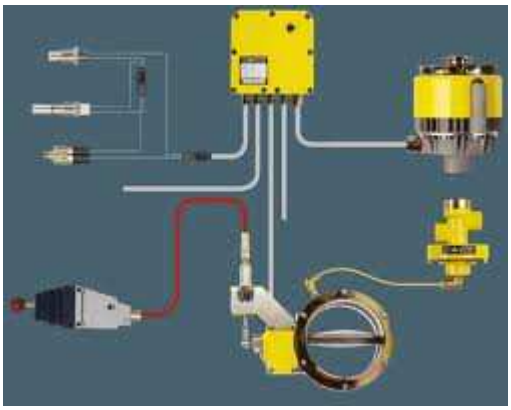
TEMA 1.- SISTEMAS AUTOMÁTICOS Y DE CONTROL.



INDICE

1.-INTRODUCCIÓN/DEFINICIONES

2.-CONCEPTOS/DIAGRAMA DE BLOQUES

3.-TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL

4.-TRANSFORMADA DE LAPLACE

1.- INTRODUCCIÓN/DEFINICIONES:

Automática: Ciencia que trata de sustituir en un proceso al operador humano, por dispositivos mecánicos, eléctricos ó electrónicos.

Automatización: Aplicación de la automática a los procesos industriales.

Sistema: Conjunto de elementos que relacionados entre sí ordenadamente, contribuyen a alcanzar un objetivo.

Sistema automático de control: Conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir, sin intervención de agentes exteriores, corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento.

Sus aplicaciones son innumerables (en los hogares, procesos industriales,…), y tienen especial repercusión en el campo científico (misiones espaciales) y en avances tecnológicos (automoción). Surge así la **REGULACIÓN AUTOMÁTICA,** que se dedicará al estudio de los sistemas automáticos de control.

2.-CONCEPTOS:

Variables del Sistema: Son las magnitudes que se someten a control y que definen su comportamiento (velocidad, temperatura, posición,…).

En Regulación Automática, sólo se tendrá en cuenta la relación entrada/salida de los sistemas que se van a someter a control. Lo importante será entonces conocer cuál será la respuesta del sistema (**salida**) cuando se le comunica una cierta **entrada.**

Entrada.- Excitación que se aplica a un sistema de control desde una fuente de energía externa, con el fin de provocar una respuesta

Salida.- *Respuesta que proporciona el sistema de control.*

Perturbación.- Señales no deseadas que influyen de forma adversa en el funcionamiento del sistema.

<u>Diagrama de bloques(o diagrama funcional)</u>. *Es la forma de representación más sencilla de los sistemas de control, en el que se da una idea de las relaciones existentes entre la entrada y la salida de un sistema.*

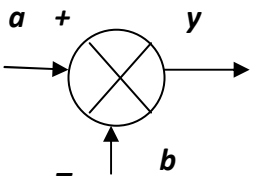
A cada componente del sistema de control se le denomina <u>elemento</u>, y se representa por un rectángulo.

La <u>interacción entre los bloques</u> se representa por medio de flechas, que indican el sentido de flujo de la información.

*El diagrama de bloques más sencillo es el **<u>bloque simple</u>**, que consta de un elemento, una sola entrada y una sola salida.*

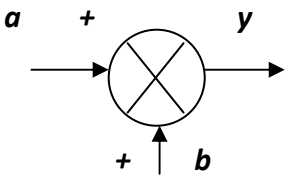
BLOQUE SIMPLE (O DE TRANSFERENCIA)

En los diagramas de bloques más complejos, podremos encontrarnos además con una serie de elementos funcionales, aparte del ya citado bloque de transferencia:



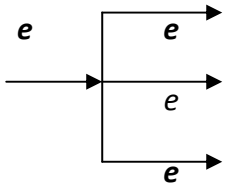
Nudo diferenciador

y= a – b



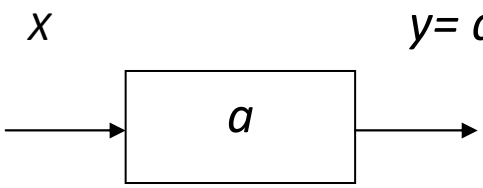
Nudo aditivo

y= a + b

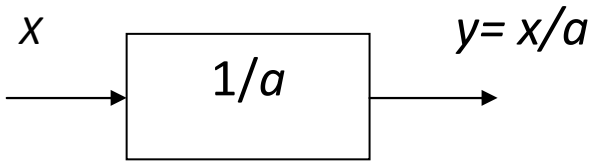


Nudo de ramificación

La operación matemática de la <u>multiplicación</u> se representa:



La operación matemática de la <u>división</u> se representa:

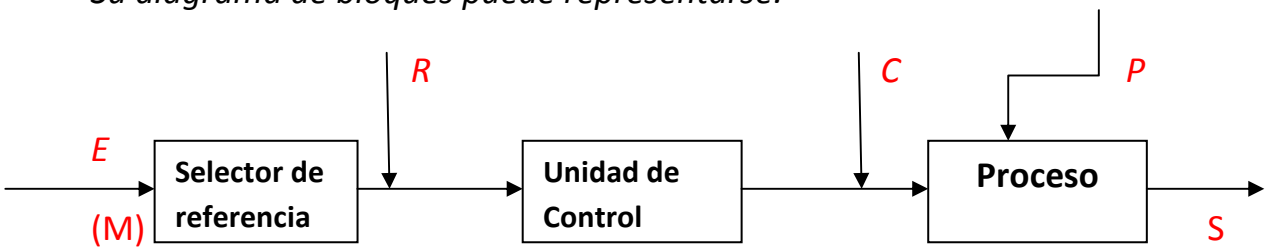


3.-TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL:

Los sistemas de control pueden ser:

- ***DE LAZO (o BUCLE) ABIERTO.-*** *Aquellos en los que la acción de control es independiente de la salida, es decir, que la señal de salida no influye sobre la entrada.*

Su diagrama de bloques puede representarse:



Selector de referencia: Evalúa la señal de mando para establecer una señal de referencia, que controlará todo el proceso. El elemento de control que se encarga de esta función es el **TRANSDUCTOR** (adapta la naturaleza de la señal de entrada al sistema de control).

Unidad de control: Adapta convenientemente la señal de referencia para que pueda actuar o controlar el proceso. El elemento que se encarga de esta función es el **ACTUADOR**.

Proceso: *Realiza todas las acciones que sean necesarias para obtener la salida esperada.*

En color rojo se identifican las señales que intervienen:

E= Señal de entrada ó "de mando"(determinará cuál será el nivel de salida deseado).Puede ser manipulada por el operador del sistema, para modificar convenientemente la salida.

S= Salida, ó "variable gobernada"(pues dependerá de la entrada ó señal de mando).

C= señal de control, o "variable manipulada", es la señal de referencia convenientemente tratada para que pueda actuar sobre el proceso del sistema de control.

R= señal de referencia, que guarda una relación directa con la señal de entrada.

P= perturbación, constituida por todas las señales indeseadas que afectan al proceso. Pueden ser internas o externas.

Ventajas e inconvenientes del S.de control en **bucle abierto**:

Ventajas: Facilidad de diseño.

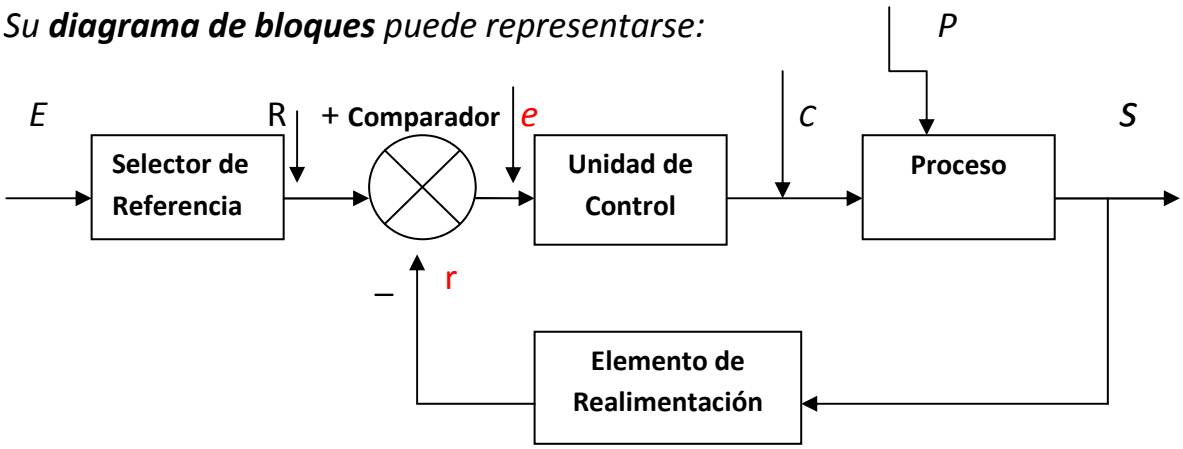
Inconvenientes: Incapacidad de respuesta ante perturbaciones.

- ***DE LAZO (o BUCLE) CERRADO.-*** *Aquellos en los que la acción de control depende en parte de la salida (parte de la señal de salida, conveniente-*

mente tratada, se realimenta introduciéndose de nuevo en el sistema como una entrada más).

*Concepto de **Realimentación**: Propiedad por la cual se compara la salida con la entrada al sistema, de modo que se establezca una función entra ambas. También se la denomina "feedback".*

*Su **diagrama de bloques** puede representarse:*



En color rojo (figura anterior) se identifican las nuevas señales que intervienen:

r= **Señal de realimentación**.

e= **Señal de error** (diferencia entre los valores de entrada y salida). Actúa sobre el sistema de control con el sentido de reducirse a cero y llegar a la salida de forma correcta.

<u>Ventajas e inconvenientes</u> del S.de control en **bucle cerrado**:

Ventajas: Mejor respuesta ante perturbaciones. Mejor precisión en la respuesta.

Inconvenientes: Dificultad en su diseño. Utilización de muchos componentes.

Descripción de los principales elementos de un sistema de control en bucle cerrado:

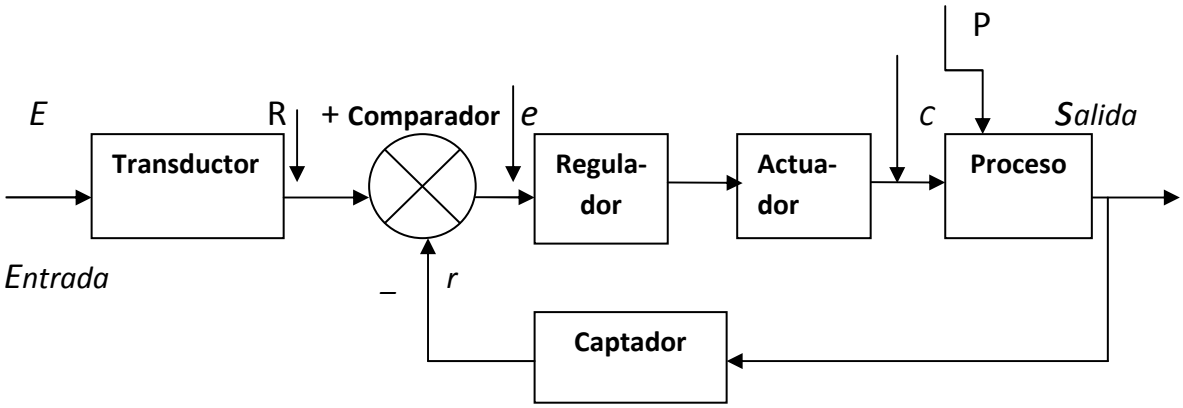
Transductor: Dispositivo (sensor) utilizado para acondicionar la señal de mando (entrada), para convertirla en una señal de referencia válida.

Regulador: Es el elemento más importante de un sistema de control. Condiciona la acción del elemento "actuador", en función del error obtenido. Su acción de control puede ser: proporcional (p), derivativa (d), integral (i), ó una combinación de éstas (PD,PI,PDI).

Actuador: Elemento final del sistema de control. Actúa directamente sobre el proceso ó sobre la salida.

Comparador (o detector de error): Elemento que compara la señal de referencia proveniente del selector de referencia, con la señal realimentada de la salida

Captador: Dispositivo (sensor) utilizado en el bloque de realimentación. Acondiciona la señal de salida para introducirla en el comparador.



TRANSFORMADA DE LAPLACE.-

*La mayoría de los sistemas de control utilizan elementos básicos como las resistencias, bobinas y condensadores. Salvo en las primeras, en los demás elementos aparecen términos diferenciales o integrales .Para simplificar los cálculos, se recurre a una herramienta matemática denominada "**transformada de Laplace**", que convierte de forma sencilla las ecuaciones integro-diferenciales en simples ecuaciones algebraicas.*

Dada una función f(t), se llama transformada de Laplace de dicha función a :

$$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^\infty e^{-st} f(t)\, dt.$$

siendo s = σ + jω

Ejemplo: f(t) = 1 (función escalón unitario).

$$F(s) = \int_0^\infty 1e^{-st} \cdot dt \Longrightarrow \quad F(s) = -\frac{1}{s}\left[e^{-st}\right]_0^\infty \longrightarrow F(s) = \frac{1}{s}$$

F(s) = 0 – (1/ -s) = 1 /s

L (1) = 1/S.

La anti transformada de Laplace se define como: $L^{-1} F(s) = f(t)$.

Propiedades de la transformada de Laplace.-

Destacaremos el "teorema del valor final": el valor final de una función f(t), cuya transformada de Laplace es F(S), viene dada por la expresión:

$$f(\infty) = \lim_{t-\infty} f(t) = \lim_{s-0} sF(s)$$

TEMA 2.- FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA en sistemas de control.-

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN

2.- CONCEPTO DE FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

3.- POLOS Y CEROS

4.- OPERACIONES CON DIAGRAMAS DE BLOQUES

5.- ESTABILIDAD

6. RESPUESTA DE UN SISTEMA DE REGULACIÓN

1.INTRODUCCIÓN.-

La manera de enfocar el estudio de los sistemas de control, dará lugar a dos teorías: la clásica y la moderna.

*La más sencilla es la **teoría clásica** de control, pues en ella no interesa conocer en detalle qué sucede dentro del sistema, sino solamente la relación entrada-salida del mismo.*

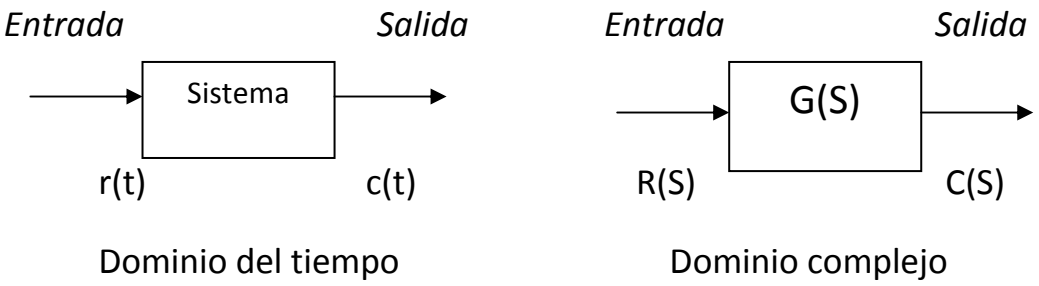
*Sin embargo la **teoría moderna** de control, analiza los sistemas automáticos desde el punto de vista interno, conociendo lo que sucede dentro del sistema en cada momento.*

*Por medio de la teoría clásica, que introduce el concepto de **<u>función de transferencia</u>**, se puede conocer de forma sencilla:*

- *Cómo va a comportarse el sistema en cada situación: según la entrada que se produzca en el sistema, sabremos cuál será la respuesta ó salida.*
- *La estabilidad del mismo: (saber si la respuesta del sistema se mantendrá siempre dentro de unos límites determinados, o llegará en algún momento a ser inestable).*
- *Qué valores se podrán aplicar a ciertos parámetros del sistema de manera que éste sea estable.*

2. CONCEPTO DE FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.-

*La **<u>función de transferencia</u>** de un sistema de control se define como el cociente entre las transformadas de Laplace de las señales de salida y de entrada.*



Dominio del tiempo Dominio complejo

La función de transferencia G(S) del sistema será:

$$G(S) = C(S) / R(S)$$

3. POLOS Y CEROS de la función de transferencia.

Al denominador de la función de transferencia se le denomina "<u>función característica</u>", que igualada a cero se conoce como "<u>ecuación característica</u>" del sistema.

Las raíces de la ecuación característica (valores para los cuales ésta se hace nula) se denominan **polos** del sistema.

Las raíces del numerador de la función de transferencia reciben el nombre de **ceros** del sistema.

Para que un sistema sea físicamente realizable:

número de polos >= número de ceros

$G(S) = C(S) / R(S)$; $C(S) = 0 \Rightarrow$ CEROS

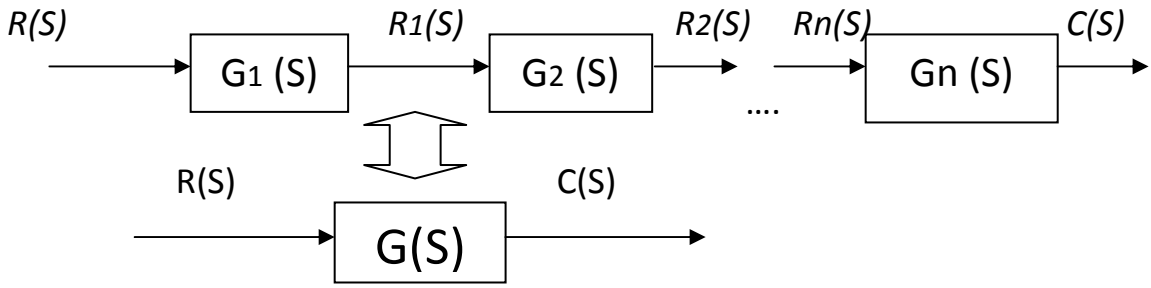
$R(S) = 0 \Rightarrow$ POLOS

4.- OPERACIONES CON DIAGRAMAS DE BLOQUES.-

Los diagramas de bloques se pueden obtener a partir de las funciones de transferencia. Existen métodos para reducir los diagramas complicados, a formas que resulten de más fácil manejo.

Bloques en serie.-

*La **función de transferencia global** para un sistema compuesto por "n" bloques en serie, es igual al **producto de las funciones de transferencia aisladas**.*



$$R_1(S) = R(S) \cdot G_1(S) \qquad (1)$$

$$R_2(S) = R_1(S) \cdot G_2(S) \qquad (2)$$

$$C(S) = R_n(S) \cdot G_n(S) \qquad (n)$$

Sustituyendo en (2) el valor de $R_1(S)$ dado en (1) :

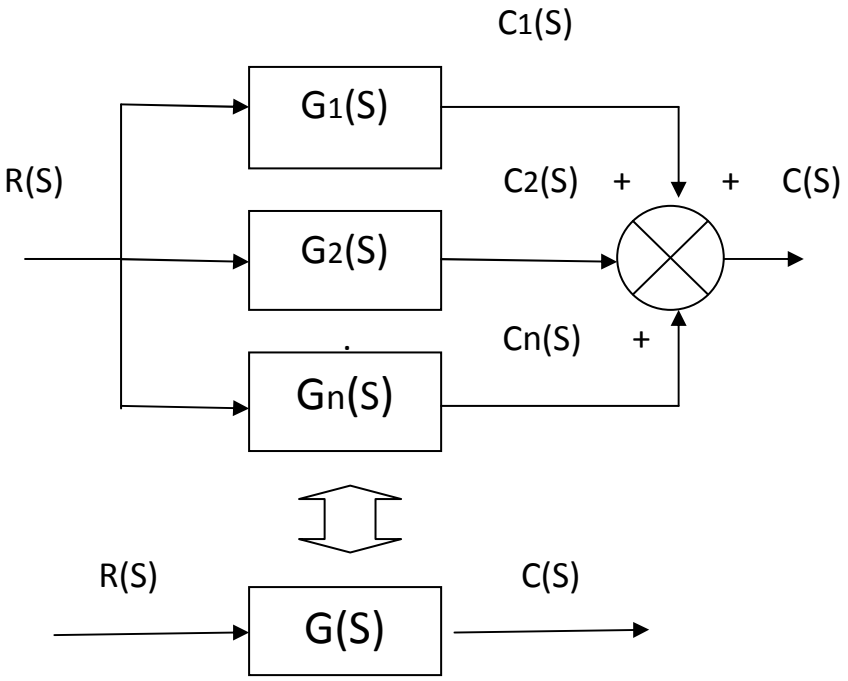
R2(S)= R(S).G1(S).G2(S), y repitiendo hasta la ecuación (n) resulta:

C(S)= R(S).G1(S).G2(S). … .Gn(S). Entonces resulta para la función de transferencia global:

G(S) = C(S) / R(S) = G1(S).G2(S). ….. . Gn(S)

<u>Bloques en paralelo.-</u>

La función de transferencia global para un sistema compuesto por "n" bloques en paralelo, es igual a la ***suma de las funciones de transferencia*** *aisladas.*

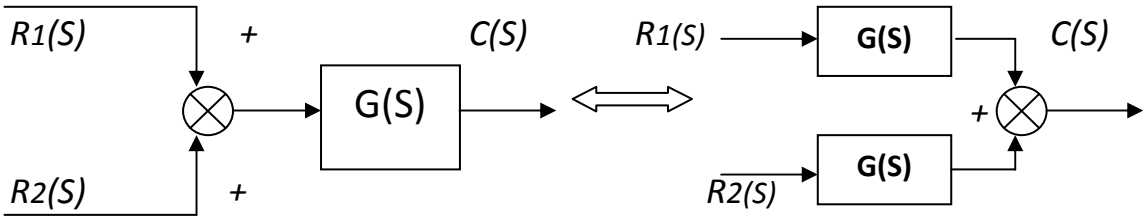


$$C(S) = C_1(s) + C_2(s) + \ldots C_n(S) = R(S) \cdot \left\{ G_1(S) + G_2(S) + \ldots G_n(S) \right\}$$

G(S) = C(S) / R(S) = G1(S) + G2(S) + …..+ Gn(S)

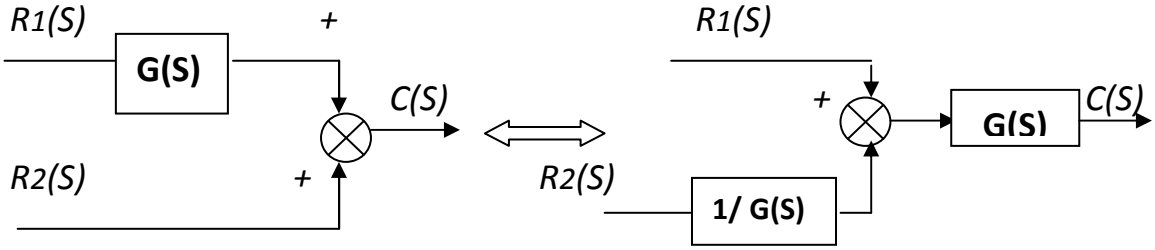
Transposición de sumadores y puntos de bifurcación.-

SUMA:



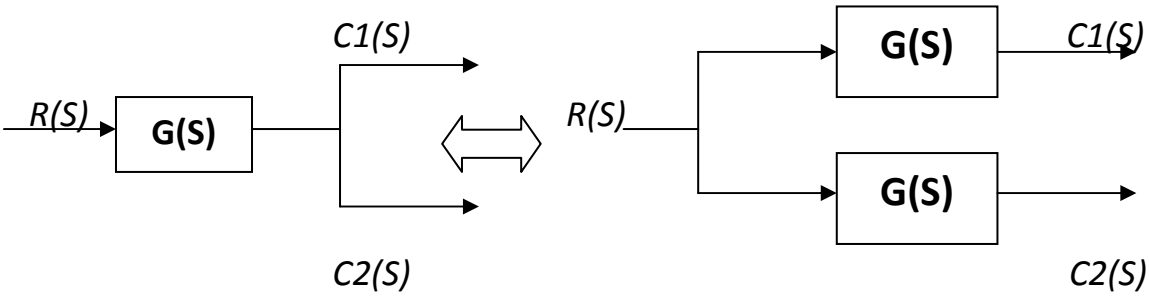
$$C(S) = \left\{ R1(S) + R2(S) \right\} . G(S) = R1(S) . G(S) + R2(S) . G(S)$$

SUMA:



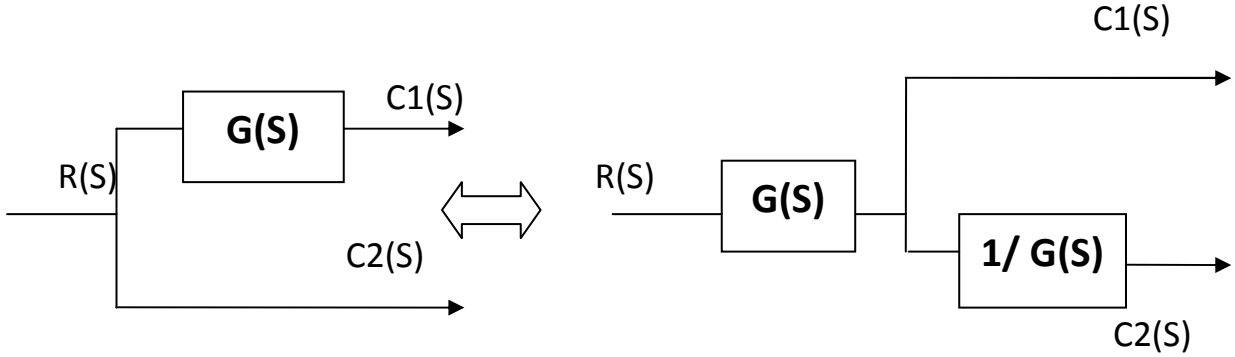
$$C(S) = R1(S) . G(S) + R2(S) = \left\{ R1(S) + R2(S) . 1/ G(S) \right\} . G(S)$$

PUNTOS DE BIFURCACIÓN:



C1(S) = C2(S)= R(S).G(S), ambas expresiones valen para las dos figuras.

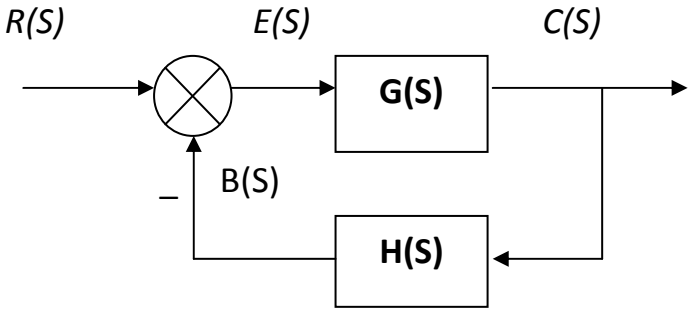
PUNTOS DE BIFURCACIÓN:



En ambas figuras: C1(S) = R(S) . G(S) y C2(S) = R(S)

Sistema en bucle cerrado: expresión de su función de transferencia).-

El diagrama de bloques de un sistema en bucle cerrado, en el campo complejo podemos representarlo:



Donde:

R(S): Transformada de Laplace de la señal de entrada ó referencia.

E(S): Transformada de Laplace de la señal de error.

C(S): Transformada de Laplace de la señal de salida ó **variable controlada**.

G(S): Función de transferencia directa (regulador+ accionador + proceso).

B(S): Transformada de Laplace de la señal realimentada.

H(S): Función de transferencia del bucle de realimentación.

De la función de transferencia directa: $C(S) = E(S).G(S)$; (1)

De la relación en el comparador: $E(S) = R(S) - B(S)$; (2)

Del camino de realimentación: $B(S) = C(S).H(S)$; (3)

Sustituyendo (3) en (2), y luego (2) en (1) :

$E(S) = R(S) - C(S).H(S)$;

$C(S) = \left[R(S) - C(S).H(S) \right] . G(S) = R(S).G(S) - C(S).H(S).G(S)$;

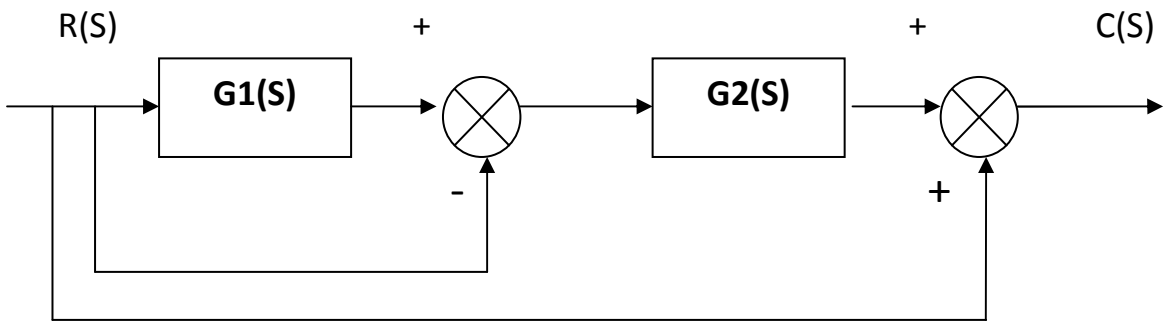
$C(S) + C(S).H(S).G(S) = R(S).G(S)$; $C(S) (1 + H(S).G(S)) = R(S).G(S)$;

$$C(S) / R(S) = G(S) / 1 + G(S).H(S) \;;$$

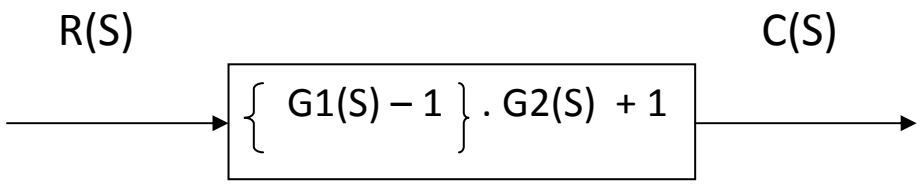
$$\boxed{\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{G(S)}{1 + G(S).H(S)}}$$

Función de transferencia del bucle cerrado .

<u>Ejercicio</u> .- Obtener la función de transferencia del siguiente diagrama :



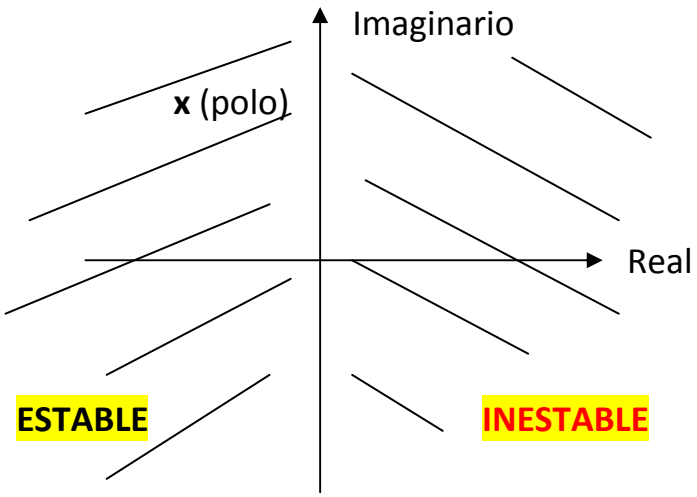
Solución:



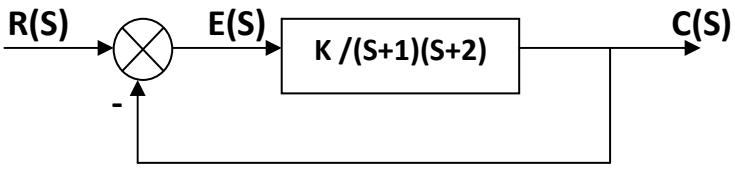
5. ESTABILIDAD.-

Sistema estable.- Es aquel que permanece en reposo a no ser que se excite por una fuente externa, en cuyo caso alcanzará de nuevo el reposo una vez que desaparezcan las excitaciones.

Condiciones de estabilidad.- Para que el sistema sea estable, las raíces de su ecuación característica (sus polos) deben estar situadas en la parte negativa del plano complejo de Laplace.



Ejemplo: Determinar el valor de K para que el sistema sea estable:



$$F.T.= C(S)/R(S) = G(S) / 1 + G(S)H(S) = \frac{K/(S+1)(S+2)}{1+\{K/(S+1)(S+2)\}.1} =$$

$$= \frac{K}{(S+1)(s+2)+K}$$

Por tanto, igualando a cero el denominador:

$$(S+1)(S+2) + K = 0 \; ; \; S^2+3s+(K+2)= 0$$

$$S = \frac{-3 \pm \sqrt{9 - 4(K+2)}}{2} < 0$$ para que el sistema sea estable .

$-3 \pm \sqrt{9 - 4(K+2)} < 0$; $\pm \sqrt{9 - 4(K+2)} < 3$, y elevando al cuadrado:

$9 - 4(K+2) < 9$; $0 < 4(K+2)$; $0 < K+2$ $\Rightarrow$ **K < - 2**

Solución: La condición para que el sistema sea estable es que **K < - 2**

6. RESPUESTA DE UN SISTEMA DE REGULACIÓN: Análisis.-

La información necesaria para estudiar el comportamiento de un sistema de regulación, en cuanto a su relación excitación-respuesta, está contenida en su función de transferencia. El régimen normal de funcionamiento del sistema no se produce inmediatamente después de aplicarle una entrada determinada, pues en el cambio ocurren una serie de fenómenos transitorios. Por lo tanto, en la respuesta de un sistema a lo largo del tiempo se pueden distinguir:

La **respuesta transitoria**: Es la que se produce en un sistema cuando sus variables están sin estabilizar. Tiende a anularse a medida que transcurre el tiempo. Caracteriza fundamentalmente el comportamiento dinámico del sistema (estabilidad, rapidez…).

La **respuesta permanente**: Es la que ofrece un sistema en el momento en que sus variables se han estabilizado y presentan un valor normal de funcionamiento. Ofrece una idea de la precisión del sistema y de su estado de equilibrio.

Aunque a partir de un cierto instante la respuesta del sistema sea solamente permanente, la componente transitoria es muy importante. Hay que ajustar los parámetros de diseño para obtener una respuesta transitoria ni muy brusca ni demasiado lenta.

Error en régimen permanente.-

Del **teorema del valor final** t(∞) de la transformada de Laplace:

$\lim_{t \to \infty} f(t) = \lim_{s \to 0} sF(s)$, podemos definir el **error en régimen permanente** en un sistema de control en bucle cerrado, que viene dado por la expresión:

$$e_{rp}(t) = \lim_{t \to \infty} e(t) = \lim_{s \to 0} sE(s) = \lim_{s \to 0} \frac{sR(S)}{1 + G(s)H(s)}$$

, siendo R(S)= señal de entrada (escalón unitario, rampa,…).

Luego, el error depende de la señal de referencia de entrada.

Señales de entrada y tipos de sistemas.-

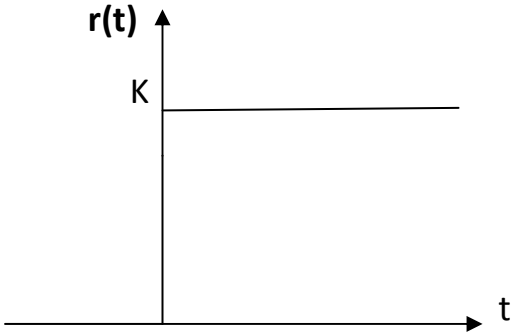
Las señales de excitación que actúan sobre los sistemas de regulación pueden ser muy variadas, pero se suelen emplear algunas normalizadas para el estudio de la respuesta del sistema:

Función escalón……..r(t)= K ⟶ R(S) = K/S ; si K=1 entonces R(S)= 1/S llamándose la función "escalón unitario".

Función rampa……r(t) = Kt ⟶ R(S) = K/S².

Función parábola……..r/t) = Kt² ⟶ R(S) = K/S³.

Función escalón.-



La función escalón se define del modo: $r(t) = K$, para $t \geq 0$.

$r(t) = 0$, para $t < 0$.

Si K= 1, la función se conoce como <u>escalón unitario</u>.

Su transformada de Laplace será : $1/s$, para $s>0$.

Si R(S) = 1/S (escalón unitario) $\Longrightarrow$

$G(S) = C(S) / R(S) \longrightarrow C(S) = R(S) \,.\, G(S) = 1/S \,.\, G(S) = G(S) /S$

"El valor de la respuesta de un sistema de lazo abierto frente a una excitación "escalón unitario", se obtiene dividiendo la función de transferencia por s".

Tipos de sistemas.-

<u>Orden.-</u> Se denomina <u>orden</u> de un sistema el correspondiente a su función característica.

Sistemas de orden cero "0" : La función de transferencia G(S) no tiene polos y es una Kte (p.ej. G(S) = 5)

Sistemas de primer orden: G(S) tiene un polo.

Sistemas de segundo orden: G(S) tiene dos polos

- El **tipo** del sistema **coincide con el número de polos en el origen** que posea su función de transferencia en bucle abierto.

$$G(s)H(s) = \frac{K\prod_{i=1}^{n}(s - z_i)}{s^q\prod_{j=1}^{m}(s - p_i)} \quad ,$$

siendo K= ganancia ; q= polos en el origen, define el tipo de sistema:

Si q= 0 $\longrightarrow$ sistema tipo 0 $\longrightarrow$ 0 polos en el origen.

Si q= 1 $\longrightarrow$ sistema tipo 1 $\longrightarrow$ 1 polo en el origen.

A medida que q aumenta, el sistema es más inestable, aun disminuyendo el error en régimen permanente.