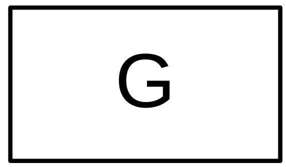
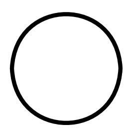
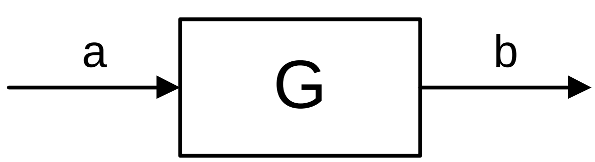
Diagramas en Bloques

Un sistema de control puede constar de cierta cantidad de componentes. Para mostrar las funciones que realiza cada componente se acostumbra usar representaciones esquemáticas denominadas Diagrama en Bloques. Este tipo de diagramas emplea tres símbolos:

<u>Bloque</u> Sirve para representar un sistema al que llega información (variable de entrada) y en el que se produce información (variable de salida). Se lo identifica con una letra Mayúscula que da el valor del bloque.	
<u>Señal</u> Representativa de variables de entrada o salida. La dirección del flujo de información viene dado por el sentido de la flecha. Se caracteriza con una letra minúscula.	
<u>Sumador</u> Elemento que sirve para combinar dos señales de entrada generando una salida que es su suma (o resta)	

Operaciones elementales

Dos son las operaciones elementales definidas para los Diagramas en bloque. Una la que define la función del bloque y que se esquematiza como sigue:

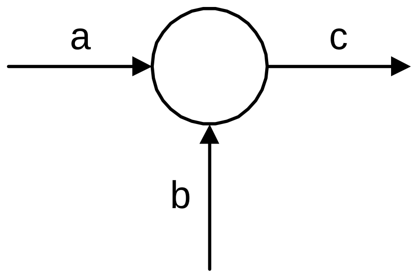


La variable de entrada es 'a', perfectamente individualizada por la dirección de la flecha. La variable de salida es 'b' y la relación matemáticas entre ambas es:

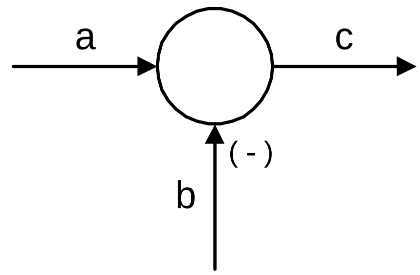
$$b = G\,a$$

Se quiere poner de manifiesto una relación causa-efecto. La variable de entrada 'a' influye (causa) en el sistema determinado por el bloque G que genera una variable de salida (efecto). Esta variable de salida es la consecuencia de la entrada 'a' y de la naturaleza del sistema 'G'. Cada bloque tiene una sola entrada y una sola salida.

La combinación de señales se hace a través del sumador al que ingresan dos señales de entrada y de la que resulta una salida, la suma (o resta) de las entradas:



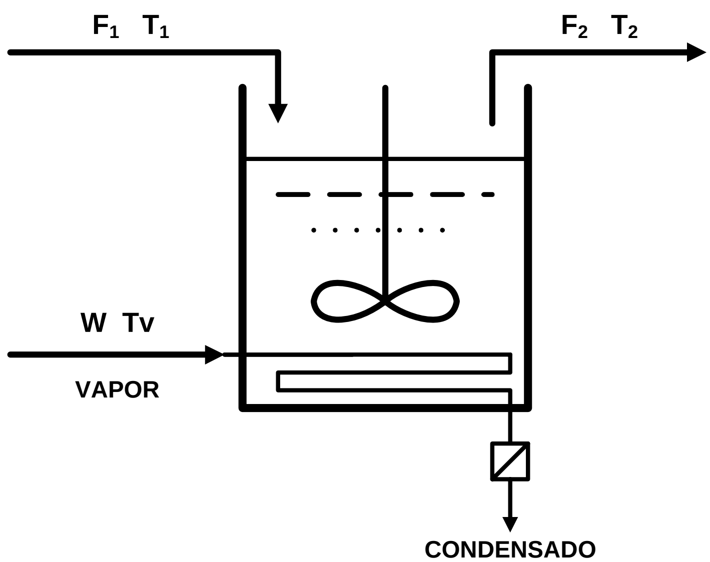
$$c = a + b$$



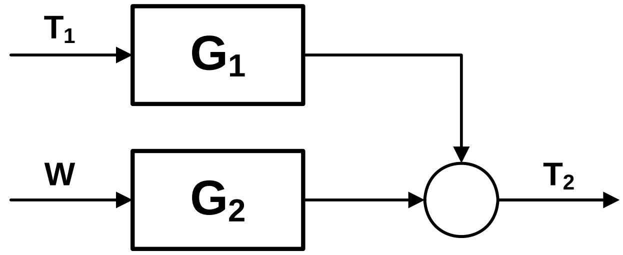
$$c = a - b$$

Cuando una de las señales se resta, debe indicarse explícitamente en la proximidad del sumador con el signo '(-)'. Toda la representación de un sistema físico en el que existen diversos subsistemas y en que se relacionan diversas variables se debe describir con estos tres elementos.

A modo de ejemplo consideremos un tanque agitado continuo al que ingresa una corriente F_1 y sale una corriente F_2. Mediante un flujo de vapor W que condensa en un serpentín se transfiere calor haciendo que la corriente que ingresa a la temperatura T_1 salga a una mayor T_2.



Hay diversas variables de entrada. Considérese T_1 y W (se supone que solo éstas cambian). Debido al cambio de estas entradas, la temperatura T_2 cambiará. Se observa la acción de dos causas (variables de entrada) y el efecto sobre una variable de salida T_2 a través de un sistema que en este caso es el tanque. Para representar esta relación entrada-salida (causa-efecto) se puede emplear el siguiente *Diagrama en Bloques*:



que matemáticamente se puede expresar como:

Salida = (Bloque 1) entrada 1 **+** **(**Bloque 2**)** entrada 2

$$T_2 = G_1 T_1 + G_2 W$$

y que puede interpretarse de la siguiente forma

> *T_2 cambia como resultado de la influencia de cambios en T_1 (una de las entradas) a través del bloque G_1 a lo que se le debe sumar la influencia de la otra variable de entrada W que produce cambios en la salida a través del bloque G_2. Tanto G_1 como G_2 representan la influencia del sistema (en este caso el tanque con calefacción) sobre la variable de salida, pero cada una considera la influencia de una variable de entrada*

La representación con Diagramas en Bloques sirve exclusivamente para sistemas lineales, es decir para aquellos en los que la influencia de diversas variables de entrada resultan igual a la suma de las influencias individuales. No obstante esto, se puede extender este análisis a sistemas no lineales.

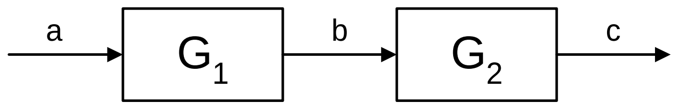
Las ventajas de esta representación es que resulta fácil formar el diagrama en bloques global de todo el sistema, colocando simplemente los bloques de sus componentes de acuerdo con el flujo de señales. De esta forma es posible evaluar la contribución de cada componente al comportamiento general de todo el sistema. El funcionamiento de un sistema se puede ver más fácilmente examinando el diagrama de bloques, que analizando el sistema físico en sí.

Un diagrama de bloques contiene información respecto al comportamiento dinámico, pero no de la constitución física del sistema. En consecuencia, muchos sistemas distintos, sin relación alguna entre ellos, pueden estar representados por el mismo diagrama de bloques.

Álgebra elemental de bloques

Los diagramas en bloques representados por muchos bloques y señales intermedias pueden simplificarse en un solo bloque cuyo valor es una función de los bloques individuales pero no de las señales intermedias. Para simplificar diagramas muy complejos se pueden emplear las tres reglas elementales (y toda otra que se deduzca a partir de ellas) que se presentan en la Tabla siguiente.

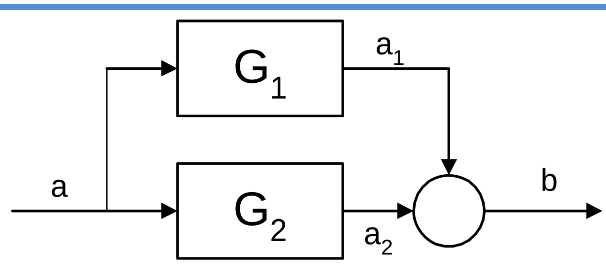
Bloques en Serie



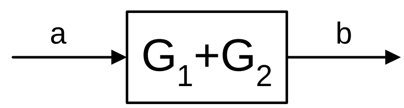
$b = G_1 a \qquad c = G_2 b$

$\Rightarrow \quad c = G_1 G_2 a = Ga$

Bloques en Paralelo

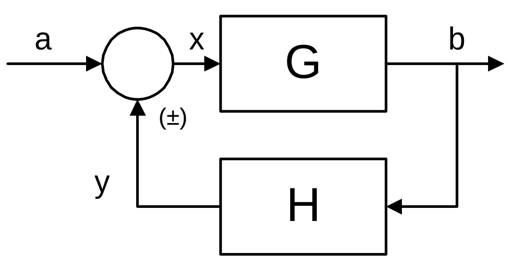


$a_1 = G_1 a \qquad a_2 = G_2 a \qquad b = a_1 + a_2$



$\Rightarrow \quad b = (G_1 + G_2)a = Ga$

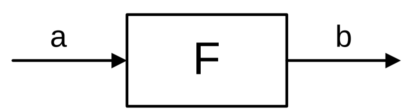
Realimentación



$x = a + y$

$b = Gx \qquad y = Hb$

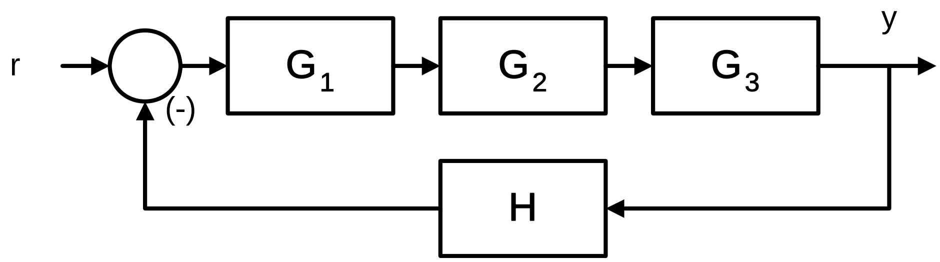
$x = a - y$



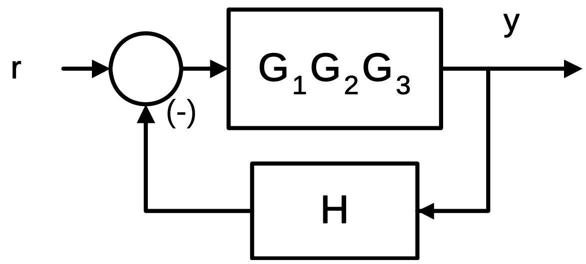
$$\Rightarrow \quad b = \frac{G}{1 - GH} a = Fa$$

$$\Rightarrow \quad b = \frac{G}{1 + GH} a = Fa$$

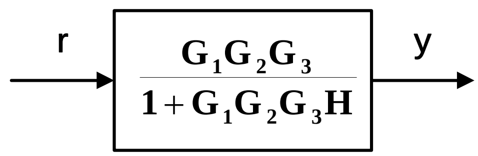
Empleando estas reglas se puede simplificar diagramas integrados por diversos elementos hasta llegar a una representación mínima. A modo de ejemplo, se puede considerar el diagrama siguiente (muy difundido en Control de Procesos) que consta de 4 bloques y 2 sumadores. Se pretende encontrar la relación entre "r" (entrada) e "y" (salida) a través de un un solo bloque equivalente.



Considerando los bloques en serie G_1, G_2 y G_3 queda:



y resolviendo la realimentación:



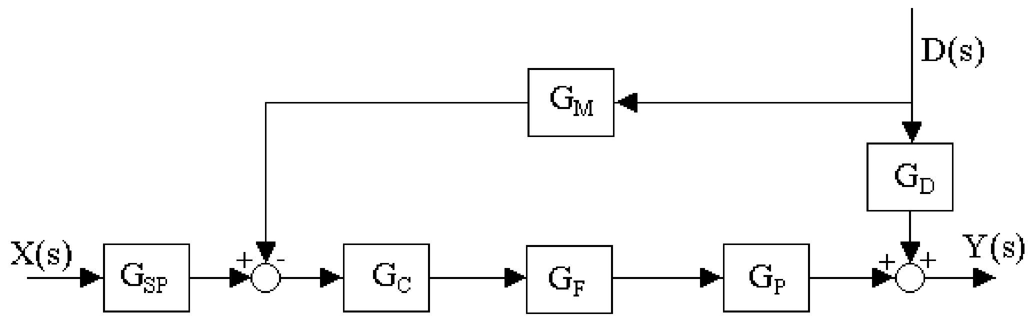
o expresado en términos de ecuaciones:

$$y = \frac{G_1 G_2 G_3}{1 + G_1 G_2 G_3 H} r$$

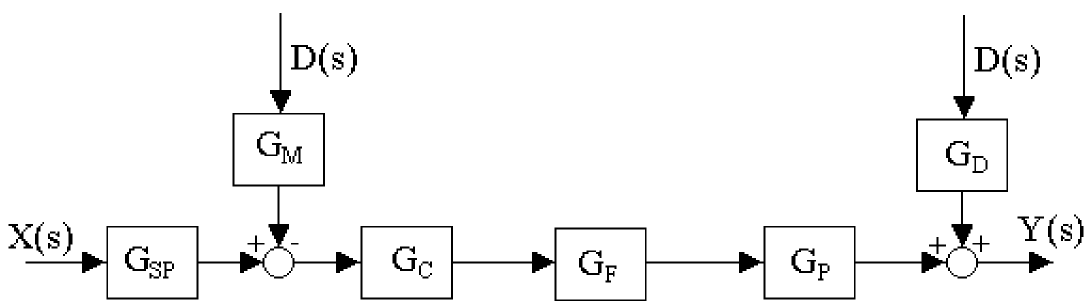
Esto nos refiere a la conocida *"Regla de Mason"* que dice que cuando existe un lazo de realimentación, la transferencia entre la entrada y la salida es igual al producto de todas las transferencias en el camino directo entrada-salida dividido en 1 más el producto de todas las transferencias incluidas en el circuito de realimentación (o 1 menos si la realimentación es positiva).

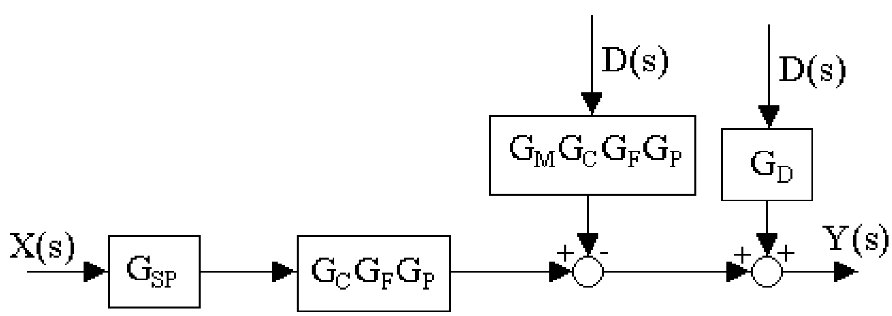
Ejemplo de aplicación de reducción de un Diagrama en Bloques

Considere el ejemplo de la figura que corresponde a una estrategia de control automático, Avanacción (feedforward) pura.

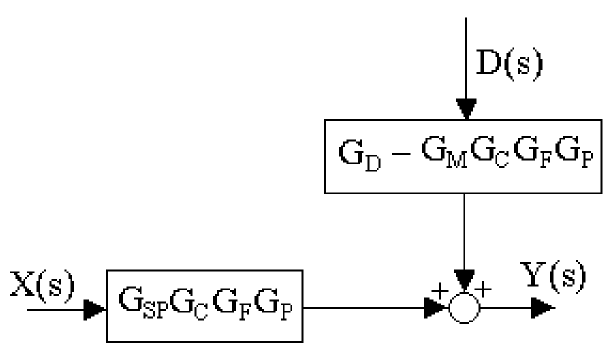


Para encontrar la relación entre entradas y salidas se debe ir reduciendo el diagrama en forma sucesiva hasta llegar a la expresión gráfica más simple aplicando las reglas anteriores. En primer término, se separa los caminos en paralelo:



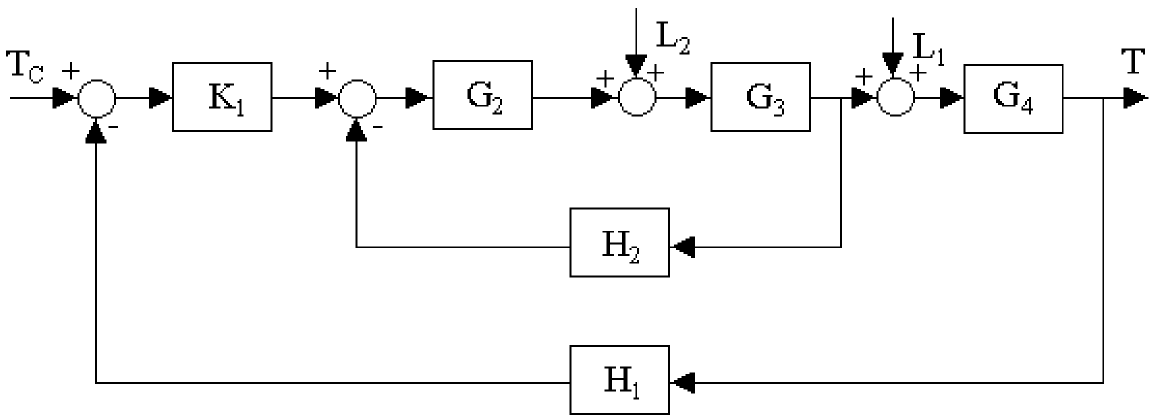


Considerando las dos entradas para la única salida:

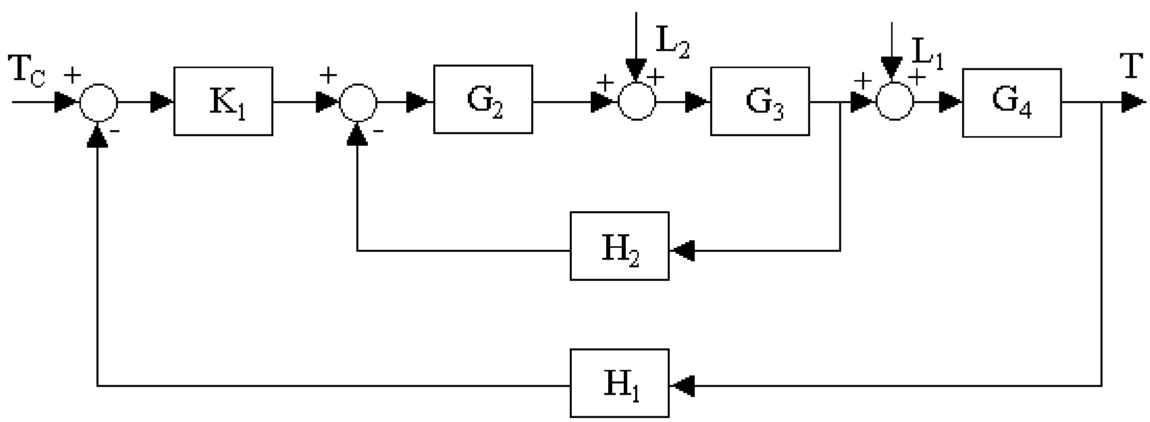


Reducción de un Diagrama en Bloques complejo

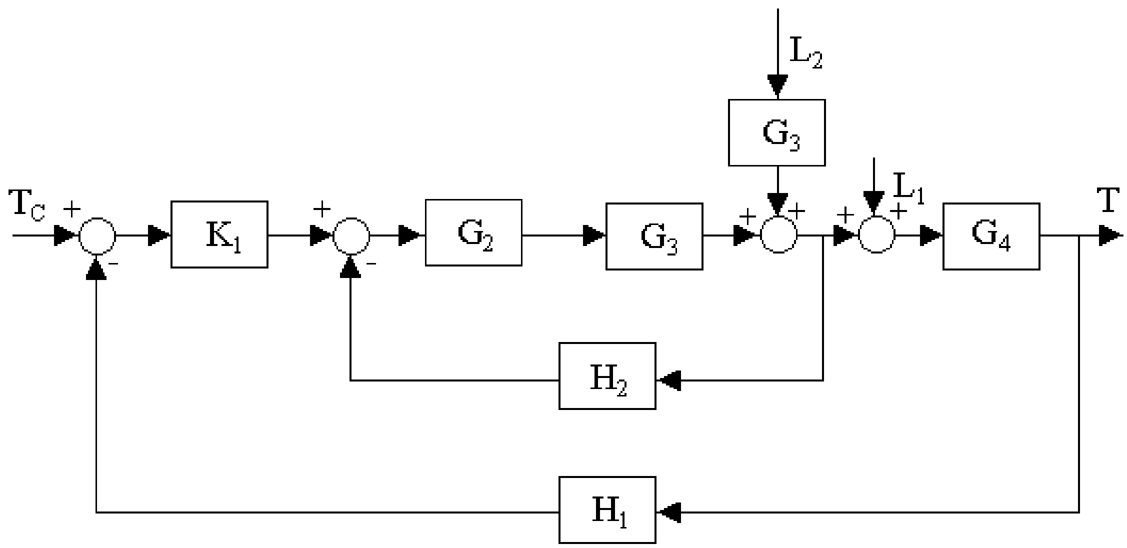
Una estrategia de control muy difundida es el Control en Cascada. Un ejemplo se puede ver en la figura siguiente: Existen dos realimentaciones anidadas y son tres las entradas a considerar: **Tc**, $\mathbf{L_1}$ y $\mathbf{L_2}$, mientras que la salida es **T**.



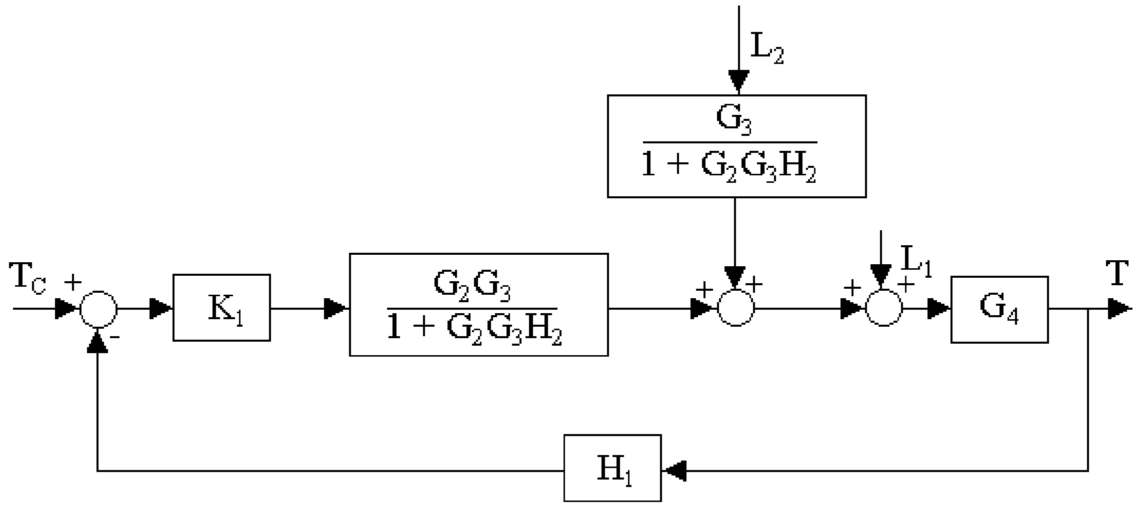
Paso 1:



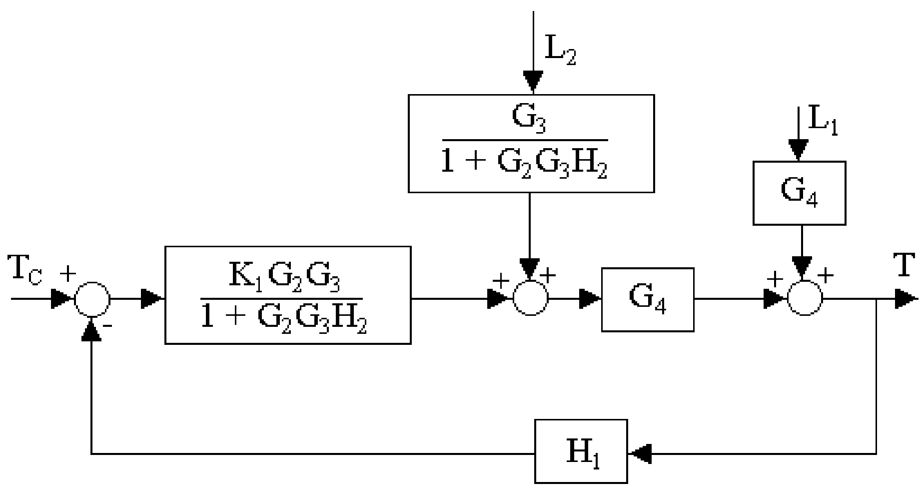
Paso 2


L2
G3
TC
+
K1
+
G2
G3
+
+
+
L1
+
G4
T
-
-
H2
H1

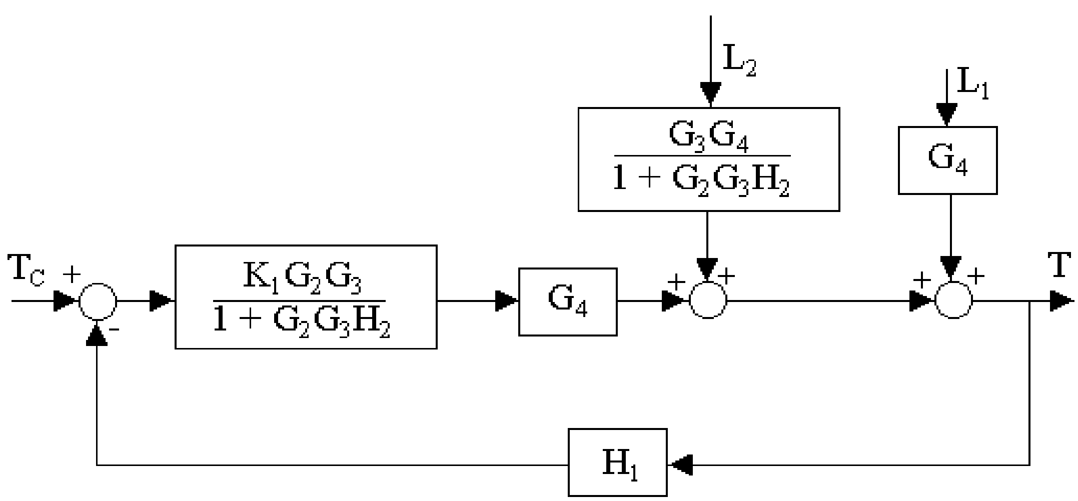
Paso 3



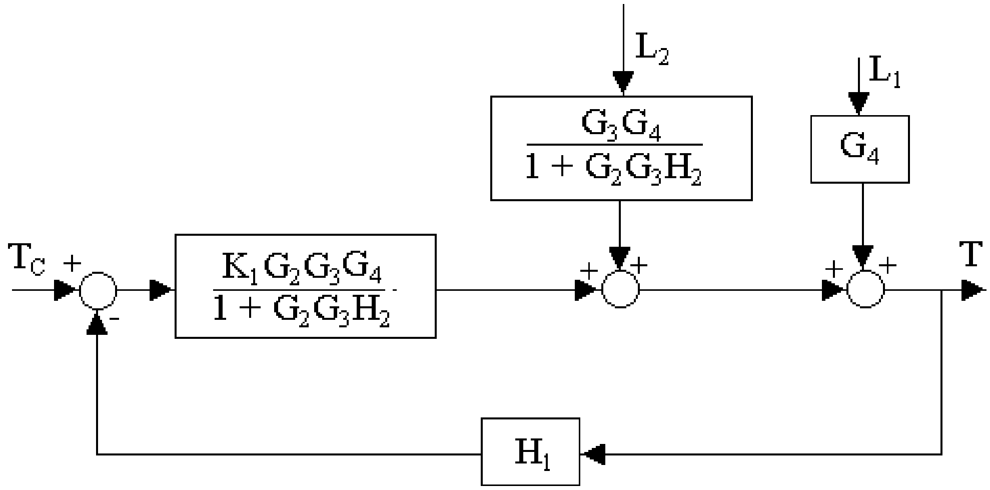
Paso 4



Paso 5



Paso 6

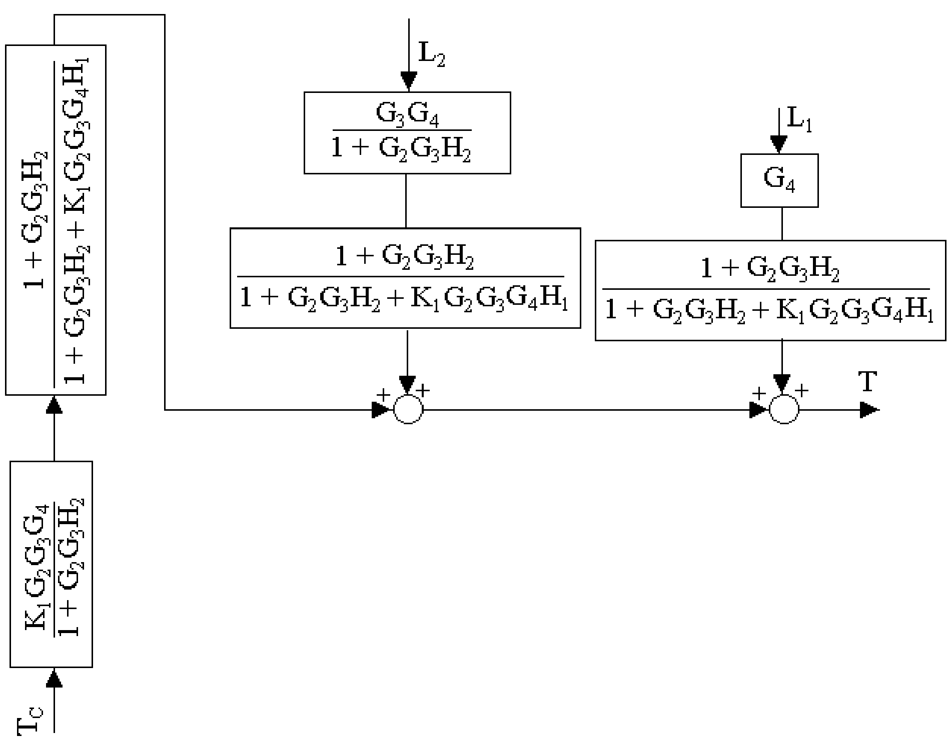


Debido al lazo de realimentación negativa, en el denominador debe aparecer:

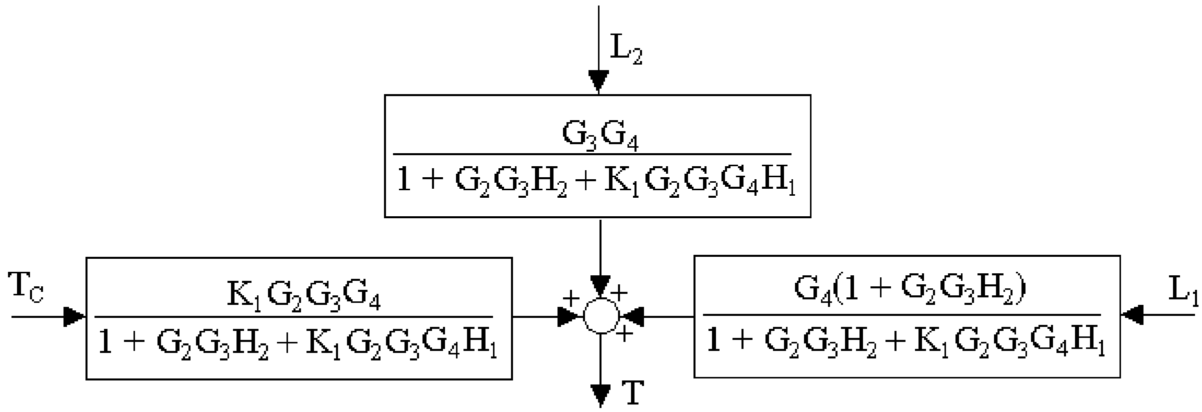
$$1 + \frac{K_1 G_2 G_3 G_4 H_1}{1 + G_2 G_3 H_2} = \frac{1 + G_2 G_3 H_2 + K_1 G_2 G_3 G_4 H_1}{1 + G_2 G_3 H_2}$$

$$\frac{1}{1 + \frac{K_1 G_2 G_3 G_4 H_1}{1 + G_2 G_3 H_2}} = \frac{1 + G_2 G_3 H_2}{1 + G_2 G_3 H_2 + K_1 G_2 G_3 G_4 H_1}$$

Paso 7



De modo que los bloques equivalentes resultan

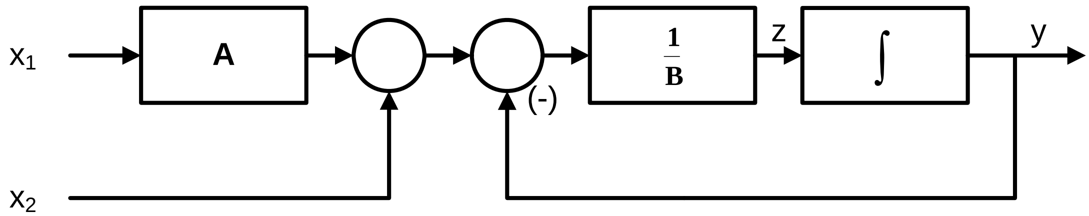


Representación de ecuaciones diferenciales

Una posibilidad interesante es que las ecuaciones diferenciales ordinarias lineales pueden ser apropiadamente representadas con Diagramas en Boques. Esto permite entender los mecanismos internos de sistemas cuyo comportamiento viene descripto por una o más ecuaciones diferenciales. Como ejemplo se puede considerar la siguiente ecuación:

$$x_1 + Ax_2 - y = B\frac{dy}{dt}$$

Lo primero es dejar establecido cuáles son variables de entrada y cuáles de salida. Colocar a la izquierda todas las entradas, dejando a la derecha la(s) salida(s). En el ejemplo, entradas (x_1, x_2), salida y. Asumiendo que A, B son constantes:



El signo $\int$ significa que la variable intermedia z al ser integrada en el tiempo resulta la salida y.

Efectivamente, si a la ecuación diferencial anterior la reescribimos, z sería:

$$\frac{x_1 + Ax_2 - y}{B} = z = \frac{dy}{dt} \qquad \Rightarrow \qquad y = \int z dt$$

que es lo que se esquematizó en el Diagrama en Bloques.