

INTRODUCCIÓN AL MODELAMIENTO DE SISTEMAS.

Manuel Plaza Bombal.

Índice.

Capítulo 1: “Acerca de Sistemas”	4
1.1 Introducción	4
1.2 Definiciones Asociadas	4
1.3 Sistemas y Subsistemas	5
1.4 Sistemas y variables	7
1.5 Sistemas y modelos	8
Mapa Conceptual “Acerca de Sistemas”	10
Capítulo 2: “Tipos de Sistemas”	11
Sistema Estático	11
Sistemas Dinámico	11
Sistema Autocreado	11
Sistema Inestable	11
Sistema Homeostático	11
Sistemas Ambientales	12
Sistemas Sociales	12
Sistema Viable	12
Sistema Centralizado	13
Sistemas Factorizables	14
Sistemas Adaptables	14
Sistemas Estables	14
Sistemas con retroalimentación	14
Sistemas Artificiales	15
Sistemas con Aleatoridad	15
Sistemas de Armas	15
Sistemas Mecánicos y Organísmicos	15
Sistema Abierto	16
Sistema Cerrado	16
Sistema Cerrado (masa de control)	19
Sistema Abierto (volumen de control)	19
Mapa Conceptual: “Tipos de sistemas”	23
Capítulo 3: “Conceptos y Principios asociados con sistemas”	24
Mapa Conceptual	26
Energía de un sistema	27
El enfoque corriente de entrada y salida	29
Entropía	29
Neguentropía	30
Entropía e información	31
El Principio de Entropía como elemento desorganizador	31
Compatibilización: la neguentropía como elemento organizador	31
Sinergia y Recursividad	32

Variables de un sistema	35
Mapa conceptual	37
Capítulo 4: “Diagrama de bloques”	38
Retroalimentación positiva	41
Diagrama de bloques de un sistema básico de retroalimentación	44
Diagrama de bloques de un sistema ultraestable	45
Diagrama de bloques de un sistema adaptable básico	46
Diagrama de bloques de un equipo de radar básico	48
Diagrama de bloques de un acelerómetro mecánico utilizado en sistemas de guiado de misiles	50
Sistema de comando sin amplificación de potencia	52
Generalización de la noción de comando	55
Entradas secundarias. Perturbaciones.	57
Capítulo 5: “Reducción de diagrama de bloques”	62
5.1 Simplificación de diagrama de bloques	62
5.2 Algunas reglas básicas	64
5.3 Ejemplo de reducción de diagramas de bloques	68
Capítulo 6: “Análisis Dimensional”	80
6.1 Tabla de dimensiones física	81
6.2 Procedimiento, para el trabajo con análisis dimensional	82
6.3 Teorema “pi” (π) o de Buchingham	91
Capítulo 7: “Modelado de un Sistema”	
7.1 De los modelos de un sistema	99
7.2 Del modelado de sistemas	99
7.3 Etapas generales del modelo	100
7.4 Fases del modelado	101
7.5 Ejemplo de modelado de un sistema mecánico con desplazamiento lineal	102
7.6 Ejemplo de determinación de la función de transferencia del circuito RLC en serie	108
7.7 Ejemplo de determinación de la función de transferencia del circuito RLC en paralelo	110
7.8 Ejemplo de un sistema Térmico	111
7.9 Modelamiento de Ley de Enfriamiento de Newton	112
7.10 Modelamiento de la Descarga de un Capacitor	115
7.11 Ejercicios resueltos	117
7.12 Etapas de trabajo sugeridas, para llevar a cabo una investigación en la búsqueda de un modelo	128
Glosario	133
Bibliografía	134

CAPÍTULO 1. “ACERCA DE SISTEMAS”.

1.1 Introducción.

En la actualidad a menudo oímos hablar de una serie de sistemas, tales como, circulatorio, solar, lingüístico, eléctrico, digestivo, naval, nervioso, operativo, etc. Sin embargo, la noción de sistema no es algo nuevo, es sabido que Aristóteles en su formulación de un orden cósmico, a través de sus ideas holistas, planteaba que “el todo era más que la suma de sus partes”, lo que corresponde a la esencia del problema fundamental de los sistemas. Más tarde, Galileo Galilei realizó su planteamiento en una concepción matemático-positivista, en lugar de una concepción descriptivo-metafísica, es decir, la idea del mundo como un cosmos teológico se vio reemplazada por la descripción de los hechos dispuestos según leyes causales y matemáticas. Fue Galileo, quien formuló el método resolutivo, perteneciente al paradigma conceptual de la Ciencia desde su fundación hasta el más completo y moderno trabajo de laboratorio, lo que consiste en resolver y reducir los fenómenos complejos a partes y procesos elementales.

Desde el punto de vista de la filosofía de los sistemas, el concepto de

sistema constituye un nuevo “paradigma”, según Thomas Kuhn, o una nueva “filosofía de la naturaleza”, que se opone a las leyes ciegas de la misma. La filosofía de los sistemas es básicamente una reorientación del pensamiento y de la concepción del mundo según el nuevo paradigma científico de “sistema”, en contraste con el paradigma analítico mecanicista, lineal-causal de la ciencia clásica (Bertalanffy, 1981).

1.2 Definiciones asociadas.

Como la definición de un sistema no es única, pues depende de la visión del accionar de cada una de las actividades humanas, de las disciplinas en que se desarrolle un estudio acerca del tema y de los niveles en que se trabaje dentro de las mismas, se hace necesario proponer ideas acerca de lo que podría definirse como un sistema.

Para la Real Academia Española (2001):

Sistema, corresponde a un conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí. Conjunto de cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a determinado objeto.

En lo que se refiere a diferentes áreas del conocimiento, se

encuentran las siguientes definiciones:

En Biología, corresponde al conjunto de órganos que intervienen en alguna de las principales funciones vegetativas.

En la lingüística, es la lengua en su totalidad, así como cada una de sus secciones (fonológico, gramatical y léxico) considerados como conjuntos organizados y relacionados entre sí.

En la numeración, es el que permite representar y denominar cualquier número con un conjunto limitado de signos y nombres.

En la informática, es un programa de computador que permite a éste dar respuestas semejantes a las que daría un experto en la materia.

En el sistema métrico decimal, el de pesas y medidas que tiene por base el metro y en el cual las unidades de una misma naturaleza son 10, 100, 1000, 10000 veces mayores o menores que la unidad principal de cada clase.

En la Anatomía, es el conjunto de órganos, de los que unos reciben excitaciones del exterior, otros las transforman en impulsos nerviosos, y otros conducen éstos a lugares del cuerpo en que han de ejercer su acción.

En Química, el sistema periódico corresponde al cuadro en el que están ordenados los elementos

químicos según su número atómico y dispuesto de tal modo que resulten agrupados los que poseen propiedades químicas análogas.

En el Sistema Planetario, se refiere al conjunto del Sol y sus planetas, satélites y cometas.

Además de lo anterior, hay conceptos que se encuentran asociados al de sistema, tales como, sistemático, sistematizar y sistémico, los que pueden entenderse, como:

Sistemático: que sigue o se ajusta a un sistema. Dícese de la persona que procede por principios, y con rigidez en su tenor de vida o en sus escritos, opiniones, etc.

Sistematizar: organizar según un sistema.

Sistémico: perteneciente o relativo a la totalidad de un sistema general, por oposición a local.

1.3 Sistemas y subsistemas.

Autores, como Johansen, Hall, Bertalanffy, Bravo y otros han aportado al estudio de los sistemas entregando definiciones, así como también características asociadas a los sistemas.

Hall (1962) considera un sistema como un conjunto de objetos y sus relaciones, y las relaciones entre los objetos y sus atributos. Para él, los objetos son simplemente las partes o componentes de un sistema y estas

partes pueden poseer una variedad limitada. Dichas partes, en general son de carácter físico, por ejemplo, átomos, estrellas, masa, alambre, huesos, neuronas, genes, músculos, gases, etc. También se incluyen objetos abstractos, tales como variables matemáticas, ecuaciones, reglas y leyes, procesos, etc.

Bertalanffy (1981) plantea que un sistema puede definirse como un conjunto de elementos relacionados entre sí y con el medio ambiente, lo cual es susceptible de varias expresiones matemáticas.

Bravo (1998) entrega un nuevo concepto asociado con el sistema, la evolución, proponiendo que un sistema es energía que toma la forma de interacciones y crea los elementos que sean necesario para su evolución, donde el sistema posee características que las partes no tienen, lo cual indica que la observación de los elementos no conduce a la comprensión de todo.

Jordan (1960) sugiere la necesidad de que el sistema sea lo más preciso posible al considerar que sistema es un nombre para una invariabilidad muy general que puede admitir mucha variación en detalles, esto no lo hace confuso ni ambiguo, por ejemplo, nuestro sistema solar.

Johansen (2004) nos indica la presencia de interacción entre partes y objetos, proponiendo que un sistema es un conjunto de partes

coordinadas y en interacción para alcanzar un grupo de objetivos, donde el grupo de partes y objetos que interactúan y que forman un todo se encuentran bajo la influencia de fuerzas en alguna relación definida.

Para facilitar el estudio de un sistema, es necesario tener presente que al estudiar en detalle el mismo, se debe conocer el funcionamiento de los subsistemas que lo componen. Es así, como Johansen (2004) plantea que cada una de las partes que encierra un sistema puede ser considerada como un subsistema, esto es, un conjunto de partes e interrelaciones que se encuentra estructuralmente y funcionalmente dentro de un sistema mayor y que posee sus propias características.

Lo anterior permite considerar a los subsistemas como sistemas más pequeños dentro de sistemas mayores, es lo que se conoce como un subconjunto, por ejemplo, las células pueden ser consideradas como un subsistema dentro del ser humano, siendo éste el sistema. A lo anterior es posible incorporar el concepto de supersistema, que en este caso corresponderá al grupo humano.

Tanto los subsistemas, los sistemas y los supersistemas llevan implícita la idea de recursividad, dado que los subsistemas y los supersistemas son, además, sistemas. En este sentido, las propiedades generales de los tres elementos son semejantes y

fácilmente se pueden encontrar o derivar analogías (relación de semejanza entre cosas distintas) y homologías (equivalencia o semejanza entre dos o más cosas).

Los subsistemas corresponden a sistemas más pequeños, dentro de sistemas mayores, que se estudian de manera aislada, con el objeto de simplificar el estudio de un sistema mayor. Sin embargo, para comprender el funcionamiento global, es necesario considerar las interacciones entre ellos, dado que unos pueden funcionar como retroalimentaciones de otros, lo que podrá llevar a complejizar dicho sistema. El hablar de retroalimentación se refiere específicamente a la posibilidad que tiene un sistema de establecer diferencias entre señales de entrada, pudiendo éstas transformarse en señales que permitan identificar, por ejemplo, errores del sistema.

Cada uno de los subsistemas requieren cumplir con ciertas características, denominadas sistémicas, es decir, lo que es aplicable al sistema lo es para el súper y subsistema. Beer (1970) señala que en el caso de los sistemas viables, éstos están contenidos en supersistemas viables. En otras palabras, la viabilidad es un criterio para determinar si una parte es o no un subsistema, entendiéndose por viabilidad la capacidad de sobrevivencia y adaptación de un

sistema en un medio en cambio. El medio de un subsistema será el sistema o gran parte de él.

1.4 Sistemas y variables.

En los sistemas es fundamental la existencia de relaciones, las que han de considerarse en el contexto de un conjunto dado de objetos que dependen de la situación problemática de que se trate, incluidas las relaciones importantes o interesantes (fuertes) y excluidas, que son aquellas relaciones triviales o no esenciales (débiles).

La decisión en cuanto a las relaciones que sean importantes y las triviales corresponde a la persona que se ocupe del problema, es decir, la cuestión de la trivialidad es relativa a nuestro propio interés, para lo cual es de importancia definir adecuadamente el conjunto de variables que se considerarán en la solución de la problemática planteada, lo que permitirá acotar el estudio del problema, es decir, establecer las fronteras del mismo.

Para lo anterior, es imprescindible considerar el ambiente en un sistema, esto es, el conjunto de todos los objetos que quedan fuera y dentro del sistema, lo que lleva necesariamente a entender que cualquier sistema dado puede dividirse en subsistemas.

Los objetos pertenecientes al subsistema pueden considerarse partes del ambiente de otro

subsistema. Es necesario tener en cuenta, de acuerdo a lo indicado por Hall (1962) que es posible que el comportamiento de un subsistema no sea completamente análogo al del sistema original, pues la consideración de un subsistema implica un conjunto nuevo de relaciones.

En dicho ambiente deberán estar incluidos todos los objetos que sean considerados como los más importantes, describiendo de la forma más detallada las interrelaciones que puedan generarse entre los componentes del sistema, prestando la mayor atención a los atributos más interesantes, dejando de lado aquellos que no aporten de manera esencial al funcionamiento del mismo.

Pero, ¿qué son los atributos?, son propiedades de los objetos. Por ejemplo, para los átomos serían la energía atómica, el número de partículas atómicas en el núcleo, el peso atómico, para las masas corresponderían el desplazamiento, los momentos de inercia, la velocidad, etc.

En la medida que se pueda entender mejor y se analice el ambiente considerando la mayor cantidad de variables, se podrá controlarlo, sin embargo, para ello es esencial definir las fronteras o límites del sistema en estudio.

En esta búsqueda de cuáles son las variables más relevantes, se

considera el método de abstracción o idealización, el que funciona bien en la Física y la Química, esto es, por ejemplo, en el uso de resortes sin masa y no deformables, en cuerdas inextensibles y sin masa, en aire sin fricciones, en gases perfectos, etc. Es lo que generalmente se establece inicialmente, como un “supongamos que”. Lo anterior simplifica la descripción y el análisis de la mecánica y la termodinámica, sin embargo, en biología, sociología, economía, psicología, no es tan fácil de hacer suposiciones. En estos campos se dificulta la separación de las variables esenciales de las no esenciales; es decir, la especificación del universo y la dicotomía subsecuente en sistema y ambiente es en sí misma, además del análisis de las interrelaciones, lo que se traduce en un problema complejo.

1.5 Sistemas y modelos.

Un sistema puede considerarse como una representación de un fenómeno, ya sea natural o artificial, siendo inicialmente de carácter conceptual, para luego llevarlo a una forma física, buscando describir el comportamiento de las variables previamente establecidas que interactúan entre sí.

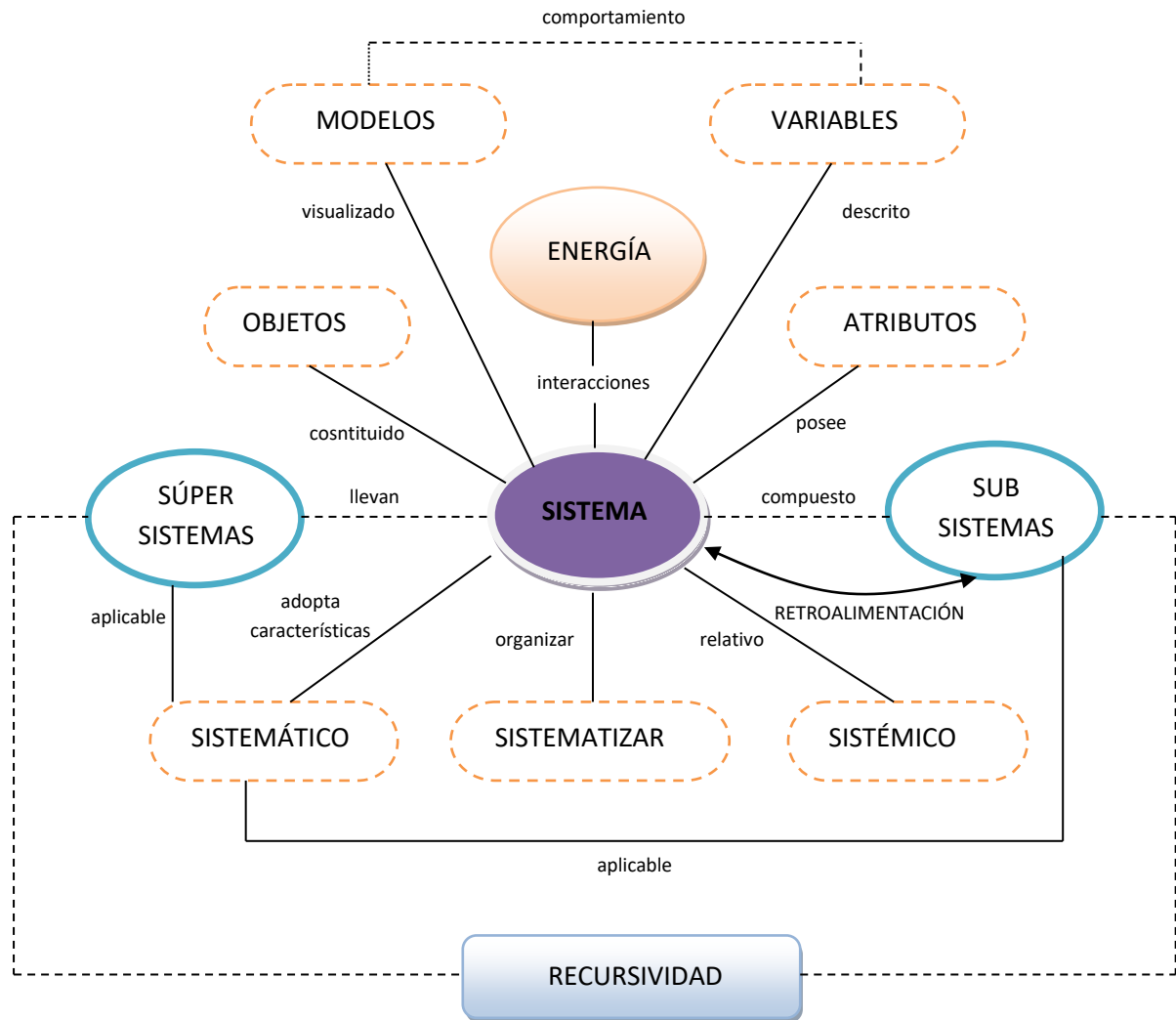
Lo anterior puede visualizarse, a través de modelos, los que pueden ser de carácter natural, es decir, propio del ser que los constituye o

construidos externamente, de tal manera que puedan ser análogos al sistema natural.

Estos modelos que son construidos por el hombre, tienen como objeto cumplir alguna función, para el logro de un objetivo, el que puede, en algunos casos, permitir la subsistencia del sistema.

Tal como se indicó anteriormente, para comprender el comportamiento del sistema es necesario establecer las variables que puedan definirlo completamente, buscando traducir dichas acciones, de acuerdo a lo previamente definido en el estudio del sistema, para finalmente establecer el comportamiento del mismo en relaciones de carácter matemático o modelos matemáticos.

MAPA CONCEPTUAL: “Acerca de Sistemas”.



CAPÍTULO 2. “TIPOS DE SISTEMAS”.

Para caracterizar a los sistemas, podemos clasificarlos en diferentes tipos, con el objeto de realizar estudios específicos en cada uno de ellos. Los tipos de sistemas tendrán las definiciones que se estimen necesarias para operativizarlos.

Johansen (2004) define los sistemas estáticos y dinámicos de la siguiente forma:

Sistema Estático.

Es aquel en el que sus atributos no cambian con el tiempo, es decir, las propiedades de los objetos son constantes, por ejemplo, en un sistema masa-resorte, se conoce la constante elástica del resorte, el valor de la masa, etc.

Sistema Dinámico.

Es aquel en el que sus atributos cambian con el tiempo.

Bravo (1998) considera la existencia de otros sistemas, tales como, sistema autocreado, inestable, homeostático, ambiental, social y viable, los cuales son descritos a continuación:

Sistema Autocreado.

Un sistema autocreado es aquel que se renueva constantemente a sí mismo. Es la característica de la autopoiesis (cualidad de un sistema capaz de reproducirse y mantenerse

por sí mismo), donde la autocreación viene acompañada de la característica autorreferente que consiste en que el sistema siempre conserva una identidad y armoniza las relaciones para mantener la coherencia interna en el cambio permanente, esto significa que los sistemas practican aquello de que un cambio local produce un ajuste global, para conservar la identidad y la armonía.

Sistema Inestable.

El sistema siempre está cambiando, es dinámico y se encuentra alejado del equilibrio. Es ese alejamiento del equilibrio, o de la estabilidad lo que produce comportamientos locales diferentes, los que eventualmente pueden verse amplificados mediante la retroalimentación hasta llegar a transformar el sistema completo. Al revés, un sistema estable es un sistema en equilibrio, en ese caso ya no hay vida, dejó de ser un sistema y cae en la entropía.

Sistema Homeostático.

Este sistema hace uso de mecanismos de autorregulación para mantenerse en equilibrio y ambiente dinámico, logra mantener su estado dentro de ciertos límites, a través de múltiples ajustes internos. En otras palabras, es un sistema que genera un resultado “estable” en un entorno dinámico, a través de una gran actividad de autorregulación en su interior.

El sistema homeostático tiene alguna “fuerza de conservación del equilibrio”, a través de mecanismos que le hacen mantener estable su estado mientras se autorregulan e interactúan muchas variables al mismo tiempo, tal como, un oscilador armónico-simple o como las acciones permanentes que realiza nuestro cuerpo para mantener constante la temperatura, el nivel de azúcar en la sangre, el del colesterol, adrenalina y otras variables, todo a la vez.

La homeostasis es fundamental en los sistemas, pues busca que éstos lo sean, produciendo resistencia al cambio. En general, los sistemas son conservadores y se ponen en guardia si tan solo sienten que su estabilidad se puede ver amenazada, pues para ellos el cambio, ante un funcionamiento prolongado, lo pone en dificultad, lo que constituye un desafío, pues debe aprender a ser “diferente”.

Sistemas Ambientales.

Estos sistemas se encuentran más allá de una escala humana y posiblemente vedados a nuestro conocimiento, como ejemplo de estos sistemas, se pueden tener el clima, los átomos, moléculas y los ecosistemas, ya sea de una zona específica, de toda la tierra, galaxia o del universo completo.

Sistemas Sociales.

Este sistema corresponde a la especie o comunidad a la que pertenece el individuo, donde siempre la especie le sobrevive y aprovecha el aprendizaje individual para mejorar, como ejemplo, se incluye en los sistemas sociales a todas las especies animales y vegetales, las cuales evolucionan hacia estructuras cada vez más complejas y organizadas.

Sistema Viable.

Es aquel que es capaz de sobrevivir con autonomía y reproducirse. Una característica central asociada a la viabilidad es que no se puede predecir el comportamiento de un sistema, es decir es probabilista, también implica que es autónomo y que tiene límites.

El que sea autónomo significa que el sistema sigue su propio camino y define sus objetivos, entendiéndose que los sistemas requieren la autonomía para probar constantemente nuevas opciones que le permitan la sobrevivencia, teniendo límites reconocibles que cooperan en su identidad.

Este sistema capta y deja pasar toda la información relevante. Además, cabe hacer notar que los sistemas son impredecibles, como simple consecuencia de la viabilidad o sobrevivencia autónoma. Es decir, sólo es posible estimar el

comportamiento de un objeto de estudio en términos de probabilidades, no existiendo la certeza, o sea, se encuentran regidos por el Principio de Incertidumbre, recordando que cualquier proceso de medida introduce inevitablemente ciertas perturbaciones en el objeto que se mide.

Como en todo estudio, en que se profundizan los conocimientos, los sistemas se comportan de manera caótica, pues la probabilidad de predecir su comportamiento es alta para el corto plazo y casi nula en el largo plazo.

Johansen (2004), define sistema viable, a través del concepto de viabilidad, que es un criterio para determinar si una parte es o no un subsistema y se entiende por viabilidad la capacidad de sobrevivencia y adaptación de un sistema en un medio de cambio. El que sobreviva, implica que es legalizado por el medio, es decir, adoptado por el medio y, además, se adapta a él y a sus exigencias, de modo que con su exportación de corrientes positivas de salida al medio, esté en condiciones de adquirir en ese mismo medio sus corrientes de entrada (o la energía necesaria para el continuo desarrollo de su función de transformación).

Beer (1970) considera que un sistema viable es capaz de adaptarse a las variaciones de un medio en cambio, donde debe darse que el

sistema tiene que poseer tres características básicas:

- a) Ser capaz de autoorganizarse, es decir, mantener una estructura permanente y modificarla de acuerdo a las exigencias.
- b) Ser capaz de auto controlarse, es decir, mantener sus principales variables dentro de ciertos límites que forman un área de normalidad.
- c) Poseer un cierto grado de autonomía, es decir, tener un suficiente nivel de libertad, determinado por sus recursos para mantener esas variables dentro de su área de normalidad.

Hall (1962) plantea el conocimiento de otros tipos de sistemas, de tal manera de situarlos en diferentes ámbitos, los cuales son sistemas centralizados, factorizables, naturales, adaptables, estables, con retroalimentación, artificiales y con aleatoriedad, los que se describen a continuación:

Sistema Centralizado.

Este tipo de sistema es aquel en que un subsistema desempeña un papel principal o dominante en la operación del sistema, donde este subsistema correspondería a la parte principal, es decir, que el sistema está centrado alrededor de esta parte. Un cambio pequeño en la parte principal se reflejará entonces en todo el sistema, provocando un cambio considerable.

Sistemas Factorizables.

Son aquellos que corresponden a los conjuntos de partes con independencia completa porque, es imposible negar la existencia de relaciones sistemáticas entre partes.

Sistemas Adaptables.

Muchos sistemas naturales, sobre todo los vivientes, muestran una cualidad que suele llamarse adaptación. Es decir, poseen la capacidad para reaccionar ante sus ambientes en una forma favorable, en algún sentido, para la continuación de la operación de los sistemas. En estos casos los mecanismos se tienden a mantener dentro de ciertos límites fisiológicos diversas condiciones corporales, tales como la temperatura y el balance físico. A veces se les llama mecanismos homeostáticos a los mecanismos de esta clase. Un ejemplo, llamado termostasis, es la reacción innata al frío por el temblor, o la tendencia a resistir una baja de la temperatura del cuerpo por un movimiento compensatorio que produzca calor.

La noción de estabilidad se relaciona estrechamente con los conceptos de adaptación, aprendizaje y evolución.

Sistemas Estables.

Un sistema es estable respecto de algunas de sus variables si estas variables tienden a permanecer dentro de límites definidos. El

termóstato artificial es un ejemplo de un instrumento destinado a asegurar la estabilidad de la temperatura de un sistema de calefacción; la noción de la estabilidad es familiar también en la mecánica y en el campo de las comunicaciones. Un sistema adaptable mantiene la estabilidad de todas las variables que deben permanecer dentro de ciertos límites para una operación favorable. En fisiología la coordinación motriz está íntimamente conectada con la estabilidad; la torpeza, el temblor y la ataxia son ejemplos de una coordinación motriz deficiente o alterada y de inestabilidad.

Sistemas con Retroalimentación.

Tienen la propiedad de reintroducir una porción de sus productos o comportamientos en sus insumos para afectar a los productos subsecuentes. En la naturaleza existen sistemas con retroalimentación; el control de la postura es un ejemplo. Los sistemas muy complejos pueden tener varios enlaces de retroalimentación interconectados. Cuando un sistema excede los límites de control de un enlace de retroalimentación, si pasa a otro enlace con límites distintos se dice que demuestra ultraestabilidad, un término acuñado por Ashby (1952).

Sistemas Artificiales.

Los sistemas artificiales exhiben muchas de las propiedades de los sistemas naturales; nociones como las de totalidad, factorización y aditividad tienen significado para ambos tipos de sistemas. La adaptación de los sistemas artificiales no es estrictamente análoga a la de los sistemas naturales; lo que podría considerarse un comportamiento místico de un sistema natural es perfectamente explicable en el sistema artificial. Todo comportamiento en apariencia deliberado o inteligente de una máquina ha sido incorporado en ella por su diseñador. El comportamiento adaptable de una máquina no tiende necesariamente a asegurar su supervivencia, sino una actuación especificada en algún sentido.

Sistemas con Aleatoriedad:

En la práctica la aleatoriedad suele introducirse como un factor cuando las variables que pueden afectar un tributo dado son tan numerosas o inaccesibles que no puede dejar de considerarse el comportamiento como sujeto al azar. Las variables aleatorias intervienen al nivel microscópico y al nivel macroscópico. La Mecánica Estadística y la Física Moderna dependen de supuestos de aleatoriedad microscópica.

Sistemas de Armas

Para Frieden (1993) este término es una generalización que comprende un amplio espectro de componentes y subsistemas a menudo disimiles, donde estos componentes varían desde simples dispositivos ofensivos o defensivos, y las plataformas de lanzamiento, hasta la integración y dirección estratégica de complejos sistemas de armas a las más intangibles tecnologías diseñadas para batir a un adversario, o negar los objetivos del enemigo.

Sistemas Mecánicos y Organísmicos.

Jordan (1960) considera que los sistemas constituyen un conjunto de elementos o entidades y que ya dada la conexión entre los elementos o entidades, es posible cambiar, o extirpar elementos y/o conexiones entre ellos. Un sistema en que los elementos restantes y sus conexiones no sufran algún cambio a raíz de esta eliminación o extirpación se percibe como algo intrínseco distinto de un sistema en que sí haya cambio. La primera situación corresponde a un sistema mecánico y la segunda corresponderá a un sistema organísmico.

Sistema Abierto.

Para Johansen (2004, pág.69), “un sistema abierto es aquel sistema que interactúa con su medio, importando energía, transformando de alguna forma esa energía y finalmente exportando la energía convertida”. Ejemplo: sistemas vivos (plantas, insectos, células, animales, hombres, grupos sociales, etc.).

Forrester (2004), define como sistema abierto a “aquel cuya corriente de salida no modifica a la corriente de entrada”. Ejemplo: estanque de agua, en el que la salida de agua no tiene relación directa con la entrada de agua al estanque.

Bravo (1998, pág.100), considera que “un sistema abierto es aquel que intercambia información, energía, insumos y productos con el medio”.

El que un sistema dado sea abierto o cerrado depende de la porción del universo que se incluya en el sistema (en el ambiente). Adjuntando al sistema la parte del ambiente con la que ocurren intercambios, el sistema se vuelve cerrado. Por ejemplo, la segunda ley de la termodinámica es universalmente aplicable a los sistemas cerrados; sólo puede ser violada por los procesos orgánicos. Es importante considerar que, de acuerdo a lo indicado por Hall (1962) la mayor parte de los sistemas orgánicos son abiertos, lo cual significa que intercambian energía con sus ambientes.

Sistema Cerrado.

Para Johansen (2004, pág.70) “un sistema cerrado, es aquel que no es capaz de llevar a cabo –la importación de energía y la exportación de la energía convertida– por su propio medio”. Ejemplo son los sistemas físicos (máquinas, minerales, y en general, objetos que no contienen materias vivas).

Forrester (2004), define como “sistema cerrado a aquel cuya corriente de salida, es decir, su producto, modifica su corriente de entrada, es decir, sus insumos. Ejemplo: sistema de calefacción, en que la corriente de salida, calor, modifica la información que recibe el generador del sistema, el termostato. En este caso la termodinámica nos permite tener un buen ejemplo de sistemas abiertos y cerrados”.

Hall (1962), indica que un sistema es cerrado si no hay importación o exportación de información, calor o materiales físicos, y por ende no hay cambio de componentes. Un ejemplo es una reacción química que ocurre en un recipiente sellado y aislado; este caso sugiere que uno de los usos del concepto de un sistema cerrado es la simplificación del modelo y su adecuación para el análisis.

Al estudiar un sistema natural o artificial como abierto, el interés se centra en los insumos y productos del sistema, o “transductos” como se

podrían llamar, porque es el transporte de energía, a través del sistema lo que permite obtener trabajo de él. Es un recurso el análisis de los sistemas abiertos, mediante el reconocimiento de sus aspectos de red. Los sistemas de transporte, comunicación, tuberías y distribución de energía tienen características obvias de red, por ejemplo, en el cuerpo humano, los sistemas nervioso y circulatorio son redes. La mayoría de los sistemas abiertos tienen características de redes.

Los casos de sistemas abiertos y cerrados, se pueden visualizar, a través de un ejemplo de la Termodinámica. Recordemos que la Termodinámica es una rama de la Física, en la que un sistema ha de corresponder a una porción del espacio o cantidad de materia que es

seleccionada para propósitos de análisis.

Para esto precisemos algunos conceptos previos. Toda masa o región ajena al sistema se conoce como alrededores y el límite real o hipotético entre el sistema y los alrededores se denomina fronteras o límites del sistema (puede ser fija o móvil), que es el límite real o hipótesis entre el sistema y los alrededores.

Se trabaja termodinámicamente un sistema definiendo su relación con su medio inmediato, por una parte, y en relación con sus principales componentes, por otra.

Para ejemplificar lo anterior, en la figura 1, se muestra un esquema de una tobera, donde se indica una frontera imaginaria, para su volumen de control.

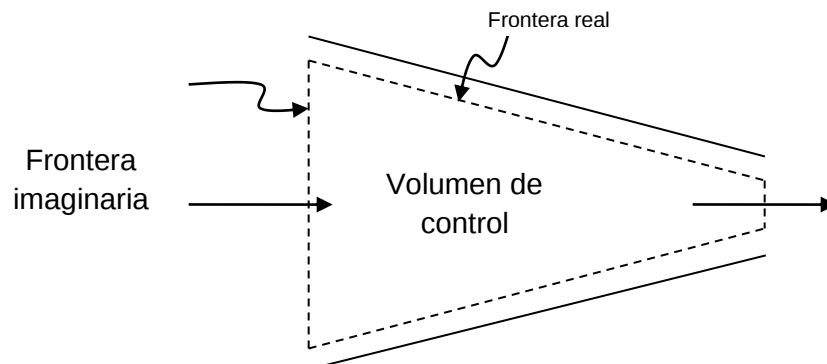


Figura.1."Esquema de una tobera"

Las fronteras del volumen de control, se llaman superficies de control y pueden ser reales o imaginarias. En el caso de la tobera, la superficie interna de ésta forma parte real del límite y las áreas de entrada y salida conforman la parte imaginaria, debido a que no hay superficies físicas allí.

Respecto al concepto de frontera de un sistema, ésta puede ser considerada tal como lo menciona Johansen (2004, pág.63) como “aquella línea que separa el sistema de su entorno (o supersistema) y que define lo que pertenece y lo que queda fuera de él”. Dicha línea puede tener características de real o imaginaria.

Llevar a cabo el trabajo con subsistemas, no es fácil, ya que es necesario establecer una frontera, donde pueden influir las características físicas del sistema, así como la intervención de ciertas variables que pueden afectar a otras.

Para Johansen (2004), la dificultad de fijar las fronteras de los sistemas se debe a las siguientes características de éstos:

1. Es bastante difícil (sino imposible) aislar los aspectos estrictamente mecánicos de un sistema.
2. El intercambio o la relación entre sistemas no se limita exclusivamente a una familia de sistemas. Existe un contacto permanente con el mundo exterior.

3. Existe un continuo intercambio de interrelaciones tiempo-secuencia. Cada efecto tiene su causa, de modo que las presiones del medio sobre el sistema modifican su conducta y, a la vez, este cambio de conducta modifica al medio y su comportamiento.

Cabe hacer notar que otro aspecto a considerar, son los intereses propios de quien desea estudiar un sistema, pues de ello dependerá que aquella frontera sea real o imaginaria. En el caso de situaciones sociales, por ejemplo, la frontera queda supeditada a aspectos culturales.

Como para el estudio de la tobera ya se ha definido la frontera (imaginaria), es posible trabajar con el volumen de control, el que se puede fijar en cuanto a tamaño y forma. En el caso de la tobera se observa como un límite en movimiento.

La mayoría de los volúmenes de control tienen límites establecidos, por lo que no están implicados los límites en movimiento. También se involucra interacciones de calor y de trabajo, como un sistema cerrado, además de la interacción con masa. Por lo tanto, prácticamente cualquier cosa es un sistema, por ejemplo, un motor de un automóvil, una caldera, una bomba de agua, un motor de un avión, una turbina, un compresor, una planta de vapor, un termo, un hervidor, etc.

Sistema Cerrado (masa de control): no hay transferencia de masa (una cantidad fija) entre él y sus alrededores. Pero la energía, en forma de calor o trabajo, puede

cruzar la frontera y el volumen de un sistema cerrado no tiene que ser fijo. (NO: indica que la masa no puede cruzar la frontera; SI: indica que la energía puede cruzar la frontera).

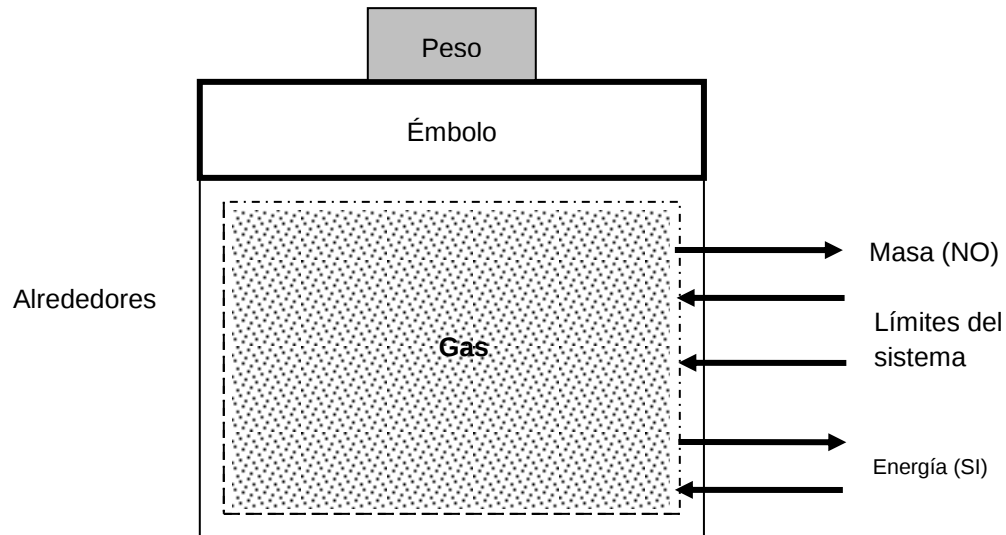


Figura.2."Esquema de Sistema Cerrado"

Sistema Abierto (Volumen de Control): hay transferencia de masa entre él y sus alrededores. Por lo general, encierra un dispositivo que comprende un flujo másico como un compresor, una turbina o una tobera. El flujo, a través de estos dispositivos se estudia mejor al seleccionar la región dentro del dispositivo como un volumen de control. Tanto la masa, como la energía pueden cruzar la frontera de un volumen de control. Ejemplos: una bomba de agua, un motor de automóvil, una turbina o un compresor, etc.

Es posible que se trabaje en un caso especial, en el que incluso a la

energía no se le permita cruzar la frontera, a este sistema se le llama Sistema Aislado.

Un esquema de sistema abierto se muestra en la figura 3, donde en este caso se ha considerado el motor de un automóvil.

Obsérvese que en este sistema se presentan entradas y salidas. Las entradas corresponden a gasolina, agua y aire; las salidas son agua y productos de combustión. También podemos considerar una salida al movimiento que puede tener la flecha.

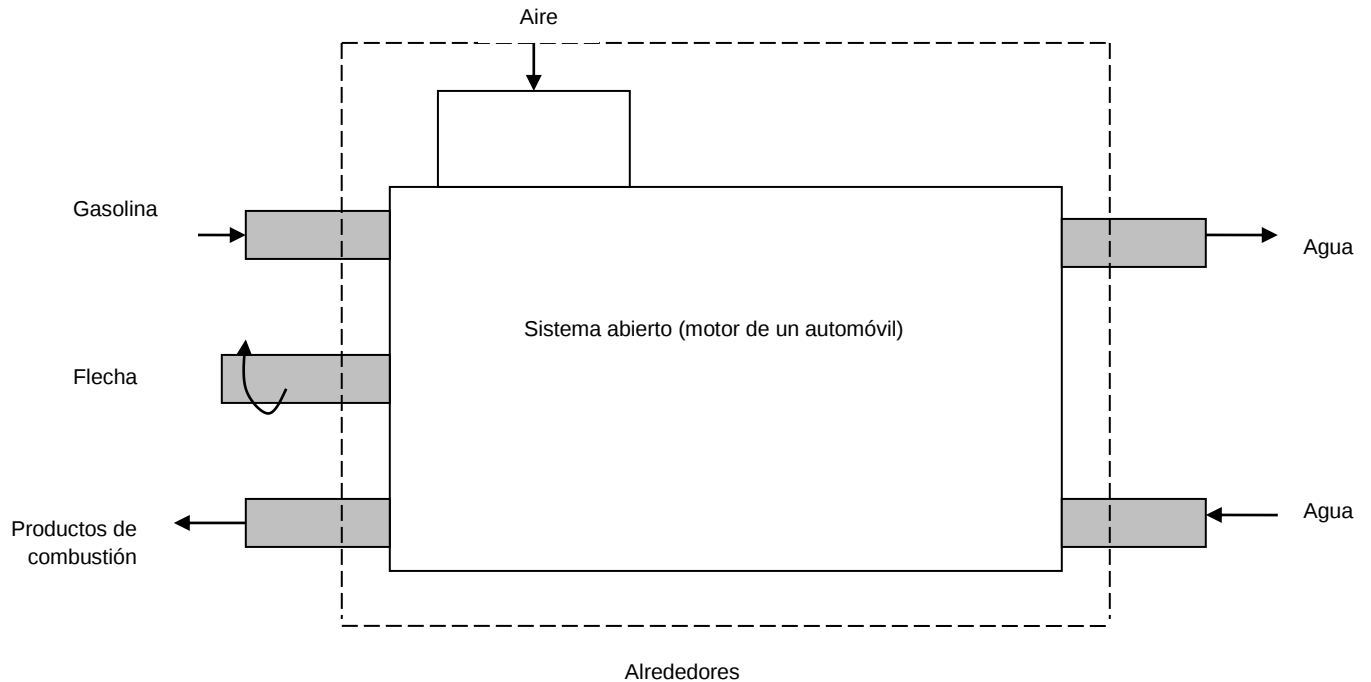


Figura.3."Esquema de un Sistema Abierto (motor de un automóvil).

Puede ser que en un sistema abierto el cambio neto de masa sea igual a cero, es decir, que el flujo de masa que entra en el sistema sea igual al flujo de masa que sale de él; sin embargo, el sistema es abierto, puesto que existe transferencia de masa en algunas porciones de sus límites o fronteras.

En algunas circunstancias, un sistema puede ser abierto y cerrado de forma simultánea a medida que el tiempo transcurre. Un ejemplo corresponde al cilindro de un motor de combustión interna.

No solamente podemos analizar un sistema respecto de las ciencias básicas y aplicadas, sino que también

bajo una perspectiva social, por ejemplo, Luhmann (1990) incorpora la teoría de sistemas a su teoría de un modo explícito, hasta el punto de que su obra ha sido calificada como "sociología sistémica", donde es importante considerar que esta incorporación se encuentra motivada por la posibilidad de encontrar, en la actual teoría de sistemas, un medio adecuado para describir la sociedad y para la elaboración de una teoría adecuada.

Aquí se distinguen tres tipos fundamentales de sistemas. Los sistemas vivos, los sistemas psíquicos o personales, los sistemas sociales. Cada uno de ellos se diferencia por su propio tipo de

operación autopoietica y el modo en que construyen su propio espacio de operación y reducción de la complejidad.

Por ejemplo, la vida y las operaciones vitales son propias de los sistemas vivos; la conciencia es el modo de operación propio de los sistemas personales o psíquicos; la comunicación es el rasgo característico de los sistemas sociales.

Cada uno de estos grandes sistemas se diferencia respecto de su entorno y construyen su modo propio de actuación, así como sus leyes de observación, reduciendo de modo original y propio la complejidad que les rodea, llevando a cabo determinadas selecciones que caracterizan su modo de actuación y constituyéndose como tales sistemas, con un claro componente temporal en su estructura.

Al ser cada uno de estos sistemas cerrados en sí mismos –con esa particular mezcla de clausura/apertura propia de los sistemas autopoieticos-, no presentan la característica de mantener contacto entre sí. Sin embargo, es evidente que existe un modo de relación entre los sistemas que respetan la independencia y clausura propia de ellos. Este modo de relación se conoce bajo el nombre de “interpenetración”, operación mediante la cual un sistema pone a disposición de otro su propia

estructura para que pueda seguir construyéndose la complejidad que le es propia.

Asimismo, cada uno de esos sistemas puede diferenciar su estructura en distintos subsistemas mediante un proceso de diferenciación que enriquece notablemente el propio sistema y que es, ordinariamente, de tipo evolutivo.

Para Luhmann (1990) la sociedad es un sistema autorreferente y autopoietico que se compone de comunicaciones. La sociedad se diferencia progresivamente, a lo largo de la evolución temporal y de la historia, en diferentes subsistemas sociales tales como el derecho, la economía, la política, la religión, la educación, etc.

En este caso se plantea que una sociedad avanzada será siempre una sociedad altamente diferenciada, en la que existan esos diferentes ámbitos de comunicación que son los diferentes subsistemas sociales. Con ello se ha logrado un elevado nivel de especialización en las diferentes funciones de la sociedad, que contribuye a reducir eficazmente la progresiva complejidad a la que la sociedad debe enfrentarse.

Aquí la comunicación es considerada como un proceso de selecciones, y su análisis debe partir de la improbabilidad de la comunicación que debe sortear la multitud de obstáculos antes de producirse con

éxito. Se resalta el valor que tiene la selección en el modo de comportamiento propio de un sistema social y cómo la selección, si está adecuadamente estructurada, contribuye a reducir eficazmente la complejidad.

Tal como se indicó anteriormente, la comunicación es propia de los sistemas sociales. Tan sólo la sociedad y los sistemas sociales comunican, sobre sí mismos y sobre los otros sistemas sociales, guardando los modos propios de la clausura que constituye su autopoiesis. En este sentido la sociedad se compone de comunicaciones y es el ámbito de todas las comunicaciones posibles.

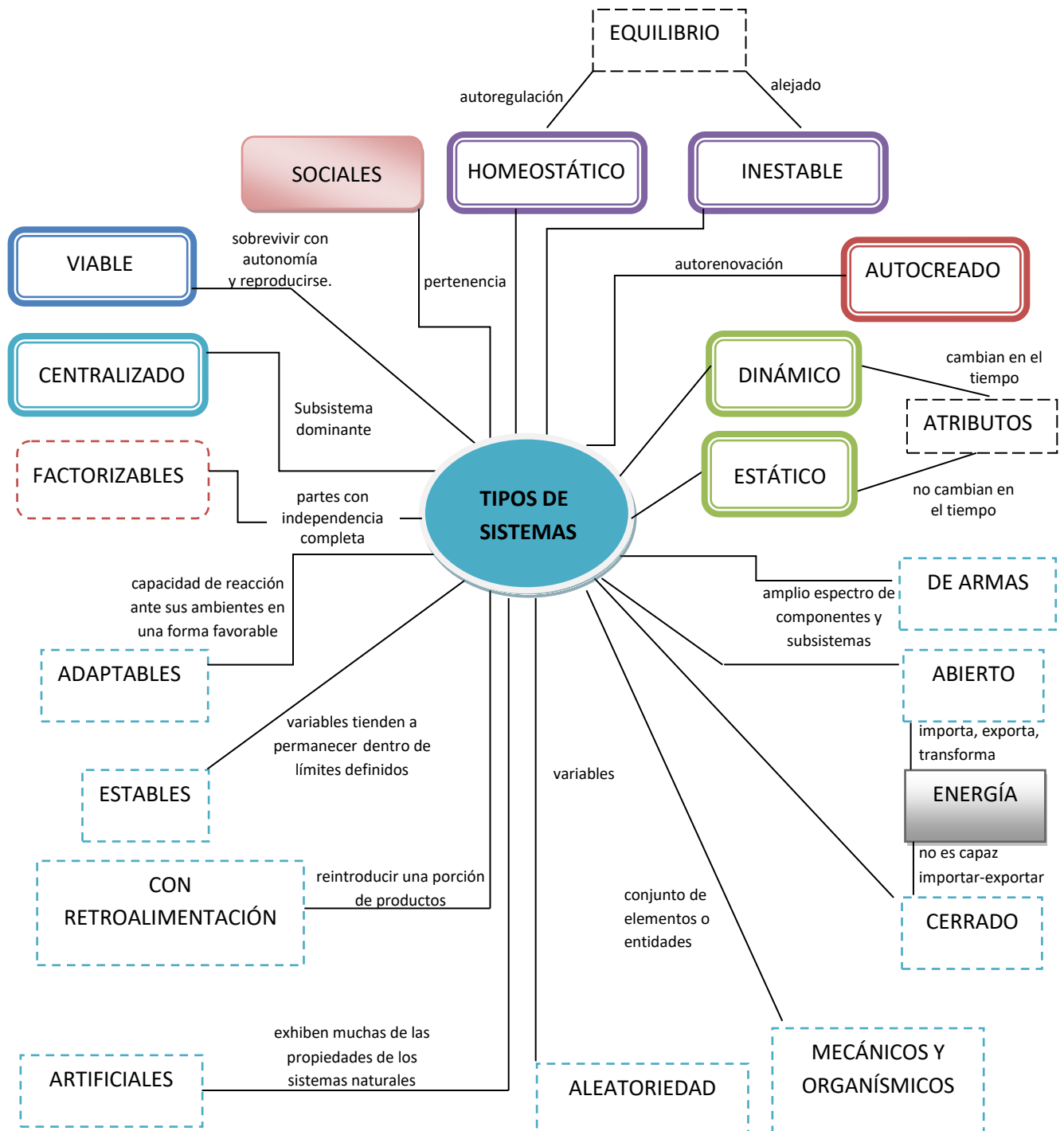
La sociedad no está compuesta de seres humanos, sino de comunicaciones. Los seres humanos –que son sistemas autoreferentes que tienen en la conciencia y en el lenguaje su propio modo de operación autopoietica- son el entorno de la sociedad, no componentes de la misma.

La sociedad, compuesta de comunicaciones, se diferencia internamente, según el grado de evolución y desarrollo, en diferentes subsistemas sociales, cada uno de estos subsistemas sociales es un sistema autoreferente y autopoietico y tiene a los demás subsistemas como su entorno, manteniendo su clausura y su propia independencia.

Cada uno de estos sistemas sociales especializa el ámbito de sus comunicaciones y de sus selecciones de modo que resuelve, cada uno de ellos, un determinado segmento de complejidad, contribuyendo a que la sociedad pueda resolver los problemas que se le enfrentan. Cada sistema social puede observarse a sí mismo, observar a los otros y actuar, de acuerdo con ese nivel de observación, dirigiendo sus propias operaciones para reducir el ámbito de complejidad en que está especializado.

Considerando lo estudiado durante este capítulo, y para efectos de síntesis, un sistema podrá ser considerado como una entidad, un constructo, formado por un conjunto de componentes y una estructura base, donde la viabilidad del sistema depende de dichas características. Este sistema deberá involucrar intercambio de materia y/o energía y/o información, así como almacenamiento de materia y/o energía y/o información, pudiendo ser de carácter mecánico, termodinámico, social, etc.

MAPA CONCEPTUAL: “Tipos de sistemas”.



CAPÍTULO 3. “CONCEPTOS Y PRINCIPIOS ASOCIADOS CON SISTEMAS”.

A continuación se definirán algunos conceptos y principios asociados con los sistemas, con el objeto de considerarlos al momento de modelar los mismos.

Autorregulación, irreversibilidad, relacionalidad, indescriptibilidad, contextualidad, redundancia, no localidad, evolutividad, inteligencia, homomorfismo y caja negra son definidos por Bravo (1998).

Autorregulación: se refiere a las tareas de ajuste que realizan algunos elementos del sistema, para mantener constante su estado interno en el corto plazo. Normalmente corresponde, en la naturaleza, a un punto de equilibrio abstracto al cual se tiende pero nunca se llega, por ejemplo, en nuestro cuerpo está siempre actuando la autorregulación, para mantener constante la temperatura.

Irreversibilidad: significa que lo que pasó, pasó. Cualquier cosa que suceda en un sistema, ya no puede ser reproducido, completamente relacionado con la inestabilidad del sistema. Esto rompe radicalmente con la Física Clásica en el sentido de que una experiencia podría repetirse cuantas veces fuera necesario.

Relacionalidad: se orienta a las interacciones, partiendo de la premisa de la inteligencia de cada elemento, como las células en un organismo o las personas en una organización, haciéndose evidente que las interacciones son energía.

Indescriptibilidad: siempre se tiene una visión parcial del sistema. Es tan complejo, que su descripción excede a nuestro conocimiento, sólo tenemos un conocimiento superficial sobre la base de representaciones simplificadas, es decir, a un sistema no se le conoce, se le entiende.

Contextualidad: es una de las características más desconcertantes, porque tiene que ver con el devenir dinámico de los sistemas y que se modifica con el sólo hecho de observarlos, es una aplicación del Principio de Incertidumbre de Heisenberg. La característica de contextualizar indica que el observador pasa a desempeñar un rol en el sistema por el simple hecho de observarlo, es decir lo altera.

Redundancia: significa que las funciones que realiza algún elemento pueden ser realizadas por otro, total o parcialmente. En los sistemas biológicos, típicamente cuando algún miembro falta, de alguna manera se produce una compensación con otros que asumen total o parcialmente la función pendiente, donde en algunos casos el miembro hasta puede ser regenerado.

No localidad: cualquier evento que ocurra en una parte del sistema, afectará al todo, esto es un principio que surge como simple consecuencia de que el sistema es un todo indivisible, holístico, unitario e integral. La no localidad también implica que la parte tiene acceso al todo, es más, la parte contiene el sistema completo, como el ADN repartido en todas las células de nuestro cuerpo.

Evolutividad: porque el sistema aprende y avanza hacia niveles superiores de organización. Posee mayor orden y da mejores respuestas a la complejidad del medio, en el marco de un ciclo de vida mayor que el de sus elementos.

Inteligencia: en los sistemas, la inteligencia se encuentra en toda su extensión, en las interacciones y en los elementos, lo que implica que ya no estaría sólo en el cerebro. Lo anterior es válido para una organización, un ser humano, un árbol o una manzana.

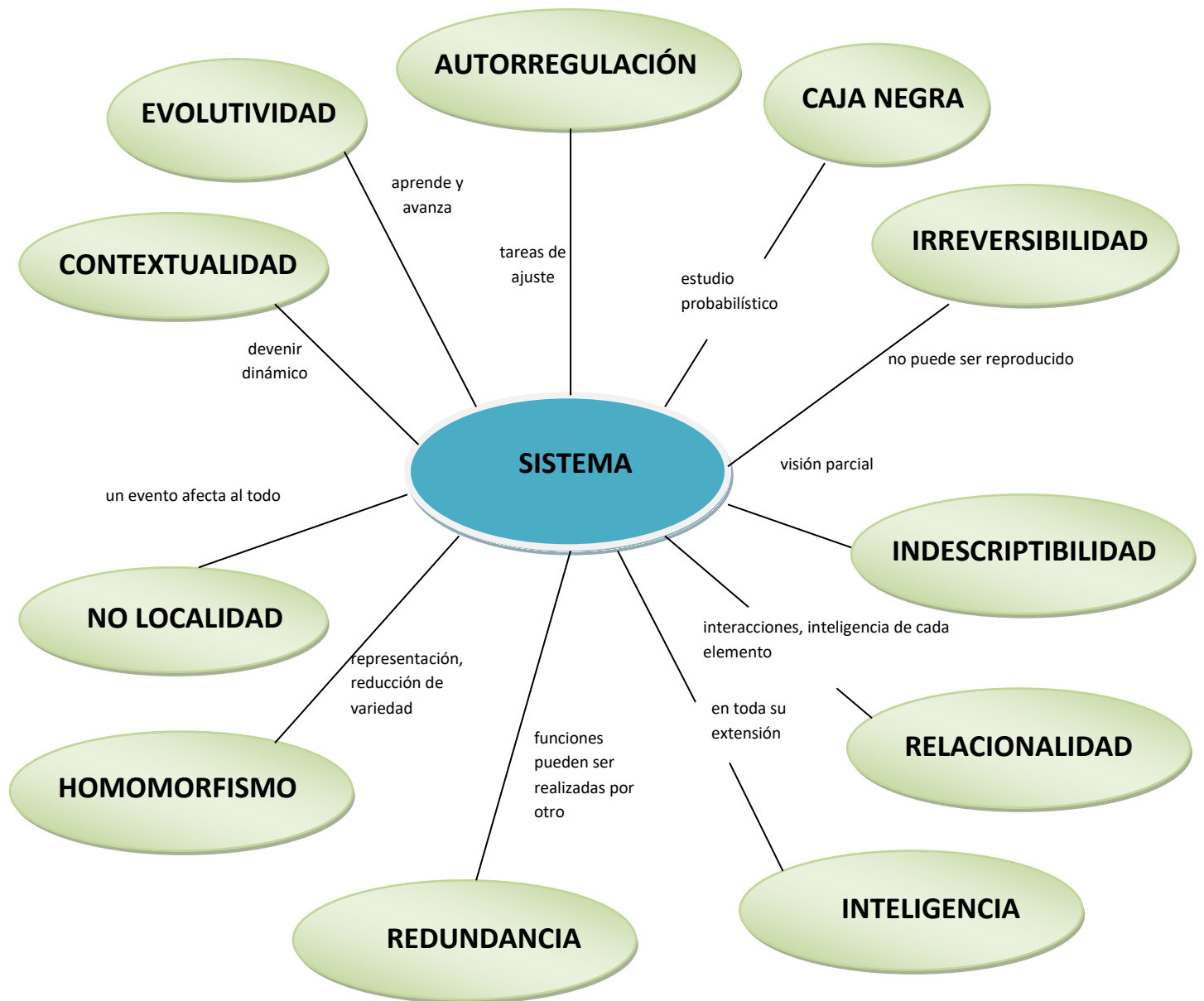
Homomorfismo: este concepto se aplica cuando el modelo del sistema es una representación donde se ha efectuado una fuerte reducción de variedad. Es una simplificación del objeto real donde se obtiene un modelo cuyos resultados ya no coinciden con la realidad, excepto en términos probabilísticos.

Independiente de la cantidad y tipo de modelos, un sistema no puede llegar a ser descrito totalmente.

Caja negra: corresponde a una forma de estudiar sistemas con elementos e interacciones desconocidas y con un comportamiento solamente predecible en términos probabilísticos.

La forma de abordar estos sistemas será observando sus entradas y salidas para determinar qué estímulos en las variables de entrada producen cambios en las variables de salida. Se dice que una caja negra será homomórfica con un sistema porque para construir el modelo se requiere de una simplificación.

MAPA CONCEPTUAL: “Conceptos y principios asociados con sistemas”.



Hall (1962) plantea los conceptos de compatibilidad, optimización, suboptimización, comportamiento coherente y comportamiento independiente, los cuales se describen a continuación:

Compatibilidad (armonía): que a menudo surge en el problema de la construcción de un sistema para adaptarse a un ambiente dado, (lo que equivale virtualmente a lo mismo) de agregar partes nuevas a sistemas ya existentes. No hay garantía de que un sistema construido para un propósito dado funcione adecuadamente si cambia su ambiente. De igual modo, dos sistemas pueden ser satisfactorios en ciertos aspectos cuando funcionan de modo independiente, pero unidos podrían tener características por completo distintas y no necesariamente favorables.

Optimización: corresponde al logro del mejor ajuste entre el sistema y su ambiente. En el caso de un sistema abierto, éste es óptimo si el sistema transforma sus insumos en los productos más valiosos. La optimización de un sistema comprende la solución de un problema completo, incluidos la definición, la elección de objetivos, la síntesis del sistema, el análisis del sistema y la selección del mejor sistema. La optimización separada de todos los subsistemas de un sistema no garantiza un sistema óptimo, debido a las interacciones. Las

interacciones pueden impedir también que las optimizaciones separadas respecto de todos los subconjuntos de objetivos (o menos que la totalidad de ellos) produzcan un óptimo total.

Suboptimización: es la optimización de un subsistema respecto de sus objetivos, o la optimización del sistema total respecto de un subconjunto de objetivos.

Comportamiento coherente: en el que debido a la relación que existe entre las partes, si existe un cambio en una parte en particular, entonces provocará cambio en las demás partes del mismo y por supuesto en el sistema total.

Comportamiento independiente: en el que existe un conjunto de partes que poseen ningún tipo de relación, afectando el cambio solamente a dicha parte del sistema (aditividad física). La totalidad (o coherencia) y la independencia (o aditividad) no son dos propiedades separadas, sino extremos de la misma propiedad.

Energía en un sistema.

La energía es un concepto recurrente en el estudio del funcionamiento de los sistemas. Son variados los tipos de energía que se pueden señalar, tales como, eléctrica, mecánica, nuclear, hidráulica, cinética, potencial, etc. La energía corresponde a la capacidad de realizar trabajo, de acuerdo al campo en que se esté analizando, por ejemplo, mecánico,

eléctrico, etc. Sin embargo, en todos los sistemas hay pérdidas de energía, transformándose en otro tipo.

Los sistemas, a través de su corriente de entrada, reciben la energía necesaria para su funcionamiento y mantención (corriente de entrada: insumo; corriente de salida: producto). En general, la energía que importa el sistema del medio ambiente tiende a comportarse de acuerdo con la ley de la conservación, que dice que la cantidad de energía (ya sea ésta, representada por materias primas, recursos financieros o recursos humanos) que permanece en un sistema es igual a la suma de la energía importada, menos la suma de la energía exportada.

Una corriente de entrada de una energía particular que no responde a la ley de conservación es la información.

El sistema importa información desde su medio, a través de sus centros receptores y canales de comunicación, pero, la información no se comporta como ley de conservación, sino que de acuerdo a lo que se ha denominado “la ley de los incrementos” que dice que la cantidad de información que permanece en el sistema no es igual a la diferencia entre lo que entra y lo que sale, sino que es igual a la información que existe más la que entra, es decir, hay una agregación

neta en la entrada, y la salida no elimina información del sistema.

Puede suceder todo lo contrario, es decir, la salida de información puede aumentar el total de información del sistema. La entrega de información trae mayor información para el sistema.

En general, se puede indicar que la dependencia del sistema de sus importaciones de energía desde el medio constituye una seria restricción para éste, y no es difícil encontrar sistemas que luchan tenazmente para tener mayor acceso y/o control sobre las fuentes de energía.

Es claro que los sistemas convierten o transforman la energía (en sus diferentes formas) que importan en otro tipo de energía, lo que representa la “producción” característica del sistema en particular.

Todo sistema puede ser dividido en subsistemas y éstos a su vez poseen las mismas características de un sistema (el Principio de Recursividad). Por lo tanto, cada uno de los subsistemas posee un proceso de conversión de energía mediante ese subsistema.

Al considerar el sistema total, existen diferentes procesos o funciones de conversión siendo algunas principales, en relación al producto final y otras accesorias o de “servicio” para que puedan operar esos

subsistemas principales (aunque no por eso menos importantes y, en algunos casos, vitales). La diferencia quizá resida en que mientras las unidades de conversión del producto característico transforman la energía recibida en el producto final, los otros subsistemas la transforman en otro tipo de energía que es, a su vez, una corriente de entrada para la función de transformación principal, es decir, son procesos intermediarios. Generalmente no existe una sino varias corrientes de salida.

Las corrientes de salida se pueden clasificar, como positivas y negativas para el medio y el entorno, entendiéndose aquí por medio todos aquellos otros sistemas (no supersistemas) que utilizan de una forma u otra la energía que exporta el sistema.

El enfoque corriente de entrada y salida.

El enfoque “corriente de entrada-corriente de salida” (input-output), aplicado a la teoría de sistemas, identifica a un sistema como una entidad reconocible a la cual llegan diferentes corrientes de entrada (con numerosos tipos de recursos) y de la cual salen una o varias corrientes de salida bajo la forma de algún producto (bienes o servicios). Desde este punto de vista, el sistema propiamente tal se considera como una “caja negra”, tomando en cuenta sólo las interacciones (llegadas o salidas).

En este caso, es necesario preguntarse cuáles son las corrientes de entrada y qué corrientes de salida produce. Lo que sucede dentro del sistema, es decir, por la forma en que operan los mecanismos y procesos internos del sistema y mediante los cuales se producen esas corrientes de salida, serán despreciados, a menos que en un momento dado se interese en alguna de ellas. En ese caso se procede a abrir la caja.

Este enfoque produce la ventaja de identificar claramente los sistemas y subsistemas y estudiar las relaciones que existen entre ellos, permitiendo así maximizar la eficiencia de estas relaciones sin tener que introducirnos en los procesos complejos que se encuentran encerrados en esas cajas negras.

Entropía.

Existe una función termodinámica denominada entropía que es una medida del desorden del sistema.

La entropía ejerce su acción en los sistemas aislados, es decir, aquellos que no “comercian” con su medio. Se puede afirmar que estos sistemas se encuentran condenados al caos y a la destrucción.

Los objetos físicos tienden a ser sistemas cerrados, y éstos, evidentemente, tienen una vida limitada. Cuando un sistema no vivo es aislado y colocado en un medio uniforme, todo movimiento muy

pronto llega hasta un punto muerto, como resultado de la fricción. Se alcanza un estado permanente en que no ocurre ningún suceso observable; en Física se llama a esto, estado de equilibrio termodinámico o de máxima entropía.

Una característica común a todos los sistemas es la entropía. La entropía es un concepto que proviene de la Física y es una conclusión a que se llega a partir de la segunda ley de la termodinámica. Según esta ley, los sistemas en general tienen la tendencia a alcanzar su estado más probable. En otras palabras, existe una tendencia natural de los cuerpos a pasar de distribuciones menos probables a otras más probables. En el mundo de la Física, el estado más probable de esos sistemas es el caos, el desorden y la desorganización.

Neguentropía.

Bravo (1998, pág 121), plantea que “en contraposición al concepto de entropía está el de Neguentropía o entropía negativa, el cual postula que los sistemas son cada día más organizados, es decir, evolucionan, producto del uso de energía extraída del medio para transformar las interacciones de los elementos”.

Un sistema abierto puede presentarse como aquel que importa energía (proceso de transformación) y luego exporta al medio esa nueva energía. Con el producto de esa

exportación, el sistema está en condiciones de obtener nuevamente sus corrientes de entrada necesarias para llevar a cabo el proceso de transformación que lo caracteriza y diferencia del resto de los sistemas.

Johansen (2004, pág.97) concluye que “en el mundo físico no existe creación de neguentropía o entropía negativa. En otras palabras, dentro de los sistemas cerrados, se observa un desarrollo siempre creciente de la entropía”.

Un organismo viviente continuamente incrementa su entropía, y por lo tanto, tiende a aproximarse al peligroso estado de entropía máxima, que significa la muerte. Sólo se puede mantener alejado de ella, es decir, vivo, si continuamente está extrayendo de su medio entropía negativa.

El organismo se alimenta de entropía negativa atrayéndola hacia él para compensar el incremento de entropía que produce al vivir y manteniéndose así, dentro de un estado estacionario con un nivel relativamente bajo de energía.

La expresión “entropía negativa” (o neguentropía) es en sí una medida de orden. De este modo, el mecanismo mediante el cual el organismo se mantiene estacionario y a un nivel bastante alto de ordenamiento (es decir, a un nivel bajo de entropía) realmente consiste en extraer

continuamente orden (u organización) de un sumidero.

Los sistemas abiertos al extraer orden del medio y reemplazar con él el desorden producido por sus procesos vitales, rompen la ley inexorable que ataca a los sistemas: la entropía creciente.

Se puede establecer una nueva distinción entre sistema cerrado y sistema abierto. El sistema cerrado tiene una vida contada, sucumbe ante la entropía creciente. El sistema abierto presenta características tales (interacción con su medio e importación de entropía negativa u orden) que está en condiciones de subsistir y aún eliminar la ley de entropía.

Entropía e información:

Para Johansen (2004) la entropía tiene efectos en la información, pues las informaciones son comunicadas a través de mensajes que son propagados desde un punto (fuente) a otro (receptor) dentro del sistema social, a través de los canales de comunicación y utilizando diversos medios.

La información contenida en los mensajes puede sufrir deformaciones, interrupciones o accidentes, pues existen variables en las transmisiones, las que pueden generar una modificación significativa de la información.

El Principio de Entropía como elemento desorganizador.

Se ha definido a la entropía como la tendencia que tienen los sistemas a alcanzar su estado más probable. Este estado más probable es el caos, la desorganización, la eliminación de las diferencias que lo hacen identificable. Esto es fácilmente demostrable en los sistemas cerrados (aquellos que no tienen intercambio de energía con el medio), pero qué sucede en los sistemas abiertos (aquellos que transan energía con el medio. Teóricamente deben tender al caos si es que el estado más probable de estos sistemas es ese.

Compatibilización: la neguentropía como elemento organizador.

Se puede estimar la neguentropía como la energía necesaria que requiere el principio de la organicidad para desarrollarse, el cual establece las condiciones necesarias para el orden. La neguentropía es la fuerza necesaria para hacer operar ese principio. Por ejemplo, un sistema social que desee sobrevivir, debe, conscientemente, crear dos tipos de energía, a través de sus mecanismos de importación del medio: la energía necesaria para el proceso de transformación o conversión, y la energía necesaria para mantener y mejorar su organización interna y sus relaciones con el medio dentro del cual se conduce.

Los sistemas abiertos (sistemas vivos en general), como todo sistema, tienden a desorganizarse como efecto de las fuerzas antrópicas (propias del ser humano) que los atacan. Sin embargo, poseen mecanismos potenciales que buscan supervivencia. Ahora bien, la supervivencia de estos sistemas parece encontrarse en su capacidad de organización o de mantenerse organizados frente a los cambios y fuerzas negativas del medio. Esto es lo que podemos denominar el “principio de organicidad”.

Sin embargo, para que estos mecanismos puedan operar, es necesario proveerlos de energía. El sistema debe generar un exceso de energía sobre aquella destinada a su proceso de transformación característico.

Esta energía es la que se denomina “neguentropía” o “entropía negativa”. Por lo tanto, el Principio de Organicidad operará en la medida que el sistema sea capaz de generar este exceso de energía.

La conclusión que podemos derivar a partir de las definiciones anteriores, es que los sistemas abiertos, aunque poseen una característica que los lleva a organizarse y, por lo tanto, a la supervivencia, operarán en forma inconsciente (automáticamente) o consciente (acción planificada) siempre y cuando exista la energía suficiente para que los mecanismos naturales o artificiales que conducen

a la autoorganización del sistema puedan actuar. Luego, un sistema rodeado de un medio abundante en energía, debiera normalmente desarrollarse y crecer.

Cuando comienza a escasear esa energía, entonces el sistema empieza a decaer, y si ese estado continúa por cierto tiempo, comienza la desintegración del mismo, perdiendo organización lo que finalmente lo conduce al caos, a la destrucción y a su desaparición y evidentemente deja su propósito.

Sinergia y Recursividad.

Si un objeto cumple con el principio de que el todo es mayor a la suma de las partes se dice que posee o que existe sinergia. En el caso de un ambiente social significa que la suma de las conductas individuales no es igual a la conducta colectiva.

Cuando se hace referencia a objeto, se establece como todo aquello que ocupa un lugar en el espacio y/o en el tiempo, es por ello que la idea de objeto incluye todo, esto es lo tangible y lo intangible. Los objetos presentan una característica de sinergia cuando la suma de sus partes es menor o diferente del todo, o bien cuando el examen de alguna de ellas no explica la conducta del todo. Esto requiere que para explicar la conducta global de un objeto, es necesario analizar y estudiar todas sus partes y si se logran establecer las relaciones existentes entre ellas,

es posible predecir la conducta de este objeto y/o sistema.

En otras palabras, cuando nos encontramos con un objeto con características sinérgicas (que se denominará sistema) se debe tener en cuenta la interrelación de las partes y considerar que el efecto final será un “efecto continuo”. Esto nos permitirá obtener la maximización de los objetivos del sistema, pero para ellos será necesario considerar la coordinación e interacción en pro del objetivo común.

Es decir, la clave de la sinergia es la interacción, por lo que no sería sinérgico un conglomerado.

Conglomerado, es una construcción teórica, es un término que se utilizará en contraposición al de sistema, con el objeto de identificar grupos de elementos con interacción débil. El conglomerado se puede definir como un conjunto de objetos, de los cuales se abstraen ciertas características, eliminándose aquellos factores ajenos al estudio y observando luego el comportamiento de las variables que interesan.

Es fundamental para establecer la condición de un conglomerado, la existencia de las posibles relaciones que entre ellos se desarrollan, que no afectan la conducta de cada una de las partes. Un conglomerado se supone sin sinergia, es decir, que la suma de sus partes es igual al todo.

Entonces, definitivamente, la diferencia entre un sistema y un conglomerado corresponde a la existencia o no de relaciones o interacciones entre las partes.

Retomando el concepto de sinergia, éste muestra que el sistema tiene infinito número de partes. Desde cualquier enfoque es posible ver algunas partes, sin embargo, el todo será mayor a la suma de ellas. Además, el conjunto posee propiedades que no tienen las partes. Por ejemplo, las moléculas de agua son siempre las mismas, pero el estado de líquido, sólido o gaseoso es una propiedad del conjunto, luego las interacciones son diferentes. Se puede hablar de sinergia negativa, la que se da cuando las interacciones son tan débiles que la energía que se gasta en mantener unidas las partes es mayor a la que se obtiene del exterior. En este caso estamos aproximándonos a elementos independientes, en los que no existe interacción entre ellos, que afecte el comportamiento de la variable en estudio.

Punto aparte merece el análisis del concepto de recursividad en los sistemas, el que de acuerdo a Bravo (1998, pág 115), significa que “las funciones esenciales para la sobrevivencia, así como la forma general de organización, se encuentran tanto en el todo, como en las partes”.

Johansen (2004, pág.44), entiende por recursividad “el hecho de que un objeto sinérgico, un sistema, está compuesto de partes con características tales que son a su vez objetos sinérgicos (sistemas)”. Se habla entonces de supersistemas, sistemas y subsistemas.

Lo esencial de la recursividad, es que cada uno de estos objetos, no importando su tamaño, tiene propiedades que lo convierten en una totalidad, es decir, en elemento independiente. Lo anterior no significa que todos los elementos o partes de una totalidad sean totalidades a su vez.

No existe la característica de recursividad en el sentido de que cada una de las partes del todo posee, a su vez, las características principales del todo. Por ejemplo, el ser humano no es una suma de células, ni el grupo es una suma de individuos, por lo tanto se tienen elementos recursivos y sinérgicos.

Existe recursividad entre objetos aparentemente independientes, pero esta recursividad no se refiere a forma, o para expresarlo gráficamente a innumerables círculos concéntricos que parten de un punto (el círculo unitario) y a partir de ese centro se van trazando con el compás círculos de radio cada vez mayores.

La recursividad se presenta en torno a ciertas características particulares

de diferentes elementos o totalidades de diferentes grados de complejidad.

Tal como se indicó anteriormente, el problema consiste en definir de alguna manera las fronteras del sistema (que será un subsistema dentro de un supersistema mayor, de acuerdo con el concepto de recursividad). En otras palabras, se debe llegar a establecer una línea imaginaria que separe lo que pertenece al sistema de aquello que no le pertenece.

Para llegar a una idea operacional respecto a la definición o delineación de un sistema se puede pensar en el concepto de individualidad. Es decir, los sistemas son indivisibles como sistemas, poseen partes y subsistemas, pero estos son ya otras individualidades; pueden formar parte del sistema, pero no son del sistema que deseamos o buscamos, para encontrarlo, se deben reunir aquellas partes y aquellos subsistemas y eliminar las otras partes y subsistemas que están demás, o pertenecen a otro sistema, o, por no tener relación directa con nuestro sistema, sus comportamientos no lo afectan.

En este sentido, el concepto de recursividad va de “individuo” en “individuo”, destacándose una jerarquía de complejidad, ya sea en forma ascendente como en forma descendente. Luego, se desprende que el concepto de recursividad se aplica a sistemas dentro de sistemas

mayores, y a ciertas características particulares, más bien funciones o conductas propias de cada sistema, que son semejantes a la de los sistemas mayores.

De aquí es que se infiere el Principio de Recursividad, el cual plantea que cualquier actividad que es aplicable al sistema lo es para el súper y el subsistema.

Variables de un sistema.

Para Joseph (1960) las variables de un sistema se refieren a propiedades descriptivas de la entidad que constituya el objeto definido del estudio. Incluyen propiedades estructurales y de organización, características de información y propiedades descriptivas de las operaciones mediante las cuales actúa el sistema.

Las variables del sistema pueden ser descriptivas de diversos niveles de organización del sistema definido. Se distinguen tres niveles de organización de un sistema:

1. Sistema Total: el complejo hombre-máquina definido como el objeto de estudio, limitado por el investigador.
2. Subsistema principal: partes propias del sistema que pueden distinguirse sobre una base estructural o funcional.
3. Componentes del sistema: las partes constitutivas –humanas o de equipo- de un subsistema.

También se definen las variables de actuación del sistema, las que se refieren a propiedades descriptivas de los resultados de la operación del sistema en lo concerniente a la realización de las metas del sistema.

Las variables de actuación pueden ser descriptivas también de los diversos niveles de organización. Se distinguen también aquí tres niveles, para la clasificación:

1. Objetivos: los propósitos generales del sistema.
2. Funciones: clases principales de acciones o actuaciones requeridas, para la realización de los objetivos.
3. Requerimientos de actuación: dimensiones específicas que describen las acciones requeridas y señalan un nivel normal o requerido de actuación en cada una de ellas.

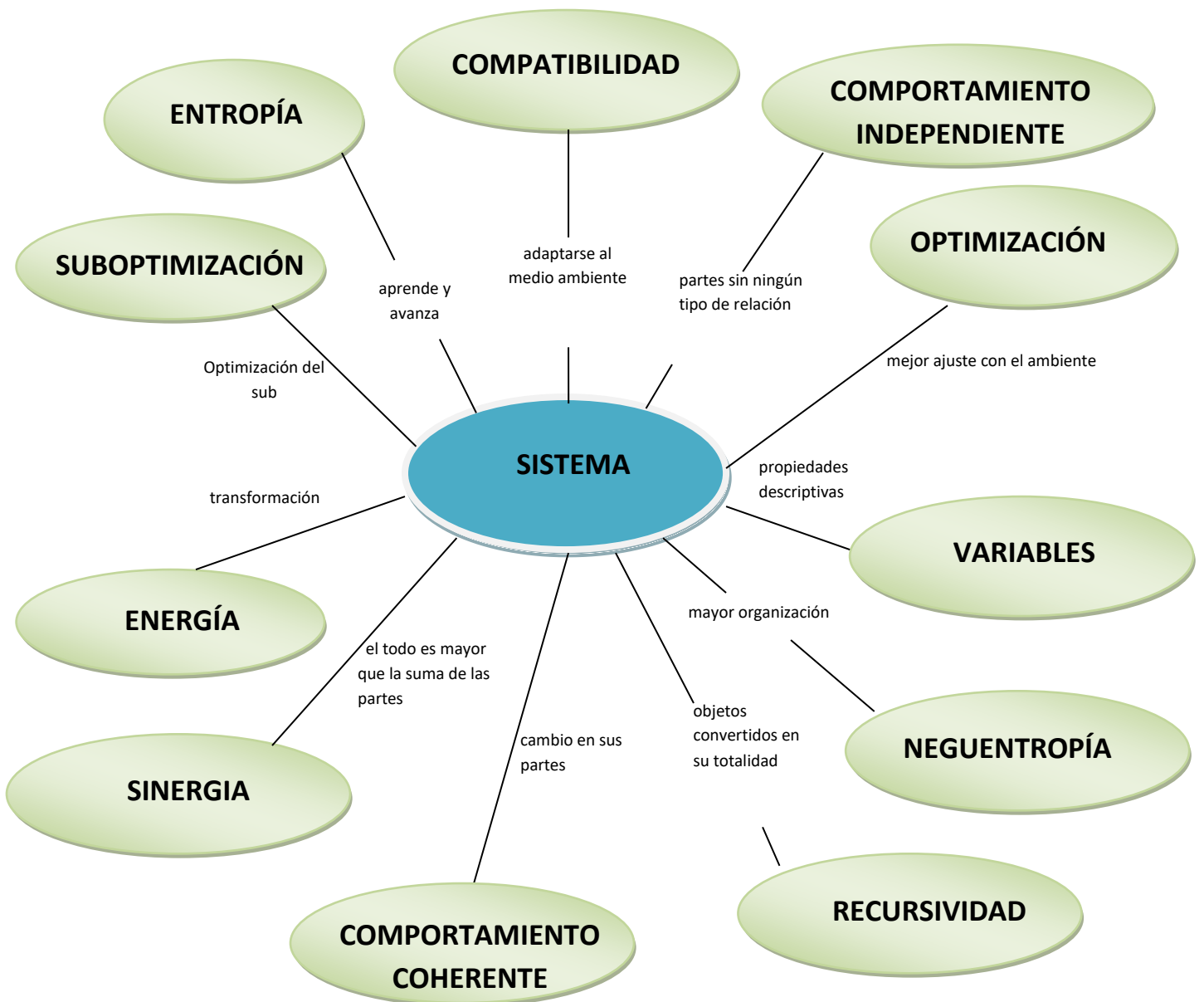
Otro tipo de variables, corresponden a las variables ambientales, que se refieren a propiedades de los alrededores del sistema que influyen sobre éste y afectan su actuación.

Las variables ambientales incluyen propiedades de los objetos y de fuerzas físicas y otras menos tangibles. Por ejemplo, en el caso de los sistemas de armas, el ambiente importante incluye a menudo las capacidades, acciones e intenciones de un enemigo, así como las propiedades de objetos y fuerzas del

medio físico y socio-cultural donde funciona el sistema.

La elección de las variables es de vital importancia, para el estudio del sistema, teniéndose en cuenta para ellos, las variables dependientes, independientes e intervinientes. Las intervinientes corresponderán a aquellas que no se pueden modificar, en cambio las variables independientes y dependientes se encuentran relacionadas entre sí.

MAPA CONCEPTUAL.



CAPÍTULO 4. “DIAGRAMA DE BLOQUES”

Un diagrama de bloques, corresponde a una representación pictórica abreviada de la relación entre la entrada y la salida, donde se enlazan una con otra todas las variables del sistema, mediante bloques funcionales. El bloque funcional o simplemente bloque es un símbolo para representar la operación matemática que sobre la señal de entrada hace el bloque para producir la salida.

En general, un sistema de control puede tener varios componentes.

Para mostrar las funciones que lleva a cabo cada componente en la ingeniería de control, se usan los diagramas de bloques. Algunos ejemplos de control realimentado son: sistema de control de timones de un avión, director de cañones o misiles, sistema de guiado de misiles, proyectiles guiados por láser y piloto automático.

El diagrama de bloques contiene información relacionada con el comportamiento dinámico, pero no incluye información de la construcción física del sistema, por lo tanto, muchos sistemas diferentes y no relacionados pueden representarse mediante el mismo diagrama de bloques.

Es posible definir los diferentes componentes de los diagramas de bloques, de acuerdo a:

1. Entrada: corresponde al estímulo o excitación aplicada a un sistema de control por una fuente externa, usualmente para producir una respuesta especificada del mismo. Reciben la energía necesaria para su funcionamiento y mantención.
2. Salida: es la respuesta real obtenida del sistema. Aquí se habla de corriente de salida, que equivale a la “exportación” que el sistema hace al medio. Estas corrientes pueden dividirse en corrientes de salidas positivas y negativas para el medio y el entorno, entendiéndose aquí por medio todos aquellos otros sistemas (o supersistemas) que utilizan de una u otra forma la energía que exporta ese sistema.
3. Elemento: es la representación más simple de los componentes del sistema. Es un bloque rotulado, ver figura 3, cuya función de transferencia (G) (que es una forma básica de describir modelos de sistemas lineales) es la salida dividida por la entrada.

$$\text{Nota: } s = j\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

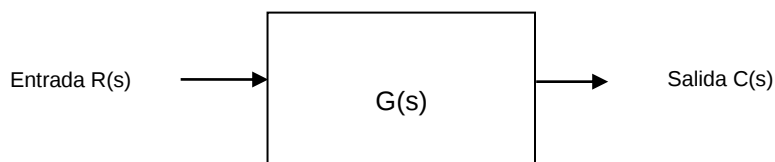


Figura 3. “Elemento”

4. Punto sumador: un dispositivo (ver figura 4) que suma o subtrae el valor de dos o más señales.

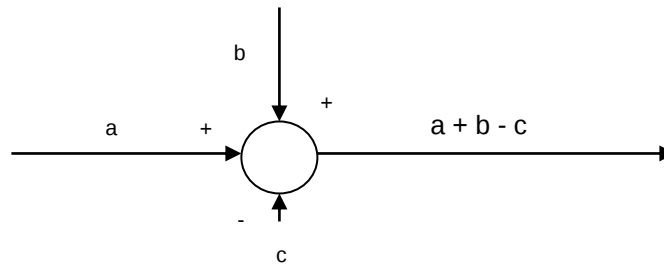


Figura 4."Punto Sumador"

5. Punto de partición: es un punto (ver figura 5) donde la variable entrante se transmite idénticamente a dos puntos del diagrama. Se lo llama a veces "punto de despegue".

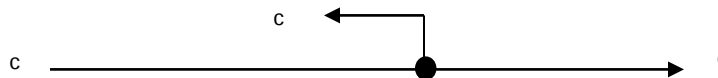


Figura 5."Punto de partición"

6. Elementos de control (o de alimentación hacia delante G): componentes ubicados en el camino directo entre la salida controlada y la entrada de referencia.
7. Variable de referencia o entrada (r): señal externa aplicada al sistema de control para producir la salida desea.
8. Retroalimentación (b): una señal determinada por la salida, y modificada por los elementos de realimentación, usada para

comparación con la señal de entrada. Es aquella porción de la salida de un sistema que retorna para modificar la entrada y servir así de monitor del funcionamiento del sistema, indica cómo lo está haciendo el sistema en la búsqueda de su objetivo, y que es introducido nuevamente al sistema con el fin de que se lleven a cabo las correcciones necesarias para lograr su objetivo. Desde este punto de vista, es un mecanismo de control que posee el sistema para asegurar el logro de su meta.

9. Salida controlada (c): la variable (temperatura, posición, velocidad, ángulo de un eje, etc.) que el sistema trata de guiar o regular.

10. Señal de error (e): suma algebraica de la entrada de referencia y la realimentación. Corresponde a la diferencia entre el estímulo de entrada y la respuesta de salida, específicamente, es la diferencia entre la entrada y la realimentación.

11. Elementos de realimentación (H): aquellos componentes requeridos para establecer la señal de realimentación deseada detectando la salida controlada.

Los sistemas, al complejizarse, se encuentran compuestos no solamente de entrada y salida, sino que también de retroalimentación. Esta retroalimentación puede ser de carácter positiva o negativa. En general, para su control apropiado, la

Es posible distinguir varios aspectos o partes que constituyen un sistema de control. Ellos son:

- a) Una variable: que es el elemento (o programa de objetivo) que se desea controlar.
- b) Mecanismos sensores: que son sensibles para medir las variaciones o los cambios de la variable.

comunicación de retroalimentación debe ser siempre negativa.

Para establecer conveniencia en la construcción de diagramas se representa la corriente de entrada (x) por una flecha con sentido positivo, mientras que la retroalimentación está indicada por una flecha negativa. En este caso, la corriente de entrada es reducida por la cantidad de retroalimentación negativa y el efecto sobre la corriente de salida será limitarla o modificarla.

La corriente de salida se representará, de manera general, como (y).

Las funciones de conversión de corriente de entrada y salida, se anotarán, respectivamente, como $F(x)$ y $F(y)$, la cual es originada por la información de retroalimentación.

Generalmente un sistema con retroalimentación es frecuentemente denominado sistema con circuito cerrado.

- c) Medios motores: a través de los cuales se pueden desarrollar las acciones correctivas.
- d) Fuente de energía: que entrega la energía necesaria para cualquier tipo de actividad.
- e) Retroalimentación: mediante la cual, a través de la comunicación del estado de la variable por los sensores, se logran llevar a cabo las acciones correctivas.

Estos cinco elementos se encuentran en cualquier sistema de control, ya sea de la presión de la sangre, la temperatura de una pieza, de un proceso industrial o de la conducta de los individuos, grupos o comunidades, etc.

Otra característica de este sistema de control basado en la comunicación de retroalimentación negativa es que sus elementos (los cinco recién señalados) deben ser lo suficientemente sensitivos y rápidos como para satisfacer los requisitos específicos para cada función o elementos de control.

Retroalimentación positiva.

Cuando la acción sigue a la recepción de la comunicación de retroalimentación, va dirigida a apoyar la dirección o el comportamiento inicial, entonces se tiene una “retroalimentación positiva”. O, en otras palabras, como se indicaba anteriormente, cuando mantenemos constante la acción y modificamos los objetivos, estamos utilizando la retroalimentación en un sentido positivo.

Tratándose de la retroalimentación positiva el control es prácticamente imposible, ya que no disponemos de estándares de comparación, pues los objetivos fijados al comienzo prácticamente no son tomados en cuenta, debido a su continua variación. Como la conducta de la variable es errática, es difícil plantear las actividades y coordinarlas con otras.

En general, podemos resumir en tres puntos las características de un sistema de control:

1. Un control estable requiere la presencia de la influencia de una retroalimentación negativa.
2. El control estable de una variable en un punto “fijo”, generalmente significa mantener a la variable de modo que no se aleje más allá de ciertos límites aceptables alrededor de ese punto.
3. Para que un control de cualquier variable sea efectivo, el sistema de control debe ser diseñado de modo que tenga respuestas que sean adecuadas para la aplicación específica que se hace de él.

La figura 6, que muestra un diagrama de bloques de un sistema de control por retroalimentación simple, que utiliza los componentes descritos anteriormente.

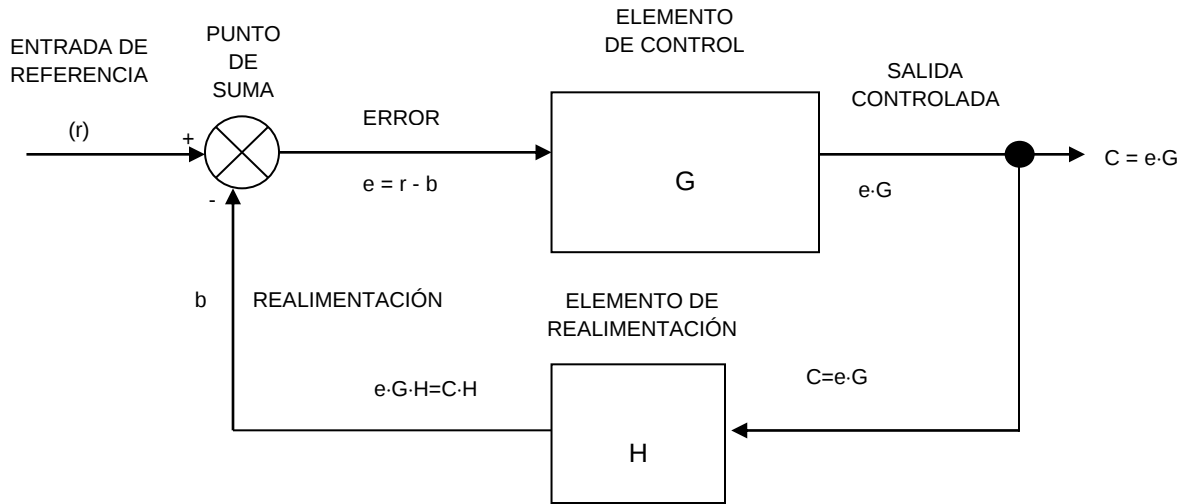


Figura 6."Diagrama de bloques de un sistema de control por retroalimentación simple"

El diagrama de bloques puede analizarse en busca de la relación entre Salida Controlada (c) y Entrada de Referencia (r), para ello sigamos el siguiente procedimiento:

La salida "c" puede expresarse como el producto del error "e" y el elemento de control "G".

$$C = e \cdot G \quad (1)$$

El error también es la combinación de la entrada "r" y la realimentación "b".

$$e = r - b \quad (2)$$

Donde la retroalimentación corresponde a:

$$b = c \cdot H \quad (3)$$

Sustituyendo la ecuación (3) en (2), se tiene:

$$e = r - C \cdot H \quad (4)$$

De la ecuación (1) podemos despejar:

$$e = \frac{C}{G} \quad (5)$$

Reemplazando (5) en (4) y desarrollando, se tiene:

$$\frac{C}{G} = r - CH$$

$$\frac{C}{G} + CH = r$$

$$C \left(\frac{1}{G} + H \right) = r$$

$$C \left(\frac{1 + GH}{G} \right) = r$$

$$C = \left(\frac{G}{1 + GH} \right) r$$

La relación entre la Salida Controlada (c.) y Entrada de Referencia (r.) es:

$$\frac{C}{r} = \left(\frac{G}{1 + GH} \right)$$

En contraste con el lazo cerrado, un sistema de lazo abierto no examina su propia salida, es decir, no contiene un lazo de realimentación. Un sistema simple de lazo abierto es

estrictamente una entrada, para ello se muestra la figura 7 (equivalencia de los diagramas bloques, a través de un elemento de control). En este caso:

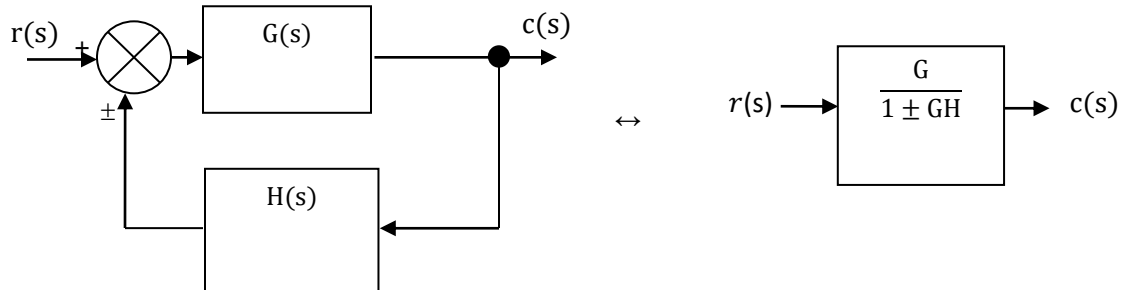


Figura 7. "Equivalencia de diagrama de bloques, a través de un elemento de control"

El sistema de lazo abierto, no tiene la habilidad de compensar las fluctuaciones de la entrada o la degradación del elemento de control.

Diagrama de bloques de un sistema básico de retroalimentación.

Analicemos el diagrama de bloques que se muestra en la figura 8. El proceso por controlar tiene una relación completamente determinada, o función de transferencia, entre su insumo (la señal activadora) y su producto (señal de producto

controlada). El transductor es simplemente un instrumento de medición utilizado para medir el producto y generar una señal de retroalimentación que resta del insumo para producir una señal de error. El controlador cambia la señal de error a una forma necesaria para dirigir el proceso; éste podría ser, por ejemplo, un amplificador.

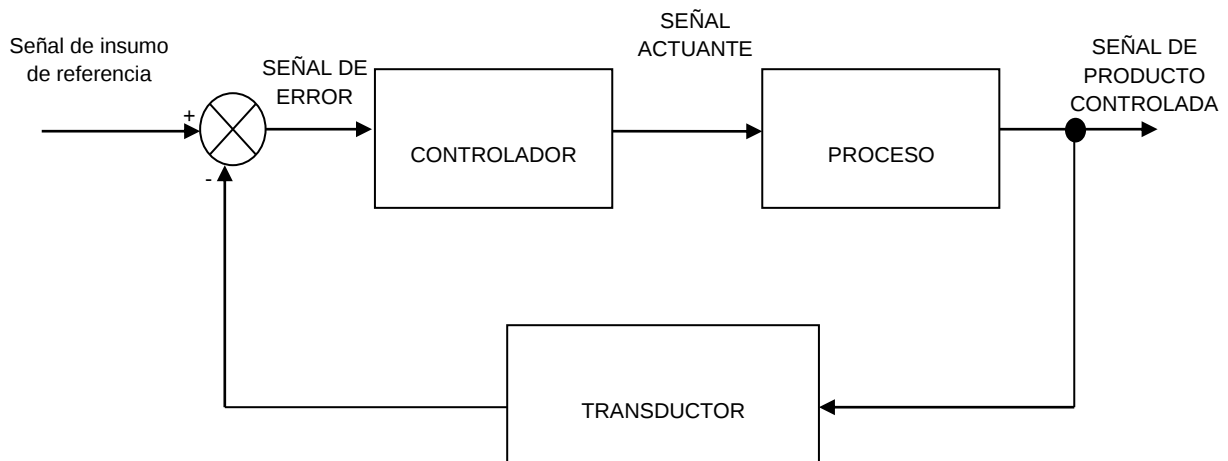


Figura 8."Diagrama de bloques de un sistema básico de retroalimentación"

Diagrama de bloques de un sistema ultraestable.

Respecto del diagrama de bloques anterior, se han añadido dos funciones nuevas al sistema de retroalimentación básico, ver figura 9. Primero, un detector de umbral vigila del insumo, y cuando descubre que la señal de insumo excede los límites

para los que fue diseñado el enlace de retroalimentación que utiliza el transductor número uno, operan los dos interruptores que desconectan el transductor número uno y conectan el transductor número dos. Los interruptores vuelven a la posición normal cuando los insumos vuelven a su intervalo normal.

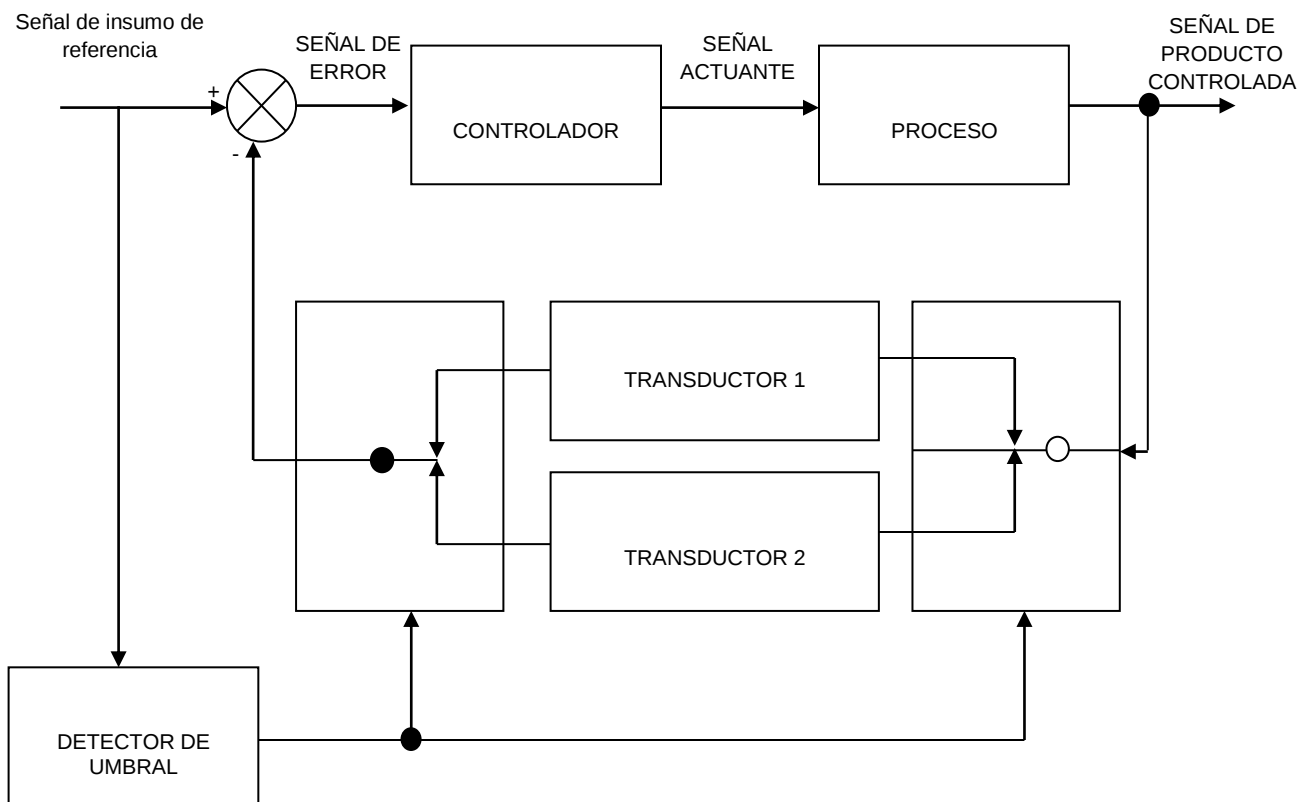


Figura 9."Diagrama de bloques de un sistema ultraestable"

Diagrama de bloques de sistema adaptable básico.

En lugar de detector de umbral simple, se tiene una función más versátil que analiza la señal de insumo en la forma necesaria; puede promediar el insumo, su derivada, o ejecutar una operación similar. En lugar de transductor se tiene un identificador alimentado por las señales de producto y de activación; su papel consiste en medir continuamente la función de transferencia del proceso. La información resultante aunada a la

señal de insumo analizada se introduce a una computadora de decisión que luego determina cuál es la mejor señal de activación que debe producir el controlador. En otras palabras, el diseño del sistema se ajusta automáticamente a medida que cambian las características del proceso debido a los cambios de uno o de más factores ambientales. Esto contrasta claramente con el sistema básico de retroalimentación, cuyo diseño se fija de modo definitivo por el diseñador que ha estudiado el proceso para identificar sus características.

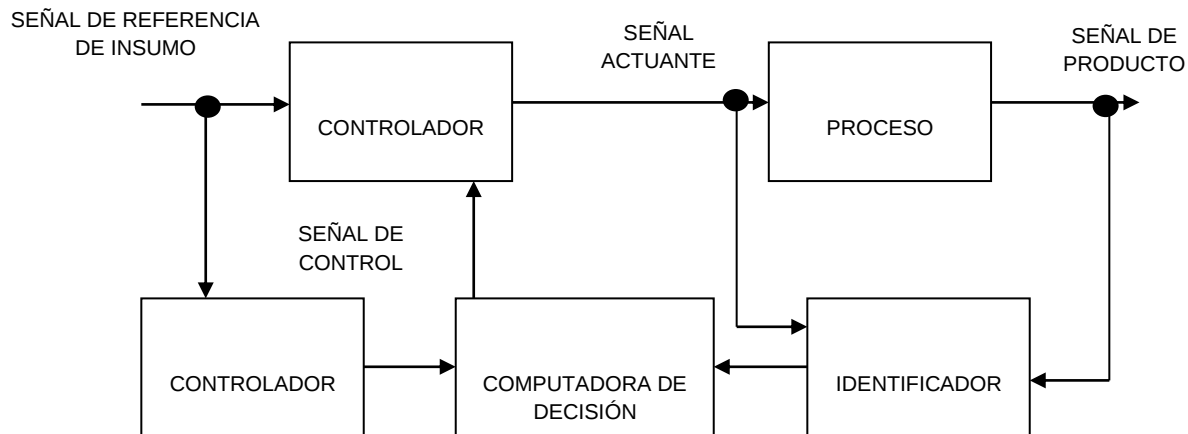


Figura 10."Diagrama de bloques de sistema adaptable básico"

Un ejemplo de sistema de control realimentado es el termóstato, ver figura 11. La entrada es la temperatura inicialmente pre graduada en el dispositivo. Se comparan la entrada y la temperatura del medio exterior. Si son diferentes, resulta un error y se produce una

salida que activa un dispositivo calefactor o refrigerador.

El comparador dentro del termóstato muestra continuamente la temperatura ambiente, es decir, la realimentación, hasta que el error sea cero. Entonces, la salida apaga el dispositivo calefactor o refrigerador.

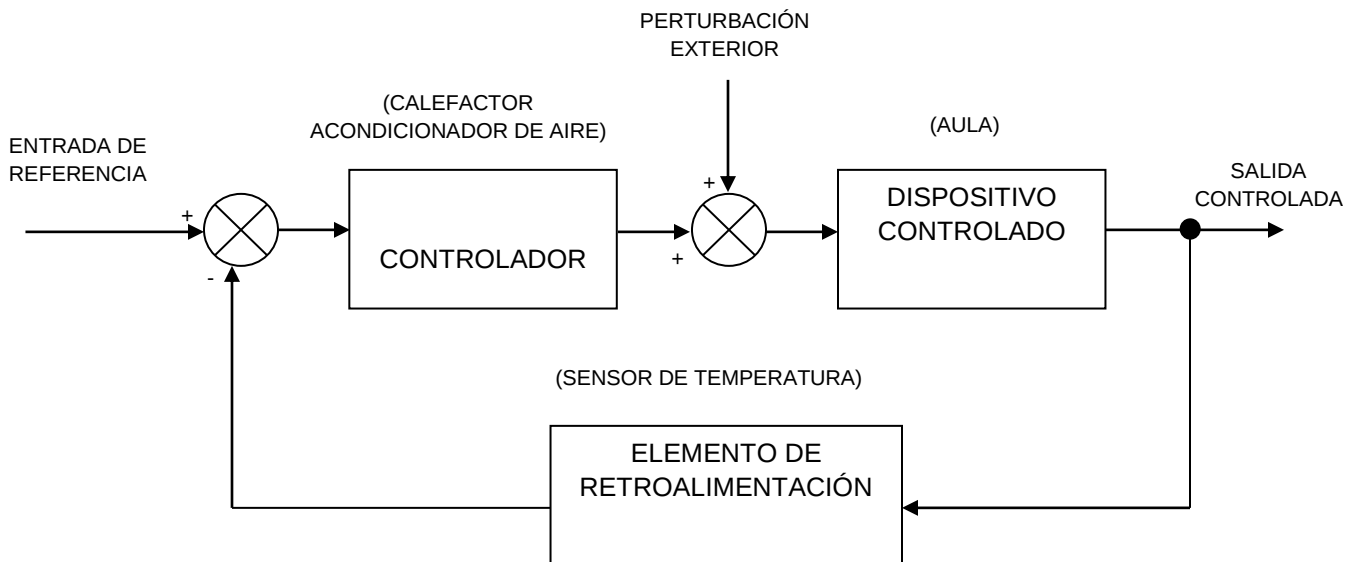


Figura 11."Diagrama de sistema de control, para un termóstato"

Las características más importantes que la realimentación otorga al sistema son:

1. Mayor exactitud: un aumento en la habilidad del sistema para reproducir fielmente en la salida lo que es ordenado por la entrada.
2. Reducida sensibilidad a las perturbaciones: reducción de las fluctuaciones de la relación entre

la salida y la entrada del sistema debidas a cambios dentro de éste.

3. Los valores de los componentes del sistema cambian constantemente a lo largo su vida útil, pero mediante el uso del aspecto auto corrector de la realimentación, los efectos de estos cambios pueden minimizarse.

4. Aislado y filtrado: reducción de los efectos indeseados del ruido y distorsión dentro del sistema.
5. Mayor ancho de banda: cuando el ancho de banda de un sistema se

define como el rango de frecuencias o variaciones de la entrada a las que el sistema responderá satisfactoriamente.

Diagrama de bloques de un equipo radar básico.

Un radar de pulsos típico está compuesto por siete componentes básicos, ver figura 12. Estos componentes corresponden a: sincronizador, transmisor, sistema de antena, duplexor, receptor, indicador y fuente de alimentación.

El sincronizador, provee las señales de sincronismo que determinan la temporización de los pulsos transmitidos y coordinan la acción de todos los circuitos del sistema.

El transmisor es un oscilador de radiofrecuencia (RF) que hace uso de diversos dispositivos circuitales para generar energía que tenga la frecuencia apropiada.

El sistema de antena recibe la energía de radiofrecuencia del transmisor y la irradia en forma de un haz altamente direccional. Cualquier eco que retorne es recibido por la antena y pasado al receptor.

El duplexor, que consiste en un dispositivo TR (transmisión-

recepción), y un ATR (anti-transmisor-recepción), se emplea para posibilitar el uso de una única antena para ambos ciclos del sistema (transmisión y recepción). El dispositivo TR bloquea efectivamente el receptor para que no entre la energía de salida del transmisor durante el tiempo de transmisión. En dispositivo ATR asegura que toda la energía reflejada se dirija al receptor durante el tiempo de recepción.

El receptor amplifica los débiles pulsos RF retornados desde el blanco, y los procesa como pulsos de video que provee el indicador.

El indicador produce una indicación visual de la existencia de los pulsos de eco, de tal manera que suministra la información de salida requerida.

La fuente de alimentación provee todas las tensiones alternas y continuas necesarias para la operación e interacción de los componentes del sistema.

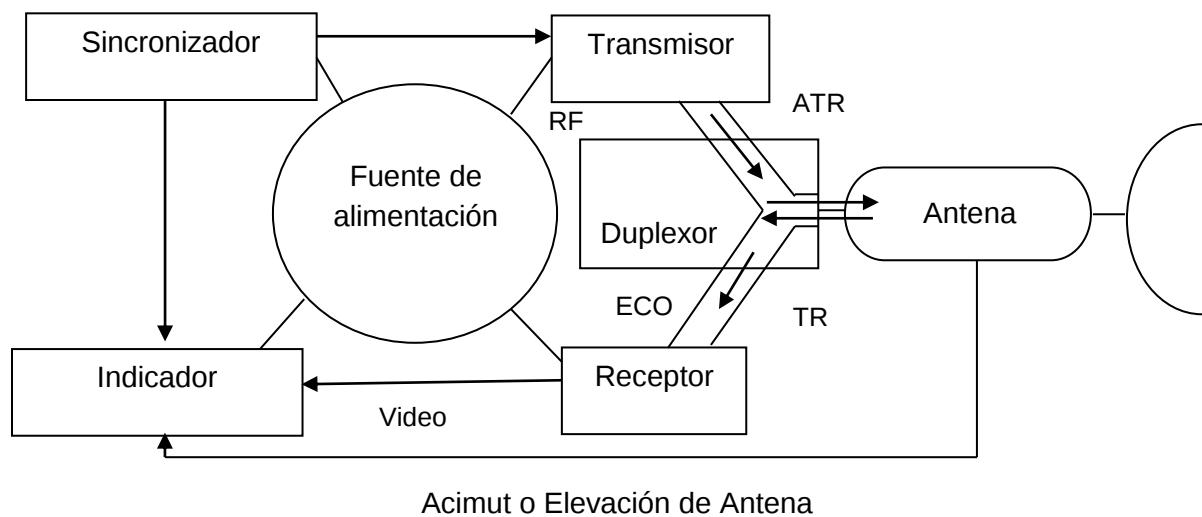


Figura 12. "Diagrama de bloques de un equipo de radar básico"

Diagrama de bloques de un acelerómetro mecánico utilizado en sistemas de guiado de misiles.

La figura 13 muestra el diagrama de bloque de un acelerómetro mecánico utilizado en sistemas de guiado de misiles, cuyo objetivo es mantener el misil en un rumbo según una línea recta. Para lograrlo, deben medirse las aceleraciones laterales, y compensarlas actuando sobre las superficies de control del rumbo, para producir una contra aceleración, ayudando así al sistema general a mantener un curso constante. Este ejemplo ilustra el sistema para la conducción a derecha e izquierda solamente, pero el sistema de control para conducción arriba/abajo es idéntico.

El acelerómetro consta de un resorte, una masa y un fluido amortiguador, todos contenidos en una caja cerrada, y el conjunto completo montado en el misil.

La posición X de la masa con respecto a la caja, y por ende con

respecto al potenciómetro, es una función de la aceleración de la caja. Cuando la masa se mueve como resultado de una aceleración lateral, el cursor del potenciómetro recoge la tensión de excitación del motor.

El sistema se calibra de forma que cuando no existe aceleración, el cursor se posiciona en el centro del potenciómetro, y no se aplica la tensión de excitación al motor.

Cuando se producen aceleraciones laterales del misil, la masa se mueve por la fuerza resultante, de manera tal que se recoge una tensión para conducir el misil en dirección opuesta a la de la aceleración de entrada.

A medida que el misil es conducido, una aceleración opuesta a la inicial tiende a mover la masa en la dirección opuesta.

La acción amortiguadora del fluido y el resorte se opone al movimiento de la masa.

La selección de la viscosidad del fluido y la fuerza del resorte es crítica para lograr una respuesta relativamente rápida y con mínimo sobre impulso.

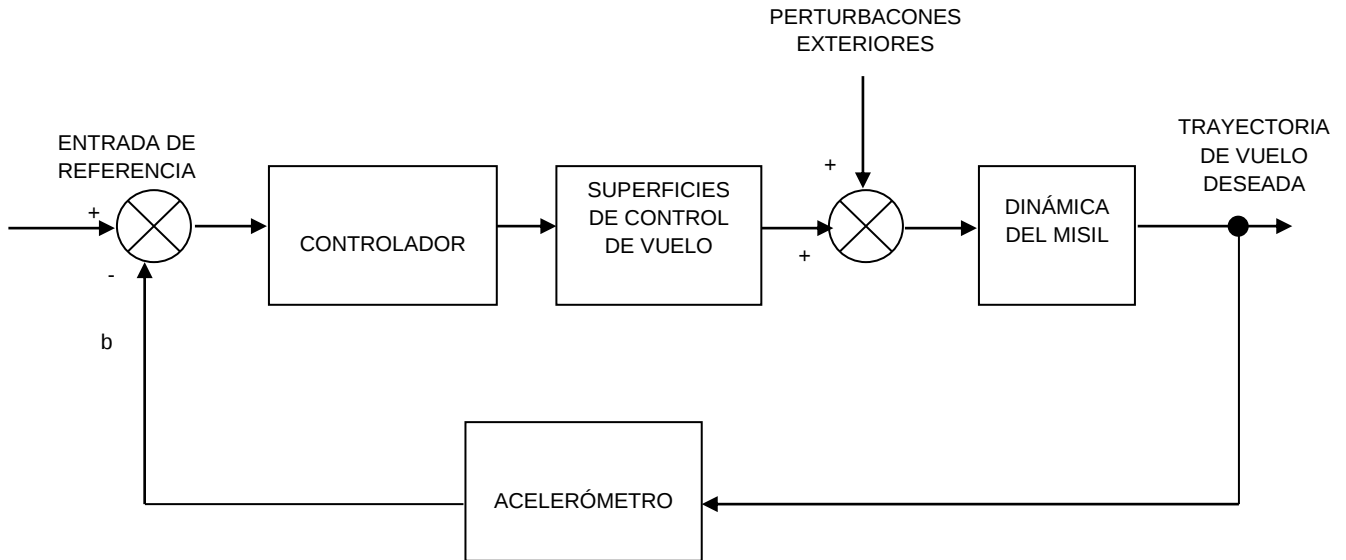


Figura 13."Diagrama de bloques de un acelerómetro mecánico utilizado en sistemas de guiado de misiles"

Sistema de comando sin amplificación de potencia.

La noción de comando es muy intuitiva, y se puede definir, en primera aproximación, por cualquier ejemplo simple. Sea una manivela enlazada por medio de diferentes cuplas de engranaje a un árbol que porta una pieza mecánica.

Se dice que ella existe si los juegos de los mecanismos son débiles, una

relación precisa entre la entrada (aparejo de la manivela) y la salida (aparejo de la pieza mecánica). Se representa simbólicamente este hecho por el diagrama de la figura 14, que traduce la existencia, entre la entrada y la salida, de una relación cuya forma matemática esta acá, en la hipótesis de una muy gran rigidez en la torsión del ensamble:

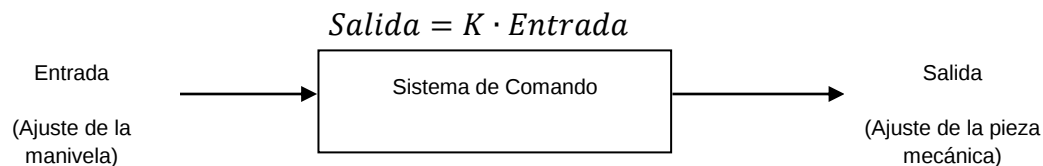


Figura 14."Diagrama de bloques de relación entrada/salida"

En este diagrama, llamado diagrama funcional, el rectángulo representa el sistema físico constituido por el conjunto de transmisión; las flechas representan los crecimientos físicos: la entrada que lo comanda y la salida que él proporciona.

Se dice que el ajuste del volante de un automóvil controla la dirección de las ruedas delanteras. De la misma

manera, en un avión, se llama sistema de comando al conjunto formado por el comando propiamente dicho, el timón y el gobierno; la posición de la barra de la dirección del gobierno, se representa simbólicamente por el diagrama de la figura 15 y se escribe bajo la hipótesis de juegos despreciables y de gran rigidez.

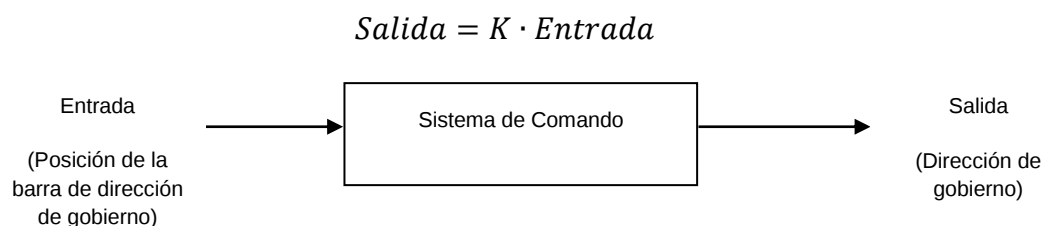


Figura 15."Diagrama de bloques de relación posición/dirección"

Sea un motor eléctrico a excitación separada, ver figura 16, cuyo campo inductor es regulado por un potenciómetro. Se dice que el potenciómetro comanda al motor; de hecho, existe una relación precisa que une la posición del potenciómetro al par C sobre el árbol de salida del motor, y también, cuando la carga del

motor es constante, a la velocidad de rotación “N” de este lugar.

Simbólicamente, tenemos el diagrama que se muestra en la figura 16, en el que el elemento de comando es el potenciómetro y el sistema a comandar estará constituido por el motor y su carga.

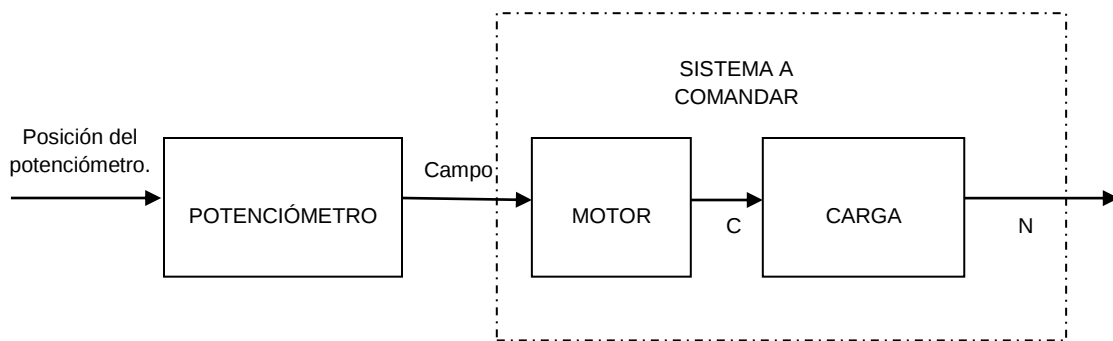


Figura 16."Diagrama de bloques de sistema de comando sin amplificación de potencia"

Si la carga es constante (o si sus variaciones se efectúan a un nivel de potencia muy inferior a la potencia del motor), ver figura 17, se considera

que el potenciómetro comanda la velocidad de rotación “N” del motor y de su carga.

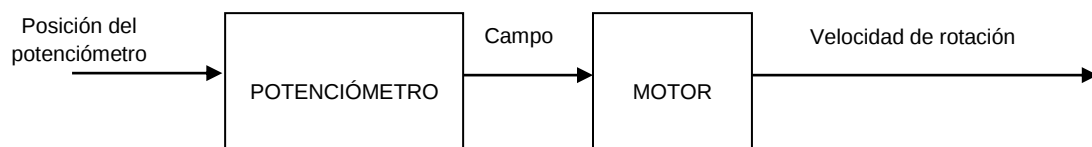


Figura 17."Diagrama de bloques con carga constante"

Igualmente, si en lugar de un potenciómetro que regle la corriente de excitación del motor se dispone un interruptor cuya posición decide si el motor es alimentado o no, se dirá que

el interruptor comanda al motor, lo que significa que hay una relación en la posición del interruptor y el régimen del motor, lo que se muestra en la figura 18.

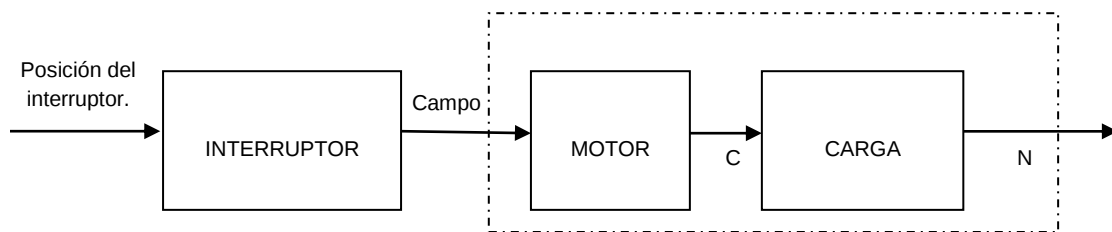


Figura 18."Diagrama de bloques con interruptor"

De la misma manera, si una sala es calentada por un radiador eléctrico, se dirá que el interruptor o la resistencia de regulación del radiador comanda la temperatura de la sala, ver figura 19. Existe en efecto una

relación que une la posición de este interruptor de flujo de calorías Q del radiador, para una sala de propiedades calorimétricas constantes, a la temperatura " T " de la sala.

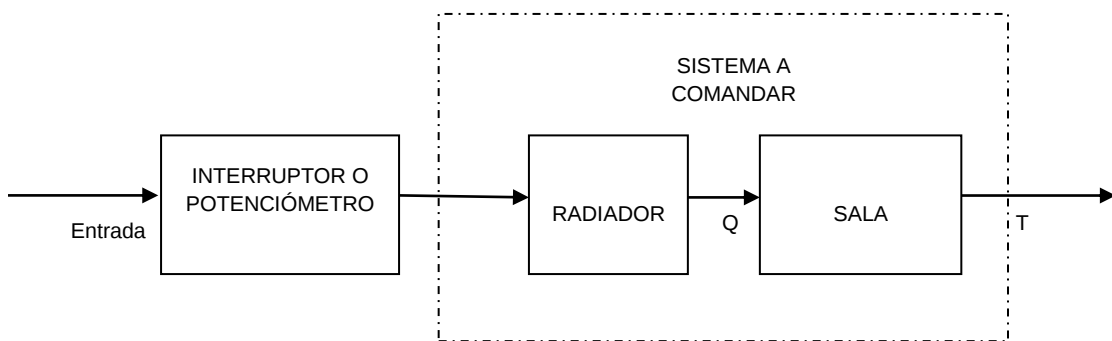


Figura 19."Diagrama de bloques de radiador eléctrico"

Generalización de la noción de comando.

Generalmente, siempre que cualquier sistema, sobre la acción de un crecimiento variable a la entrada, proporcione un crecimiento de salida en función de la entrada, se dice que la entrada comanda la salida.

Por ejemplo, la acción de la temperatura sobre un termómetro, ver

figura 20, determina una longitud dada por la columna de mercurio, que se representará por un esquema análogo a aquellos ejemplos precedentes. Este es un sistema sin amplificación de potencia, en el que la función que determina la salida a partir de la entrada es la relación de calibración del instrumento.

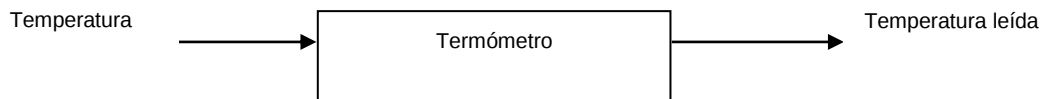


Figura 20. "Diagrama de bloques de entrada/salida, para un termómetro"

También una etapa integradora de una computadora puede ser considerada como un sistema comandado por la función de entrada,

que la transforma en su integral, siguiendo el diagrama de la figura 21, donde la relación es:

$$s = \int_0^t e(\tau) d\tau$$

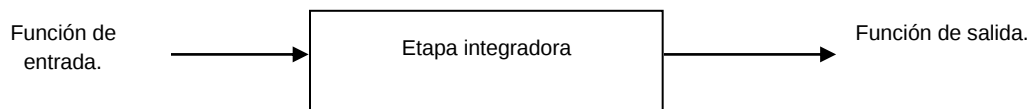


Figura 21. "Diagrama de bloques de etapa integradora"

Se trata esta vez de un sistema con amplificación de potencia, la energía a la salida proviene de la alimentación a alta tensión de los amplificadores de la etapa.

Por lo tanto, generalizando, el concepto de control es más o menos

idéntico al de la relación entre dos cantidades (entrada y salida) realizada por un sistema material; este sistema es comandado por la entrada que él transforma en cantidades de salida. Se escribe simbólicamente, de acuerdo a la figura 22.

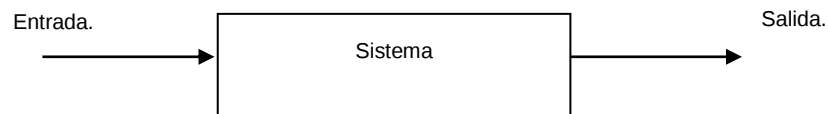


Figura 22. "Diagrama de bloques de un sistema material"

Lo que corresponde a la existencia, entre la entrada y la salida, es una relación funcional:

$$F(e, s) = 0$$

Que es a menudo una relación diferencial entre la entrada, la salida, sus derivadas e integrales con referencia al tiempo:

$$F\left(e, \frac{de}{dt}, \frac{d^2e}{dt^2}, \dots, \int e dt, \dots, \frac{ds}{dt}\right) = 0$$

Continuamos hablando de control y traza de diagramas funcionales cuando la relación entre entrada y salida es demasiado compleja para ser expresada matemáticamente o incluso para ser pronosticada. Este es el caso, especialmente, cuando la respuesta de un operador humano interviene.

Por ejemplo, un agente al girar una señal verde a rojo, controla el movimiento de un automóvil con amplificación de potencia, de acuerdo con el diagrama de cadenas de la figura 23, en el cual el rectángulo del medio representa la ecuación personal del conductor del automóvil.

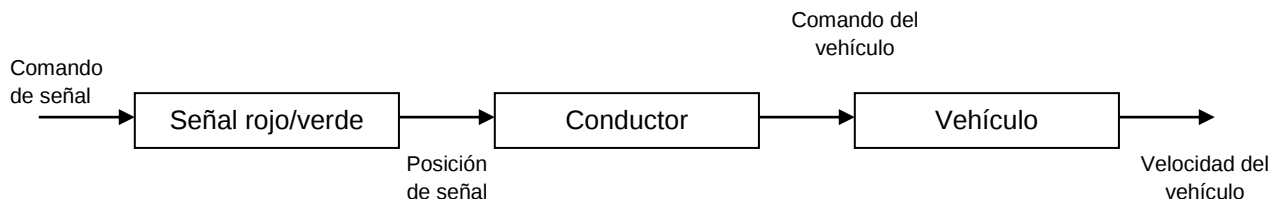


Figura 23. "Diagrama de bloques del control de movimiento de un automóvil"

Se reconocerá en todos estos diagramas el hecho ya indicado, que las líneas que llevan flechas representan variables, mientras que las casillas representan relaciones entre estas variables (leyes físicas, en sentido amplio). Las flechas indican que el fenómeno no es en general reversible (por ejemplo, en la figura anterior, el comando de la velocidad del vehículo no tiene ninguna influencia sobre la posición de la señal).

Entradas secundarias. Perturbaciones.

En los ejemplos precedentes no ha habido cuestionamiento de que los sistemas tengan una entrada única y una salida única.

O, en realidad, todo sistema es afectado por varios valores a la

entrada; de otra parte, su condición está definida por varios parámetros, se puede considerar como muchas salidas. El hecho de hablar de una entrada y una salida es por lo tanto una simplificación: la elección que ello implica es siempre función del punto de vista donde se ubique para estudiar el sistema.

1. Para las salidas, se elige como salida principal la que es la más interesante del punto de vista donde uno se ubica.

Por ejemplo, se tomará por salida de un galvanómetro, ver figura 24, la desviación del marco debido al paso de corriente, en lugar de liberar las calorías por efecto Joule que le acompaña, a menos que uno esté trabajando en una tesis sobre calefacción de galvanómetros.

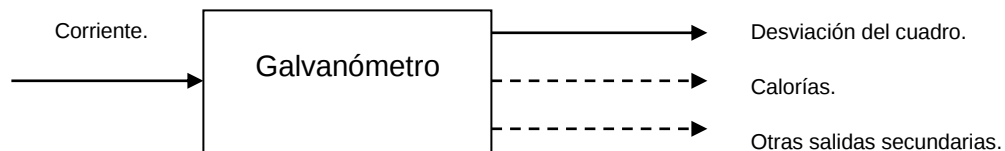


Figura 24. "Diagrama de bloques de un galvanómetro"

Igualmente, cuando se estudia el movimiento simétrico de un avión, la entrada " δ " de su timón de profundidad, se toma generalmente por salida veremos los siguientes casos:

- a) Si interesa el desplazamiento del centro de gravedad: las componentes horizontal " H " y vertical " V " de la velocidad.

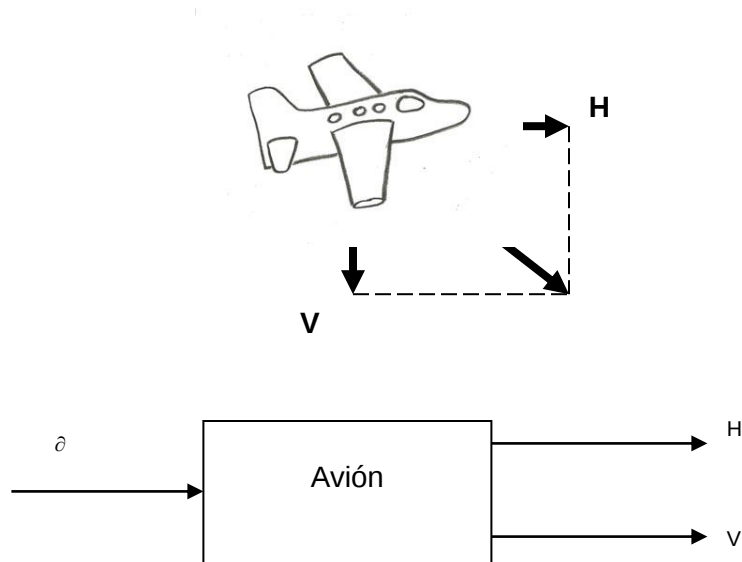


Figura 25."Diagrama de bloques, para el movimiento simétrico de un avión"

- b) Si interesa el movimiento del avión alrededor de su centro de gravedad: el ángulo que él hace

con la horizontal (θ) o con la velocidad (i).

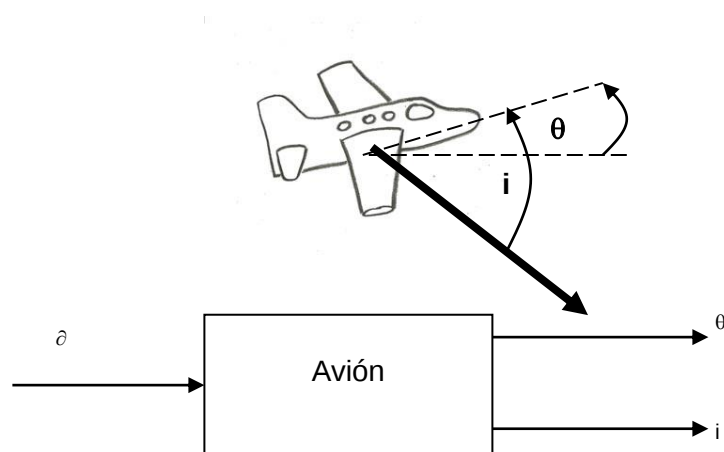


Figura 26."Diagrama de bloques, para el movimiento alrededor del centro de gravedad de un avión"

2. Para las entradas, se separa siguiendo las entradas secundarias una (o varias) entrada principal, que es preponderante para el usuario.

a) En general se considera como entrada principal al comando que debe seguir la salida. Las entradas secundarias son también las entradas parasitas, que modifican la relación entre la entrada y la salida. Su efecto es

perjudicial para el buen funcionamiento del aparato: a este inconveniente se le llama habitualmente perturbaciones.

Así en el caso de un instrumento de medida, la entrada es el crecimiento a medir, las entradas secundarias son las condiciones exteriores (temperatura, etc.) que pueden distorsionar la relación entre la entrada y la salida.

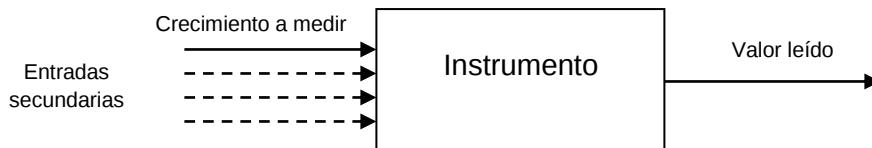


Figura 27. "Diagrama de bloques, para entradas secundarias"

De la misma manera, el movimiento transversal de un avión es comandado por las direcciones “ α ” de los alerones y “ γ ” del timón de dirección, pero modificado por las

perturbaciones atmosféricas, especialmente las fuerzas y pares debido a las ráfagas: se tiene así el diagrama de la figura 28.

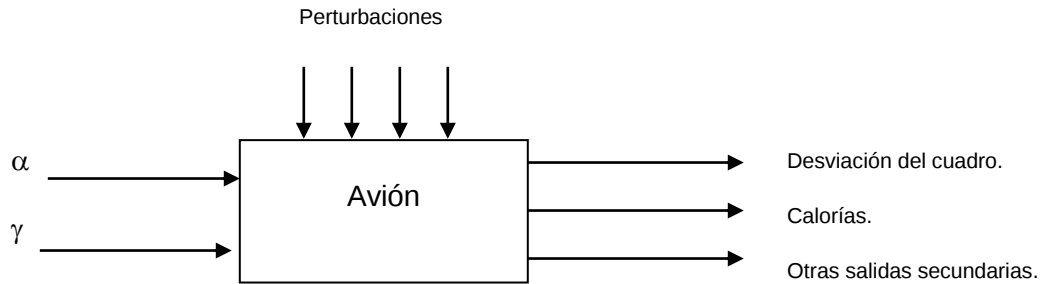


Figura 28. "Diagrama de bloques, para movimiento transversal"

b) Pero algunas veces, cuando se estudia especialmente el efecto de una perturbación sobre un sistema, se presenta un diagrama en el que esta perturbación es considerada como entrada principal, y el comando como entrada secundaria.

Así, para estudiar la respuesta de un avión a las ráfagas atmosféricas, se tendrá el diagrama de la figura 29, donde las direcciones de gobiernos aparecen como entradas secundarias. Tal diagrama significa que se estudia el efecto de ráfagas sobre el avión por diversas configuraciones (ajustes de gobierno) de éste.

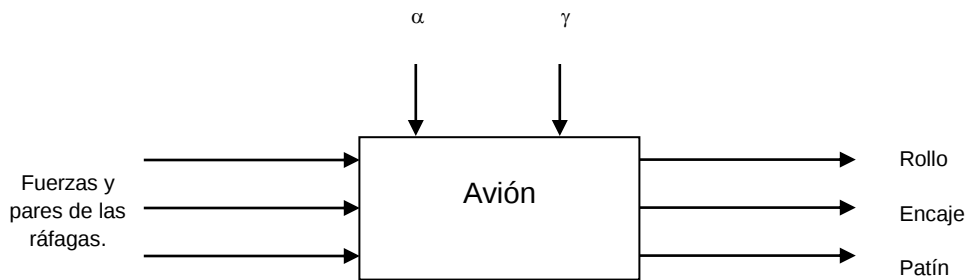


Figura 29. "Diagrama de bloques, considerando perturbación en el sistema"

Observaciones:

1. Los diagramas mostrados en los casos (a) y (b) tienen formas análogas, pero no significan la misma forma: en el caso (a) la entrada principal es el comando que el sistema debe seguir lo más fielmente posible; en el caso (b) la entrada principal es la perturbación, a la que el sistema deberá ser insensible.
2. En muchos casos, la forma en que las perturbaciones actúan sobre el sistema es muy clara y simple como para permitir que se introduzcan en el diagrama funcional.

CAPÍTULO 5. “REDUCCIÓN DE UN DIAGRAMA DE BLOQUES”

La simplificación de un diagrama de bloques mediante retroalimentación y sustituciones reduce de manera considerable la labor necesaria para el análisis matemático subsecuente.

5.1 Simplificación diagramas de bloques.

Un diagrama de bloques complicado que contenga muchos lazos de alimentación se simplifica mediante un reordenamiento paso a paso, a través de las reglas del álgebra de los diagramas de bloques. Algunas de estas reglas importantes aparecen en la Tabla de Álgebra de Bloques y se obtienen escribiendo la misma ecuación en formas distintas.

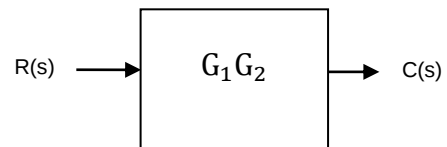
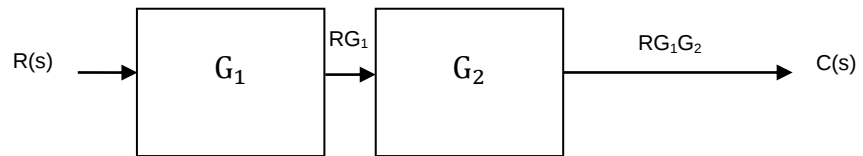
Al simplificar un diagrama de bloques, se debe recordar lo siguiente:

1. El producto de las funciones de transferencia en la dirección de la trayectoria directa debe ser el mismo.
2. El producto de las funciones de transferencia alrededor del lazo debe ser el mismo.

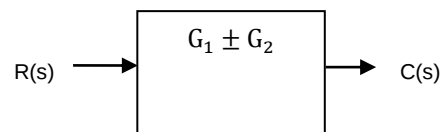
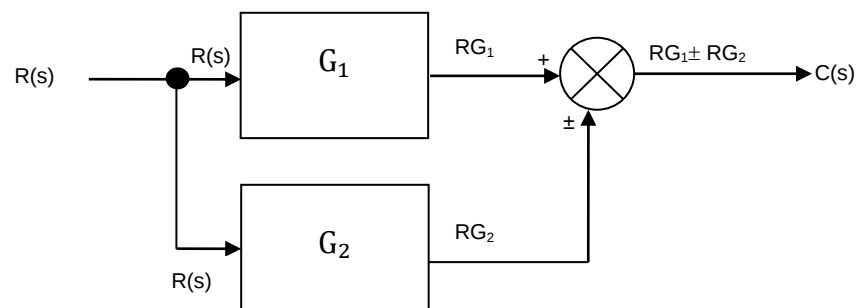
La tabla siguiente muestra las Reglas del Álgebra de Bloques. (Rocha, José. Lara, Elizabeth. Universidad Autónoma de Nuevo León).

5.2 Algunas reglas básicas.

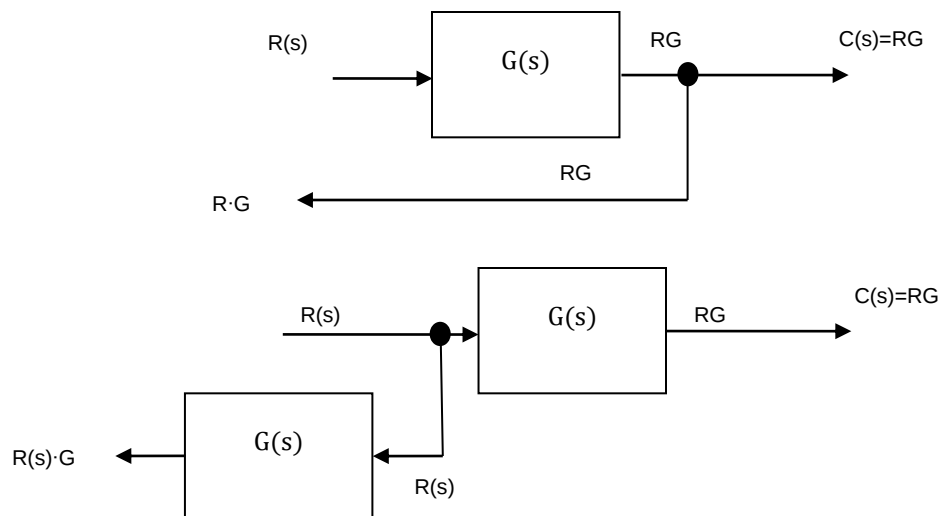
5.2.1 Elementos en cascada.



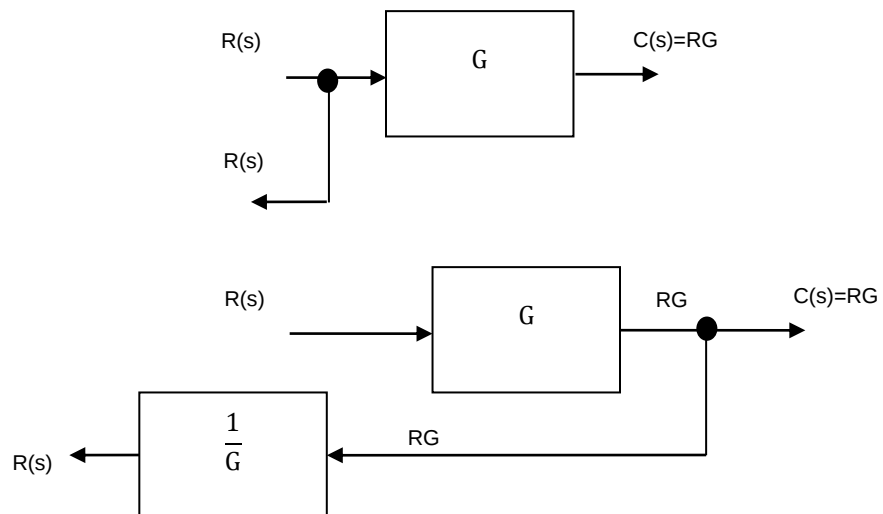
5.2.2 Suma o resta.



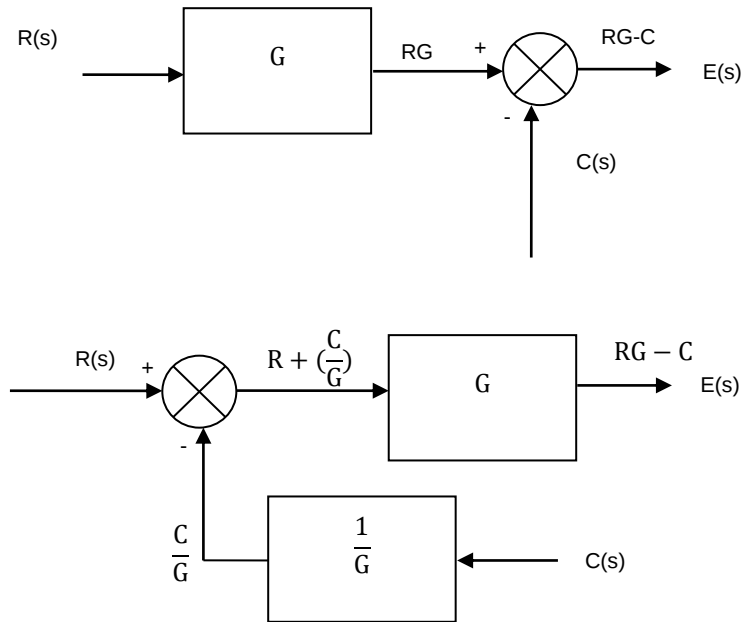
5.2.3 Movimiento de un punto frente a un elemento.



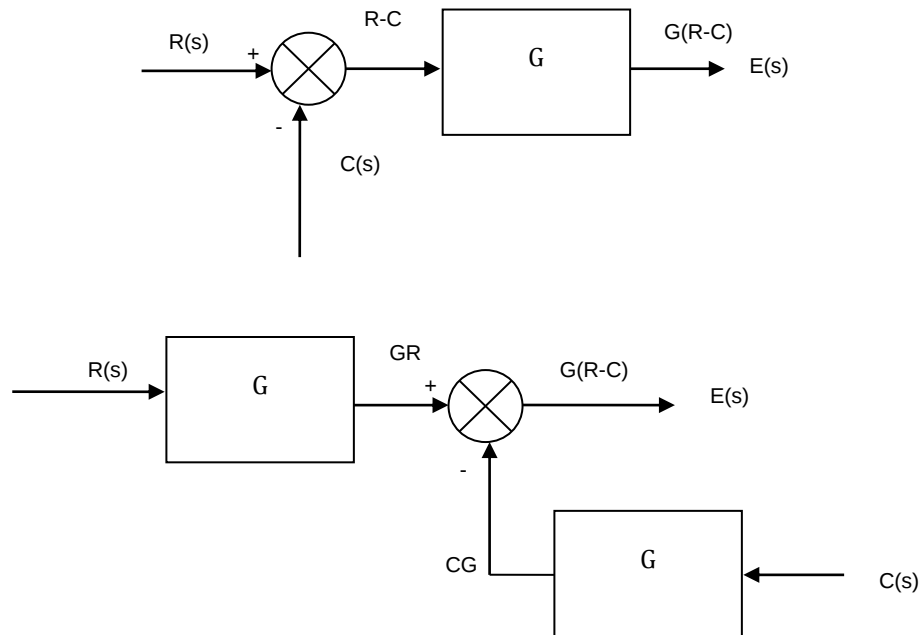
5.2.4 Movimiento de un punto frente a un elemento.



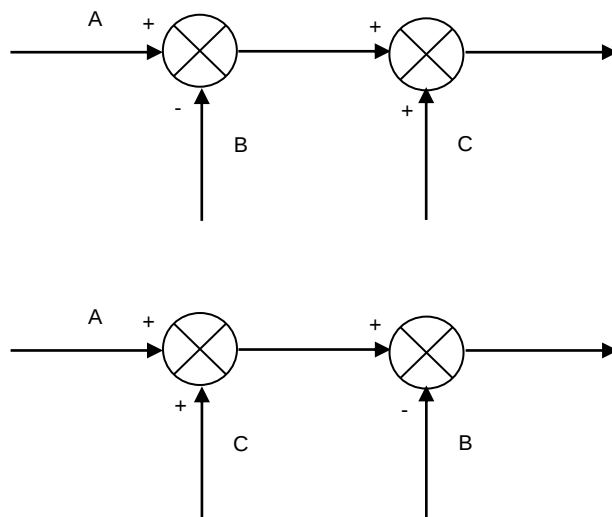
5.2.5 Movimiento de un punto de suma o resta frente a un elemento.



5.2.6 Movimiento de un punto de suma o resta atrás de un elemento.

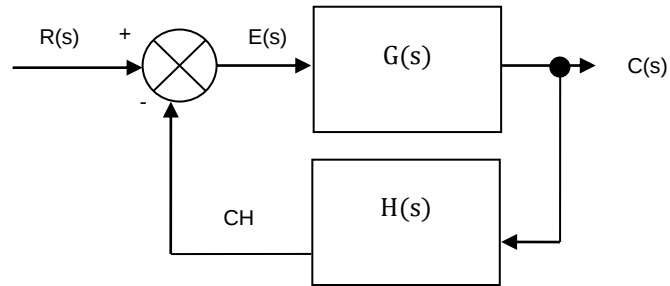


Ejercicio: Establecer si se cumple la siguiente equivalencia:



5.3 Ejemplo de reducción de diagramas de bloques.

Ejemplo 1:



Se tienen las siguientes relaciones:

$$C(s) = E(s)G(s)$$

$$E(s) = R(s) - C(s)H(s)$$

Reemplazando $E(s)$ en $C(s)$:

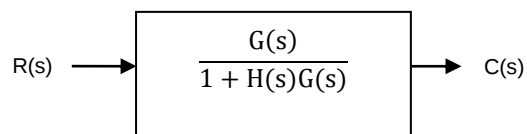
$$C(s) = (R(s) - C(s)H(s))G(s)$$

$$C(s) = R(s)G(s) - C(s)H(s)G(s)$$

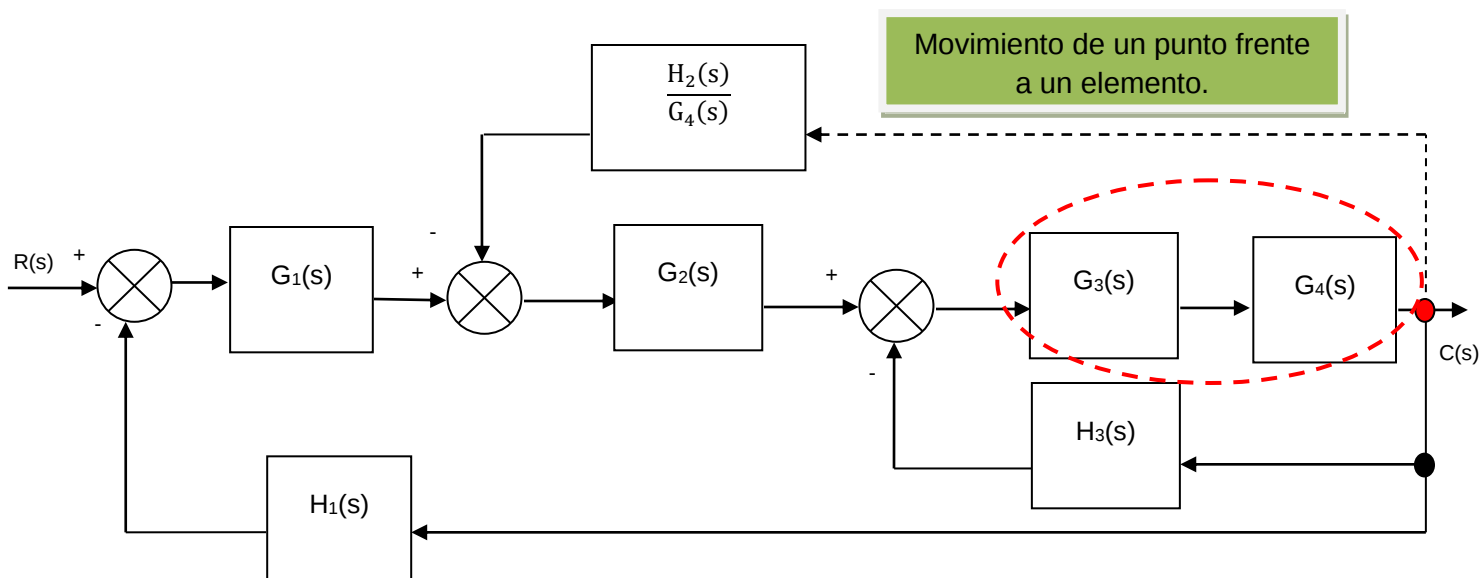
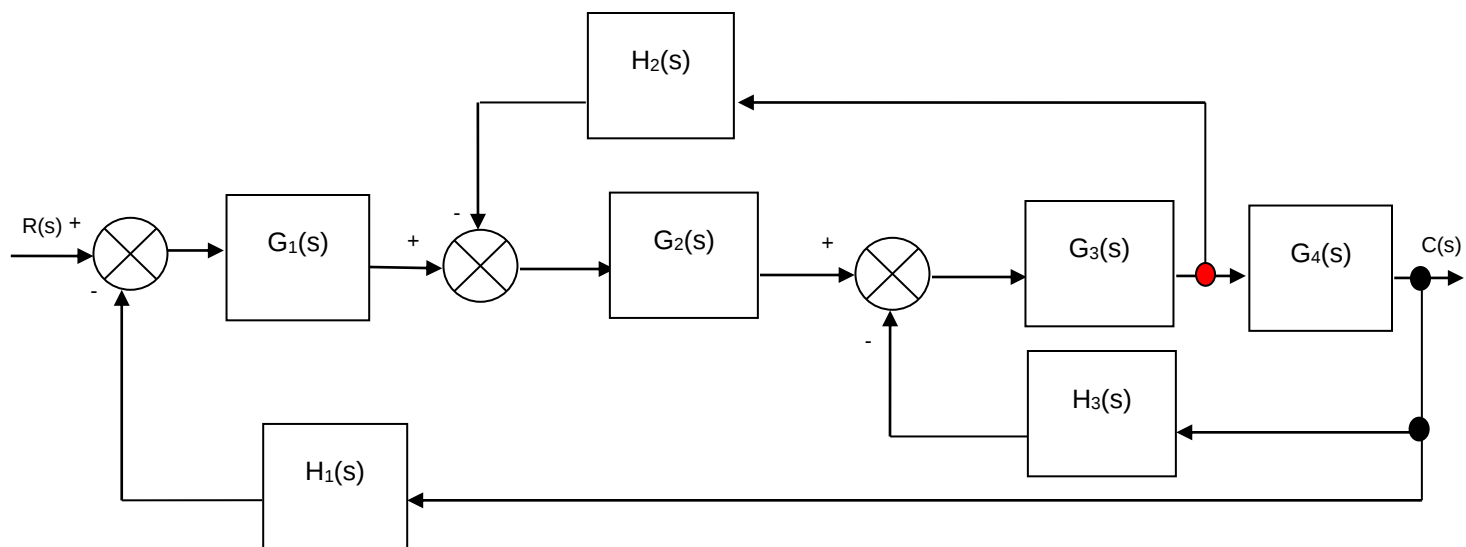
$$C(s)(1 + H(s)G(s)) = R(s)G(s)$$

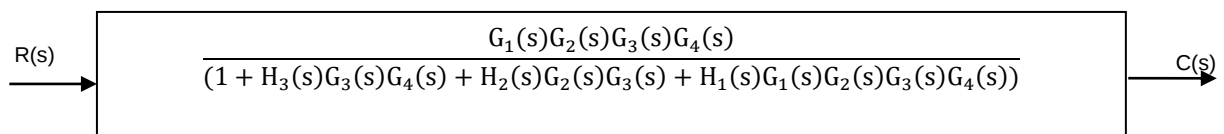
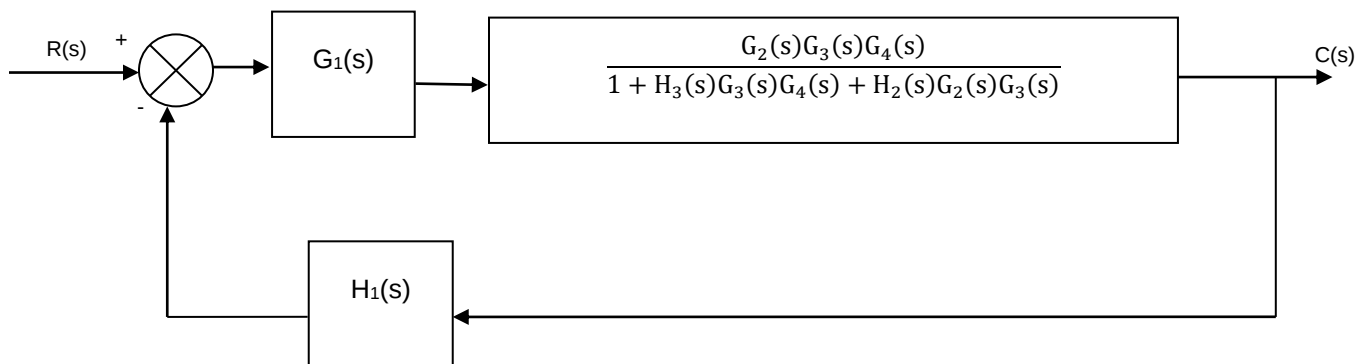
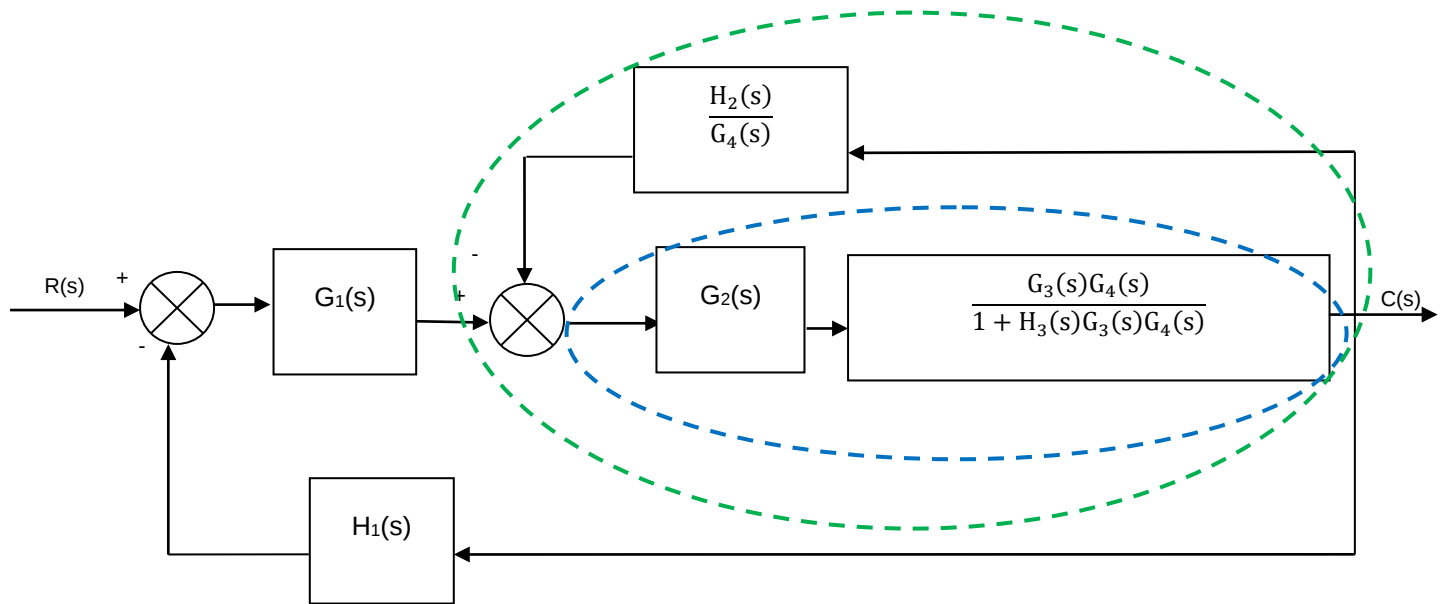
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + H(s)G(s)}$$

Representando en un diagrama de bloques esta reducción, se tiene:

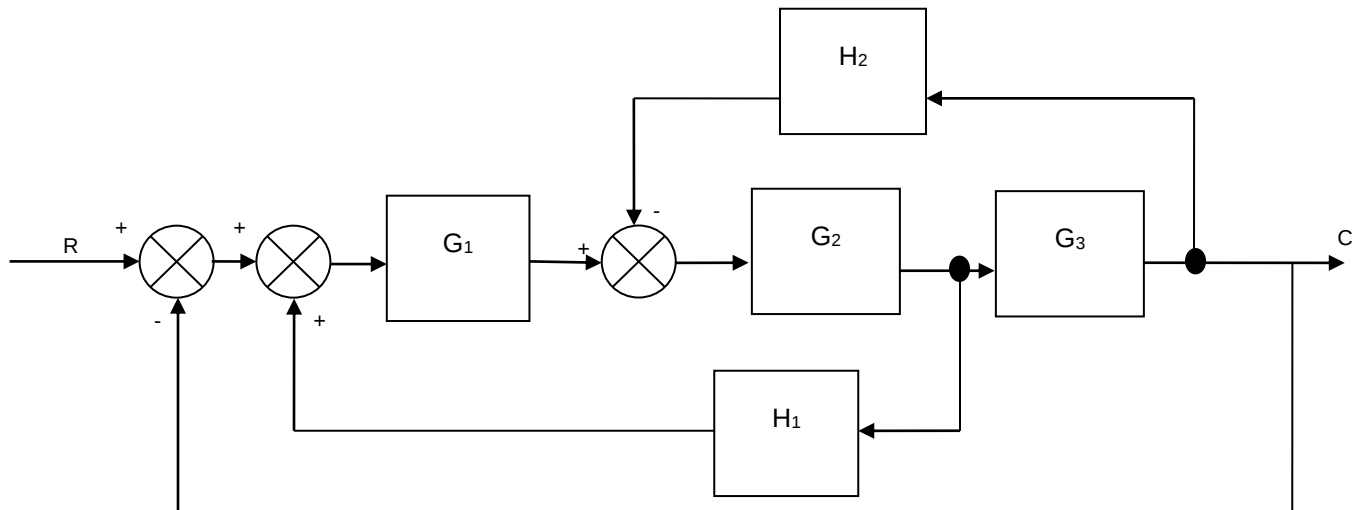


Ejemplo 2:

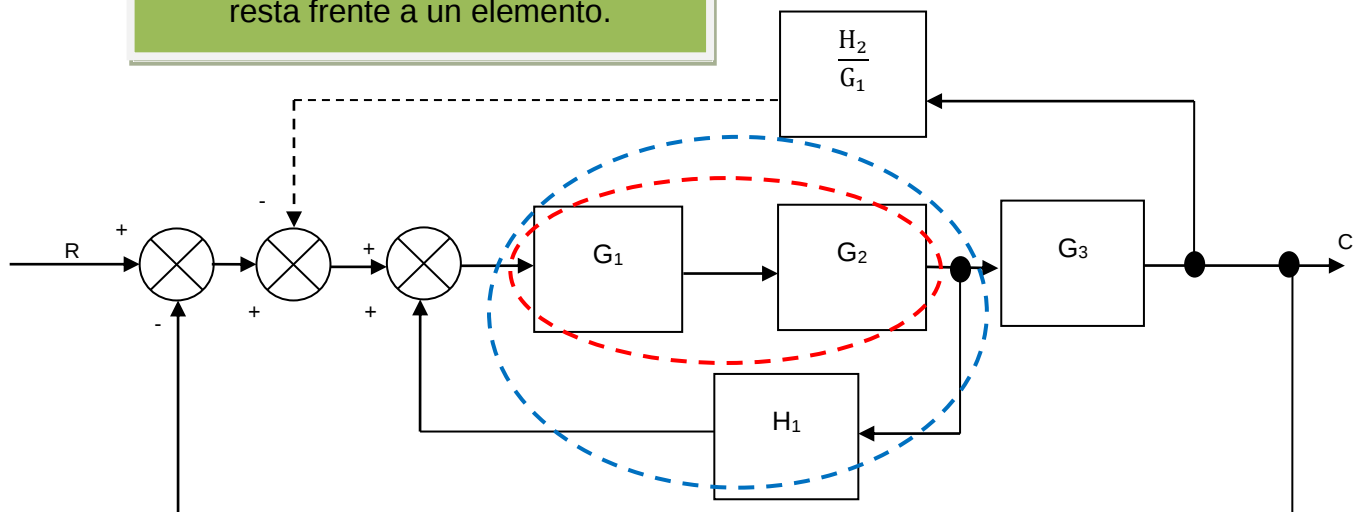


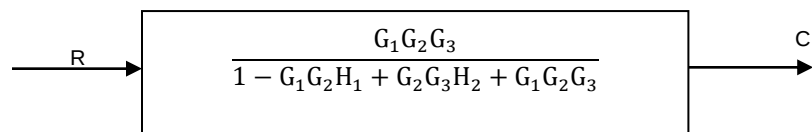
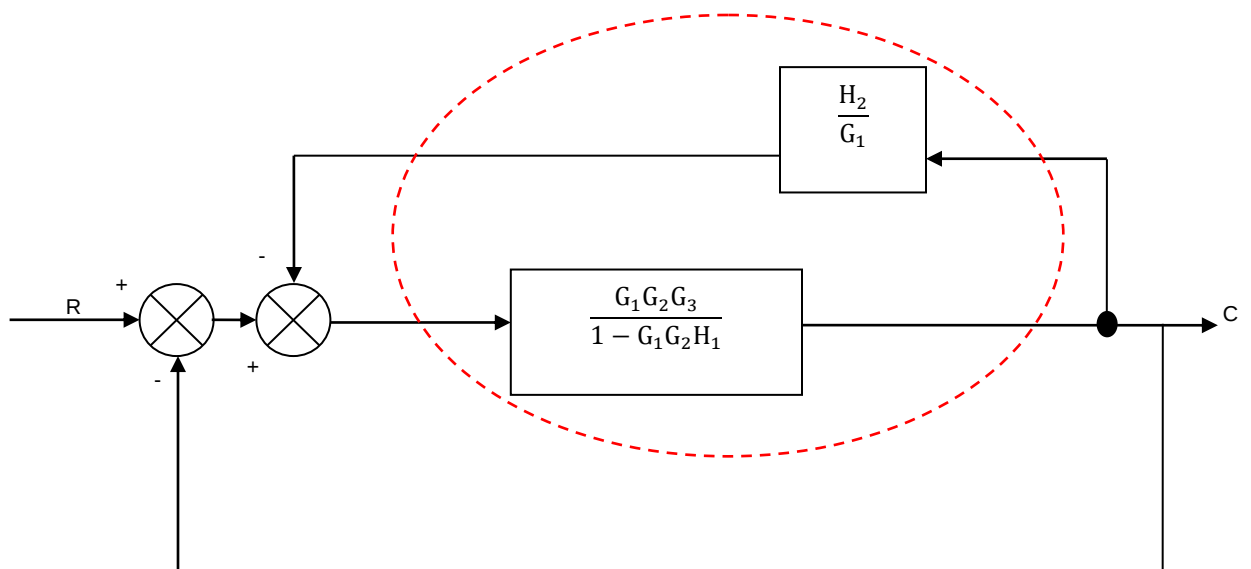
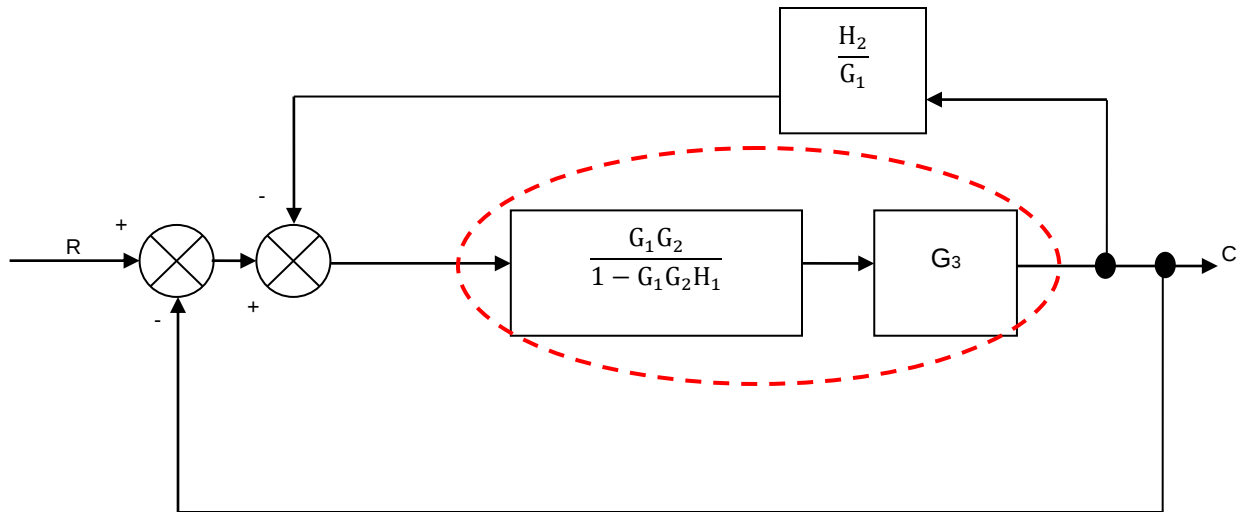


Ejemplo 3:

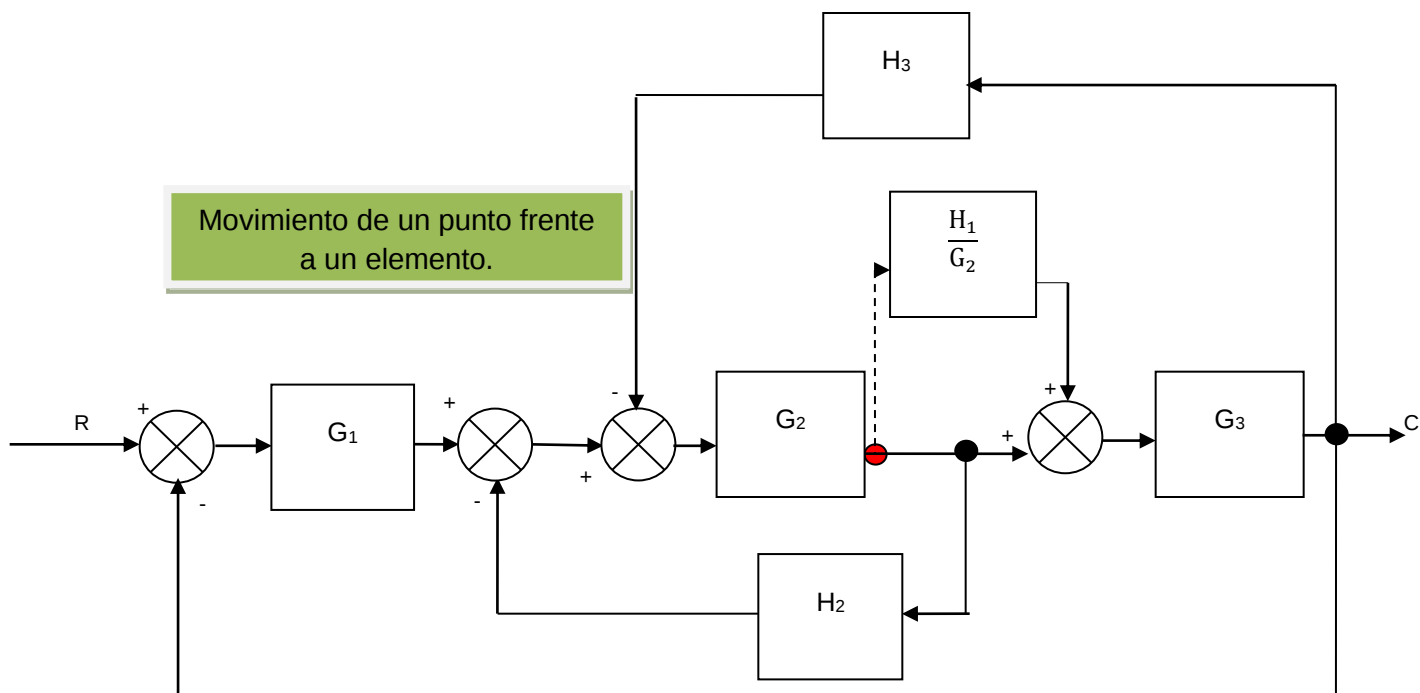
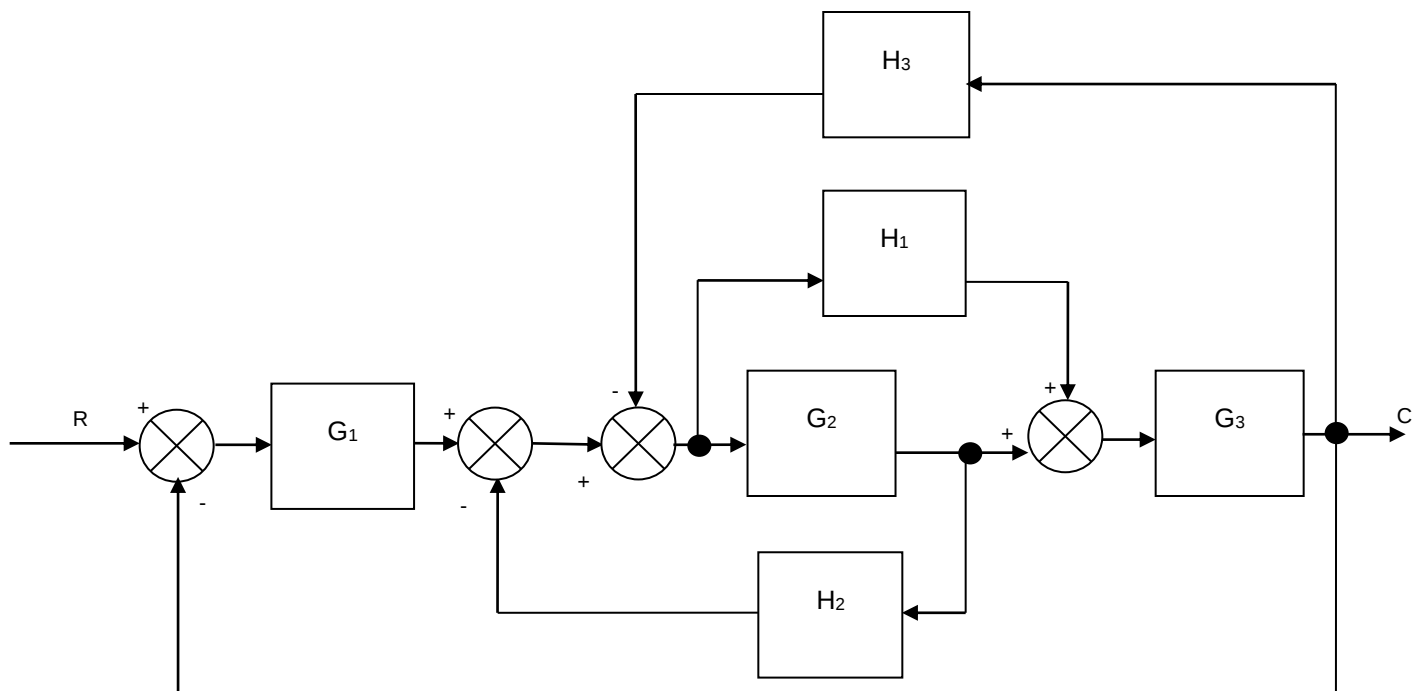


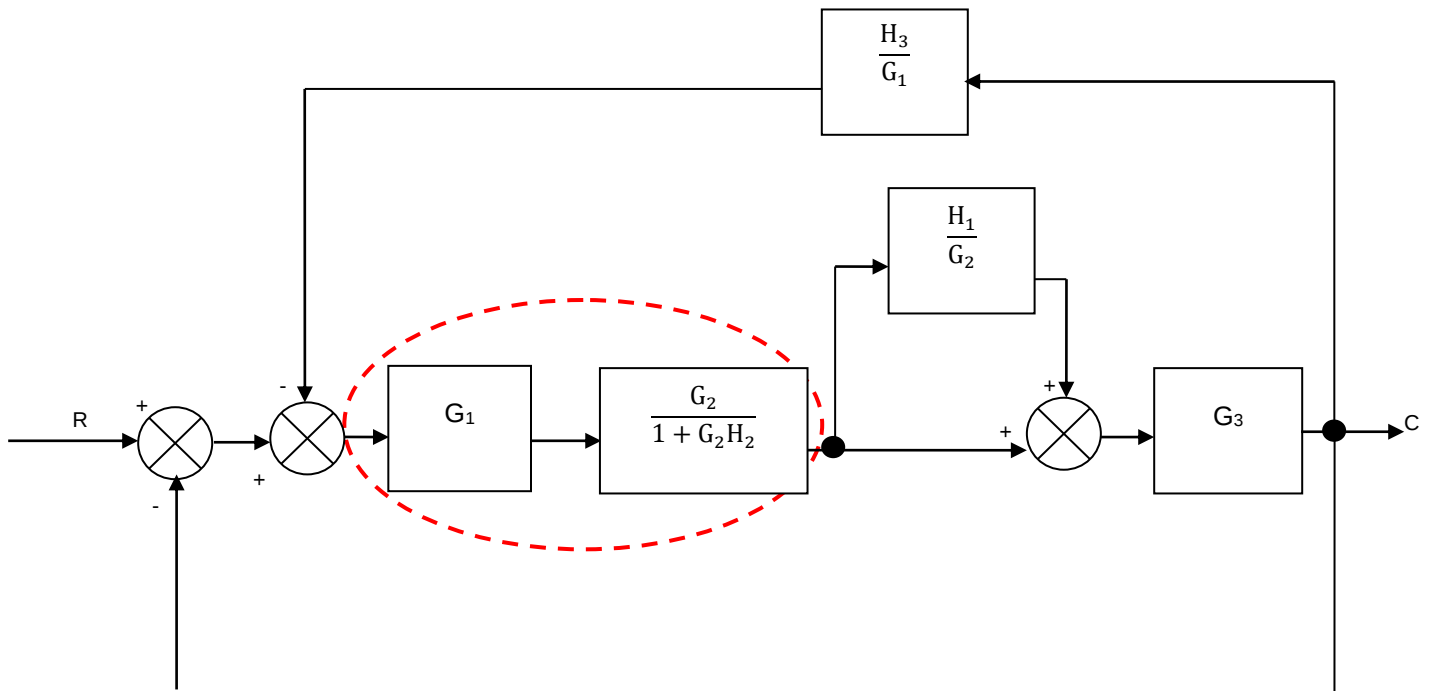
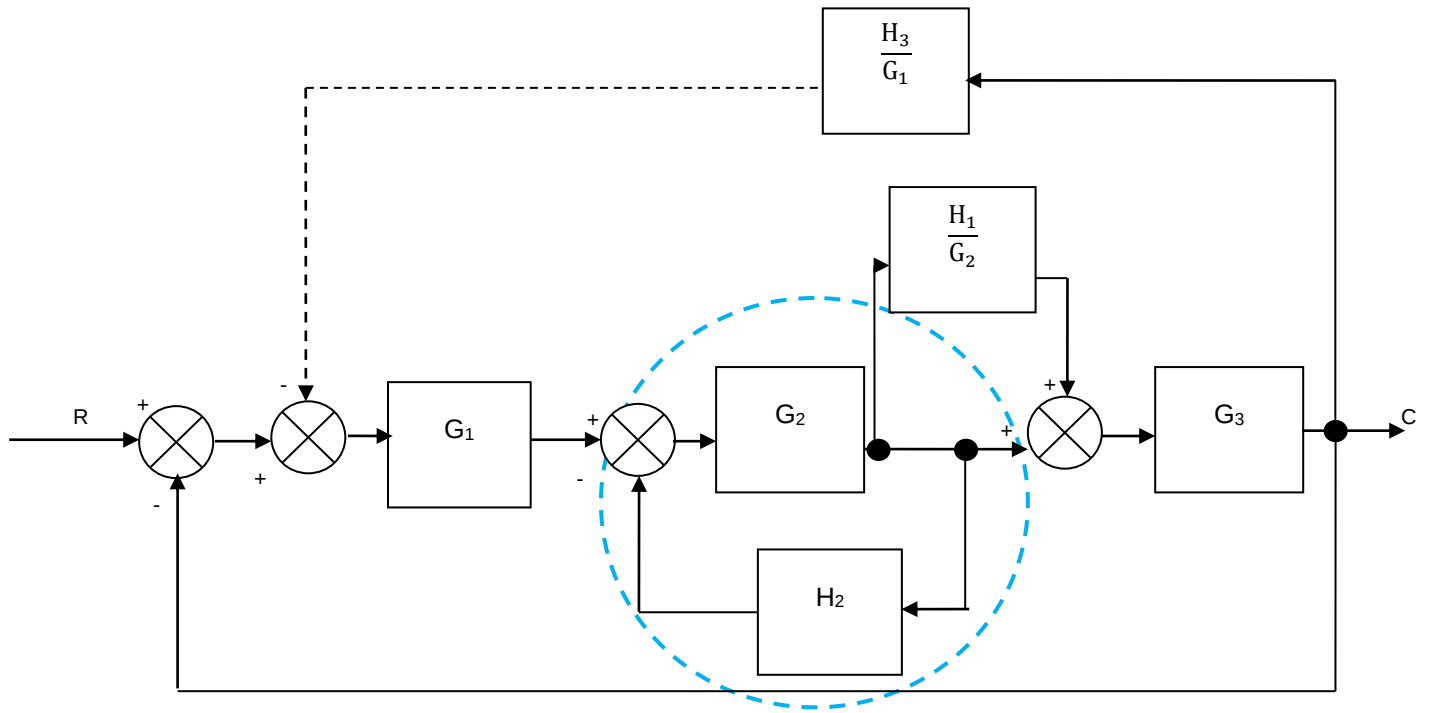
Movimiento de un punto de suma o resta frente a un elemento.

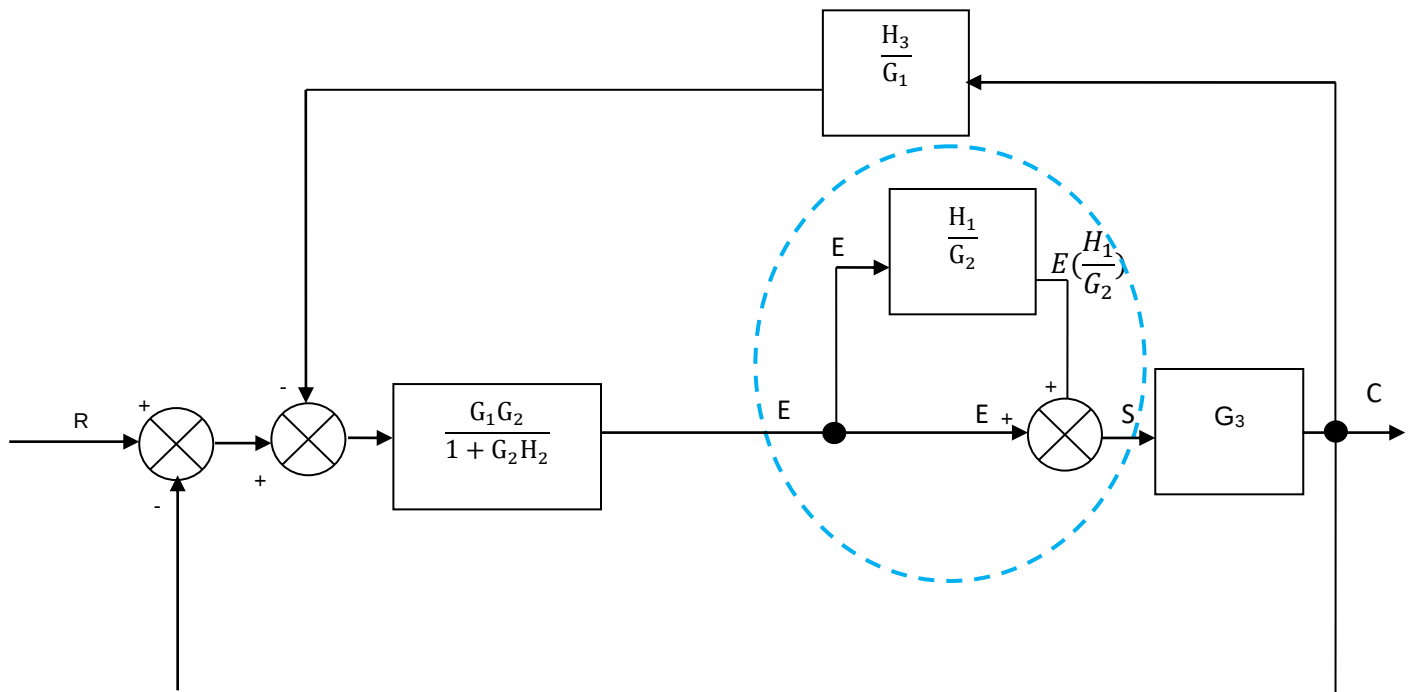




Ejemplo 4:







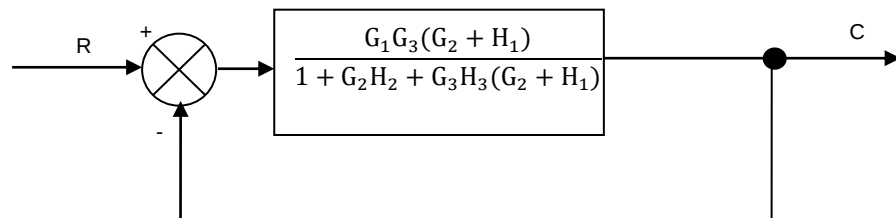
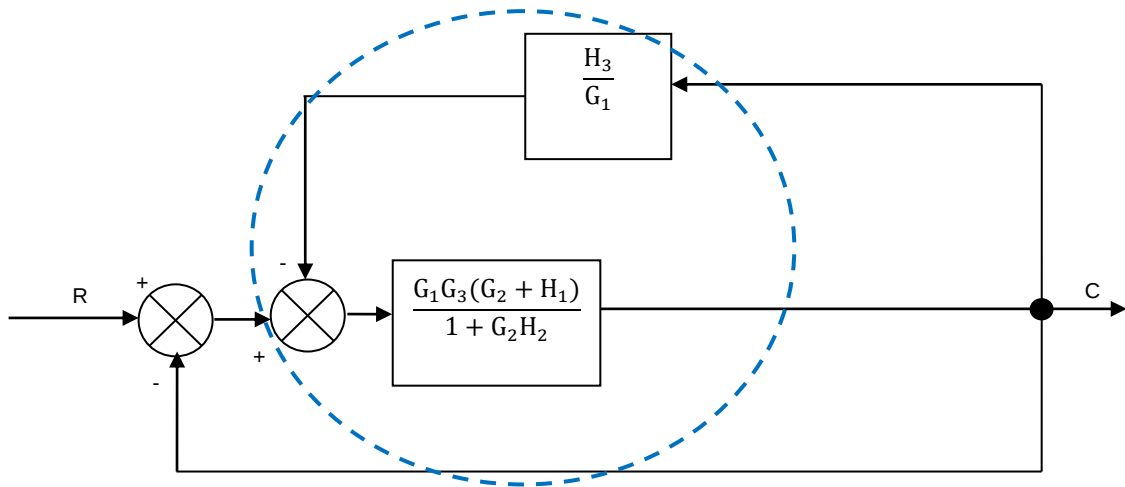
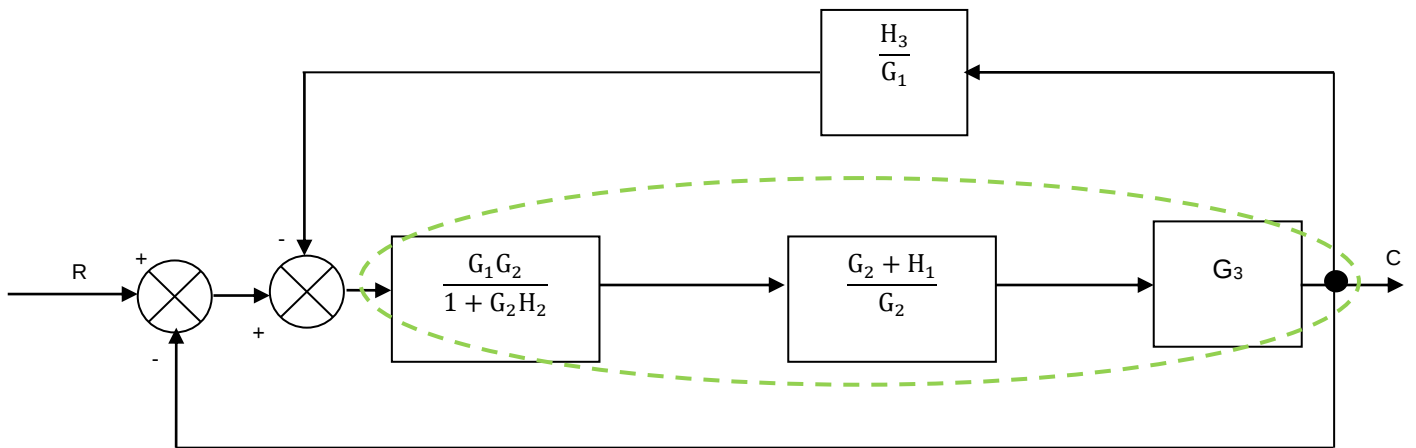
Para la retroalimentación unitaria:

$$E + E\left(\frac{H_1}{G_2}\right) = S$$

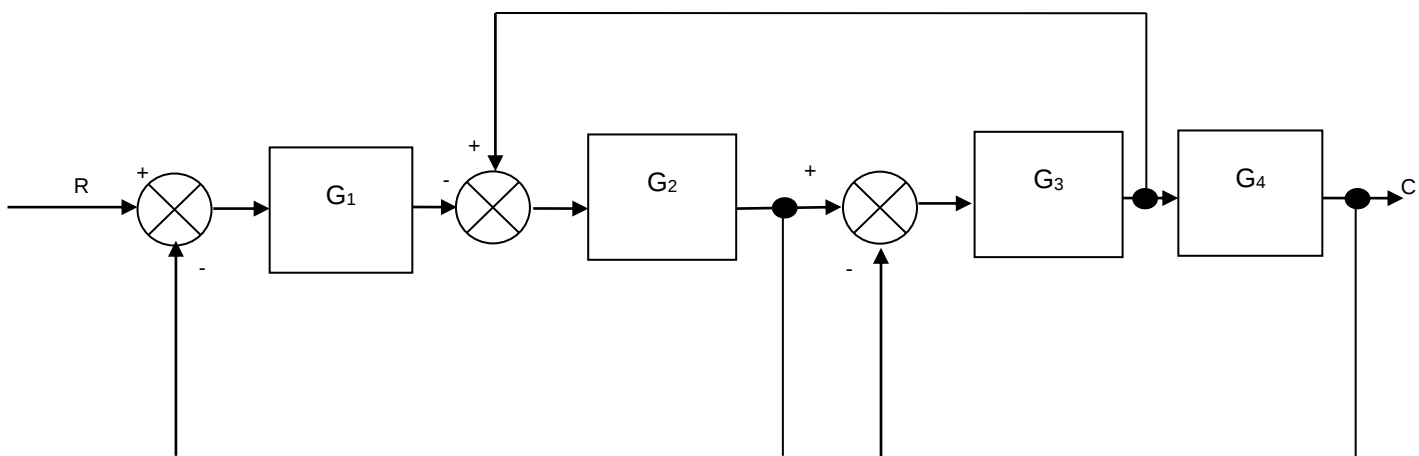
$$E\left(1 + \left(\frac{H_1}{G_2}\right)\right) = S$$

$$E\left[\frac{(G_2 + H_1)}{G_2}\right] = S$$

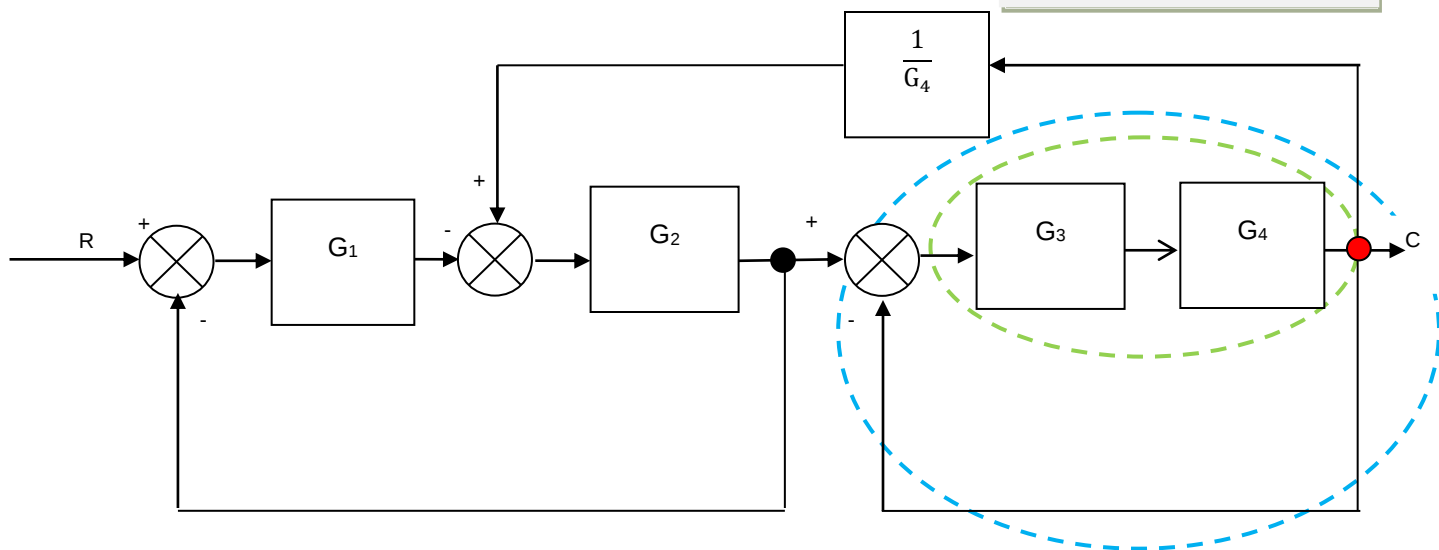
$$\frac{S}{E} = \frac{G_2 + H_1}{G_2}$$

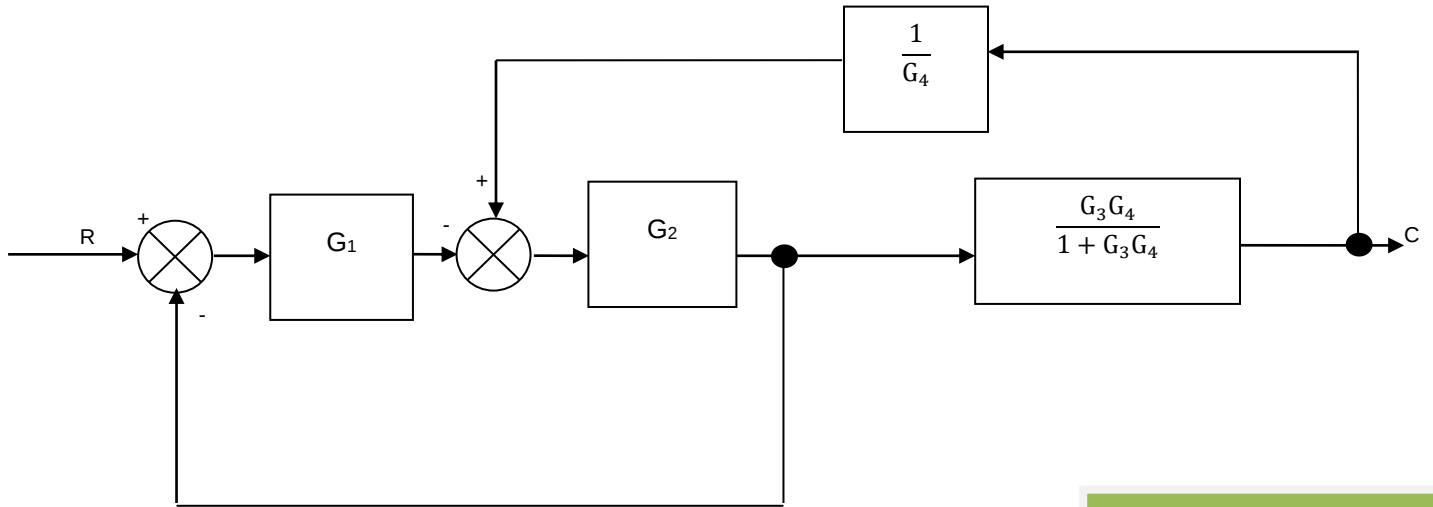


Ejemplo 5:

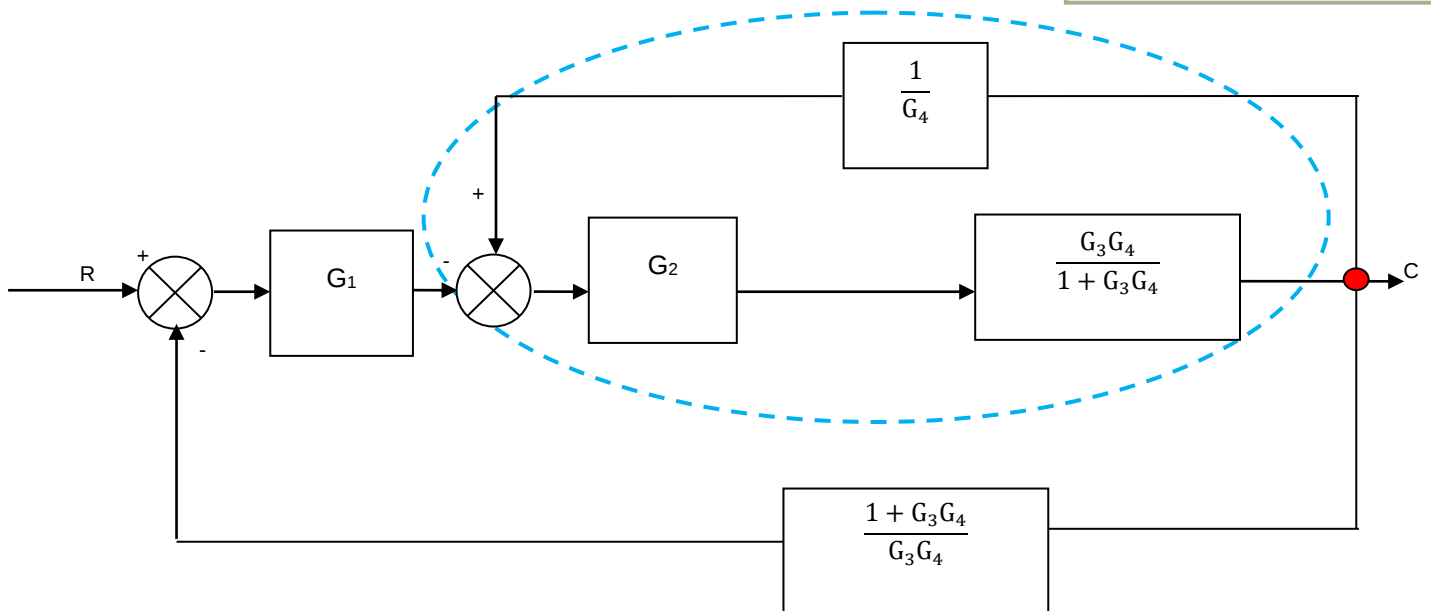


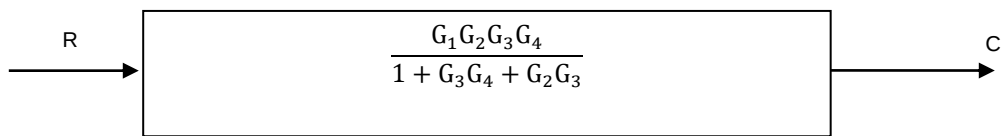
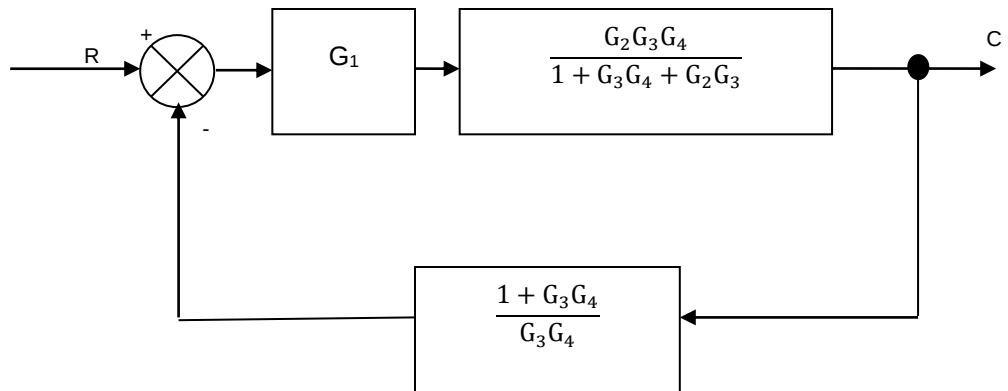
Movimiento de un punto
frente a un elemento.





Movimiento de un punto
frente a un elemento.





CAPÍTULO 6: “ANÁLISIS DIMENSIONAL”

Podemos verificar si las igualdades son correctas, por intermedio de las unidades que se obtienen de efectuar cierta cantidad de operaciones, determinando si la magnitud resultante corresponde o no a lo buscado al realizar el análisis dimensional correspondiente. Este trabajo de análisis dimensional sólo es posible realizarlo utilizando la multiplicación y división entre variables.

En cuanto a las ecuaciones obtenidas, éstas deben ser coherentes u homogéneas dimensionalmente, es decir, *la dimensión de ambos miembros debe ser igual, esto es, debe existir “homogeneidad dimensional”*.

Cada cantidad medida se encuentra asociada a una dimensión, anotándose la dimensión de una cantidad como, por ejemplo $[x]$, lo que se lee como “la dimensión de x ”.

Las dimensiones fundamentales en Física, corresponden a: MASA $[M]$; TIEMPO $[T]$; LONGITUD $[L]$

El análisis dimensional puede ayudar a encontrar la forma de las ecuaciones físicas, conociendo las variables relevantes y sus dimensiones.

6.1 Tabla de Dimensiones Físicas (M,L,T) Y TÉCNICAS (F,L,T)

Magnitud física	Sistema	
	M – L – T	F – L – T
Longitud, diámetro, altura,...	L	L
Área	L ²	L ²
Volumen	L ³	L ³
Velocidad	LT ⁻¹	LT ⁻¹
Aceleración	LT ⁻²	LT ⁻²
Ángulo en radianes	L ⁰ = 1	L ⁰ = 1
Velocidad angular ω	T ⁻¹	T ⁻¹
Aceleración angular α	T ⁻²	T ⁻²
Masa	M	FL ⁻¹ T ²
Fuerza	MLT ⁻²	F
Densidad (ρ)	ML ⁻³	FL ⁻⁴ T ²
Peso específico (γ)	ML ⁻² T ⁻²	FL ⁻³
Presión, esfuerzo de cizalladura (p, τ)	ML ⁻¹ T ⁻²	FL ⁻²
Viscosidad absoluta (μ)	ML ⁻¹ T ⁻¹	FL ⁻² T
Viscosidad cinemática ($\nu = \mu/\rho$)	L ² T ⁻¹	L ⁻² T ⁻¹
Energía (E)	ML ² T ⁻²	FL
Potencia (P)	ML ² T ⁻³	FL T ⁻¹
Caudal (Q)	L ³ T ⁻¹	L ³ T ⁻¹
Caudal de masa (ρQ)	MT ⁻¹	FL ⁻¹ T
Caudal de peso (γQ)	MLT ⁻³	F T ⁻¹
Flujo de momentum ($\rho Q \nu$)	MLT ²	F

6.2 Procedimiento, para el trabajo con análisis dimensional.

Se considerarán las siguientes situaciones, como ejemplos, con el objeto de mostrar el procedimiento, para obtener proporcionalidad entre variables, usando el análisis dimensional.

Ejemplo 1.

La velocidad de salida de un fluido por un agujero en un estanque, puede depender de la altura del agua (H), de la densidad (ρ) y de la aceleración de gravedad (g). Analice dimensionalmente esta situación.

Solución:

Paso 1: Relación de dependencia: $v = v(H, \rho, g)$

Paso 2: Proporcionalidad: $v \propto H^a \rho^b g^c$

Paso 3: Relación dimensional: $[v] = [H]^a [\rho]^b [g]^c$

Paso 4: Ecuación según dimensiones: $LT^{-1} = L^a M^b L^{-3b} L^c T^{-2c}$

Paso 5: Ordenando la ec. exponencial: $M^0 L^0 T^0 = L^{(a-3b-1+c)} M^b T^{(-2c+1)}$

Paso 6: Resolviendo ec. exponencial:

$$a - 3b - 1 + c = 0 \quad \text{ec. (1)}$$

$$b = 0 \quad \text{ec. (2)}$$

$$-2c + 1 = 0 \quad \text{ec. (3)}$$

$$\text{De ec. (3): } c = \frac{1}{2}$$

(2)y (3)en (1):

$$a - 3(0) - 1 + \frac{1}{2} = 0$$

$$a = \frac{1}{2}$$

Paso 7: Completando la ecuación de relación, se tiene:

$$v = KH^{1/2}\rho^0g^{1/2}$$

De donde se obtiene:

$$v = K\sqrt{gH}$$

Donde:

“K” es una constante de proporcionalidad que no puede ser determinada por consideraciones dimensionales, pero si experimentalmente.

Ejemplo 2.

La potencia “P” que una turbina extrae de un fluido puede depender del caudal “Q” que pasa por la turbina, del peso específico “ γ ” y de la energía por unidad de peso “H” cedida por el fluido. Analice dimensionalmente esta situación.

Solución:

Paso 1: Relación de dependencia: $P = P(Q, \gamma, H)$

Paso 2: Proporcionalidad: $P \propto Q^a \gamma^b H^c$

Paso 3: Relación dimensional: $[P] = [Q]^a [\gamma]^b [H]^c$

Paso 4: Ecuación según sus dimensiones:

$$[P] = ML^2T^{-3}$$

$$[Q] = [L^3T^{-1}]$$

$$[\gamma] = [ML^{-2}T^{-2}]$$

$$[H] = [L]$$

Paso 5: Ordenando la ec. exponencial:

$$[ML^2T^{-3}] = [L^3T^{-1}]^a [ML^{-2}T^{-2}]^b [L]^c$$

$$ML^2T^{-3} = L^{3a}T^{-a}M^bL^{-2b}T^{-2b}L^c$$

$$ML^2T^{-3} = L^{(3a-2b+c)}M^bT^{(-a-2b)}$$

Paso 6: Resolviendo ec. exponencial:

$$1 = b \quad \text{ec. (1)}$$

$$2 = 3a - 2b + c \quad \text{ec. (2)}$$

$$-3 = -a - 2b \quad \text{ec. (3)}$$

$$(1) \text{ en } (3): -3 = -a - 2$$

$$a = 1$$

En (2):

$$2 = 3(1) - 2(1) + c$$

$$c = 1$$

Paso 7: Completando la ecuación de relación, se tiene:

$$P = KQ\gamma H$$

Observación: En general, en problemas de mecánica de fluidos, sólo se pueden escribir tres ecuaciones, correspondientes a las tres dimensiones fundamentales: M (masa), L (longitud) y T (tiempo). El análisis se complica cuando el número de variables físicas contenidas en la ley es mayor que tres.

Ejemplo 3.

Suponga que la fuerza de arrastre que se ejerce sobre un cuerpo sumergido en un fluido en movimiento es función de: densidad (ρ), viscosidad (μ), velocidad del fluido (v) y de una dimensión característica del fluido “ l ” del cuerpo.

$$F = K\rho^a\mu^b l^c v^d$$

Solución:

Paso 1: Relación de dependencia:

En este caso la relación de dependencia viene indicada en el enunciado del problema.

Paso 2: Proporcionalidad: $F \propto \rho^a \mu^b l^c v^d$

Paso 3: Relación dimensional:

$$[F] = [\rho^a \mu^b l^c v^d]$$

Paso 4: Ecuación según sus dimensiones:

Cuando la fuerza es la cantidad buscada, conviene trabajar con dimensiones en el sistema técnico: F (fuerza), L (longitud), T (tiempo).

$$[M] = \left[\frac{F}{\frac{L}{T^2}} \right] = FL^{-1}T^2$$

$$[F_{\text{arrastre}}] = F$$

$$[\rho] = [ML^{-3}] = [FL^{-1}T^2L^{-3}] = FL^{-4}T^2$$

$$[\mu] = \left[\tau / \left(\frac{dv}{dy} \right) \right] = \left[(F/A) / \left(\frac{dv}{dy} \right) \right] = \left[\left(\frac{F}{L^2} \right) \left(\frac{L}{T} \right) \right] = FTL^{-2}$$

$$[v] = LT^{-1}$$

Paso 5: Ordenando la ec. exponencial:

$$[F] = [FL^{-4}T^2]^a [FTL^{-2}]^b [LT^{-1}]^d [L]^c$$

$$F = F^a L^{-4a} T^{2a} F^b T^b L^{-2b} L^{-d} T^{-d} L^c$$

$$F = F^{(a+b)} L^{(-4a-2b+d+c)} T^{(2a+b-d)}$$

Paso 6: Resolviendo ec. exponencial:

Traspasando al segundo miembro “F” y arreglando la expresión:

$$F^0 L^0 T^0 = F^{(a+b)} L^{(-4a-2b+d+c)} T^{(2a+b-d)}$$

$$a + b - 1 = 0 \quad \text{ec. (1)}$$

$$-4a - 2b + d + c = 0 \quad \text{ec. (2)}$$

$$2a + b - d = 0 \quad \text{ec. (3)}$$

$$\text{De ec. (1): } a = 1 - b$$

$$\text{De ec. (2): } c = 4a + 2b - d$$

$$\text{De ec. (3): } d = 2a + b$$

Se aprecia que existen tres ecuaciones y cuatro incógnitas.

$$\text{Reemplazando ec. (1) en ec. (3): } 2(1 - b) + b - d = 0$$

$$2 - 2b + b - d = 0$$

$$d = 2 - b$$

$$\text{Reemplazando en ec. (2): } c = 4(1 - b) + 2b - (2 - b)$$

$$c = 4 - 4b + 2b - 2 + b$$

$$c = 2 - b$$

$$F \alpha \rho^{(1-b)} \mu^b l^{(2-b)} v^{(2-b)}$$

$$F \alpha \rho v^2 (\rho^{-1} \mu l^{-1} v^{-1})^b l^2$$

Paso 7: Completando la ecuación de relación, se tiene:

$$F = K\rho v^2(\rho^{-1}\mu l^{-1}v^{-1})^b l^2$$

K: constante de proporcionalidad.

Observación:

La expresión $(\frac{\rho l v}{\mu})$, es un número muy importante en fluidos en movimiento, corresponde al número de Reynolds:

$$R_E = (\frac{\rho l v}{\mu})$$

Entonces, la expresión final se puede escribir como:

$$F = K\rho v^2(R_E)^b l^2$$

Situación: Se requiere establecer la coherencia dimensional de la relación de dependencia de la variable fuerza respecto de las variables masa y velocidad, para un tipo de movimiento.

Paso 1: Se debe anotar la función que existe entre las variables reconocidas como significativas, para este movimiento, estableciendo claramente a qué corresponde cada una de ellas.

$$F = F(m, v)$$

F : fuerza

m : masa

v : velocidad

Paso 2: Plantear la proporcionalidad que relaciona las variables identificadas.

$$F \propto m^x v^y$$

Con $\propto$ proporcionalidad entre variables.

Paso 3: Establecer la ecuación dimensional entre las variables identificadas:

$$[F] = [m]^x [v]^y$$

Donde x e y , son los exponentes a determinar para establecer una igualdad dimensional.

Paso 4: Indicar las dimensiones de cada una de las variables identificadas:

$$\dim(F) = [F] = MLT^{-2}$$

$$\dim(m) = [m] = [M]$$

$$\dim(v) = [v] = LT^{-1}$$

Paso 5: Comparar dimensionalmente cada miembro de la ecuación planteada en el Paso 3, y determinar el valor de cada uno de los exponentes:

$$MLT^{-2} = M^x L^y T^{-y}$$

Igualando exponentes, de acuerdo a las dimensiones, se tiene:

$$M: x = 1 \text{ ec. (1)}$$

$$L: y = 1 \text{ ec. (2)}$$

$$T: y = 2 \text{ ec. (3)}$$

De acuerdo a los resultados de las ecuaciones (2) y (3) se aprecia que existe una contradicción (“y” no puede tener dos valores), por lo tanto, no existe un valor para “y”.

Luego: $F = Km^x v^y$ *no puede ser una ley física*

Nota: Si el número de variables físicas excede a 5, el procedimiento de análisis dimensional expuesto (Rayleigh), se hace más y más complicado. Para esa situación se usa el teorema “pi” (π) o de Buckingham.

6.3 Teorema “pi” (π) o de Buckingham.

Características Generales.

1. Si $A_1, A_2, \dots, A_n$ son las cantidades físicas relevantes, para establecer una ley física, debe existir una relación (funcional) entre ellas, del tipo general:

$$f(A_1, A_2, \dots, A_n) = 0$$

- Sea “m” el número de dimensiones básicas (independientes entre sí).
- Sea $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}$, ciertas agrupaciones de las $A_1, A_2, \dots, A_n$ adimensionales y distintas entre sí, entonces debe existir una ecuación de la forma:

$$\varphi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0$$

entre los π 's.

2. Los parámetros (agrupaciones) adimensionales

$$\varphi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m})$$

se determinan de la siguiente manera: “se seleccionan “m” cantidades (“repetidas”) $A_1, A_2, \dots, A_n$ y se forman las agrupaciones:

$$(1) \pi_1 = A_1^{\alpha_1} A_2^{\alpha_2} \dots A_m^{\alpha_m} A_{(m+1)}$$

$$(2) \pi_2 = A_1^{\beta_1} A_2^{\beta_2} \dots A_m^{\beta_m} A_{(m+2)}$$

$$(3) \pi_{n-m} = A_1^{\omega_1} A_2^{\omega_2} \dots A_m^{\omega_m} A_n$$

Los exponentes $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$, etc, se determinan por la condición que los π 's son adimensionales.

En mecánica e hidráulica, tal como vimos en el taller anterior, las dimensiones básicas son tres: MLT (físicas) o FLT (técnicas), entonces $m = 3$.

Procedimiento.

Ejemplo: “La fuerza de arrastre (F) sobre un cuerpo sumergido en un fluido viscoso puede depender de la densidad del fluido (ρ), de la viscosidad (μ), del diámetro de la tubería (D) y de la velocidad del fluido (v)”.

- Las variables esenciales son:
F, ρ , μ , D, v
- Luego $n = 5$
- Entonces, existen:

$n - m = 5 - 3 = 2$ parámetros de “ π ” independientes.

Cantidad	Dimensión (F-L-T)	Dimensión (M-L-T)
F_{arrastre}	F	MLT^{-2}
ρ	FL^{-3}	ML^{-3}
μ	$FL^{-2}T$	$ML^{-1}T^{-1}$
D	L	L
v	LT^{-1}	LT^{-1}

Primer Paso: Elegir las variables que se repiten (existen varias posibilidades)

$$\pi_1 = D^{x_1} v^{y_1} \rho^{z_1} F \quad (1)$$

$$\pi_2 = D^{x_2} v^{y_2} \rho^{z_2} \mu \quad (2)$$

De (1) y de la tabla anterior:

$$\pi_1 = L^{x_1} (LT^{-1})^{y_1} (FL^{-4}T^2)^{z_1} F$$

$$\pi_1 = L^{(x_1+y_1-4z_1)} T^{(-y_1+2z_1)} F^{(z_1+1)}$$

Por adimensionalidad de π_1 :

$$x_1 + y_1 - 4z_1 = 0 \quad (3)$$

$$-y_1 + 2z_1 = 0 \quad (4)$$

$$z_1 + 1 = 0 \quad (5)$$

$$\text{De (5): } z_1 = -1$$

$$\text{En (4): } -y_1 + 2(-1) = 0$$

$$y_1 = -2$$

$$\text{En (3): } x_1 - 2 - (4)(-1) = 0$$

$$x_1 = -2$$

Luego:

$$\pi_1 = D^{-2} v^{-2} \rho^{-1} F$$

$$\text{De (2): } \pi_2 = D^{x_2} v^{y_2} \rho^{z_2} \mu$$

$$\pi_2 = L^{x_2} (LT^{-1})^{y_2} (FL^{-4}T^2)^{z_2} (FL^{-2}T)$$

$$\pi_2 = L^{(x_2+y_2-4z_2-2)} T^{(-y_2+2z_2+1)} F^{(z_2+1)}$$

Por adimensionalidad de " π_2 ", se tiene:

$$x_2 + y_2 - 4z_2 - 2 = 0 \quad (6)$$

$$-y_2 + 2z_2 + 1 = 0 \quad (7)$$

$$z_2 + 1 = 0 \quad (8)$$

$$\text{De (8): } z_2 = -1$$

$$\text{En (7): } y_2 = -1$$

$$\text{En (6): } x_2 = -1$$

$$\pi_2 = D^{-1} v^{-1} \rho^{-1} \mu$$

Según el teorema " π ":

$$\varphi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0$$

Luego:

$$\varphi(\pi_1, \pi_2) = 0$$

$$\varphi_2 \neq \varphi_1$$

$$\pi_1 = \varphi_2(\pi_2)$$

Pero:

$$\pi_1 = D^{-2} v^{-2} \rho^{-1} F$$

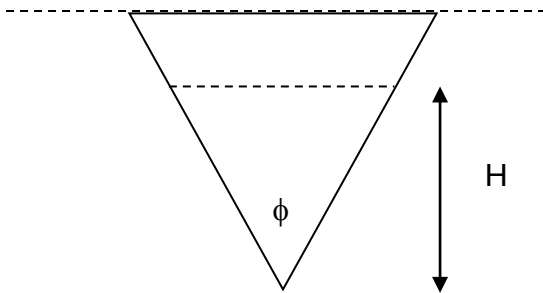
$$\pi_2 = D^{-1} v^{-1} \rho^{-1} \mu$$

$$D^{-2} v^{-2} \rho^{-1} F = \varphi_2(D^{-1} v^{-1} \rho^{-1} \mu)$$

$$F = D^2 v^2 \rho \varphi_2(D^{-1} v^{-1} \rho^{-1} \mu)$$

Ejemplo propuesto.

Un vertedero triangular tiene un ángulo de abertura “ ϕ ”. El flujo de descarga es alguna función de la altura “H” de la superficie libre sobre el vértice, del ángulo “ ϕ ”, de “g” y de la velocidad de vaciamiento del fluido. Determinar $Q = f(H, g, \phi, v_0)$



- Variables esenciales:

$$Q, H, g, \phi, v_0$$

- Dimensiones:

$$\text{Dim}(Q) = L^3 T^{-1}$$

$$\text{Dim}(H) = L$$

$$\text{Dim}(g) = L T^{-2}$$

$\text{Dim}(\phi) = \text{en radianes, es adimensional.}$

$$\text{Dim}(v_0) = L T^{-1}$$

- Se observa que ninguna de las variables incluye la dimensión de “masa” o de “fuerza” en el sistema FLT.
- Luego, el número de dimensiones básicas es “2”, es decir, “L” y “T”.

- Entonces, los parámetros “ π ” independientes serán:

$$(n - m) = 5 - 2 = 3$$

Escogiendo “g” y “H” como variables repetidas, se tiene:

$$\pi_1 = g^{x_1} H^{y_1} Q$$

$$\pi_2 = g^{x_2} H^{y_2} v_0$$

$$\pi_3 = g^{x_3} H^{y_3} \phi$$

Para “ π_1 ”:

$$(L T^{-2})^{x_1} L^{y_1} (L^3 T^{-1}) = \pi_1$$

$$x_1 + y_1 + 3 = 0 \quad (1)$$

$$-2x_1 - 1 = 0 \quad (2)$$

$$x_1 = -\frac{1}{2}$$

$$y_1 = -\frac{5}{2}$$

$$\pi_1 = g^{-1/2} H^{-5/2} Q$$

Para “ π_2 ”:

$$(L T^{-2})^{x_2} L^{y_2} (L^3 T^{-1}) = \pi_2$$

$$x_2 + y_2 + 1 = 0 \quad (3)$$

$$-2x_2 - 1 = 0 \quad (4)$$

$$x_2 = -\frac{1}{2}$$

$$y_2 = -\frac{1}{2}$$

$$\pi_2 = g^{-1/2} H^{-1/2} v_0$$

Para “ π_3 ”:

$$(LT^{-2})^{x_3} L^{y_3} \varphi = \pi_3$$

$$x_3 + y_3 = 0 \quad (5)$$

$$x_3 = 0$$

$$y_3 = 0$$

$$\pi_3 = \varphi$$

Teorema “ π ”: Existe la relación funcional $f_1(\pi_1, \pi_2, \pi_3) = 0$

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3)$$

$$f \neq f_1$$

“ f ” se determina por análisis físico o experimental.

Se sabe:

$$\pi_1 = g^{-1/2} H^{-5/2} Q$$

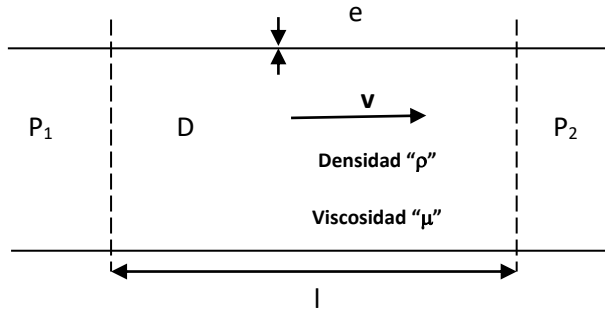
$$Q = \pi_1 g^{1/2} H^{5/2}$$

$$Q = f(\pi_2, \pi_3) g^{1/2} H^{5/2}$$

$$Q = f(g^{-1/2} H^{-1/2} v_0, \varphi) g^{1/2} H^{5/2}$$

Ejemplo aplicación fundamental.

Encontrar una expresión para la “pérdida de carga” en una tubería horizontal.



Donde:

e : espesor.

P_1, P_2 : presiones.

D : diámetro.

l : largo.

v : velocidad.

Usando Bernoulli para una línea de flujo:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (h_2 - h_1)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_{1-2}$$

Las pérdidas son proporcionales a las variaciones de presión:

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

Variables esenciales:

$$\Delta P, D, \mu, \rho, l, v, e \quad (n = 7)$$

Dimensiones básicas: $m = 3$ (MLT)

Número de parámetros (π):

$$(n - m) = 7 - 3 = 4$$

Escogiendo variables repetidas D, v, ρ , se tiene:

$$\pi_1 = D^{x_1} v^{y_1} \rho^{z_1} \Delta P$$

$$\pi_2 = D^{x_2} v^{y_2} \rho^{z_2} \mu$$

$$\pi_3 = D^{x_3} v^{y_3} \rho^{z_3} l$$

$$\pi_4 = D^{x_4} v^{y_4} \rho^{z_4} e$$

Para facilitar el desarrollo, se construirá la siguiente tabla:

				1	2	3	4
	D^{x_i}	v^{y_i}	ρ^{z_i}	ΔP	μ	l	e
M	0	0	z_i	1	1	0	0
L	x_i	y_i	$-3z_i$	-1	-1	1	1
T	0	$-y_i$	0	-2	-1	0	0

Para “ π_1 ”:

$$L^{x_1} (LT^{-1})^{y_1} (ML^{-3})^{z_1} ML^{-1} T^{-2} = L^0 T^0 M^0$$

$$x_1 = 0$$

$$y_1 = -2$$

$$z_1 = -1$$

$$\pi_1 = \frac{\Delta P}{v^2 \rho}$$

Para “ π_2 ”:

$$L^{x_2}(LT^{-1})^{y_2}(ML^{-3})^{z_2}ML^{-1}T^{-1} = L^0T^0M^0$$

$$x_2 = -1$$

$$y_2 = -1$$

$$z_2 = -1$$

$$\pi_2 = \frac{\mu}{Dv\rho}$$

Para “ π_3 ”:

$$L^{x_3}(LT^{-1})^{y_3}(ML^{-3})^{z_3}L = L^0T^0M^0$$

$$x_3 = -1$$

$$y_3 = 0$$

$$z_3 = 0$$

$$\pi_3 = \frac{l}{D}$$

Para “ π_4 ”:

$$L^{x_4}(LT^{-1})^{y_4}(ML^{-3})^{z_4}L = L^0T^0M^0$$

$$x_4 = -1$$

$$y_4 = 0$$

$$z_4 = 0$$

$$\pi_4 = \frac{e}{D}$$

Teorema “ π ”: Existe la relación funcional $f_1(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4) = 0$

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4)$$

$$f \neq f_1$$

“ f ” se determina por análisis físico o experimental.

Se sabe:

$$\pi_1 = \frac{\Delta P}{v^2\rho}$$

Luego:

$$\frac{\Delta P}{v^2\rho} = f\left(\frac{\mu}{Dv\rho}, \frac{l}{D}, \frac{e}{D}\right)$$

Ejemplo uso de tablas.

Dada la tabla siguiente obtenida mediante el teorema “ π ”, obtenga el modelo adimensional de las variables involucradas. (σ : tensión superficial).

	ρ^{x_i}	l^{y_i}	v^{z_i}	μ	g	p	σ	c
M	x_i	0	0	1	0	1	1	0
L	$-3x_i$	y_i	z_i	-1	1	-1	0	1
T	0	0	$-z_i$	-1	-2	-2	-2	-1

Variables esenciales:

$$\rho, l, v, \mu, g, p, \sigma, c$$

$$(n = 8)$$

Dimensiones básicas:

$$m = 3 (MLT)$$

Número de parámetros (π):

$$(n - m) = 8 - 3 = 5$$

Variables repetidas:

$$\rho, l, v$$

Para “ π_1 ”:

$$\pi_1 = \rho^{x_1} l^{y_1} v^{z_1} \mu$$

$$\pi_1 = (ML^{-3})^{x_1} L^{y_1} (LT^{-1})^{z_1} (ML^{-1}T^{-1})$$

$$= L^0 T^0 M^0$$

$$x_1 = -1$$

$$y_1 = -1$$

$$z_1 = -1$$

$$\pi_1 = \rho^{-1} l^{-1} v^{-1} \mu$$

Para “ π_2 ”:

$$\pi_2 = \rho^{x_2} l^{y_2} v^{z_2} g$$

$$\pi_2 = (ML^{-3})^{x_2} L^{y_2} (LT^{-1})^{z_2} (LT^{-2})$$

$$= L^0 T^0 M^0$$

$$x_2 = 0$$

$$y_2 = 1$$

$$z_2 = -2$$

$$\pi_2 = g l v^{-2}$$

Para “ π_3 ”:

$$\pi_3 = \rho^{x_3} l^{y_3} v^{z_3} p$$

$$\pi_3 = (ML^{-3})^{x_3} L^{y_3} (LT^{-1})^{z_3} (MLT^{-2})$$

$$= L^0 T^0 M^0$$

$$x_3 = -1$$

$$y_3 = 0$$

$$z_3 = -2$$

$$\pi_3 = \rho^{-1} l^0 v^{-2} p$$

$$\pi_3 = \frac{p}{\rho v^2} = \text{Número de Euler}$$

Para “ π_4 ”:

$$\pi_4 = \rho^{x_4} l^{y_4} v^{z_4} \sigma$$

La dimensión de σ se puede obtener de la tabla dada en el ejemplo)

$$\begin{aligned}\pi_4 &= (ML^{-3})^{x_4} L^{y_4} (LT^{-1})^{z_4} (MT^{-2}) \\ &= L^0 T^0 M^0\end{aligned}$$

$$x_4 = -1$$

$$y_4 = -1$$

$$z_4 = -2$$

$$\pi_4 = \rho^{-1} l^{-1} v^{-2} \sigma$$

Para “ π_5 ”:

$$\pi_5 = \rho^{x_5} l^{y_5} v^{z_5} c$$

$$\begin{aligned}\pi_5 &= (ML^{-3})^{x_5} L^{y_5} (LT^{-1})^{z_5} (LT^{-1}) \\ &= L^0 T^0 M^0\end{aligned}$$

$$x_5 = 0$$

$$y_5 = 0$$

$$z_5 = -1$$

$$\pi_5 = \frac{c}{v} = M_A = \text{Número de Mach}$$

Teorema “ π ”:

$$\pi_1 = \varphi_1(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5)$$

$$\frac{\mu}{\rho l v} = \varphi_1\left(\frac{gl}{v^2}, \frac{p}{\rho v^2}, \frac{\sigma}{\rho l v^2}, \frac{c}{v}\right)$$

CAPÍTULO 7. “MODELADO DE UN SISTEMA”

7.1 De los modelos de un sistema.

Un modelo de un sistema, es básicamente una herramienta matemática que permite responder interrogantes sobre el sistema sin tener que recurrir a la experimentación sobre el mismo, o al objeto real. Es una representación siempre simplificada de la realidad (si el sistema físico existe) o es un prototipo conceptual (proyecto del sistema físico).

Los modelos matemáticos son expresiones matemáticas que describen las relaciones existentes entre las magnitudes caracterizantes del sistema. Pueden ser sistemas de ecuaciones, inecuaciones, expresiones lógico-matemáticas. En los sistemas dinámicos, se busca la obtención de un conjunto de ecuaciones matemáticas que describe el comportamiento de un sistema, por ejemplo, físico, químico, biológico, social, etc.

Todas estas expresiones vinculan variables matemáticas representativas de las señales (señal: representación de una información, a través de valores de una magnitud física y/o química) en el sistema, obtenidas a partir de las relaciones entre las correspondientes magnitudes físicas y/o químicas.

Las relaciones pueden ser en:

- Tiempo continuo o Tiempo discreto.
- Estáticos o Dinámicos (el vínculo entre variables depende también de los valores pasados de las mismas, no solo de los actuales).
- Determinísticos o Estocásticos (expresa las relaciones con incertidumbre entre las variables mediante conceptos probabilísticos usando variables aleatorias).
- Parámetros distribuidos o Parámetros concentrados (reemplaza la dependencia espacial de las variables por su promedio en la región del espacio donde están definidas).
- Paramétricos o No paramétricos (no pueden caracterizarse por un número finito de parámetros).
- Lineales o No lineales (no vale el principio de superposición).
- Estacionarios (toda acción sobre el sistema produce el mismo efecto independiente del momento en que comienza a ejercerse, si en ese momento el sistema se encuentra en las mismas condiciones) o Inestacionarios.

7.2 Del modelado de sistemas.

De acuerdo a la Real Academia Española (2001):

Modelado, corresponde a la acción y efecto de modelar.

Modelar, se refiere a configurar o conformar algo no material.

Modelo, corresponde al arquetipo o punto de referencia para imitarlo o reproducirlo.

Para facilitar el proceso de modelización, se debe ir desde un sistema real a uno idealizado, debido a que se deben realizar simplificaciones para estudiar el problema que se ha planteado. En la medida en que se avance en el trabajo de interacciones de las variables preliminares, es posible incorporar otras, es por ello que es muy importante delimitar las fronteras de trabajo.

No se debe perder de vista que los modelos obtenidos resultarán adecuados solamente para resolver determinados problemas y dentro de un rango de operaciones dado. Es decir, el sistema idealizado dependerá no sólo del sistema real en sí, sino también del problema a resolver y del intervalo de validez que se pretenda tener para el modelo resultante. Cada quien que estudie un problema podrá aplicar su propia metodología, para resolverlo, utilizando para ello la experiencia y el conocimiento del proceso real.

7.3 Etapas generales del modelado.

1. En el caso de los sistemas complejos, estos podrán dividirse en subsistemas más simples, en los cuales se buscará generar modelos en base a simplificaciones ya probadas en problemas similares, por eso, es fundamental antes de comenzar a realizar las primeras simplificaciones de un sistema real, buscar en la literatura modelos de sistemas similares en los cuales se manifiesten los mismos fenómenos.
2. Es muy importante tener en cuenta que la obtención de un modelo se basará en la aplicación de hipótesis simplificadoras, por lo que, los modelos tendrán validez siempre que se respeten las mencionadas hipótesis.
3. Una vez realizadas las simplificaciones y obtenidos esquemas representativos de los sistemas a estudiar, se dice que se tiene un sistema idealizado. Aunque estos sistemas, en general contienen toda la información que se necesita para la construcción de un modelo matemático, este punto es de suma importancia.
4. Asociadas al diagrama de bloques, se tendrán un buen número de relaciones matemáticas que vincularán las variables descriptivas del modelo y que serán consecuencia tanto de los fenómenos físicos

considerados (relaciones constitutivas) como de la interacción entre los mismos en función de sus disposición en el sistema (relaciones estructurales).

En general, las relaciones constitutivas estarán determinadas explícitamente en el diagrama (teniendo en cuenta las leyes correspondientes) mientras que la obtención de las relaciones estructurales requerirá de algún tipo de análisis geométrico y/o topológico (en relación al espacio).

5. Una vez que se tiene el sistema idealizado, se obtendrá un modelo matemático. En muchos casos se encontrará un conjunto de relaciones matemáticamente equivalentes, por lo que no serán necesarias todas las relaciones para la construcción del modelo. Se deberá obtener un sistema de ecuaciones que tenga una estructura que permita aplicar alguna teoría matemática adecuada ya establecida.

6. Conclusión acerca del funcionamiento del modelo planteado.

7.4 Fases del modelado.

Dado que el Método Experimental no siempre es viable (no siempre se puede experimentar sobre los sistemas), ya que en algunos casos existen factores que limitan o impiden su aplicación, como: costos, riesgos,

experimento irrealizable (por inexistencia o incapacidad humana de experimentar), es que se recurre a su modelado, ejemplo de ello son predicción meteorológica a plazo corto, medio y largo, problemas hidrodinámicos relacionados con el movimiento de fluidos alrededor de sólidos (perfiles alares, cascos de embarcaciones, etc.) o en el interior de cavidades (circulación sanguínea, bombeo de líquidos, etc.), cálculo de la respuesta dinámica de estructuras, etc.

Fase 1: Delimitación del modelo en función de los fenómenos que resultan relevantes, de acuerdo al problema que se quiere resolver.

Fase 2: Establecer qué señales son las de entrada o excitación y las de respuesta o salida, así como cuáles son las variables dependientes, independientes e intervinientes.

Fase 3: Dibujar bloques (sin ecuaciones matemáticas), con sus respectivos elementos, que permitan describir la interacción de las variables.

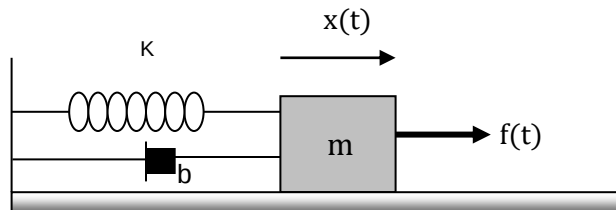
Fase 4: Formalizar matemáticamente la relación entre las variables de entrada y salida de cada elemento del conjunto, mediante el uso de ecuaciones.

Fase 5: Obtener la relación entre la salida y la entrada del fenómeno que se está estudiando, mediante un modelo, basado en ecuaciones.

7.5 Ejemplo modelado de un sistema mecánico con desplazamiento lineal.

Considere un sistema constituido por un bloque de masa “m” y un resorte

de constante elástica “K”. El bloque se encuentra sobre una superficie rugosa.



Donde:

$f(t)$: es la fuerza exterior que actúa sobre la masa “m”.

$x(t)$: es la posición que adquiere el bloque en un tiempo “t”.

K: constante elástica del resorte.

m: masa del bloque.

$$v = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$$

$$a = \frac{d\left(\frac{dx}{dt}\right)}{dt} = \ddot{x}$$

$$\sum F = m\ddot{x}$$

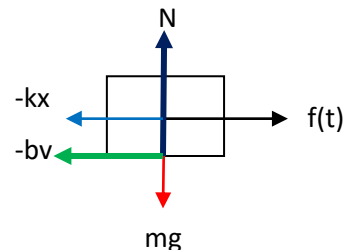
Si se conoce la fuerza aplicada $f(t)$ y las condiciones iniciales (posición y velocidad) puede determinarse la posición $x(t)$ del bloque en cualquier instante.

Utilizando la Segunda Ley de Newton en traslación, se tiene:

$$\sum F = ma$$

$$\sum F = m\ddot{x}$$

$$a = \frac{dv}{dt}$$



El rozamiento de la masa con la superficie da lugar a otra fuerza que se opone al desplazamiento y que puede suponerse proporcional a la velocidad con la constante de proporcionalidad “b”.

$$F_{\text{fricción}}(t) = -bv$$

$$F_{\text{fricción}}(t) = -b\dot{x}$$

Por Ley de Hooke, podemos obtener la fuerza aplicada por el resorte sobre el bloque:

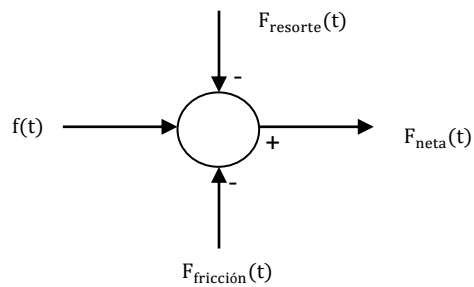
$$F_{\text{resorte}}(t) = -Kx$$

$$\sum F = m\ddot{x}$$

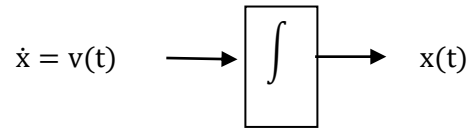
$$f(t) - kx - b\dot{x} = m\ddot{x}$$

$$f(t) = F_{\text{resorte}}(t) + F_{\text{fricción}}(t) + F_{\text{neta}}(t)$$

Lo anterior se puede trabajar en el siguiente esquema:

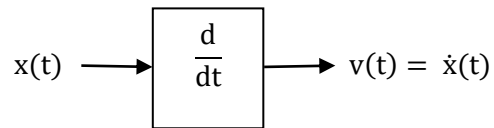


Utilizando integrador y derivador:



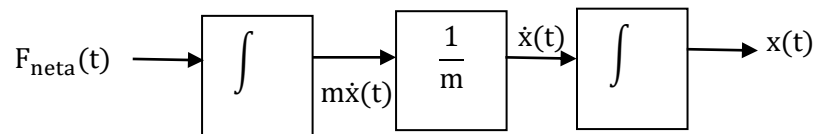
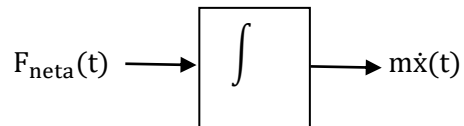
$$v = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$$

$$\int \dot{x} dt = \int \left(\frac{dx}{dt} \right) dt = x$$

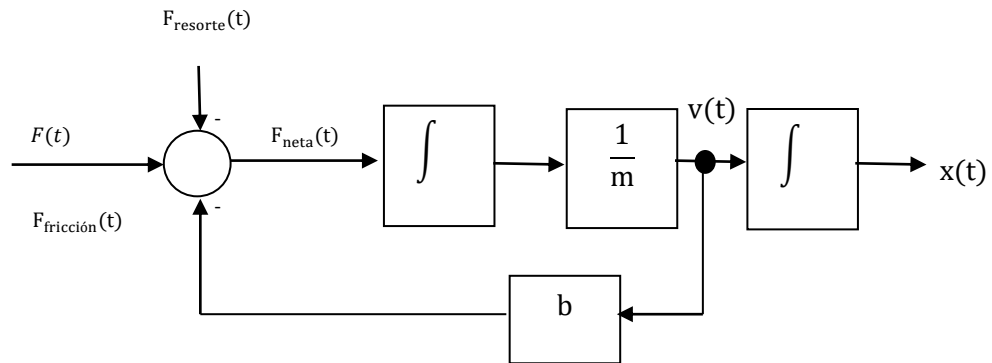


$$\frac{dx}{dt} = v = \dot{x}$$

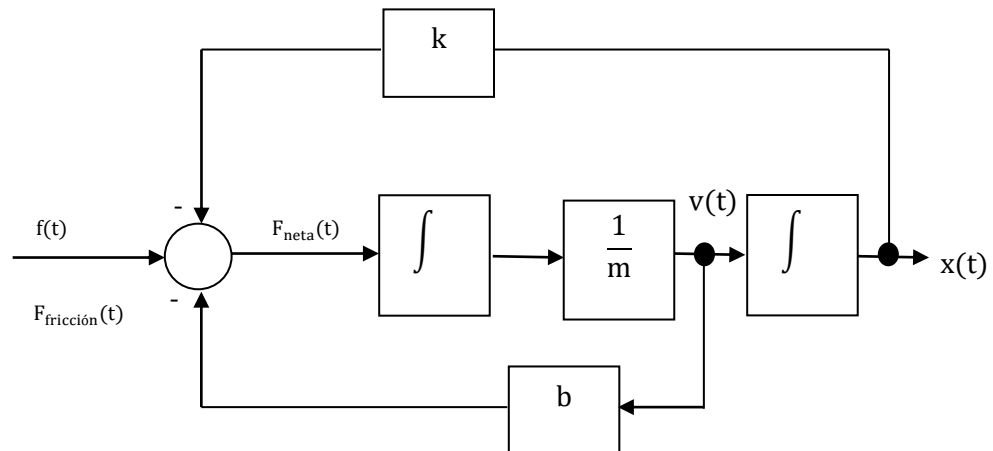
Para la Fuerza Neta:



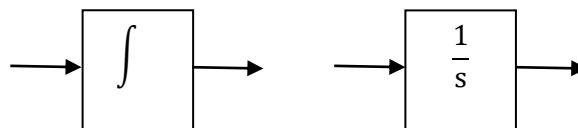
Para la fuerza de fricción: $F_{\text{fricción}}(t) = -bv$



Para la fuerza del resorte: $F_{\text{resorte}}(t) = -kx$



Pero:



Sea f una función definida para $t \geq 0$, la transformada de Laplace de $f(t)$ se define como:

$$\mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^{+\infty} e^{-st} f(t) dt$$

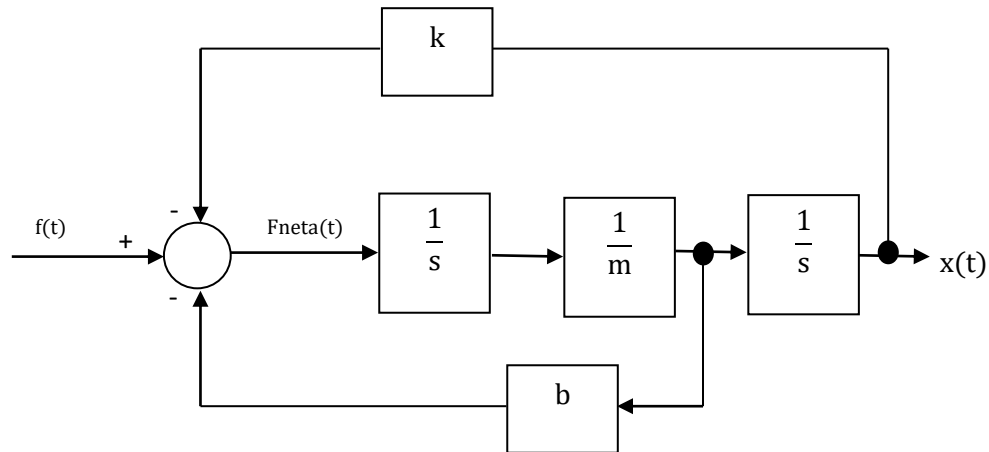
cuando tal integral converge.

Donde s es una variable compleja: $s = jw$

$$\mathcal{L}\left(\int f(t)dt\right) = \frac{1}{s}\mathcal{L}(f(t))$$

“Transformada de Laplace de una integral”

Finalmente, el diagrama de bloques correspondiente al modelado de un sistema mecánico con desplazamiento lineal, es:



Estableciendo la ecuación final para la posición que adquiere el bloque en tiempo “t”, se tiene:

$$F_{\text{neta}} = m\left(\frac{dv}{dt}\right)$$

$$v = \int_0^t \left(\frac{F_{\text{neta}}}{m}\right) dt$$

Pero: $v = \frac{dx}{dt}$

$$\frac{dx}{dt} = \int_0^t \left(\frac{F_{\text{neta}}}{m}\right) dt$$

$$dx = \left(\int_0^t \left(\frac{F_{\text{neta}}}{m}\right) dt\right) dt$$

$$x = \int_0^t \left(\int_0^t \frac{F_{\text{neta}}}{m} dt\right) dt$$

Nota: Se presenta la Tabla de Transformada de Laplace, para su uso en la solución de problemas de modelado.

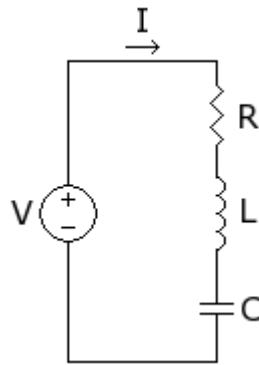
TABLA DE TRANSFORMADAS DE LAPLACE.	
$\delta(t)$	1
1	$\frac{1}{s}$
t	$\frac{1}{s^2}$
t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$
$\text{sen}\omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
$\text{cos}\omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
$e^{-at}\text{sen}\omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$e^{-at}\text{cos}\omega t$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$t^n e^{-at}$	$\frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$

7.6 Ejemplo de determinación de la función de transferencia del circuito RLC en serie.

Inicialmente se debe considerar:

Componente	Voltaje-Corriente	Voltaje-Carga	Impedancia
Resistor	$v_R(t) = i(t)R$	$v_R(t) = \frac{Rdq(t)}{dt}$	R
Capacitor	$v_c(t) = \left(\frac{1}{C}\right) \int_0^t i(t)dt$	$v_c(t) = \left(\frac{1}{C}\right) q(t)$	$\frac{1}{Cs}$
Inductor	$v_L(t) = \frac{Ldi(t)}{dt}$	$v_L(t) = \frac{Ld^2q(t)}{dt^2}$	Ls

Considerando el circuito mostrado en la figura:



Definimos:

V_L : diferencia de potencial en la inductancia.

V_R : diferencia de potencial en el resistor.

V_C : diferencia de potencial en el capacitor.

V : f.e.m

Realizando un L.V.K, se tiene:

$$V_L + V_R + V_C = V \quad (1)$$

$$\frac{Ldi(t)}{dt} + Ri(t) + V_C = V \quad (2)$$

Se sabe:

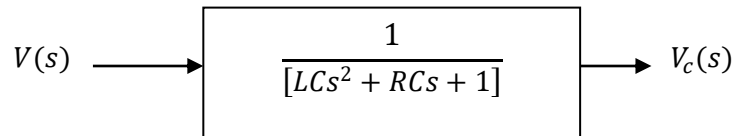
$$v(t) = \left(\frac{1}{C}\right) \int_0^t i(t) dt$$

Luego:

$$i(t) = C\left(\frac{dV_c}{dt}\right) \quad (3)$$

Despejando la Función de Transferencia, se tiene:

$$\frac{V_c(s)}{V(s)} = \frac{1}{[LCs^2 + RCs + 1]}$$



Reemplazando (3) en (2), se tiene:

$$LC\left(\frac{d^2V_c(t)}{dt^2}\right) + RC\left(\frac{dV_c(t)}{dt}\right) + V_c(t) = V(t)$$

Considerando la Transformada de Laplace:

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$$

Usando las Transformadas de Laplace, para derivadas:

$$\mathcal{L}[f'(t)] = sF(s) - f(0)$$

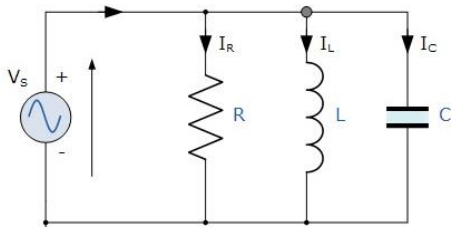
$$\mathcal{L}[f''(t)] = s^2F(s) - sf(0) - f'(0)$$

Tomando la Transformada de Laplace suponiendo condiciones iniciales cero:

$$LC[s^2V_c(s)] + RC[sV_c(s)] + V_c(s) = V(s)$$

$$V_c(s)[LCs^2 + RCs + 1] = V(s)$$

7.7 Ejemplo de determinación de la función de transferencia del circuito RLC en paralelo.



Aplicando Transformada de Laplace:

$$I(s) = \left(\frac{L}{R}\right) [sI_L(s)] + CL[s^2I_L(s)] + I_L(s)$$

$$I(s) = \left[\left(\frac{L}{R}\right)s + CLs^2 + 1\right] I_L(s)$$

$$I(s) = \left[\frac{Ls + RCLs^2 + R}{R}\right] I_L(s)$$

$$\frac{I_L(s)}{I(s)} = \frac{R}{Ls + RCLs^2 + R}$$

Por Ley de Corriente de Kirchoff. L.C.K

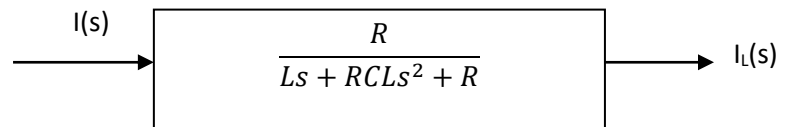
$$\sum i = 0$$

$$I_s(t) = I_R(t) + I_L(t) + I_C(t) \text{ ec. (1)}$$

$$I_R(t) = \frac{v(t)}{R}$$

$$I_C(t) = C \left[\frac{dv(t)}{dt} \right]$$

$$v_L(t) = L \left[\frac{di(t)}{dt} \right] \text{ ec. (2)}$$



Como los elementos se encuentran en paralelo:

$$v(t) = v_c(t) = v_R(t) = v_L(t)$$

Reemplazando en la ec. (1):

$$I(t) = \frac{v(t)}{R} + C \left[\frac{dv(t)}{dt} \right] + i_L(t) \text{ ec. (3)}$$

Reemplazando ec. (2) en ec. (3):

$$I(t) = \left(\frac{L}{R}\right) \left[\frac{di(t)}{dt} \right] + C \left[\frac{L \left(\frac{di_L(t)}{dt} \right)}{dt} \right] + i_L(t)$$

$$I(t) = \left(\frac{L}{R}\right) \left[\frac{di(t)}{dt} \right] + CL \left[\frac{d^2(i_L(t))}{dt^2} \right] + i_L(t)$$

7.8 Modelamiento de un Sistema Térmico.

Consideremos el calentamiento de un cuerpo, tal como, un horno, de una máquina eléctrica o de algún artefacto electrónico. Como primer control de variable tomaremos en cuenta temperatura homogénea.

Las variables a analizar son:

P: potencia calorífica.

P_c : potencia requerida para calentar el cuerpo.

P_f : potencia que fluye hacia el exterior.

C: capacidad térmica.

R: resistencia térmica.

T: temperatura de la resistencia térmica.

T_e : temperatura exterior.

El esquema que representa el fenómeno descrito es:

La potencia requerida para calentar el cuerpo, corresponde a:

$$P_c = C \left(\frac{dT}{dt} \right) \quad (1)$$

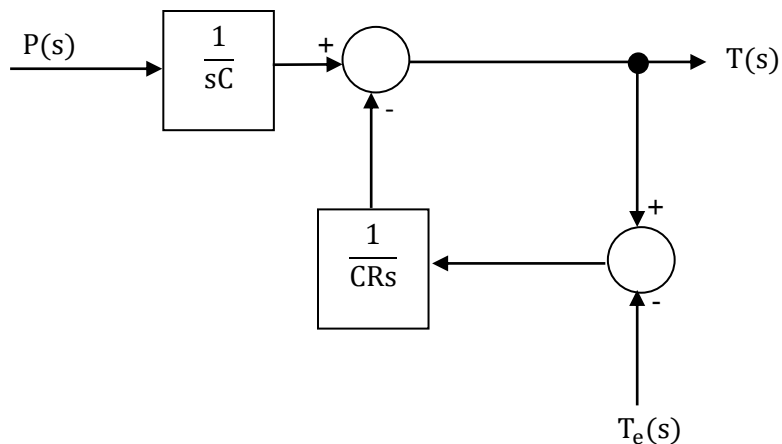
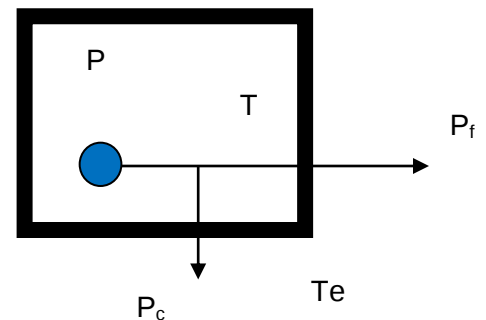
Pero:

$$P_c = P - P_f \quad (2)$$

$$P_f = \frac{T - T_e}{R} \quad (3)$$

Reemplazando (3) y (1) en (2):

$$C \left(\frac{dT}{dt} \right) = P - \frac{(T - T_e)}{R}$$



7.9 Modelamiento de Ley de Enfriamiento de Newton.

Cuando la diferencia de temperaturas entre un cuerpo y su medio ambiente no es demasiado grande, el calor transferido hacia el cuerpo o desde el cuerpo por conducción, convección y radiación es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el medio externo.

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha S(T - T_a) \text{ ec. (1)}$$

Donde “ α ” es el coeficiente de intercambio de calor y “S” es el área del cuerpo.

Si la temperatura T del cuerpo es mayor que la temperatura del medio ambiente T_a , el cuerpo pierde una cantidad de calor dQ en el intervalo de tiempo comprendido entre t y $t + dt$, disminuyendo su temperatura T en dT .

Se tiene que: $dQ = -mcdT$ ec. (2)

Donde: c : calor específico de la sustancia.

m : masa de la sustancia.

$\rho = \frac{m}{V}$: densidad volumétrica.

$m = \rho V$ ec. (3)

Reemplazando ec.(3) en ec.(2):

$$dQ = -\rho VcdT \text{ ec. (4)}$$

Reemplazando ec.(4) en ec.(1):

$$\frac{-\rho VcdT}{dt} = \alpha S(T - T_a)$$

$$\frac{dT}{dt} = -\left(\frac{\alpha S}{\rho Vc}\right)(T - T_a)$$

O bien:

$$\frac{dT}{dt} = -K(T - T_a)$$

Integrando esta ecuación con la condición inicial de que en el instante $t = 0$, la temperatura del cuerpo es T_o

$$\int_{T_o}^T \frac{dT}{(T - T_a)} = -K \int_0^t dt$$

Se obtiene la siguiente relación:

$$\ln(T - T_a) = -Kt + \ln(T_o - T_a)$$

Despejando, se tiene:

$$T = T_a + (T_o - T_a)e^{-kt}$$

Aplicando Transformada de Laplace:

$$\mathcal{L}(T) = \mathcal{L}(T_a) + \mathcal{L}((T_o - T_a)e^{-kt})$$

$$T(s) = \frac{T_a}{s} + \frac{T_o - T_a}{s + k}$$

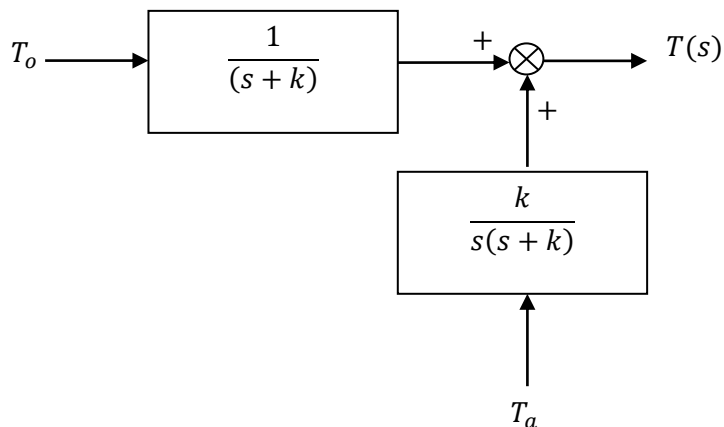
$$T(s) = \frac{T_a}{s} + \frac{T_o}{s + k} - \frac{T_a}{s + k}$$

$$T(s) = \frac{T_a}{s} - \frac{T_a}{s + k} + \frac{T_o}{s + k}$$

$$T(s) = \frac{[T_a(s + k) - T_a s]}{s(s + k)} + \frac{T_o}{s + k}$$

$$T(s) = \frac{T_a[(s + k) - s]}{s(s + k)} + \frac{T_o}{s + k}$$

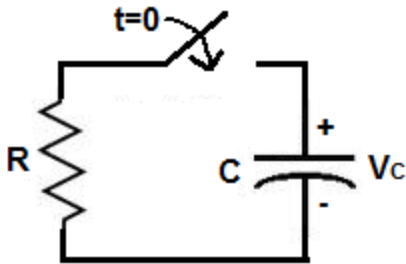
$$T(s) = \frac{T_a[k]}{s(s + k)} + \frac{T_o}{s + k}$$



7.10 Modelamiento de la Descarga de un Capacitor.

Para obtener la expresión que describe la descarga de un capacitor, es necesario considerar lo siguiente:

Ley de Ohm	$V_R = IR \quad (1)$
Capacitancia	$C = \frac{Q}{V_C} \quad (2)$
Intensidad de Corriente	$I = \frac{dQ}{dt} \quad (3)$
Constante de tiempo de descarga del capacitor	$\tau = RC \quad (4)$



Para el estudio de la descarga de un capacitor, se considerará un circuito de lazo cerrado, en el que se puede aplicar L.V.K (Ley de Voltaje de Kirchoff), quedando:

$$-V_C - V_R = 0$$

$$V_R = -V_C \quad (5)$$

Reemplazando (1) y (2) en (5):

$$IR = -\frac{Q}{C} \quad (6)$$

(3) en (6):

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)R = -\frac{Q}{C}$$

Despejando, se tiene:

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{dt}{RC}$$

Integrando:

$$\int_0^{Q_0} \frac{dQ}{Q} = -\left(\frac{1}{RC}\right) \int_0^t dt$$

$$\ln \left[\frac{Q(t)}{Q_0} \right] = -\frac{t}{RC}$$

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Dividiendo por el valor de la capacitancia:

$$\frac{Q(t)}{C} = \left(\frac{Q_0}{C} \right) e^{-\frac{t}{RC}}$$

Se tiene:

$$V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Para construir el diagrama de bloques correspondiente:

$$V(t) = V_c(t) + V_R(t)$$

$$V(t) = V_c(t) + i(t)R$$

Pero:

$$i(t) = C \left(\frac{dV_c}{dt} \right)$$

$$V(t) = V_c(t) + RC \left(\frac{dV_c}{dt} \right)$$

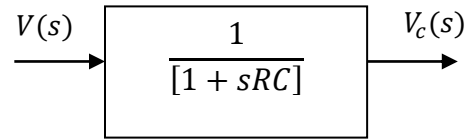
Aplicando Transformada de Laplace, considerando las condiciones iniciales cero:

$$\mathcal{L}[V(t)] = \mathcal{L}[V_c(t)] + \mathcal{L} \left[RC \left(\frac{dV_c}{dt} \right) \right]$$

$$V(s) = V_c(s) + RCsV_c(s)$$

$$V(s) = V_c(s)[1 + sRC]$$

$$\frac{V_c(s)}{V(s)} = \frac{1}{[1 + sRC]}$$



7.11 Ejercicios resueltos:

Ejercicio 1.

Para el sistema mecánico mostrado en la figura, el cual posee dos resortes, un amortiguador, fuerza de roce despreciable entre las ruedas y las superficies de las paredes y aplicándose la fuerza externa $F(t)$, se pide establecer la ecuación que rige el movimiento y el diagrama de bloques correspondiente una vez aplicada la Transformada de Laplace.

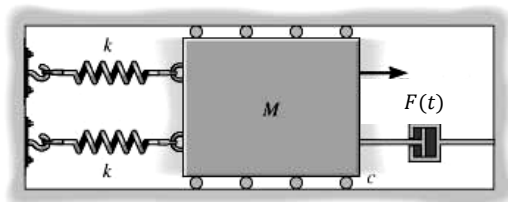
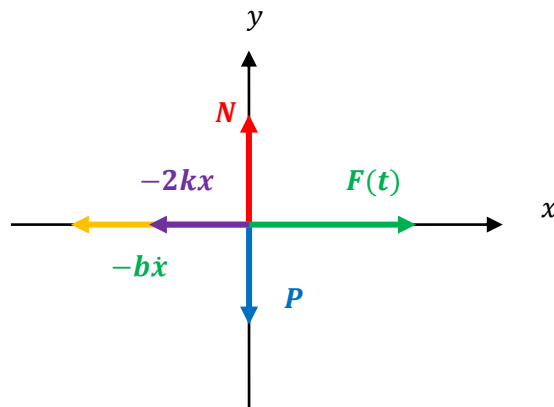


Diagrama del Cuerpo Libre:

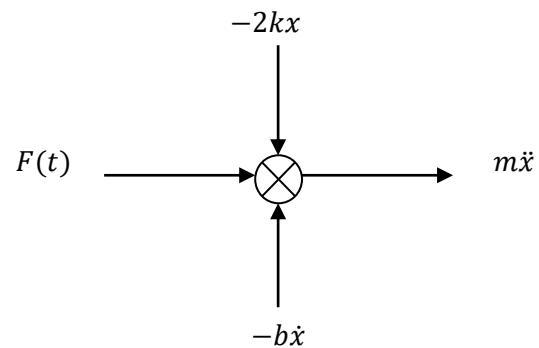


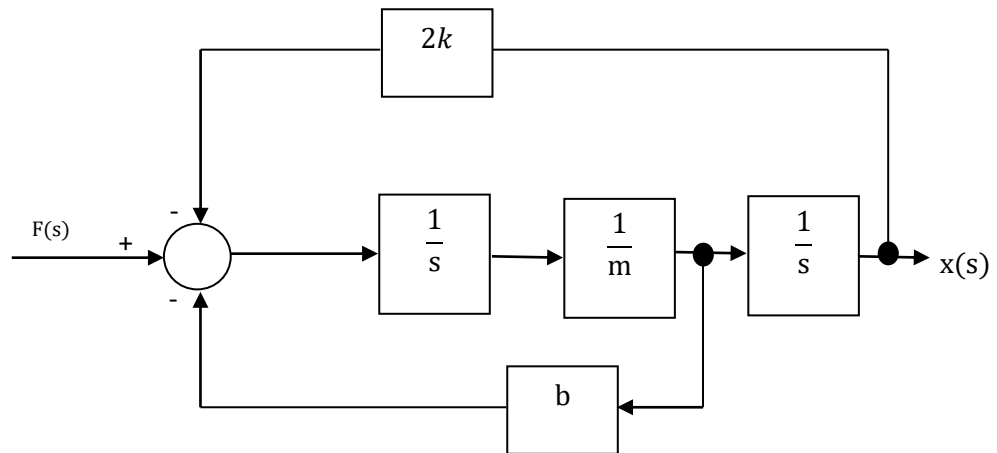
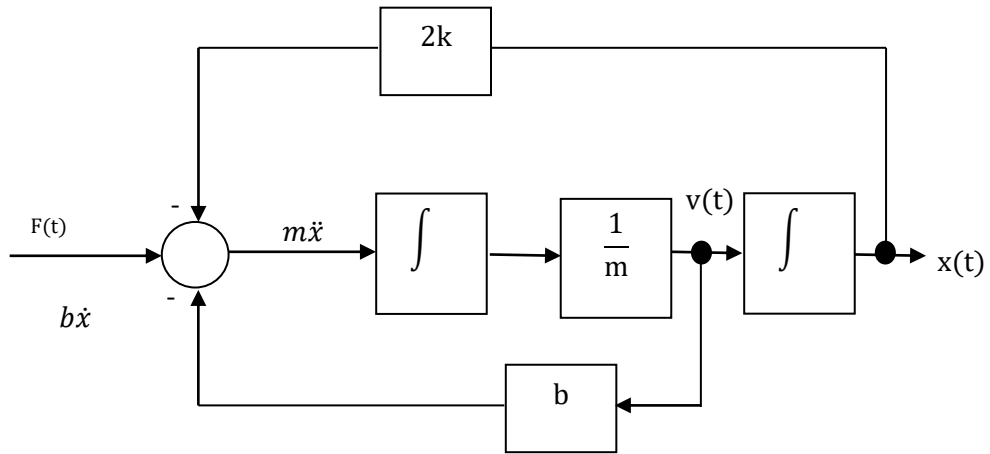
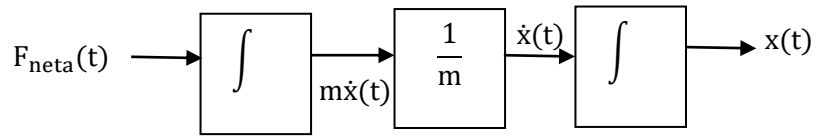
Aplicando Segunda Ley de Newton:

$$\sum F = ma$$

Eje x: $-2kx - b\dot{x} + F(t) = m\ddot{x}$ ec. (1)

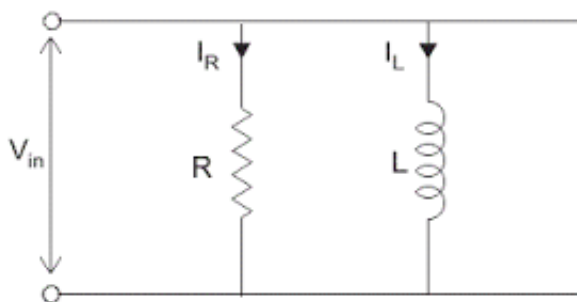
Eje y: $N - P = 0$ ec. (2)





Ejercicio 2.

Para el circuito mostrado en la figura, establezca la ecuación que relaciona la corriente de entrada en función de la de salida $I_L(s)/I_s(s)$, así como el diagrama de bloques correspondiente, usando la Transformada de Laplace.



$$\sum i = 0$$

$$I = I_R + I_L$$

$$I(t) = I_R(t) + I_L(t) \quad \text{ec. (1)}$$

$$I_R(t) = \frac{V_{in}(t)}{R} \quad \text{ec. (2)}$$

$$V_L(t) = L \left[\frac{dI_L(t)}{dt} \right] \quad \text{ec. (3)}$$

Reemplazando ec. (2) en ec. (1):

$$I(t) = \frac{V_{in}(t)}{R} + I_L(t) \quad \text{ec. (4)}$$

Reemplazando ec. (3) en ec. (4):

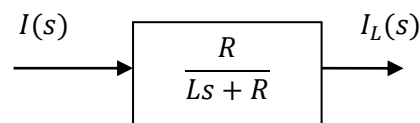
$$I(t) = \left(\frac{L}{R} \right) \left[\frac{dI_L(t)}{dt} \right] + I_L(t) \quad / \mathcal{L}$$

$$I(s) = \left(\frac{L}{R} \right) [sI_L(s) + I_L(s)]$$

$$I(s) = \left(\frac{L}{R} \right) (s + 1) I_L(s)$$

$$I(s) = \left(\frac{Ls + R}{R} \right) I_L(s)$$

$$\frac{I_L(s)}{I(s)} = \frac{R}{Ls + R}$$



Ejercicio 3.

Establecer el diagrama de bloques, usando Transformada de Laplace, para el modelo matemático de temperatura en función del tiempo de un Globo Aerostático, cuya ecuación es:

$$T(t) = \left(\frac{W}{K}\right) (1 - e^{-\left(\frac{K}{m_a c_e}\right)t}) + T_{ext}$$

W : Potencia.

m_a : masa del aire.

c_e : calor específico del aire.

T_{ext} : temperatura del ambiente.

K : constante de pérdidas.

$$T(t) = \left(\frac{W}{K}\right) (1 - e^{-\left(\frac{K}{m_a c_e}\right)t}) + T_{ext} / \mathcal{L}$$

$$\mathcal{L}[T(t)] = \mathcal{L}\left(\frac{W}{K}\right) - \mathcal{L}\left[\left(\frac{W}{K}\right) e^{-\left(\frac{K}{m_a c_e}\right)t}\right] + \mathcal{L}(T_{ext})$$

$$T(s) = \left(\frac{W}{K}\right) \left(\frac{1}{s}\right) - \left(\frac{W}{K}\right) \left(\frac{1}{s - \left(\frac{K}{m_a c_e}\right)}\right) + T_{ext} \left(\frac{1}{s}\right)$$

Ejercicio 4.

Una motocicleta que posee resortes y amortiguadores en ambas llantas, masas en ambas ruedas y resortes, en cierto momento de su desplazamiento se encuentra con una zona irregular de ripio, donde oscila con movimiento armónico amortiguado. Se pide establecer la ecuación que rige el movimiento y el diagrama de bloques correspondiente una vez aplicada la Transformada de Laplace, utilizando el modelo simplificado mostrado en la figura (b).

t: llanta.
s: amortiguador.
v: vehículo.
r: motociclista.

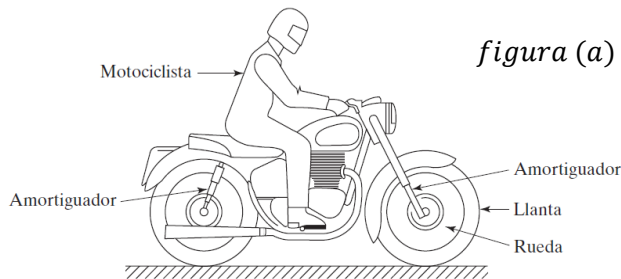
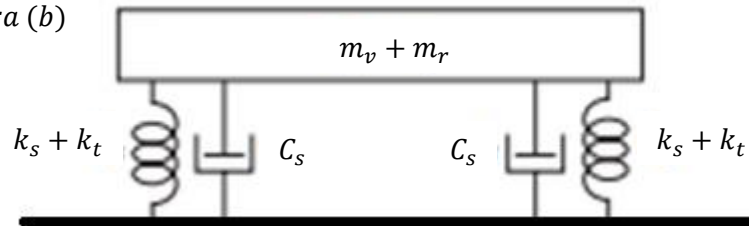


figura (b)

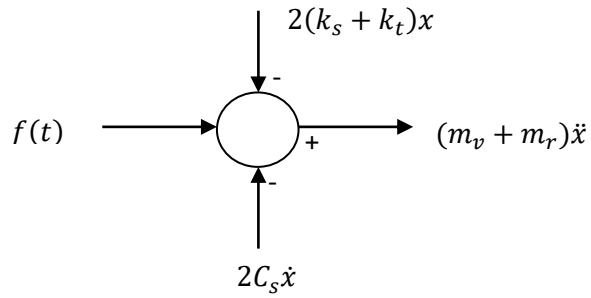


$$\sum F = m\ddot{x}$$

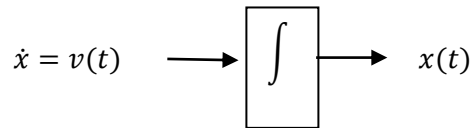
$$f(t) = F_{\text{resorte}}(t) + F_{\text{amortiguador}}(t) + F_{\text{neta}}(t)$$

$$f(t) = -(k_s + k_t)x - C_s\dot{x} - (k_s + k_t)x - C_s\dot{x} + (m_v + m_r)\ddot{x}$$

$$f(t) = -2(k_s + k_t)x - 2C_s\dot{x} + (m_v + m_r)\ddot{x}$$

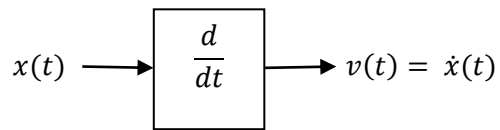


Utilizando integrador y derivador:



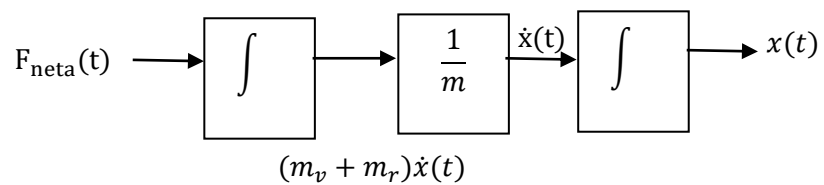
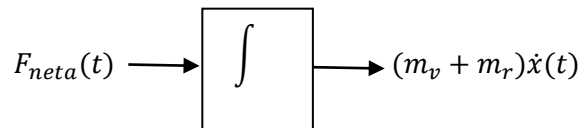
$$v = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$$

$$\int \dot{x} dt = \int \left(\frac{dx}{dt} \right) dt = x$$

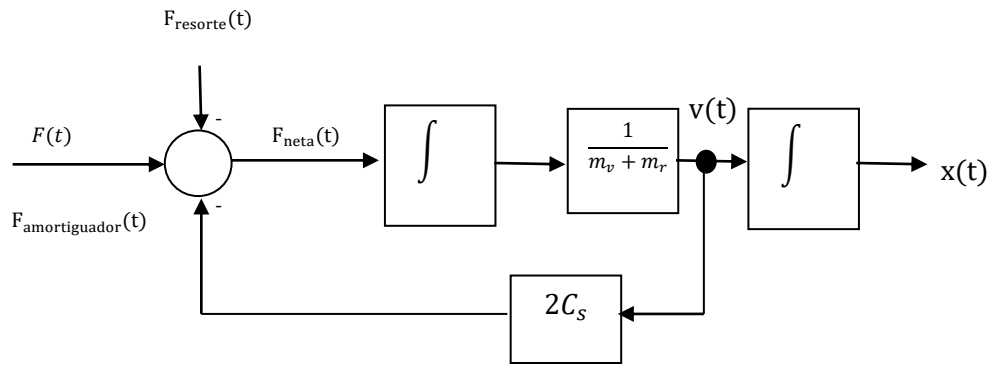


$$\frac{dx}{dt} = v = \dot{x}$$

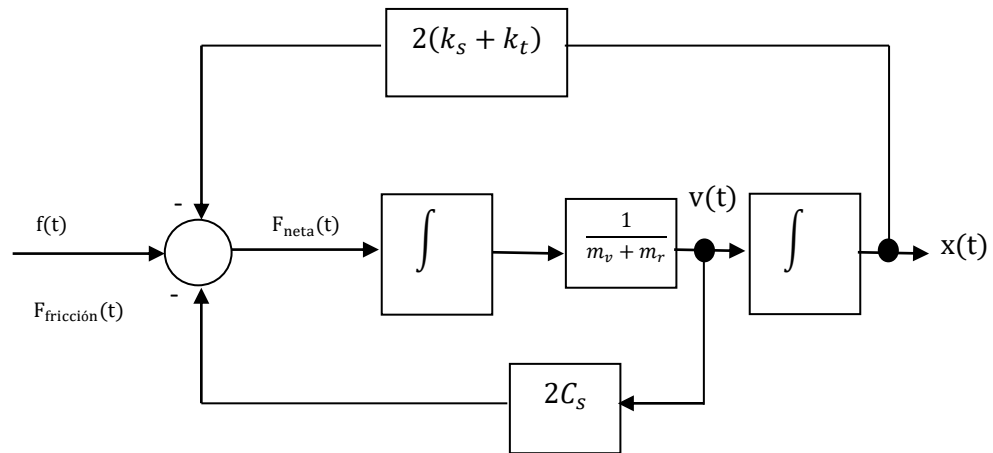
Para la Fuerza Neta:



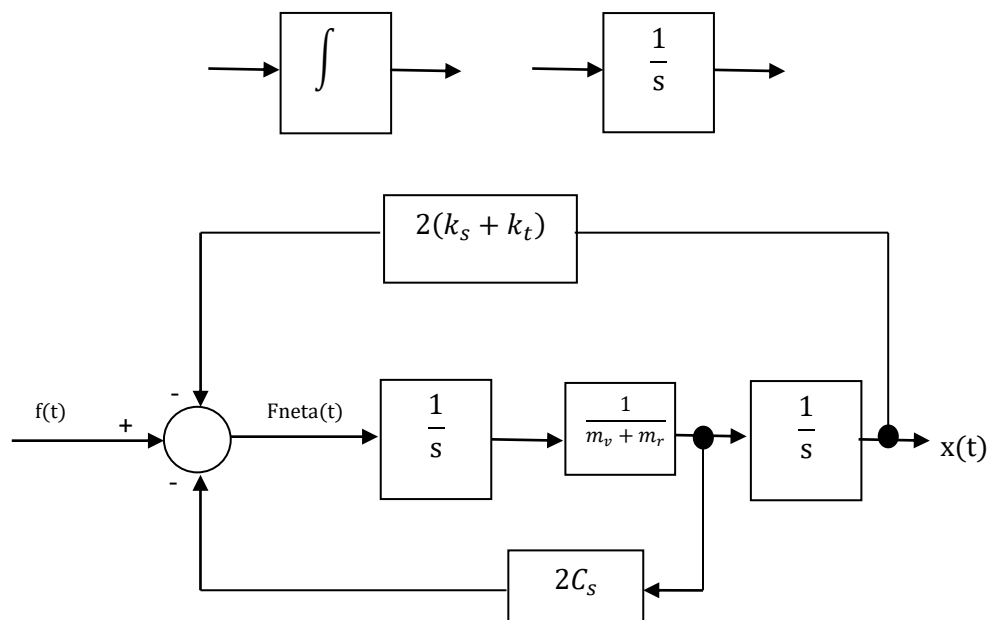
Para la fuerza de fricción: $F_{\text{fricción}}(t) = -2C_s \dot{x}$



Para la fuerza del resorte: $F_{\text{resorte}}(t) = -2(k_s + k_t)x$



Pero:



Ejercicio 5.

Se considera un circuito que consta de un condensador, inicialmente cargado, unido a una resistencia. Se cierra el interruptor y la carga del condensador disminuye exponencialmente con el tiempo. Establezca la función de transferencia que relaciona la corriente de entrada en función de la corriente de salida, así como el diagrama de bloques correspondiente, usando la Transformada de Laplace.

Ley de Ohm	$V_R = IR \quad (1)$
Capacitancia	$C = \frac{Q}{V_C} \quad (2)$
Intensidad de Corriente	$I = \frac{dQ}{dt} \quad (3)$
Constante de tiempo de descarga del capacitor	$\tau = RC \quad (4)$

Para el estudio de la descarga de un capacitor, se considerará un circuito de lazo cerrado, en el que se puede aplicar L.V.K (Ley de Voltaje de Kirchoff), quedando:

$$-V_C - V_R = 0$$

$$V_R = -V_C \quad (5)$$

Reemplazando (1) y (2) en (5):

$$IR = -\frac{Q}{C} \quad (6)$$

(3) en (6):

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_R = -\frac{Q}{C}$$

Despejando, se tiene:

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{dt}{RC}$$

Integrando:

$$\int_0^{Q_0} \frac{dQ}{Q} = -\left(\frac{1}{RC}\right) \int_0^t dt$$

$$\ln\left[\frac{Q(t)}{Q_0}\right] = -\frac{t}{RC}$$

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Dividiendo por el valor de la capacitancia:

$$\frac{Q(t)}{C} = \left(\frac{Q_0}{C}\right) e^{-\frac{t}{RC}}$$

Se tiene:

$$V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Para construir el diagrama de bloques correspondiente:

$$V(t) = V_c(t) + V_R(t)$$

$$V(t) = V_c(t) + i(t)R$$

Pero:

$$i(t) = C\left(\frac{dV_c}{dt}\right)$$

$$V(t) = V_c(t) + RC\left(\frac{dV_c}{dt}\right)$$

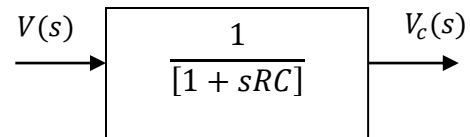
Aplicando Transformada de Laplace, considerando las condiciones iniciales cero:

$$\mathcal{L}[V(t)] = \mathcal{L}[V_c(t)] + \mathcal{L}\left[RC\left(\frac{dV_c}{dt}\right)\right]$$

$$V(s) = V_c(s) + RCsV_c(s)$$

$$V(s) = V_c(s)[1 + sRC]$$

$$\frac{V_c(s)}{V(s)} = \frac{1}{[1 + sRC]}$$



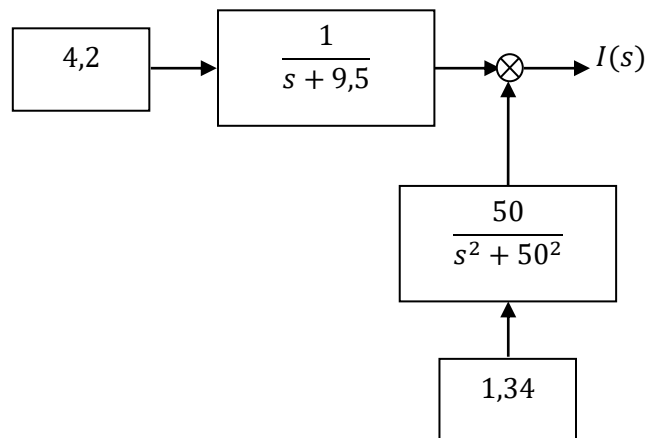
Ejercicio 6.

Establecer el diagrama de bloques, usando Transformada de Laplace, para el modelo matemático de intensidad de corriente en función del tiempo que circula por un circuito eléctrico, dada por:

$$i(t) = 4,2e^{-9,5t} + 1,34\text{sen}(50t)$$

$$i(t) = 4,2e^{-9,5t} + 1,34\text{sen}(50t) \quad / \mathcal{L}$$

$$I(s) = 4,2\left(\frac{1}{s + 9,5}\right) + 1,34\left[\frac{50}{s^2 + 50^2}\right]$$



7.12 Etapas de trabajo sugeridas, para llevar a cabo una investigación en la búsqueda de un modelo.

Para establecer un plan de trabajo es recomendable trabajar con etapas que nos permitan llevar a cabo el modelado. Se proponen son las siguientes etapas:

Etapas 1: Planteamiento del Problema-
Revisión bibliográfica.

Etapas 2: Marco Teórico-Diseño y propuesta de solución.

Etapas 3: Toma de datos-
Modelamiento.

Etapas 4: Conclusión acerca del funcionamiento del modelo planteado.

A continuación se describen de manera detallada las sugerencias, para cada una de las etapas mencionadas anteriormente:

Etapa 1: Planteamiento del Problema-Revisión bibliográfica.

Introducción	Se describe el alcance (es decir, que el lector pueda hacerse una idea sobre el contenido del texto) del trabajo y se da una breve explicación o resumen de éste. Se deben explicar algunos antecedentes que son importantes para el posterior desarrollo del tema central.
Esfuerzos	Se refiere a aquellos antecedentes que se tienen respecto de otras investigaciones que se han realizado, para resolver el problema que se plantea.
Justificación de la investigación	Se explican las razones o motivos por los cuales se pretende realizar la investigación. Debe ser breve y con argumentos sólidos y convincentes. Es fundamental responder a las preguntas: por qué y para qué se va a llevar a cabo dicha investigación.
Planteamiento del problema	Los criterios, de acuerdo con Kerlinger (1975), para plantear adecuadamente el problema de investigación son: el problema debe expresar una relación entre dos o más variables; el problema debe estar formulado claramente y sin ambigüedad como pregunta (por ejemplo, ¿qué efecto?, ¿en qué condiciones...?, ¿cuál es la probabilidad de...?¿cómo se relaciona _____ con _____...?, etc; el planteamiento implica la posibilidad de prueba empírica. Es decir, de poder observarse en la realidad. Por ejemplo, si alguien piensa estudiar qué tan sublime es el alma de los adolescentes, está planteando un problema que no puede probarse empíricamente pues lo sublime y "el alma" no son observables. Claro que el ejemplo es extremo, pero nos recuerda que las ciencias trabajan con aspectos observables y medibles en la realidad.
Planteamiento de objetivos	Se deben plantear el objetivo general y los específicos. El logro de los objetivos específicos llevará a que se cumpla el objetivo general de la investigación.
Mapa conceptual	Los mapas conceptuales son herramientas gráficas para organizar y representar el conocimiento. Incluyen conceptos, usualmente encerrados en círculos o cajitas de algún tipo, y relaciones entre conceptos indicados por una línea conectiva que enlaza los dos conceptos. Las palabras sobre la línea, denominadas <i>palabras de enlace</i> o <i>frases de enlace</i> , especifican la relación entre los dos conceptos.
Revisión bibliográfica	Corresponde a la lectura y análisis de diversas fuentes de información, tales como, libros, paper y/o publicaciones diversas que guardan relación con el problema que se ha planteado. Debe establecerse un resumen de los más importantes, con las referencias correspondientes.

Etapa 2: Marco Teórico-Diseño y Propuesta de solución.

Marco Teórico.

Delimitación	Corresponde a plantear de forma explícita el objeto de estudio, delimitándolo espacial y temporalmente, justificando el por qué de dichos límites, lo cual se refiere al área de investigación en que se enmarca el estudio.
Compendio	Muestra una breve descripción de lo esencial del tema específico, por ejemplo, energía solar, flotabilidad, etc.
Teoría	Se deben describir brevemente las teorías, enfoques teóricos, postulados, conceptos, etc., que sustentarán o fundamentarán el abordaje y/o construcción del objeto de estudio, así como toda la investigación en general. Este apartado de la tesina es muy importante puesto que proporciona su carácter de seriedad académica y separa lo que sería una mera indagación de sentido común de una verdadera investigación.
Marco de referencia	Una vez analizada la teoría que se utilizará, se deberá indicar cuál(es) será(n) las líneas de investigación que se seguirán dentro de la temática a investigar.

Diseño y Propuesta de solución.

Características	Se refiere a qué tipo de investigación es la que se desarrollará, es decir, cualitativa, cuantitativa o mixta, justificando el por qué de cada una de ellas, según corresponda.
Muestra	Corresponde a un subconjunto de la población, la que se obtiene con el objeto de conocer las propiedades o características de esta última.
Instrumentos	Se refiere a aquellos instrumentos que se utilizarán en la toma de los datos, pueden ser instrumentos físicos, por ejemplo, sensores y también estadísticos, por ejemplo, cuestionarios, encuestas, etc.
Mecanismos	Se requiere que se indiquen las formas de análisis de la información, por ejemplo: teóricas, experimentales, cualitativas y/o cuantitativas, etc.
Desarrollo de diseño	Del diseño se desprende el plan de acción a llevar a cabo para obtener los datos una vez que se ha establecido el problema de investigación.
Control de variables	Se debe considerar qué variables serán cualitativas, cuantitativas o intervinientes. Las intervinientes corresponderán a aquellas que no se pueden modificar, en cambio las variables independientes y dependientes se encuentran relacionadas entre sí.
Presentación de la información	Corresponde a la muestra de la información, mediante tablas, gráficos (de barras, de pastel, pictogramas, etc), fotografías, etc.
Diseño experimental	Debe indicar cuáles serán los pasos que se seguirán para llegar a obtener las conclusiones correspondientes al trabajo experimental, por ejemplo: toma de datos, construcción de tablas, construcción de gráficos, cálculo de constantes, determinación de modelo matemático, comparación con la teoría, conclusiones, etc.
Relevancias	Se refiere a la comparación con otras alternativas de solución, en la que se muestre que la propuesta de solución del problema es novedosa, de mejor calidad, más óptima, etc, en comparación con otras ya propuestas.
Limitaciones	Corresponde a todos aquellos aspectos que de alguna manera afectan el desarrollo del estudio, por ejemplo, materiales, recursos humanos, recursos financieros, etc, que permanecerán hasta finalizar la investigación. Este ítem está referido a los aspectos que, de alguna manera afectan la realización del estudio.
Proyecciones	Se debe indicar, a partir del producto obtenido en el desarrollo de la investigación, cuáles son las interrogantes que surgen y que pueden ser fuente de nuevo problemas.

Descripción de la propuesta	Se debe escribir en forma resumida la propuesta de solución que se plantea para la resolución del problema planteado.
Definiciones	En este punto deben definir aquellos nuevos elementos, conceptos, teorías que consideran necesarias para dar solución a lo planteado como problema.
Planteamiento de la propuesta	En forma detallada, paso a paso, debe plantear la propuesta.
Etapas Propuesta	Debe indicar en forma detallada las etapas de la propuesta de solución a la problemática planteada. Este punto es muy importante para el desarrollo de la tesina, pues corresponde a lo que deberán realizar hasta entregar el producto final. Esta etapa generalmente se presenta en una carta Gantt o en bloques.
Evaluación de la propuesta	Esta evaluación puede ser de carácter teórica, práctica, económica, etc, pero teniendo en cuenta el modelo matemático que se está desarrollando para ello.

Etapas 3: Toma de datos-Modelamiento.

Registro de datos	Corresponde a presentar los datos averiguados u obtenidos, a través de tablas u otro tipo de registro.
Gráficas	Se deben presentar las gráficas, de acuerdo a la forma previamente definida de presentación de la información, ya sea, en forma de barras, puntos, etc.
Uso de Excel u otro programa	Es necesario para el tratamiento de la información, utilizar algún programa que permita el análisis de la misma, ya sea de forma estadística o en algunos casos, de acuerdo al trabajo desarrollado, de algún software específico.
Interpretación de datos	Los datos, constantes, áreas bajo la curva, puntos de inflexión, etc, deben ser interpretados de acuerdo a los conceptos teóricos previamente planteados, estableciendo las relaciones adecuadas con el modelo matemático planteado. Un valor por sí solo no tiene ninguna importancia dentro del trabajo de investigación.
Modelo planteado	El modelo planteado debe presentar a lo menos dos variables independientes y una dependiente, así como también las correspondientes variables intervinientes. Para el planteamiento del modelo matemático puede hacer uso del análisis dimensional, tema visto en Física. Se sugiere revisar el Manual de Laboratorio de Física. Recuerde que: ○ el modelo de un sistema es básicamente una herramienta que permite responder interrogantes sobre este último sin tener que recurrir a la experimentación sobre el mismo. Es una representación siempre simplificada de la realidad (si el sistema físico existe) o es un prototipo conceptual (proyecto del sistema físico). ○ los modelos matemáticos son expresiones matemáticas que describen las relaciones existentes entre las magnitudes caracterizantes del sistema. Pueden ser sistemas de ecuaciones, inecuaciones, expresiones lógico-matemáticas. Todas estas expresiones vinculan variables matemáticas representativas de las señales (señal: representación de una información, a través de valores de una magnitud física y/o química) en el sistema, obtenidas a partir de las relaciones entre las correspondientes magnitudes físicas y/o químicas.
Diagrama de bloques	Un diagrama de bloques de un sistema es una representación gráfica de las funciones que lleva a cabo cada componente. Tal sistema muestra las relaciones entre los diversos componentes. En un diagrama de bloques se enlazan una con otra todas las variables del sistema, mediante bloques funcionales. El bloque funcional o simplemente bloque es un símbolo para representar la operación matemática que sobre la señal de entrada hace el bloque para producir la salida.
Prueba de modelo	Se deben ingresar valores para verificar si el modelo planteado cumple con las condiciones del sistema. Por ejemplo: podría suceder que al evaluar una variable con un cero, el modelo tienda a infinito. Entonces habría que preguntarse si esta respuesta del modelo planteado es correcta o no, y por lo tanto, hacer una interpretación de lo sucedido.

Porcentaje de error	Consiste en comparar la señal de salida con la de entrada o también determinar el porcentaje de error, a través del cálculo que compara los valores experimentales con los teóricos.
Interpretación porcentaje de error	Debe indicar si el porcentaje de error corresponde a lo esperado, justificando si así lo fuera o en caso contrario también hacerlo.
Fundamentación	Es necesario realizar una afirmación, usando para ello los conceptos teóricos fundamentales, así como los datos experimentales obtenidos de las mediciones, respecto a si el modelo planteado ha permitido solucionar el problema planteado. Es por ello que el problema debe indicar claramente las variables que se pretenden estudiar.
Modificaciones	Cuáles son las modificaciones y/o restricciones que debe realizar a su modelo, estableciendo, por ejemplo, los rangos de aplicación del mismo, para dar solución al problema planteado.
Costos	Debe hacer un análisis de los costos involucrados en cuando a la implementación de la solución, para ello recurra a los conceptos y aplicaciones que ha aprendido en asignaturas correspondientes al área de la administración, contabilidad, etc.
Conclusiones	Esto debe ser coherente con el desarrollo de la investigación, específicamente con el planteamiento del problema, la hipótesis y los objetivos que se han planteado en la investigación, tanto general, como específicos, para de esa forma hacer ver si se ha cumplido o no lo planteado y por qué. La conclusión permitirá indicar la obtención de un nuevo conocimiento o la comprobación de alguna ley o teoría.
Bibliografía	Corresponde a la lectura y análisis de diversas fuentes de información, tales como, libros, paper y/o publicaciones que guardan relación con el problema que se ha planteado. Debe establecerse un resumen de los más importantes, con las referencias correspondientes.

GLOSARIO.

Antrópica: producto o modificado por la actividad humana.

Ataxia: desorden, irregularidad, perturbación de las funciones del sistema nervioso.

Compresor: generalmente constituido por un cilindro que comprime, es un elemento de empuje accionado por un fluido a presión.

Holismo: doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto de la suma de las partes que lo componen.

Homeostasis: conjunto de fenómenos de autorregulación, que conducen al mantenimiento de la constancia en la composición y propiedades del medio interno de un organismo.

Principio de Incertidumbre: es imposible determinar simultáneamente la con precisión ilimitada la coordenada de una partícula y la componente correspondiente del momento (Heisenberg, W.1927)

Sumidero: conducto o canal por donde se sumen las aguas.

Tobera: tubo troncocónico por donde se inyecta aire, agua o combustible en dispositivos o instalaciones como fraguas, altos hornos, motores o turbinas.

Transductor: dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica.

Turbina: rueda hidráulica, con paletas curvas colocadas en su periferia, que recibe el agua por el centro y la despiden en dirección tangente a la circunferencia, con lo cual aprovecha la mayor parte posible de la fuerza motriz.

BIBLIOGRAFÍA.

Araya Ricardo, Plaza Bombal Manuel (2011). Generación de Electricidad Inducida por Oleaje. Editorial Académica Española.

Ashby, W.Ross. An Introduction to Cybernetics. (1957). Editorial Chapman&Hall Ltd.Londres.

Beer,S. Decisions and Control. (1970). London, J.Wiley Sons Inc.

Bertalanffy, L. Winberg, G. (1981). Tendencias en la teoría general de sistemas. Alianza Editorial.

Bravo, J. (1998). Análisis de Sistemas. Editorial Evolución.

Frieden, D. (1993). Principios de los Sistemas de Armas Navales. Instituto de Publicaciones Navales.

Guille.J. (1982). Théorie et calcul des asservissements linéaires. BORDAS, Paris.

Hall, A. (1962). A Methodology for Systems Engineering. Van Nostrand.

Johansen, O. (2004). Introducción a la Teoría General de Sistemas. Editorial Limusa.

Jordán, N, 1960. Some thinking about system, Corporación RAND.

J.E.McGrath, P.G.Nordlie, W.S.Vaughan. (1960). A Systematic Framework for Comparison of System Research Methods, Human Sciences, Inc.

Kuo, Benjamín. (1996). Sistemas de Control Automático. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

Luhmann, N. (1990). Sociedad y sistema: la ambición de la teoría. Ediciones Paidós.

Manrique, J. (2001). Termodinámica. Oxford University Press.

Optner, S. (1973). Análisis de Sistemas. Fondo de Cultura Económica. México. (Dentro de este está Joseph

Real Academia Española. (2001). Diccionario de la Lengua Española. Volumen 1-2. Espasa Calpe.

Diagramas de bloques. José Manuel Rocha Núñez. Elizabeth Lara. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.