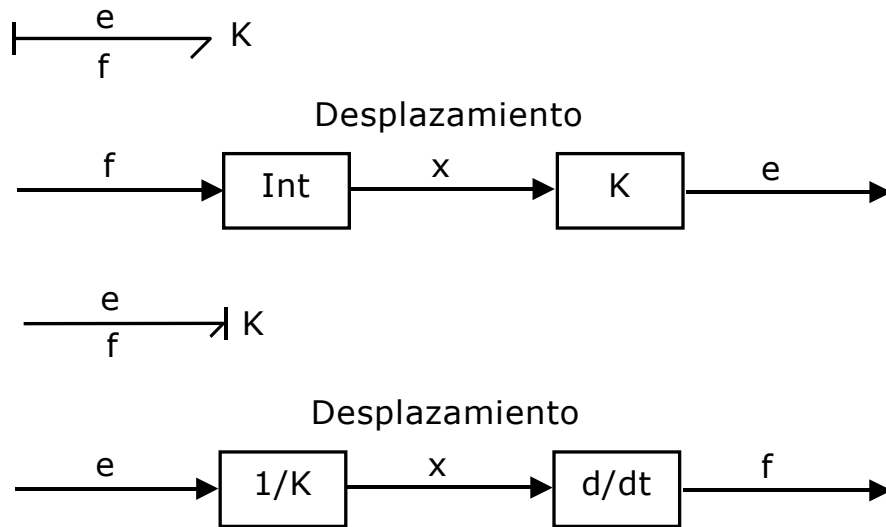


Figura 11.30

Por este motivo, algunos autores a la causalidad flujo en la puerta resorte la denominan causalidad integral y a la causalidad esfuerzo causalidad diferencial.

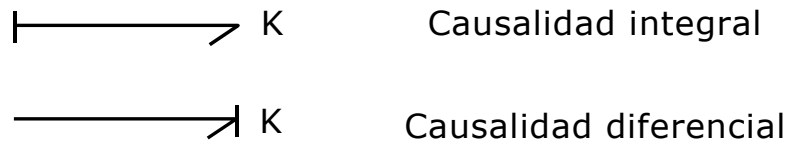


Figura 11.31

En el caso de las puertas inercia, sucede todo lo contrario. Cuando la causalidad es esfuerzo su representación en bloques se hace mediante una integración y una división, mientras que con causalidad flujo se emplea una derivación y una multiplicación.

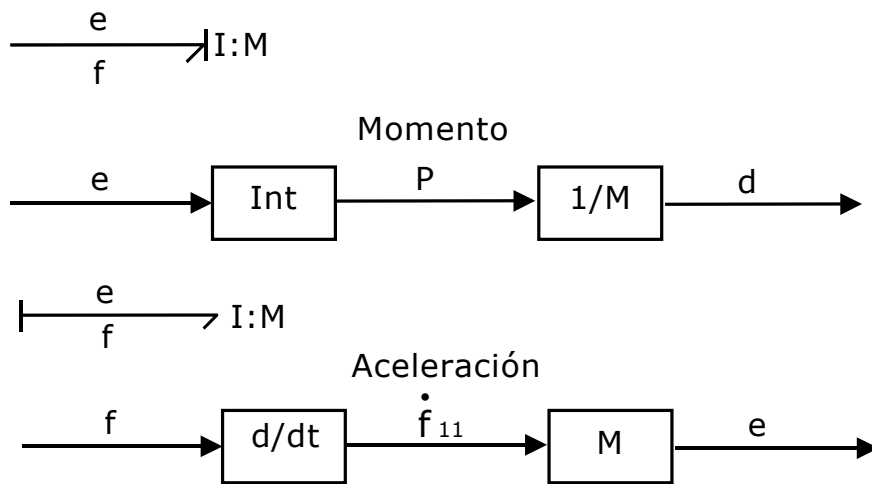


Figura 11.32

En este caso, cuando la causalidad es esfuerzo, se dice que la puerta tiene causalidad integral, y cuando es flujo se denomina diferencial.

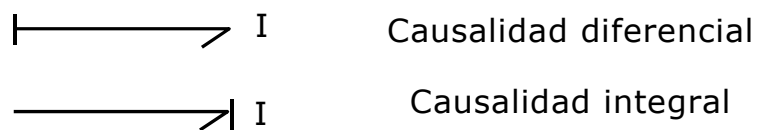


Figura 11.33