



INAOE

“Metodología para la identificación de sistemas a través de patrones”

Por

Ing. Francisco Sánchez Canto

Tesis sometida como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN LA ESPECIALIDAD DE ELECTRÓNICA

en el

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

Febrero 2009

Tonantzintla, Puebla

Supervisada por:

Dr. Gustavo Rodríguez Gómez

Dr. Rogerio A. Enríquez Caldera

©INAOE 2009

El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias en su totalidad o en partes de esta tesis



I

RESUMEN

La identificación de sistemas es un área de gran importancia dentro del desarrollo de controladores para las plantas en la industria. Es la técnica de la que hemos de valernos para obtener un modelo matemático cuando la planta presenta una dinámica complicada o de la cual simplemente no conocemos sus leyes físicas.

La experiencia del individuo que trabaja el campo de la identificación de sistemas es la principal herramienta que éste posee para lograr tener un modelo matemático satisfactorio. La experiencia sin embargo, es adquirida con el paso del tiempo enfrentándose a diferentes situaciones en la práctica, por lo tanto, parece ser una tarea de muchos años el lograr ese conocimiento.

La teoría de patrones propone un método de sistematizar la experiencia de aquellos que la han conseguido para transmitirla hacia el individuo que apenas incursiona en el campo de la identificación de sistemas.

En este trabajo de tesis se presenta la metodología desarrollada para lograr este objetivo, la extracción del conocimiento de los expertos. Se presenta también el conjunto de patrones que se obtuvieron del campo de la identificación de sistemas, así como el lenguaje de patrones que muestra las relaciones entre ellos.

ABSTRACT

System identification is an important topic when it comes to talk about controller design for industrial plants. It is the technique that we are meant to use to obtain a mathematical model when the plant dynamics are too complicated or we just don't know its physical laws.

Experience for a person who practices system identification is the main tool that he will have to accomplish a satisfactory mathematical model. Nevertheless, experience is not easy to obtain. It will take some time and to face different practical situations. Considering this, it may look like a long-term task to reach that level of knowledge.

Pattern theory proposes a method to organize the experience of those who have obtained it to transmit it to the person who is just starting in the system identification field.

This work presents the developed methodology to accomplish that objective, the extraction of the expert's knowledge. It is also presented the pattern catalogue obtained for system identification as well as the pattern language showing the relations between the patterns.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su apoyo incondicional por la confianza depositada en mí, por el esfuerzo invertido y por brindarme la formación que me ha traído hasta donde estoy, espero con su apoyo llegar aún más lejos.

A mis asesores, por la interminable paciencia y las horas de dedicación y esfuerzo puestas en mi educación y en este trabajo que es tan suyo como mío. Gracias por sus invaluable enseñanzas.

Al INAOE por todas la atenciones recibidas de parte de las personas que laboran en el instituto, por hacer de mi estancia aquí una agradable experiencia. Al CONACyT por el apoyo económico para la realización de este trabajo.

Finalmente, a ustedes que uno a uno son parte de esa fortaleza que me mantiene siempre optimista ante la vida, a mis amigos.

“Que las leyendas de los antiguos sean una lección para los modernos, a fin que el hombre aprenda en los sucesos que ocurren a otros que no son él... por esto, gloria a quien guarda a los relatos de los primeros como lección dedicada a los últimos”

Proverbio árabe “Las mil y una noches”

Contenido

Capítulo 1

Introducción	1
1.1 Definición del problema.....	4
1.2 Plan de solución.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	6
1.4 Hipótesis	6
1.5 Contribuciones de la tesis	7
1.6 Organización de la tesis.....	7

Capítulo 2

Estado del Arte y Metodología.....	9
2.1 Estado del Arte.....	10
2.2 Metodología	13

Capítulo 3

Conceptos Básicos	15
3.1 Teoría de Patrones.....	16
3.1.1 Origen de los patrones	16
3.1.2 Definición de Patrón	18
3.1.3 Minería de Patrones	18
3.1.4 Clasificación de Patrones	19
3.1.5 Lenguaje de Patrones.....	22
3.1.5 Efecto Delta	24
3.2 Nociones Básicas de la Identificación de Procesos	25
3.2.1 ¿En dónde son necesarios los modelos?	25
3.2.2 Tipos de modelos	26

3.2.3 Procedimiento de la Identificación	28
3.2.4 ¿Cómo validar modelos?	32
Capítulo 4	
Lenguaje de Patrones.....	33
4.1 Estructura de los patrones	34
4.2 Lenguaje de Patrones	36
4.3 El conjunto de Patrones	37
4.3.1 Patrones en modelado físico	39
4.3.2 Patrones para la fase de Experimentación	47
4.3.3 Patrones para la fase de Pre-procesado	53
4.3.4 Patrones para la fase de Obtención de Parámetros	61
4.3.5 Patrones para la fase de Validación del modelo.....	67
Capítulo 5	
Conclusiones	73

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El control de sistemas es una de las áreas de mayor impacto en la actualidad, la gran mayoría de procesos tecnológicos están regidos por una ley de control, es decir, su comportamiento es regulado de acuerdo a las necesidades de un usuario, por esto, vale la pena enfocar la investigación hacia el desarrollo de nuevas metodologías que ayuden a llevar a cabo el proceso de control de forma más sencilla.

La identificación de sistemas es frecuentemente utilizada en el desarrollo de una ley de control, ya que no siempre contamos con las leyes físicas que rigen el comportamiento de los procesos. El dominio de ésta técnica puede favorecer en gran medida a la sencillez en la elaboración de modelos necesarios para la aplicación de las técnicas de control que conocemos.

Actualmente, en la industria, podemos encontrar gran cantidad de procesos con un determinado propósito dentro de una línea de producción. En todo proceso se requiere contar con una expresión matemática, llamada modelo, que nos permita aplicar las técnicas de control necesarias para que su comportamiento sea el adecuado al propósito que se aplique.

En ocasiones, la naturaleza de la planta, las leyes físicas que rigen su comportamiento, es de carácter desconocido para nosotros. Es en este caso donde entra en juego la identificación de sistemas, como una herramienta que nos permite obtener una aproximación al modelo real de una planta contando únicamente con datos medidos que se obtienen a partir de una prueba realizada en la planta o de su operación normal.

En este tipo de procesos, es necesario contar con un modelo de calidad que nos asegure que refleja, de acuerdo a nuestras necesidades, el comportamiento de la planta. La falta de experiencia en un individuo se ve reflejada en modelos que no satisfacen este punto, o modelos matemáticos que pueden resultar sobrados para la aplicación que les concierne. Puede darse el caso también de que el modelo resultante sea tan complicado que únicamente quien lo diseñó sea capaz de realizarle alguna modificación.

Concluimos entonces que es tan importante el tener un modelo matemático de una planta como la calidad del mismo. De no ser así podemos caer en errores en el diseño de los controladores que pueden traer graves consecuencias para el proceso que se está trabajando. Y para que esto sea posible es necesario que el diseñador de la ley de control cuente con un vasto conocimiento de la identificación de sistemas.

La habilidad para identificar un proceso se adquiere mediante la experiencia. La aplicación de las técnicas de Identificación de Sistemas nos va proporcionando con el paso del tiempo un criterio del cual poder valernos al momento de enfrentar una situación que requiera una decisión en el proceso. También es necesaria la experiencia para poder realizar de una forma organizada los pasos necesarios y no

caer en redundancias. La elección del modelo, el orden adecuado y otras etapas del desarrollo son ejemplo de estas situaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos observar que los beneficios que pueden derivarse de la presente investigación son más de uno. El contar con un método que nos permita obtener de alguna manera ese conocimiento del proceso desde las primeras veces que nos enfrentamos a este proceso, tendrá como resultado una disminución del tiempo para lograr obtener un modelo y en la utilidad misma de este modelo, que lograría adecuarse de una mejor forma a la aplicación que se requiera.

A primera vista podría parecer que el beneficio es exclusivo de las personas que apenas empiezan en el camino de la identificación. Sin embargo, para aquellas personas que ya cuentan con toda la experiencia necesaria para lograr esto sin tener que recurrir a experiencia documentada, como lo son los patrones, también hay un gran beneficio. Se logra mediante el uso proliferado de patrones, un lenguaje común entre personas que trabajan en el mismo campo, en este caso el de identificación, que facilita en gran medida el proceso de comunicación cuando se trata de trabajos que han de ser realizados por un equipo de personas, evitándonos de este modo tener que explicar muchos detalles al sustituir éstos por el simple, pero significativo, nombre de un patrón.

Martin Fowler, autor de dos libros sobre el tema nos menciona otro beneficio acerca de los patrones que puede no resultar obvio a primera instancia, el de la capacitación o enseñanza(1). Para un experto en el campo puede resultar una tarea difícil el transmitir el conocimiento logrado a un grupo de recién iniciados en el campo. Para él, los patrones no suponen mucho beneficio al momento de realizar su trabajo. Sin embargo, si se toma el tiempo de analizarlos, descubrirá que puede utilizarlos para fácilmente dotar a sus aprendices con las herramientas necesarias para desempeñar un buen papel.

1.1 Definición del problema

Desgraciadamente, los patrones, aunque aplicables a innumerables campos de estudio o trabajo, son un concepto que ha sido obviado por mucho tiempo. La transmisión de experiencia de individuo a individuo no ha sido tratada con la suficiente atención que se debería, resultado esto en algo en a lo que certeramente describe Sanz como “la reinención de la rueda” una y otra vez. Son pocos los campos que han aprovechado este recurso y en todos ellos ha demostrado ser de mucha utilidad.

El problema que intentamos atacar con el desarrollo de este trabajo radica la inexistencia de un método en la actualidad, en el campo de la identificación de sistemas, que nos permita lograr la transmisión de los conocimientos de un experto de una forma sistematizada, factible de ser entendida y utilizada por un individuo sin experiencia.

1.2 Plan de solución

Para solventar el problema expuesto, lo que se intenta en este trabajo es desarrollar un método que realice la labor de organizar y sistematizar la experiencia en el campo de Identificación de Sistemas. Con base en la teoría de Patrones en Software, se pretende realizar un catálogo de patrones de análisis y diseño, así como la metodología necesaria para su aplicación.

Como puede resultar obvio, el éxito o fracaso de la investigación dependerá en gran medida del modo en el que abordemos el problema. Necesitaremos un plan de solución que nos guie a través del camino de la investigación, considerando todas las variables relacionadas con el problema pero que al mismo tiempo no pierda de vista nuestro objetivo final.

Para lograr lo que se propone se contempla, en primera instancia, realizar una investigación sobre los tópicos referentes a la teoría de patrones, sus orígenes, sus fuentes, las principales ideas o corrientes ideológicas en el tema. El analizar cómo la teoría fue llevada del campo de la arquitectura al campo del software a de

otorgarnos las herramientas necesarias para hacer lo análogo en el campo de la identificación.

Durante este proceso se enfatizará en la comprensión de los conceptos básicos de la teoría de patrones, así mismo, se observará la metodología propuesta en el campo de software con el fin de poder proyectarla al campo de la identificación, teniendo como objetivo lograr una proyección tan acertada como los primeros.

Una segunda etapa contempla el estudio de la aplicación de las técnicas de Identificación, haciendo mayor énfasis en los aspectos de análisis que en el detalle de los métodos matemáticos utilizados por estas técnicas. A partir de este estudio se pretende descubrir los patrones que formarán parte del catálogo que se propone, observando la forma en que se resuelven los problemas en la bibliografía consultada.

Un detalle importante de mencionar en esta etapa es el de delimitar el trabajo. Para que nuestro trabajo tenga la calidad que esperamos debemos de considerar algo muy importante y que no podemos perder de vista: el enfoque. Debemos delimitar el alcance de nuestro trabajo, de lo contrario, nos perderemos en la vastedad de los temas relacionados con la identificación de sistemas y podría ser necesario dedicar mucho más tiempo del que se dispone para finalizar. La revisión y familiarización con éstos conceptos y técnicas nos permitirá tomar la decisión de los temas que cubriremos con el desarrollo de este trabajo.

Finalmente se propone elaborar la metodología mediante la cual se hará uso del catálogo de patrones, ya que sin éste elemento los patrones no tienen la misma utilidad. Dicha metodología no debe ser estricta o restrictiva, ya que perdería la esencia de los patrones, que nos dice que los patrones deben de ser adaptados a nuestros problemas del modo que más nos convenga, de lo contrario, resultarían en un instructivo o en un algoritmo para resolver problemas específicos. Nos menciona Fowler que los patrones son “panqués a medio hornear, es decir, siempre tienes que terminarlos tú y adaptarlos de acuerdo a tu ambiente”.

1.3 Objetivos de la investigación

Toda investigación necesita tener un fin para tener sentido, es por esto que necesitamos plantearnos objetivos. Tomando en consideración lo expuesto anteriormente, este trabajo tiene como objetivo principal

- La elaboración de un catálogo de patrones de análisis y diseño en Identificación de Sistemas y una metodología para la aplicación de estos patrones

No obstante, para lograr llevar a cabo el objetivo general se debe lograr antes algunos objetivos parciales o secundarios,

- Obtener la técnica de obtención de patrones a partir del estudio de la teoría de éstos.
- Identificar dentro del campo de identificación, la parte sobre la que desarrollaremos el trabajo y de la cual obtendremos los patrones
- La identificación de los patrones dentro de la bibliografía consultada
- Documentar y organizar estos patrones.

1.4 Hipótesis

Nuestra hipótesis de trabajo es que la teoría de patrones es factible de ser llevada al campo de la Identificación de Sistemas, basándonos en el hecho de que ya una vez ha sido llevada con éxito de un campo a otro, como en el caso del software.

También se argumenta que la teoría de patrones en el campo de la Identificación de Sistemas facilita y agiliza este proceso, una vez más, apoyados en los beneficios observados en el campo del software, en donde ha probado ser de gran utilidad y ha tenido gran aceptación por el gremio.

Puede preverse también que un catálogo de patrones representa un gran beneficio al aportar un lenguaje sencillo para los involucrados en el campo de la

identificación de sistemas, llevando el lenguaje común un nivel más arriba en la escala de abstracción.

1.5 Contribuciones de la tesis

La contribución principal de la tesis, como se ha mencionado, es la elaboración de un catálogo de patrones y la metodología correspondiente para su aplicación.

Sin embargo, en un sentido más general, es la aportación de una metodología que contribuya a mejorar el proceso de adquisición de habilidades necesarias para el proceso de Identificación de Sistemas. Es la mejora de la comunicación entre principiantes y/o expertos en la materia. Se busca también apoyar a la aplicación de la teoría de patrones, promover su utilización y que sea llevada a distintos campos en donde se puedan ver sus beneficios.

Resumiendo lo anterior tenemos las siguientes aportaciones

- Descubrimiento de patrones en el campo de la identificación de sistemas
- La clasificación de los patrones descubiertos
- Un lenguaje de comunicación entre expertos y no expertos colaborando dentro del mismo campo de estudio
- Una metodología de aplicación
- La elaboración de un catálogo a partir de los patrones documentados

1.6 Organización de la tesis

La tesis está organizada de una manera coherente con el plan de ataque al problema, el primer capítulo es introductorio al trabajo y en él se intenta dotar al lector de un panorama general del tema de trabajo y explicar la importancia de la de la investigación en curso.

En el capítulo 2 se elabora un análisis de la literatura consultada exponiendo los principales puntos de los diferentes autores dentro del área tanto de patrones

como de identificación, con el fin de ubicar al lector en el contexto actual del problema y se propone también la metodología que aplicará para el desarrollo del trabajo.

En el capítulo 3 se le proporcionan al lector los conceptos básicos de las dos áreas que intervienen en este trabajo: la de patrones y la de identificación, de este modo se familiarizará más con los términos utilizados en el desarrollo del trabajo.

En el capítulo 4 se presenta el desarrollo de la investigación, se presentan los patrones obtenidos en este trabajo y se presenta una breve reseña acerca de ellos.

Finalmente en el capítulo 5 se presentan las conclusiones de la investigación y las líneas para posible trabajo futuro.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE Y METODOLOGÍA

El estudio de los patrones, aunque no ha sido completamente explorado, no es reciente, a lo largo de los últimos años ha venido cobrando fuerza y presentándose en diferentes campos de aplicación. A continuación se presenta un repaso de los trabajos que han sido realizados referentes a la aplicación de patrones y el desarrollo de metodologías basadas en esta teoría.

También, dedicaremos nuestra atención a la metodología que aplicaremos para el desarrollo de nuestra investigación.

2.1 Estado del Arte

En la mayoría de los casos en que nos enfrentamos a resolver un problema hay algo que es seguro, alguien más ha estado en nuestra situación. Si aquella persona ha sido lo suficientemente cautelosa de registrar su experiencia, nosotros tendremos un panorama mucho más favorable a la hora de efectuar nuestra labor. Desde hace algún tiempo se ha venido dedicando cierto interés a esa tarea, desde los trabajos de Christopher Alexander(2). A ese registro ordenado de la experiencia de alguien más que a resuelto un problema que resulta ser recurrente dentro de un campo de estudio se le conoce como patrón.

Los patrones, en su forma más pura, son sólo una guía que nos da las pautas para encaminar la solución de nuestro trabajo, no son la solución propiamente dicha. Es por esto último que han ganado, a lo largo de su historia, algunas opiniones encontradas en cuanto a la utilidad de los mismos, al no poder comprender la verdadera naturaleza de los patrones. La solución detallada y paso a paso de un problema se denomina algoritmo.

A pesar de los notorios beneficios que podemos obtener mediante la aplicación de una metodología basada en patrones, Fowler (1) menciona que la principal desventaja de los patrones es que, por definición, no son nada nuevo. Una persona que ha estudiado lo suficiente en un determinado tema puede no r ver el beneficio que estos otorgan, lo que le vale cierto escepticismo por parte de la academia.

Christopher Alexander(2), pionero de la aplicación de la teoría de patrones, da origen a ésta idea después de analizar los problemas que recurrentemente observa en su campo de estudio, la arquitectura. Menciona que las soluciones no tienen que ser reinventadas cada vez que nos enfrentamos a un nuevo problema, sino que debemos observar la esencia de la misma para ahorrar tiempo y esfuerzo en la próxima vez que nos enfrentemos a una situación similar. Para materializar su

teoría realiza entonces un compendio de patrones en donde plasma la esencia del diseño de edificios y espacios destinados a diversas funciones.

Para ayudarnos a entender los patrones en general, algunos autores han realizado trabajos en el tema, Meszaros(3) presenta una guía de cómo escribir patrones, en donde busca esclarecer las características de cada uno de los elementos que conforman un patrón. Para este propósito, nos brinda un ejemplo de lo que menciona al estructurar esta guía en forma de un lenguaje de patrones. A lo largo de varias páginas nos ejemplifica la construcción de un patrón, desde el nombre, los elementos principales, secundarios hasta la forma en que debe establecerse el lenguaje de patrones. No existen en la literatura muchos autores que definan a este nivel de detalle las características de los patrones. Otro autor, Vlissides(4), expone en su libro una serie de aspectos a considerar al momento de escribir patrones, no a un nivel muy específico sino de manera general, explicando las principales características que estos deben tener. Estos trabajos como puede observarse tienen como fin el proporcionar al lector las herramientas necesarias para introducirse en el estudio de los patrones. Se enfocan en explicar el sentido, propósito, funcionamiento y obtención de los patrones mismos.

En lo que respecta a la electrónica los patrones han ingresado también en diferentes áreas como aplicaciones en tiempo real(5), fusión de datos(6), vehículos de control autónomo(7) y robótica(8). Se han hecho también trabajos en el campo de sistemas embebidos en tiempo real(9), Pont, quien trabaja este aspecto nos presenta un catálogo de patrones dedicados al diseño de sistemas embebidos. Expone también que los patrones son factibles de ser llevados de un campo de estudio a otro sin ningún problema, ya que son simples abstracciones de un proceso de diseño. En el campo de control se han publicado algunos trabajos como el de Sanz(10), en el que se recopila un catálogo de patrones para el diseño de sistemas de control derivativo, integral y derivativo-integral. Sanz además de presentar el catálogo de patrones que desarrolla, nos da una introducción al mundo de los patrones, en donde nos presenta la forma de obtenerlos, nos describe qué son y nos explica también la aplicación a la cual aplicará la teoría de patrones

descrita. También en control se han utilizado en aplicaciones de control de temperatura(11), arquitectura de software para automatización de procesos(12), desarrollo de modelos de simulación para sistemas de control distribuido(13). Estos trabajos se centran en una aplicación determinada.

En la literatura podemos encontrar diferentes concepciones de lo que es un patrón(14). Algunos no coinciden con la definición que hemos brindado de patrones y por lo tanto los ubicamos en otro grupo, por ejemplo, encontramos también un estudio basado en patrones, esta vez en el campo de la identificación, pero que utiliza el concepto de patrones en una forma diferente a la que se persigue en este trabajo, en este caso se le llama patrones a los grupos de datos recurrentes en una planta, y nos presenta un grupo de patrones de este tipo.

Nuestro trabajo sigue la línea de los autores Sanz y Pont, en el campo del control y de los sistemas embebidos respectivamente, que nos presentan cada quien un trabajo en el que finalmente desarrollan un catálogo de patrones que nos ayuda en el proceso de diseño de sus respectivos campos.

Pretendemos desarrollar, del mismo modo que el trabajo citado, un lenguaje de patrones que resulten guías y no soluciones específicas. También se busca que con la presentación del ejemplo el lector obtenga la metodología que se necesita aplicar para obtener resultados con los patrones mostrados.

2.2 Metodología

En esta investigación, con el fin de cubrir nuestro propósito, nos enfocaremos en el trabajo de diferentes autores en el campo de la identificación para obtener la información necesaria para elaborar nuestro catálogo de patrones.

En principio, nos dedicaremos al estudio de los patrones, con el fin de comprender su objetivo e identificar sus características. En esta parte analizaremos las clasificaciones de patrones dentro del área de software y arquitectura, esto nos servirá como base para identificar de qué tipo son los patrones que se pretende realizar, de manera que no caigamos en el error de obtener patrones que sean más un algoritmo que un patrón mismo. Una vez identificado el tipo de los patrones, recurriremos a la literatura pertinente que nos permite estructurar un patrón correctamente, esto de acuerdo a libros y artículos correspondientes al tema. Durante esta parte de la investigación se debe cuidar una vez más que los patrones no pierdan el objetivo principal, el ser una guía, y no se conviertan en soluciones específicas a un problema.

Una vez concretado el estudio de los patrones y habiendo comprendido todos los puntos concernientes a ellos, nos adentraremos en el estudio de las técnicas de identificación. Durante esta fase, recolectaremos información de diferentes autores en lo que se refiere a estas técnicas. Con la literatura seleccionada procederemos a hacer los análisis de abstracción correspondientes con el fin de identificar patrones en este campo, a través del análisis y síntesis de los trabajos de diferentes autores para reconocer, en sus trabajos, las partes esenciales de los procedimientos que se realizan.

Una vez identificados los patrones aplicaremos las habilidades concebidas en la fase de estudio de patrones para organizar la información y presentarla en forma estructurada. Para esto último, se analizaron diferentes formatos propuestos en la literatura para patrones y proponemos un formato de patrones que reúne las características necesarias para dar al lector la información suficiente acerca de cada uno de ellos.

Se desarrolla, también, el esquema del lenguaje de patrones en el que se visualizan las relaciones de los patrones entre sí, así como el camino que debe seguir el proceso de identificación de sistemas.

Finalmente, hacemos énfasis que el fin perseguido en esta investigación es el obtener el catalogo de patrones de identificación a través de la experiencia vertida por los diferentes especialistas en el campo de identificación.

CAPÍTULO 3

CONCEPTOS BÁSICOS

El concepto de patrones puede tener más de una connotación dentro de la mente del lector. Aún cuando en el sentido más general resulta que todas ellas están relacionadas entre sí o se refieren a la misma situación, es necesario alinear el pensamiento con la orientación que se le da en este trabajo para así facilitar su comprensión. El presente capítulo tiene como intención principal el facilitar al lector los conceptos necesarios para poderse ubicar dentro del contexto en el cual se desarrolla este trabajo. Se expondrán las principales características de los patrones así como su definición, clasificación y uso.

Dentro de este capítulo también incluiremos un breve repaso sobre los principales tópicos de la identificación de sistemas. No se pretende con esta sección profundizar en este campo, ya que de hacerlo podría resultar muy extenso. Lo que se pretende es extraer lo necesario para continuar la lectura de este trabajo.

3.1 Teoría de Patrones

Los patrones, de forma general, han existido desde siempre. Éstos no son inventados por el hombre, son simplemente descubiertos. Son producto de la observación de la vida cotidiana, del trabajo diario, de la observación del comportamiento de nuestro entorno. Es mediante los patrones climáticos, por ejemplo, que podemos predecir la presencia y ruta de un ciclón o cualquier otro fenómeno meteorológico con cierta precisión. Son patrones también los que rigen nuestro comportamiento, los llamados patrones sociales. Podemos observar entonces, que existe más de una concepción de patrón. Los patrones que ocupan nuestro estudio son patrones destinados a recopilar la experiencia de un individuo que ha recorrido cierto camino dentro de la práctica de alguna actividad, llámese identificación de sistemas o cualquier otro campo de estudio donde la experiencia juegue un papel importante.

Es dentro de este enfoque donde se encuentra la utilidad de este concepto, ya que podemos aplicarlos a casi cualquier campo de la ciencia y aprovechar todos los conocimientos que se van adquiriendo durante el desempeño de las actividades asociadas a ésta. Así pues, al descubrir los patrones adecuados, se puede otorgar a aquél individuo que inicia su camino en cierto ámbito de la ciencia, experiencia proporcionada por un patrón descubierto. El individuo entonces, estará dotado de una herramienta más que poderosa que le ayudará a formar un criterio de toma de decisiones mucho más rápidamente que aquél que no cuente con esta ayuda. También le ayudará a formar una visión más abstracta de cualquier proceso y desarrollará un lenguaje a un nivel superior (15).

3.1.1 Origen de los patrones

Los patrones desde la perspectiva que hemos planteado tienen su origen en el campo de la arquitectura con los trabajos de Christopher Alexander(2), en donde el autor expone las ideas que han dado solución a los problemas que pueden plantearse dentro de la construcción de un edificio o una casa habitación.

Ejemplo de esto es el patrón “Waist Shelf”, repisa a altura de cintura, que surge de la observación del comportamiento de las personas al entrar y salir de una casa, siempre colocan las llaves en algún lugar cerca de la entrada, el no contar con un sitio específico puede ocasionar que constantemente nos encontremos buscándolas por la habitación.

El espacio dedicado a este propósito debe ser sólo lo suficientemente grande para depositar los objetos que usualmente no introducimos más allá de la entrada de la casa, debe encontrarse justamente frente a la puerta y debe ser una superficie horizontal. Observe como este patrón nos da el contexto necesario para solucionar el problema pero de ninguna manera nos está dando la solución específica para alguna situación, es decir, mantiene un nivel de abstracción adecuado. Véase figura 3-1.

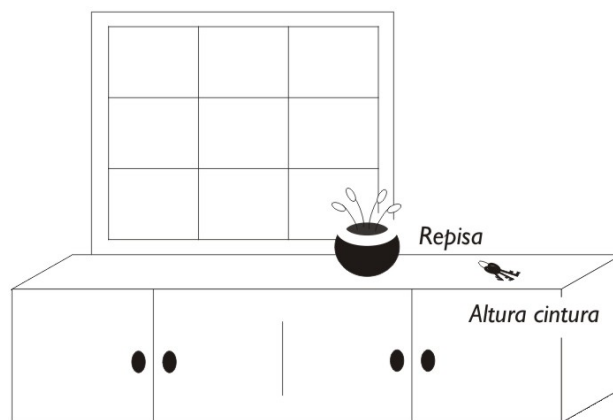


Figura 3-1 Esquema del patrón Repisa a Altura de Cintura (Waist Shelf Pattern)

En este patrón puede observarse que la solución propuesta no está ligada a un contexto específico sino más bien está suficientemente abstracta para poder ser adecuada a diferentes situaciones.

Pero no ha sido únicamente en el campo de la arquitectura donde los patrones han probado su utilidad. Los investigadores del campo de la Ciencia del Cómputo han sabido trasladar, adecuar, y sobre todo aprovechar este concepto.

Uno de los pioneros en lo que a patrones dentro del software se refiere es Gamma, quien junto con un grupo de autores conocidos como el “Gang of Four”, desarrollaron un catálogo de patrones para el campo de la programación, siendo ésta última principalmente orientada a objetos(16).

3.1.2 Definición de Patrón

La Real Academia de la Lengua Española nos define al patrón como un modelo que sirve de muestra para sacar otra cosa igual. Es decir, nos dice que un patrón es una base para producir elementos de la misma clase, debido a que ha ocurrido repetidas ocasiones bajo un contexto específico.

Un patrón puede ser visto de diferentes formas por las diferentes mentes que abordan este estudio, la idea general presente en todas las definiciones que podemos hallar es que es una solución a un problema con el que nos encontramos repetidamente.

Es entonces, el concepto de patrón de conocimiento lo que nos interesa en este estudio, mismo que puede definirse *como un registro ordenado de la experiencia en el estudio de determinado campo con el fin de transmitirlo a futuras generaciones*. Existen definiciones más específicas para cada tipo de patrón de conocimiento, mismas que mencionaremos en la clasificación de patrones.

3.1.3 Minería de Patrones

Sabemos, hasta este punto, algunos conceptos básicos como el origen de los patrones y algunos catálogos de patrones que han llevado a esta teoría a cobrar cierta fama dentro de la arquitectura y el software orientado a objetos. Pero, ¿de dónde han salido todos estos patrones que se mencionan? Los patrones pueden surgir de diferentes fuentes, sin embargo, es necesario hacer hincapié en el importante hecho de que *los patrones no se inventan, se descubren*. Esto quiere decir que los patrones son conceptos que están presentes inherentemente en la práctica cotidiana del área de estudio que estemos analizando. Es sólo que no nos detenemos a verlos cuando ya estamos sumergidos de lleno en nuestro trabajo.

La forma más común de descubrir un patrón es la experiencia, ese cierto conocimiento que no podemos aprender de la literatura y que nos proporciona únicamente el haber trabajado sobre algo en particular durante algún tiempo es candidato ideal a ser un patrón de suma utilidad.

Sin embargo no es sólo de la experiencia de donde podemos obtener patrones, otra técnica muy útil en esta tarea es la de la observación, menciona Robertson(17) que la obtención de patrones puede ser mediante la abstracción. Nos plantea cómo podemos localizar partes comunes en procesos que parecen ser de ámbitos completamente distintos. Es de este modo, mediante la abstracción, que podemos comenzar la búsqueda de patrones en un área que aún no ha sido explorada.

3.1.4 Clasificación de Patrones

De acuerdo a su naturaleza y propósito, los patrones están clasificados en tres grupos, los patrones de análisis, los patrones de diseño y los llamados *idioms*, cada grupo cuenta con una función específica dentro del proceso de diseño. Esta misma clasificación corresponde al nivel de abstracción de cada grupo, tal y como se muestra en la figura 3-2.

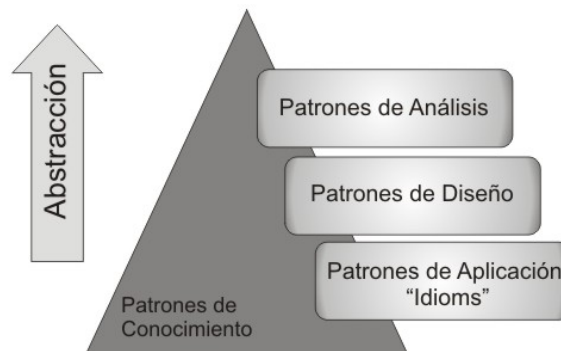


Figura 3-2 Esquema de niveles de abstracción de los patrones

En nuestro trabajo nos interesaremos más en los primeros dos grupos ya que el tercero es de carácter muy específico, como se verá más adelante, y por lo mismo carece de la abstracción que perseguimos en la solución de problemas.

3.1.4.1 Patrones de Análisis

El primer grupo, el de los patrones de análisis, se encuentra en el nivel más abstracto de los tres(18). Estos patrones deben proporcionarnos la posibilidad de visualizar el problema desde una vista que podríamos metafóricamente llamar “aérea” en donde podemos observar el todo del problema para ser capaces de darle la solución más pertinente. El análisis del problema trata de establecer el “qué” hará el sistema. La meta que debemos perseguir al hacer uso de estos patrones es obtener un diagrama de bloques que guíe nuestra solución. En resumen, nos dan la idea de cómo ha de estar estructurada la solución, sin ir más allá.

Si al momento de observar un problema documentamos adecuadamente el contexto en el que se da y la solución que hemos visualizado puede decirse que tenemos un patrón de análisis.

Formalmente, Fowler (18) define al patrón de análisis como “una idea que ha sido útil en un contexto práctico y probablemente lo sea en otros”, resaltando que los patrones se deben enfocar a la estructura del problema, dejando los detalles de la solución a los patrones de diseño.

Los patrones de análisis se deben considerar como bloques reusables dentro de una solución. Se utilizan como base para el diseño, son los cimientos para la solución del problema, ya que nos delimita el trabajo que deberá elaborarse. Teniendo esta herramienta nos podemos ir orientando sobre qué patrones de diseño nos conviene utilizar.

3.1.4.2 Patrones de Diseño

En el centro del esquema de la figura 3-2 encontramos a los patrones de diseño, llamados de esta forma porque son los que nos van a dar la pauta para el diseño de la solución a nuestro problema. Basados en el resultado de haber aplicado un patrón de análisis, los patrones de diseño han de dar forma a la solución de los bloques obtenidos anteriormente.

Los patrones de diseños son importantes, de acuerdo a Sommerville(19), por tres razones: el reuso de las soluciones, el establecimiento de una terminología común y la perspectiva de alto nivel acerca de un problema.

Los patrones de diseño son definidos por Gamma(16) como “descripciones de objetos y clases que se comunican, los cuales son adaptados para resolver un problema general de diseño en un contexto particular”. Pero debemos poner especial atención en que esta definición está muy ligada al contexto de la programación de objetos. Tratando de elaborar una definición más general a partir de la de Gamma podemos decir que *un patrón de diseño, nos debe dar las relaciones entre las entidades participantes de la solución y debe guiar el proceso de llevar un problema general hacia un contexto particular.*

En lo que se refiere a la notación de patrones, el formato elegido en el campo de la programación ha sido la notación UML (Lenguaje Unificado de Modelado), que resulta ser un estándar aceptado para la creación de software, en el cual se puede visualizar, especificar, construir y documentar un sistema mediante un estándar que nos permite crear un “plano” del mismo. En éste podemos observar procesos y funciones del sistema así como componentes reutilizables.

Un patrón de diseño debe tener algunos elementos principales y elementales: un nombre que evoque la solución, un contexto dentro del que se desarrolla el problema, una solución a dicho problema y un contexto resultante después de haber aplicado el patrón. A estos elementos pueden sumarse otros complementarios como la justificación del patrón, o los beneficios que nos aporta el uso del mismo.

Los patrones de diseño para su uso se agrupan en catálogos de patrones destinados a un área específica dentro de un campo de estudio, los hay para la programación orientada a objetos(16), para los sistemas embebidos(9) e incluso para la escritura de los patrones mismos(3).

3.1.4.3 Idioms

Los idioms son las formas específicas de un patrón. Dentro de la solución siempre aluden a un contexto específico. En el campo de la programación se presentan como conjuntos de líneas de códigos cuya tarea será la de implementar la idea del patrón en un determinado lenguaje de programación.

Debido a la poca abstracción de esta categoría de patrones, suelen no ser considerados como tales, ya que pierden la característica de aplicabilidad en cualquier situación para llevarla a una en específico.

3.1.5 Lenguaje de Patrones.

Cuando trabajamos un campo de estudio y empezamos a recolectar la experiencia en forma de patrones, no es de sorprenderse que resulten una gran cantidad de patrones con diversos fines, algunas veces encontraremos patrones que resuelven un mismo problema o que un problema mayor haya sido dividido para su solución. Puede resultar complicado buscar, entre una gran cantidad de patrones, cuál es el indicado para nuestro problema y cuáles son los patrones que lo apoyan. Los patrones frecuentemente se encuentran asociados a otros patrones para complementarse, un conjunto de patrones que no guardan relación entre sí es conocido como catálogo de patrones.

El concepto de Lenguaje de patrones, surge como medida para dar solución al problema de la desorganización de un catálogo de patrones muy amplio, desde los estudios de Christopher Alexander. Si contamos con un conjunto de patrones y a su vez con la relación que guardan éstos entre sí, tenemos entonces un lenguaje de patrones(2).

La elaboración de un lenguaje de patrones nos permite entonces, comprender el uso de los patrones de una forma sencilla, nos facilita el problema de la selección de patrones.

El término lenguaje de patrones es comúnmente denotado bajo otro contexto, por un lado existe el lenguaje que hemos descrito y por otro lado el que nos

proporciona el trabajar con patrones, un lenguaje común entre colegas del mismo campo, que nos permite englobar toda una idea en simplemente el nombre de un patrón. Muestra de esto es el patrón bridge de la autoría de Gamma(16) que con sólo escuchar el nombre del patrón se entiende todo el concepto de “separar la abstracción de la implementación”. Es importante diferenciar entre estas dos concepciones del término.

La forma de representar un lenguaje de patrones es por medio de un grafo dirigido, donde los patrones son representados mediante los nodos y las representan sus interrelaciones. El camino que nos marca la estructura del lenguaje de patrones es considerado el camino que debe tomar el diseño. En la figura 3-3 presentamos el lenguaje de patrones propuesto por Gamma(16).

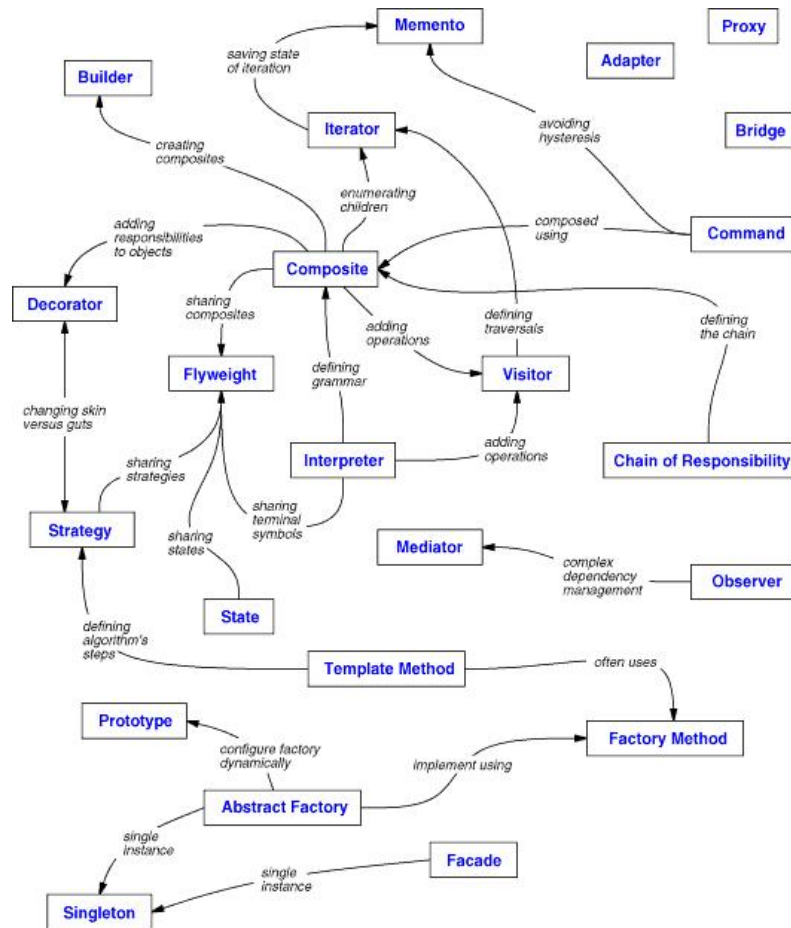


Figura 3-3 Lenguaje de patrones propuesto por Gamma

3.1.5 Efecto Delta

Cuando realizamos un proceso de diseño de forma estructurada, las decisiones que tomemos en las etapas tempranas repercutirán de manera considerable en las etapas posteriores, esto es conocido como el Efecto Delta(20). La figura 3-4 ilustra este efecto.

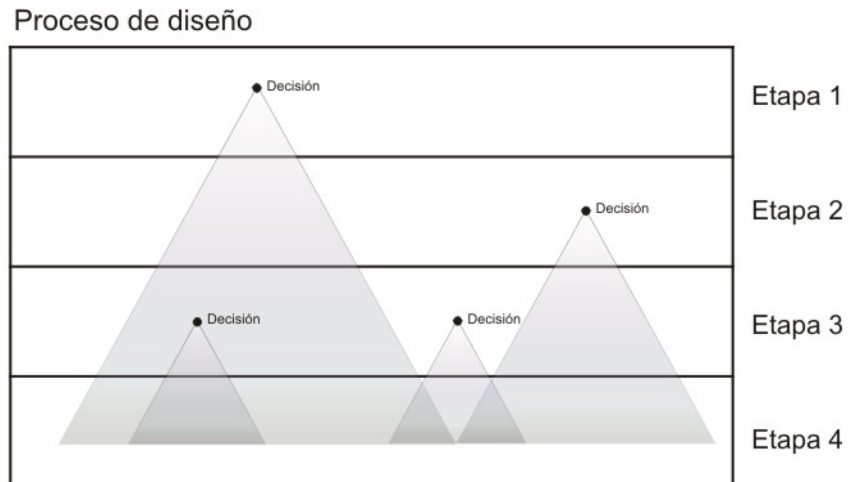


Figura 3-4 Efecto Delta

El término “repercutir” puede entenderse como algo negativo. Sin embargo, estas repercusiones pueden ser para bien o para mal dependiendo de la técnica que le apliquemos al desarrollo del proceso. Si nuestro proceso sufre de falta de estructuración desde la fase inicial o en cualquier punto del proceso, el resultado se verá afectado de una forma negativa y resultará complicado reconocer el punto en el que se produjo el error.

Por otro lado, si hacemos uso de alguna técnica que nos permita realizar un diseño correctamente estructurado, tal como lo es la Teoría de Patrones, podremos en gran medida evitar efectos negativos o facilitar su localización y solución en caso de encontrarnos con algún problema. También, cabe mencionar que los efectos positivos de una estructuración correcta desde el inicio también llevan la forma del Efecto Delta, es decir, sus beneficios se dejan ver a lo largo de todo el proceso.

3.2 Nociones Básicas de la Identificación de Procesos

La identificación es la alternativa experimental para el modelado de procesos (21). La principal ventaja del método de identificación radica en el hecho de que no necesitamos conocer mucho acerca de la dinámica de los procesos que necesitamos modelar. En lugar de ello es necesario únicamente contar con un buen conjunto de datos experimentales.

A continuación mencionaremos algunos puntos clave de la teoría de Identificación de Sistemas, tal como sus etapas y principales características, observándolo como un proceso de forma general.

3.2.1 ¿En dónde son necesarios los modelos?

El control está presente en muchos campos de aplicación. La industria, la robótica y la aeronáutica son sólo ejemplos donde es necesario tener un control sobre el comportamiento de determinado proceso o planta. La base de la cual parten todas las técnicas de control clásico y la mayor parte de las de control moderno es la obtención de un modelo matemático sobre el cual podamos aplicarlas. Una excepción a esta regla es la técnica de control difuso, que es la única que no necesita de un modelo matemático al basar su funcionamiento en lógica difusa, sin embargo, un controlador convencional puede ser diseñado más rápidamente y requiere menor hardware para su funcionamiento (22).

La necesidad de un modelo puede provenir por diferentes motivos (23), por ejemplo:

En el diseño de procesos, cuando se requiere analizar el comportamiento que ocurre en algún sistema y ya sea por razones de seguridad o financieras sea imposible o muy difícil realizar los experimentos sobre la planta. En este caso resulta conveniente tener un modelo en el que podamos realizar experimentos en lugar de la planta real. Incluso, puede servir para realizar alguna mejora o adición al sistema original.

En el control de procesos, donde es necesario predecir el comportamiento de un sistema para poder así desarrollar la ley de control correspondiente. Mientras mejor representado tengamos al sistema, más efectivo será el control que le apliquemos.

En la optimización de la planta, donde podemos someter al sistema a diferentes condiciones para reconocer en cuál opera mejor o incluso servir de entrenamiento al personal de la planta.

En la detección de fallas, dado que algunas veces se comparan los datos medidos en la planta con el comportamiento de un modelo matemático. Esto se da cuando las mediciones pueden no ser completamente confiables debido a los largos tiempos para obtener una medición o a las condiciones de la planta.

3.2.2 Tipos de modelos

La obtención de un modelo matemático para el control de un proceso puede llevarse a cabo mediante dos vías (24) que dependen del grado de conocimiento que tengamos acerca del proceso a modelar es como podremos decidir entre utilizar una u otra. Por otro lado, debemos tomar en cuenta también la aplicación que va a tener nuestro modelo para no tener problemas innecesarios al momento del desarrollo.

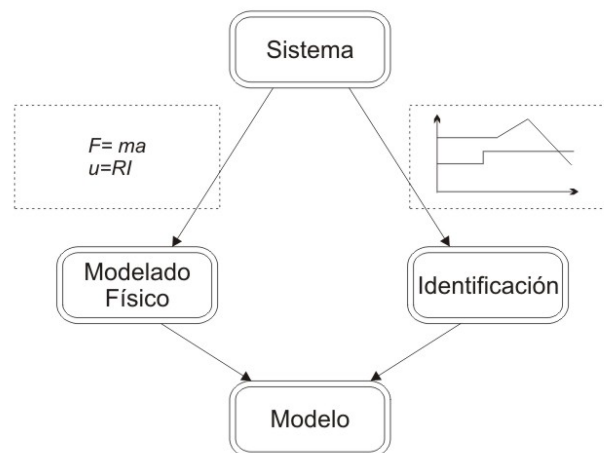


Figura 3-5 Construcción del modelo

La primera opción que tenemos para obtener un modelo, como podemos observar en la figura 3-5 es el llamado *modelado físico* o *modelado por leyes de conservación*. Optaremos por esta opción cuando tengamos suficiente conocimiento de la dinámica del proceso a modelar, ya que dicho conocimiento es la herramienta principal que nos llevará a un resultado satisfactorio.

El modelado por leyes de conservación se da en 4 etapas(25). La primera etapa es la de estructuración y consiste en realizar un diagrama de bloques del proceso, haciendo énfasis en entradas y salidas del sistema. En la etapa siguiente partimos de ese diagrama de bloques para ir aplicando nuestro conocimiento sobre el sistema y obtener las ecuaciones básicas que rigen su comportamiento. En una etapa posterior se adecúan estas ecuaciones a una forma con la que sea posible trabajar y realizar simulaciones, comúnmente es una forma de espacio de estados. En la etapa final, se detalla finamente el modelo para eliminar alguna información que sea redundante dentro del mismo y obtenemos como resultado un modelo listo para proceder a aplicar alguna técnica de control. El tipo de modelo que obtenemos por éste método es un modelo *a la medida* o *modelo de caja blanca* que suele guardar una estrecha relación con la realidad.

La segunda opción es llamada Identificación. En este caso se parte no de información sobre el sistema sino de resultados experimentales obtenidos de éste. La práctica de la identificación es común en el campo de la industria ya que usualmente el conocimiento físico con el que se cuenta no es suficiente para obtener un modelo por el método de modelado por leyes de conservación. El tipo de modelo que obtenemos a partir de la identificación es un modelo genérico adaptado a las necesidades de nuestra planta, conocido como *modelo de caja negra*. Los detalles del proceso de identificación serán tratados con más detalle posteriormente.

La diferencia entre las dos técnicas de modelado radica principalmente en el tipo de modelo que obtenemos. Debemos estar al pendiente de la aplicación que vaya a tener el modelo que obtengamos para determinar el grado de precisión que se requiere y evitar modelos demasiado complejos.

Por otro lado, estos dos métodos no son excluyentes, es decir, podemos obtener modelos a partir de una combinación de modelado físico con identificación, aprovechando de esta manera todo el conocimiento que tengamos disponible acerca del sistema.

3.2.2.1 Identificación vs. Leyes de conservación

Aunque en primera instancia, al contar con suficiente conocimiento de la dinámica del sistema, nos parecerá obvio optar por la primera vía, Ikonen(23) menciona que no siempre resulta ser la mejor opción. En ocasiones el proceso matemático en el que nos vemos envueltos al elegir esta opción resulta ser complicado, como puede ser el caso de la resolución de las ecuaciones obtenidas. Puede suceder también que simplemente el conocimiento del sistema no sea suficiente para optar por este método o que la dinámica del sistema cambie de una forma inesperada.

Nos recomienda, debido a lo anterior, que utilicemos de ser posible un modelo semi-parametrizado o completamente parametrizado. La principal ventaja al hacer esto consiste en el ahorro de tiempo que lograremos, exceptuando los casos en donde el conocimiento de la dinámica del sistema sea tal que resulte realmente fácil obtener un modelo por leyes de conservación. Sin embargo, en la práctica suele ser la minoría de los casos en los que se dan estas condiciones y entonces recurriremos a los modelos parametrizados o semi-parametrizados para lograr el beneficio de poco consumo de tiempo y esfuerzo además de una mayor flexibilidad ante los problemas que se nos presenten (23).

3.2.3 Procedimiento de la Identificación

La identificación consiste de diferentes etapas, aunque en la literatura podemos encontrarlas con diferentes nombres, podemos distinguir cuatro etapas principales conocidas como experimentación, pre-procesado, obtención de parámetros y validación.

3.2.3.1 Experimentación

En la primera etapa, la de la experimentación, el fin que se persigue es obtener datos experimentales de una planta que cumplan con los requisitos necesarios para ser de utilidad en el resto del proceso de identificación. Se debe de poner atención a las condiciones en las que se desarrolla el experimento, a los tiempos de muestreo, determinar las entradas y salidas de interés para nuestra aplicación. La entrada con la que realizamos el experimento debe de ser cuidadosamente seleccionada para obtener buenos resultados y debe también considerarse el efecto *aliasing* y en general cualquier detalle que repercuta en los datos obtenidos. Una vez que tenemos un conjunto de datos experimentales confiables podemos pasar a la segunda etapa, el pre-procesado.

3.2.3.2 Pre-procesado de los datos

En la etapa de pre-procesado atenderemos al juego de datos que tenemos de la etapa anterior, realizando diferentes tipos de análisis y filtrados para obtener los parámetros básicos del sistema y para eliminar la presencia de algunos errores comunes durante la experimentación.

Lo más común es empezar efectuando al conjunto de datos un análisis transitorio que nos arroje datos como la ganancia del sistema y el tiempo de retardo, que nos serán útiles durante el resto del proceso de identificación.

3.2.3.3 Obtención de parámetros

La obtención de parámetros es el núcleo matemático del proceso de identificación, es aquí donde elegiremos un tipo de modelo que se adecúe a nuestras necesidades así como el método con el que calcularemos los parámetros, para esta última tarea existen diferentes paquetes de software que nos pueden ayudar, debido a la dificultad de los cálculos.

En general, Ljung(24) menciona que la identificación contempla dos grupos de modelos cuyo uso depende del grado de conocimiento sobre el sistema en estudio.

Modelo a la medida. Si tenemos suficiente información sobre el sistema que estamos trabajando y sólo necesitamos identificar unos cuantos parámetros, esta puede ser la opción. Además, nos brindará un modelo con un comportamiento más cercano al real. Esta opción es la que conjunta el modelado físico con la técnica de identificación.

Modelo Pre-construido. Si no sabemos mucho sobre el sistema que tratamos de identificar, la solución es optar por un modelo pre-construido. Son modelos genéricos suficientemente flexibles para ser adaptados a cualquier sistema mediante un método matemático.

Una subclasificación de los modelos pre-construidos nos muestra que dentro de este grupo existen niveles de complejidad y flexibilidad de los modelos.

Modelo ARX. $A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t)$. Es el más sencillo de estimar, debe de ser el primero que intentemos debido a su simplicidad. Sin embargo, debido a que el polinomio A debe también describir las propiedades de las perturbaciones a menudo pueden ocurrir inexactitudes en la estimación de parámetros. Los ordenes de los polinomios pueden requerir órdenes mayores.

Modelo ARMAX. $A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)$. Este modelo brinda mayor flexibilidad para manejar las perturbaciones al proporcionar un polinomio extra C que se encarga de ello. Es usualmente utilizado.

Modelo Output Error (OE) $y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t) + e(t)$. Tiene la ventaja de que la dinámica del sistema se describe por separado y que sus parámetros nada tiene que ver con las perturbaciones. Si el sistema trabaja sin retroalimentación en la recolección de datos se puede obtener una buena descripción de la función de transferencia $G(q) = \frac{B(q)}{F(q)}$ sin importar las perturbaciones. Sin embargo la minimización de la función criterio puede resultar más complicada que en el caso del ARMAX.

Modelo Box Jenkins (BJ) $y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t) + \frac{C(q)}{D(q)}e(t)$. Es un modelo completo, en donde la dinámica del sistema se encuentra separada de las propiedades de las perturbaciones.

3.2.3.4 Validación del modelo

Finalmente, con el modelo obtenido, se procede a la etapa de validación del modelo, en donde se compara el comportamiento del modelo calculado con el proceso real para evaluar la calidad del primero.

El proceso de identificación es entonces un proceso iterativo (25), mismo que se ilustra en el diagrama de flujo de la figura 3-6.

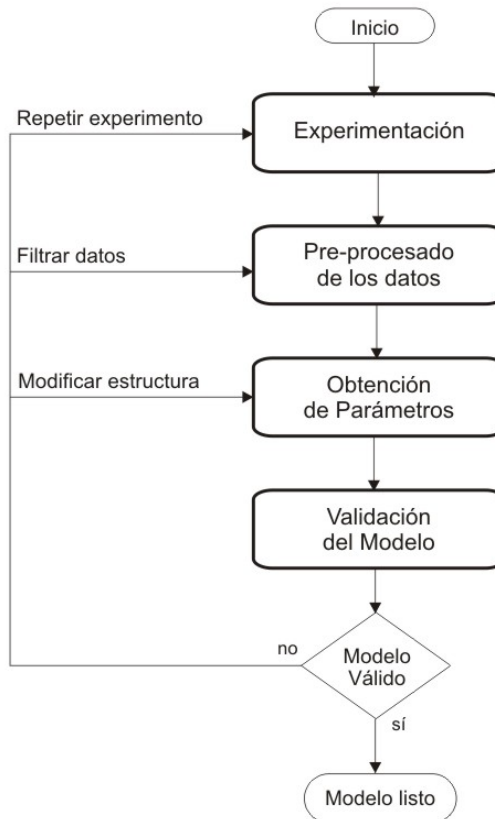


Figura 3-6 Diagrama de flujo del proceso de Identificación

3.2.4 ¿Cómo validar modelos?

La validación del modelo consiste principalmente en comparar los datos obtenidos del modelo con los datos medidos experimentalmente en la planta real. Cuanto mejor sea el porcentaje de coincidencia mejor será el modelo obtenido. Sin embargo, existen algunos otros puntos a considerar al momento de determinar si un modelo es bueno, recordemos que la aplicación que se le va a dar al modelo tiene mucho que ver con las características que deseamos del mismo.

Un modelo puede tener un buen porcentaje de coincidencia con el modelo real pero a costa de esto, tener una complejidad innecesaria, posiblemente algunos órdenes de magnitud mayores a los que en realidad necesitamos, es necesario entonces evaluar distintos modelos para determinar cuál es más adecuado a nuestro problema.

La estabilidad del modelo también es un punto importante, especialmente para el caso del campo de control, es necesario realizar un análisis de estabilidad sobre el modelo para juzgar si es o no factible de ser utilizado en el proceso del diseño de control.

Observamos entonces que no se trata únicamente de igualar el comportamiento de la planta real sino de reunir las características necesarias para acoplarse a lo que nuestra aplicación requiera.

CAPÍTULO 4

LENGUAJE DE PATRONES

La parte principal de este trabajo la constituye el lenguaje de patrones obtenido. Es éste el que nos dará la pauta para realizar un proceso de identificación de un sistema. Para llegar a este punto, hemos observado la técnica de identificación desde diferentes autores (23)(26)(24), y se presta atención principalmente a los detalles en los que se ha de aplicar la experiencia para obtener un buen resultado y no tanto a la parte matemática que se encuentra programada en los entornos de software dedicados a la identificación de procesos. Hemos, además, aplicado la teoría de patrones a nuestras observaciones lo que nos llevo a obtener un conjunto de patrones y un lenguaje de patrones el cual permite esquematizar las relaciones entre los patrones.

A lo largo de este capítulo presentaremos cada uno de los patrones obtenidos. Para este fin describiremos primeramente la estructura seleccionada para ellos, explicando cada una de las partes que los constituyen.

4.1 Estructura de los patrones

Como primer paso hacia la obtención del catálogo de patrones, se establece la estructura que tendrán los patrones.. No existe una regla general para determine cuales son las secciones que conforman la estructura del patrón, pero contamos con literatura que ha trabajado el tema de los patrones y nos da ciertas sugerencias de cómo debe estar conformado un patrón para cumplir exitosamente con su objetivo (3). En esta investigación se propone constituir la estructura del patrón con las siguientes secciones:

Nombre. De acuerdo a Meszaros(3), el nombre de un patrón debe guardar ciertas características que lo hagan lo más funcional posible. Debe ser un nombre evocativo, es decir, el nombre dé una buena idea de hacia dónde está enfocado el patrón. Además, sugiere utilizar, como nombre del patrón, un simple sustantivo referenciando la solución propuesta por el patrón.

Contexto. El contexto es una descripción de la situación en la que puede ser apropiado aplicar el patrón. Meszaros(3) menciona que la importancia relativa de las fuerzas es determinada por el contexto.

Beneficios. En esta sección se expondrán las consecuencias positivas resultantes de la aplicación de este patrón. Los beneficios nos ayudan a elegir el patrón adecuado al problema.

Solución. Se plantea la solución al problema propuesto en el patrón. Sin embargo, recordemos que los patrones no dan una solución directa a los problemas sino son guías para la solución general que debemos adaptar al problema. La solución puede ser expresada en diferentes formas dependiendo del problema, diagramas y arreglos de preguntas-respuestas son ejemplos de estas formas.

Ejemplo. En esta sección se ilustra el uso del patrón en algún caso acorde al problema planteado.

Hasta este punto hemos mencionado los elementos necesarios para que un patrón cumpla con su función(3). Sin embargo, no son los únicos elementos existentes en la teoría de patrones, un análisis de la literatura existente nos llevará a descubrir que existe una serie de elementos complementarios que los diferentes autores han impreso en sus catálogos de patrones. Surgen de la visión propia de cada uno de ellos acerca este concepto. Existen diversas estructuras de patrones que incluyen diferentes secciones, algunas veces encontramos con una sección, que bajo otro nombre, cumple con la misma función en una u otra estructura. O pueden incluir algunas otras secciones nuevas para ajustar sus estructuras al propósito que le quieran dar.

Como resultado del estudio de la teoría de patrones y con base en lo observado en otros catálogos, hemos decidido incluir en nuestro conjunto de patrones una serie de secciones adicionales que describimos a continuación y que creemos servirán de soporte para la utilización y fácil comprensión de los mismos:

Propósito. El fin perseguido por el patrón. La situación por alcanzar al aplicar el patrón.

Justificación. En esta sección se exponen las razones que justifican el uso de la solución propuesta.

Contexto Resultante. En esta sección se describe la situación que resulta de haber aplicado el patrón También conocido como “consecuencia”.

Organizando e intercalando las secciones llamadas elementales con las opcionales que hemos escogido de la literatura, la propuesta de estructura de patrón que se propone en este trabajo es la siguiente:

1. **Nombre**
2. **Contexto**
3. **Propósito**
4. **Justificación**
5. **Beneficios**

- 6. **Solución**
- 7. **Ejemplo**
- 8. **Contexto Resultante**

4.2 Lenguaje de Patrones

El lenguaje de patrones que proponemos en esta investigación se ilustra en la figura 4.1. El diagrama presenta en forma clara las etapas en las que se divide el proceso de identificación, así como los patrones que intervienen en cada una de ellas. Las flechas indican la correspondencia de algunos patrones hacia otros, es decir, el lenguaje de patrones.

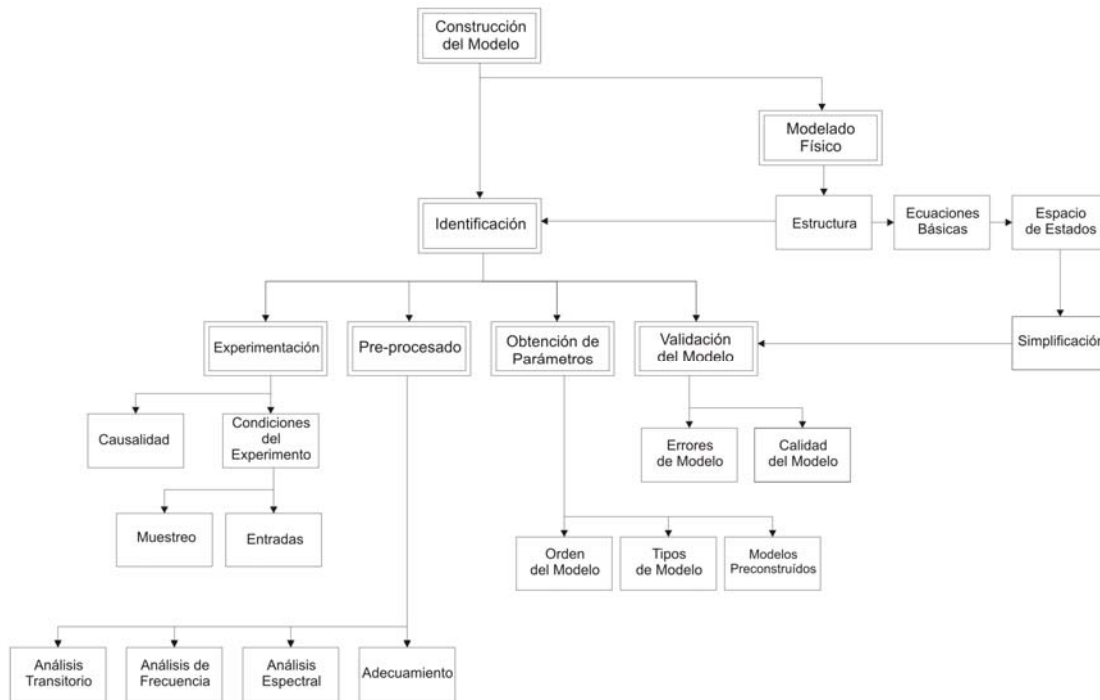


Figura 4.1 Lenguaje de patrones propuesto

4.3 El conjunto de Patrones

A continuación iremos presentando por separado cada una de las etapas mostradas en la figura 4-1 con sus correspondientes patrones involucrados. Previo a cada grupo de patrones, damos algunas descripciones de la función que cumplen en conjunto. En primer lugar presentaremos un par de patrones de análisis principales para el proceso de modelar una planta, su propósito es brindar una visión global acerca del problema de identificación.

Una la primeras tareas en la identificación de procesos es la de determinar la estructura general del modelo del proceso. La construcción del modelo se realiza combinando el modelado basado en física, leyes de conservación, en conjunción con la técnica de identificación. Consecuentemente, el nombre dado al primer patrón que se presenta es “Construcción del Modelo”.

PATRÓN DE ANÁLISIS - CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Contexto Se tiene una planta en la cual es posible realizar experimentos para observar el comportamiento de sus variables de salida. Se desea conocer su modelo matemático.

Propósito Estructurar la planta para modelarla de acuerdo a leyes de conservación o aplicando la metodología de identificación

Justificación Cuando nos enfrentamos a modelar un sistema desconocido es posible llevarlo a cabo mediante dos vías, el modelado físico y la identificación, que no son necesariamente excluyentes sino que podemos complementar los resultados de ambas en pro de un modelo más adecuado a nuestro propósito.

Beneficios

- Podemos aprovechar el conocimiento que tenemos del sistema a modelar
- El proceso se lleva a cabo de una forma estructurada
- Se reconocen las partes del proceso que deben ser modeladas por la metodología de identificación y las partes del proceso que pueden ser modeladas con base en las leyes de conservación

Solución Es necesario analizar el sistema para identificar qué partes del proceso pueden ser modeladas por medio de la leyes de conservación y cuáles deben ser tratadas por identificación de a acuerdo al siguiente diagrama.

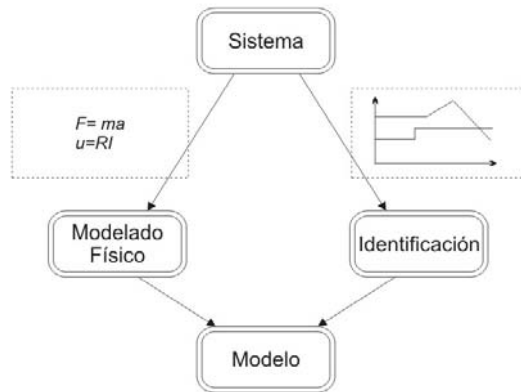


Figura A. Estructura de la obtención de un modelo

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Modelar por leyes de conservación todos los subsistemas del proceso identificados.
- Identificación de los subsistemas cuyo conocimiento de su comportamiento es escaso.

El segundo patrón es el patrón de Etapa de Identificación, en este podemos observar la forma en que se lleva a cabo el proceso de identificación, mostrando en un diagrama de forma clara cada una de sus etapas y la interacción que se da entre ellas en la obtención de un modelo.

PATRÓN DE ANÁLISIS – ETAPAS DE IDENTIFICACIÓN

Contexto Se tiene una planta y se necesita obtener su modelo matemático, no es posible determinarlo mediante leyes de conservación.

Propósito Determinar las etapas generales que constituyen el proceso de Identificación para construir el modelo matemático de la planta bajo análisis.

Justificación Un enfoque de alto nivel simplifica los detalles, y permite enfocarse en las partes más relevantes del proceso en estudio. Nos permitirá definir las etapas que deben realizarse para construir el modelo.

Beneficios

- Tendremos una visión general de la estructura del proceso de Identificación.
- Observaremos la secuencia que siguen las etapas del proceso de identificación
- Se reconocen las interacciones entre las etapas del proceso

Solución El proceso de identificación tiene un esquema de funcionamiento como el que se muestra en la figura A. En este podemos ver cada una de las etapas del proceso así como el camino a seguir a través de ellas.

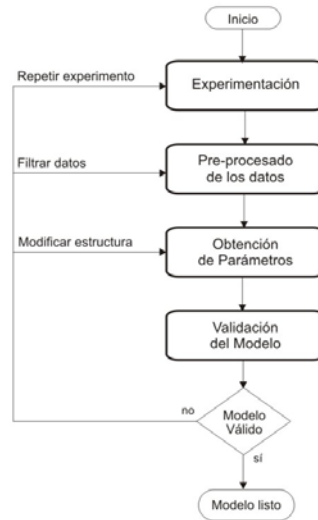


Figura A. Etapas del proceso de Identificación

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Proceder al detalle de cada una de las etapas del proceso, teniendo en mente el concepto global de este último.
-

4.3.1 Patrones en modelado físico

Este conjunto de patrones tiene como fin el presentar una vía alterna al proceso de identificación siempre que se considere que se cuenta con la información suficiente para este efecto. Tomamos esta sección como punto de partida ya que es importante aprovechar el conocimiento que tengamos del sistema para ahorrar tiempo y cálculos que podrían no ser necesarios.

Si decidimos optar por el modelado físico, un punto a considerar a continuación será el de la estructura que tiene el proceso que deseamos identificar, que nos servirá para poder visualizar los elementos más importantes dentro del proceso.

PATRÓN DE DISEÑO - ESTRUCTURA

Contexto Se tiene una planta en la que es posible realizar experimentos para observar el comportamiento de sus variables de salida y se desea conocer su modelo matemático.

Propósito. Diagrama de bloques de sistema que presente la relación entre las salidas y las entradas para determinar las propiedades principales del sistema.

Justificación. La fase inicial del proceso de identificación es el conocer las características principales del sistema: la ganancia, la constante de tiempo, el retardo, la relación entre las entradas y salidas, tiempos de respuesta y otros comportamientos que puedan ser de utilidad.

Beneficios. Se conocerán aspectos del sistema tales como:

- Las variables que son afectadas por cada una de las entradas de sistema.
- Las constantes de tiempo del sistema.
- Las características de la respuesta transitoria

Solución. Esquematice el sistema bajo observación en una forma que permita distinguir las variables en juego. Realice un análisis transitorio sobre cada una de las entradas y observe las salidas para ver cuales dependen de la entrada en cuestión. Es conveniente también, hacer uso del conocimiento físico que tengamos acerca del sistema.

Ejemplo. Una máquina de papel que consta de un depósito principal que vierte la pulpa de papel sobre una banda para su secado y prensado se muestra esquemáticamente en la figura A.

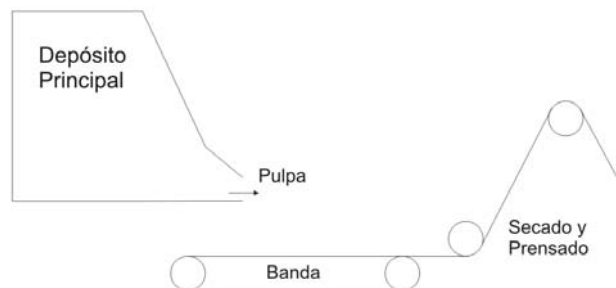


Figura A. Máquina de Papel

Nuestra atención se enfoca al depósito principal, en donde ocurre el proceso de la mezcla de papel. Aplicando el patrón determinamos las entradas y variables de interés y podemos obtener un esquema como el de la figura B.

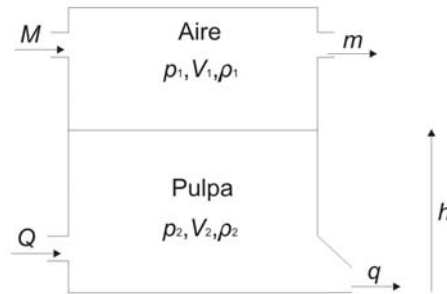


Figura B. Diagrama del depósito principal donde se procesa la pulpa de papel

En donde apreciamos todas las variables que intervienen en el proceso de la pulpa. Finalmente podremos obtener de aquí un sistema de diagramas de bloques que ilustren todo el proceso de la producción de papel, podemos ver claramente que el proceso se divide en el subproceso de entrada y salida de aire y el de entrada y salida de pulpa. Las variables que nos interesan son el aire que entra (M) y sale (m), la pulpa que entra (Q) y sale (q), las características como presión (p), volumen (V) y densidad (ρ) de ambos así como el nivel de llenado (h) del depósito. Podemos obtener de esto el siguiente diagramas de bloques.

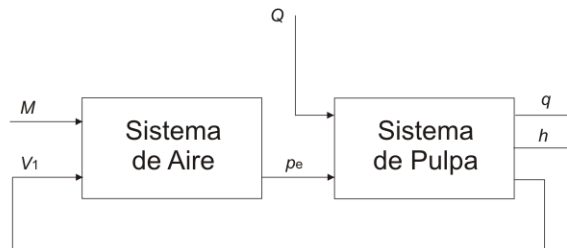


Figura C. Diagrama de bloques del depósito principal

Donde especificamos la separación de los dos subprocesos y estamos listos para empezar a deducir la dinámica detrás de su funcionamiento mediante el patrón Ecuaciones Básicas.

Contexto Resultante. Estamos ahora en condiciones de:

- Realizar un diagrama de bloques con las relaciones entrada-salida observadas, nos ayudará a decidir cuáles son de mayor interés a nuestro propósito.
- Determinar cuáles cantidades pueden ser consideradas constantes y cuales variables
- Contar con este análisis será de utilidad al momento de la validación del modelo

Al contar con la estructura del sistema bajo observación, aplicaremos nuestro conocimiento del sistema para obtener las ecuaciones básicas que rigen su comportamiento.

PATRÓN DE DISEÑO - ECUACIONES BÁSICAS

Contexto. Se tiene un diagrama de bloques de un proceso a identificar, contamos con cierto conocimiento sobre la física del sistema y necesitamos obtener el modelo matemático del mismo.

Propósito. Obtener las ecuaciones básicas del sistema.

Justificación. Conocer las ecuaciones básicas de un sistema es un paso importante hacia la construcción de un modelo matemático. Si tenemos cierto conocimiento sobre el sistema, es necesario aprovecharlo para lograr un modelo más acorde a la dinámica de nuestra planta.

Beneficios

- Podemos aprovechar el conocimiento que tenemos del sistema a modelar
- Obtenemos la ecuaciones básicas que rigen al sistema que estudiamos

Solución. Estudie detenidamente el diagrama de bloques con el que cuenta y escriba las ecuaciones que conozca sobre su comportamiento, recordando que éstas se dividen en:

Leyes de Conservación. Aquéllas que relacionan cantidades del mismo tipo. Ejemplo de este tipo son las leyes de corrientes y voltajes de Kirchoff.

Relaciones Constitutivas. Aquéllas que relacionan cantidades de diferentes tipos. Ejemplo de este tipo son la Ley de Ohm, o las leyes que relacionan corriente y/o voltaje en elementos activos de un circuito.

Recuerde también que la complejidad de las ecuaciones que obtengamos debe estar en función del propósito del modelo.

Ejemplo. Continuando con el ejemplo del patrón Estructura podemos observar que los dos subsistemas a su vez pueden dividirse para facilitar la obtención de ecuaciones. Mostramos la división de este sistema en la figura A.

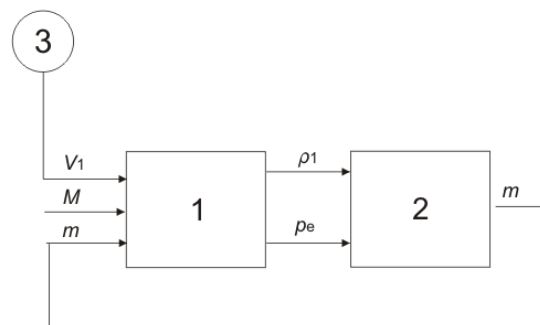


Fig. A. Subsistema del Aire

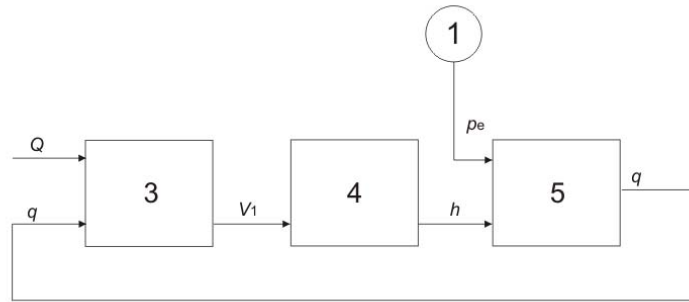


Figura B. Subsistema de la pulpa

Tomando como referencia los subsistemas obtenidos con ayuda del patrón Estructura, podemos empezar a deducir las ecuaciones que nos serán de ayuda para el modelado de la planta. En el caso de esta máquina de papel podemos escribir:

Subsistema de Aire

Ley de Conservación de masa: $\dot{N} = M - m$

Relaciones constitutivas: $N = \rho_1 V_1$ (masa=densidad * volumen)

$$p_1 = RT\rho_1 \text{ (presión)}$$

Flujo de masa de acuerdo a la Ley de los Gases de Bernoulli: $m = a_1 \sqrt{2p_e \rho_1}$

La presión total es la suma de las presiones atmosférica y de exceso: $p_1 = p_e + p_0$

Subsistema de Pulpa

Ley de Conservación de masa: $\dot{V}_2 = Q - q$

Relaciones constitutivas: $V_2 = Ah$ (volumen = área*altura)

$$V_1 = V - V_2$$

Flujo de pulpa de acuerdo a Bernoulli: $h_{eff} = h + \frac{p_e}{\rho_2 g}$ y $q = a_2 C \sqrt{2h_{eff} g}$

El coeficiente C es para compensar el hecho de que la ley de Bernoulli es válida sólo para agujeros con pequeña área transversal y para flujo sin pérdidas de energía.

Hemos entonces, definido un sistema de ecuaciones que determina el comportamiento de la planta real.

Contexto Resultante. Estamos ahora en condiciones de:

- Detallar el sistema de ecuaciones que tenemos para lograr un modelo de espacio de estados que podamos usar en simulación.

El fin de nuestro proceso es obtener un modelo para simulación y desarrollo de un controlador, una forma correcta del modelo para lograr este fin es llevarlo a espacio de estados, mediante el patrón con este mismo nombre.

PATRÓN DE DISEÑO - ESPACIO DE ESTADOS

Contexto. Se tiene un juego de ecuaciones que representan la dinámica de un sistema poco estructurado. Es necesario obtener un modelo para realizar simulaciones.

Propósito. Obtener el modelo en una forma que permita el desarrollo de un controlador para este sistema.

Justificación. Aún después de obtener las ecuaciones que definen el comportamiento de un sistema, es necesaria una estructura que nos permita trabajar con ellas, esto es posible llevándolas a la forma de Espacio de Estados, que puede ser utilizada para simulación.

Beneficios.

- Obtendremos un modelo que podemos usar en simulación
- Lograremos una forma más ordenada de la información recolectada por las ecuaciones básicas

Solución. La estructura de la solución es:

1. escoja un juego de variables de estado.
2. Exprese la derivada de las variables de estado en función de las entradas y de las variables de estado.
3. Exprese las salidas en función de las entradas y de las variables de estado.

Para escoger el juego de variables de estado es necesario analizar nuestro juego de ecuaciones y considerar lo siguiente.

- Las variables a las que les corresponda almacenar algún valor son candidatas.
- Si la derivada de una variable aparece en el paso 2, es conveniente que sea variable de estado.
- Si tenemos el número de estados suficiente, entonces sus derivadas con respecto al tiempo pueden ser expresadas utilizando solamente las mismas variables de estado y entradas del sistema, junto con algunas constantes.

Ejemplo. Posibles cantidades almacenadas, susceptibles de ser consideradas variables de estado son:

- * Posición de un punto de masa (energía potencial almacenada)
- * Velocidad de un punto de masa (energía cinética almacenada)

- * Carga de un capacitor (energía de campo eléctrico almacenado)
- * Corriente a través de un inductor (energía de campo magnético almacenada)
- * Temperatura (energía térmica almacenada)
- * Nivel de un tanque (volumen almacenado)

Tomando como referencia el ejemplo del patrón Ecuaciones Básicas, consideraremos las variables que intervienen en el proceso del Depósito Principal y seleccionaremos:

$$\begin{aligned}x_1 &= V_2 \quad (\text{volumen de la pulpa}) \\x_2 &= N \quad (\text{masa de aire})\end{aligned}$$

Y expresaremos sus derivadas en el tiempo en función de las mismas variables:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= Q - a_2 C \left[\frac{2g}{A} x_1 + \frac{2}{\rho_2} \left(\frac{RT x_2}{V - x_1} - p_0 \right) \right]^{1/2} \\ \dot{x}_2 &= M - a_1 \left[2 \left(\frac{RT x_2}{V - x_1} - p_0 \right) \frac{x_2}{V - x_1} \right]^{1/2}\end{aligned}$$

Así como las salidas que queremos medir:

$$\begin{aligned}q &= a_2 C \left[\frac{2g}{A} x_1 + \frac{2}{\rho_2} \left(\frac{RT x_2}{V - x_1} - p_0 \right) \right]^{1/2} \\ p_e &= RT \frac{x_2}{V - x_1} - p_0 \\ h &= \frac{x_1}{A}\end{aligned}$$

Cabe aclarar que el propósito de este ejemplo es ilustrar la selección de las variables de estado y la forma en que deben expresarse, que es mediante las mismas variables de estado y algunas constantes, no se pretende demostrar la matemática detrás de todo esto.

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Utilizar este modelo para simulaciones si pudimos modelar el sistema por leyes físicas únicamente
 - Complementar este modelo por identificación si no pudimos utilizar sólo leyes físicas.
-

El último patrón de esta sección nos refiere a una situación en que tenemos un modelo que, si bien puede ser utilizado para simulación, puede contener órdenes innecesarios que dificulten su procesamiento matemático.

PATRÓN DE DISEÑO - SIMPLIFICACIÓN

Contexto. Se cuenta con un modelo apto para simulación, se observa que dicho modelo es de órdenes elevados, su procesamiento se aprecia complicado.

Propósito. Simplificar el modelo que tenemos para reducir el orden.

Justificación. Un modelo con muchas variables de estado se vuelve imposible de utilizar para análisis, lo que buscamos es un modelo simple, de pocas variables que pueda ser fácilmente procesado y que sea lineal.

Beneficios.

- Reduciremos el orden de un modelo complicado
- Resultará más sencillo realizar simulaciones del mismo, así como el desarrollo de un controlador.

Solución. Para simplificar el orden de un modelo podemos considerar tres aspectos:

1. Despreciar los pequeños efectos. Observar cuidadosamente las relaciones en el patrón Estructura para determinar cuáles relaciones dinámicas no afectan nuestro modelo de una forma significativa.
2. Separar las constantes de tiempo. Considerar únicamente aquellas variables cuya constante de tiempo esté relacionada con el propósito que queremos para nuestro modelo, aquellas que sean mucho más rápidas o muy lentas serán consideradas como relaciones estáticas y constantes respectivamente.
3. Agrupar variables de estado. Si tenemos variables de estado que guardan cierta similitud entre sí, podemos considerar la posibilidad de agruparlas para reducir el número de variables presentes.

Ejemplo.

Consideremos el ejemplo del calentamiento de una barra de metal como la de la figura A.

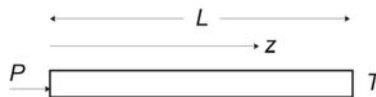


Figura A. Barra de metal bajo calentamiento

En este sistema la potencia de la fuente de calor está denotada por P y es una entrada. La salida del sistema es la temperatura T en el otro extremo de la barra. La conducción de calor está definida por la ecuación de calor, ec.(1), donde $x(z,t)$ es la temperatura en el tiempo t a la distancia z del extremo izquierdo. El número a es un

coeficiente de conductividad del metal. *Aplicando el patrón descartaremos las pérdidas de calor hacia el ambiente, ya que su efecto es despreciable para nuestro fin.*

$$a \frac{\partial^2}{\partial z^2} x(z, t) = \frac{\partial}{\partial t} x(z, t) \dots (1)$$

Esta ecuación implica que debemos conocer, para cada instante t, la temperatura de cada punto z a lo largo de la barra, convirtiéndose éste en un sistema de variables infinitas. *Aplicaremos el patrón entonces y agruparemos dichas variables en tres grupos, dividiendo la barra en igual cantidad de partes y asumiendo que todas las variables incluidas en cada una de las partes de la barra se comportan de igual manera.* De este modo hemos simplificado considerablemente nuestro sistema de un número infinito de variables a únicamente tres.

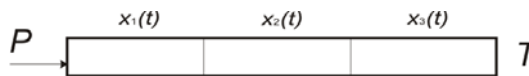


Figura B. Barra dividida en tres segmentos, aplicando agrupación de variables

Las variables seleccionadas representan la temperatura en cada tramo y podemos escribir nuestro sistema como:

$$\dot{x} = \frac{K}{C} \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} x + \frac{1}{C} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} P$$

$$y = (0 \quad 0 \quad 1)x$$

Si queremos un modelo más preciso bastará con segmentar la barra en mayor número de partes.

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Utilizar este modelo para la construcción de un controlador o para simple análisis.
 - Validar el modelo obtenido mediante el patrón Validación
-

4.3.2 Patrones para la fase de Experimentación

Esta etapa es el punto de partida en el proceso de Identificación en sí, es donde se recolectan los datos que se utilizarán en el resto del mismo. Es una de las etapas más decisivas para un buen resultado en un proceso de identificación es la etapa experimental, es necesario recolectar los datos adecuadamente para no perder información que pueda ser importante o para no incluir demasiados datos sin

información. A continuación presentamos el correspondiente patrón de análisis de esta etapa.

PATRÓN DE ANÁLISIS - EXPERIMENTACIÓN

Contexto Nos encontramos frente a una planta que realiza un proceso, debemos obtener datos de ella que sean factibles de servir en el proceso de Identificación del cual obtendremos un modelo matemático para control.

Propósito Realizar el experimento de forma correcta para eliminar la posibilidad de errores en el resultado final.

Justificación El proceso de la toma de datos experimentales un punto clave dentro del desarrollo del proceso de Identificación, es aquí donde debemos considerar todos los detalles que hagan nuestro juego de datos lo suficientemente informativo acerca del sistema real.

Beneficios

- Recolectaremos únicamente los datos necesarios para el proceso de identificación, lo que simplificará el resto del proceso.
- Los datos recolectados serán más apegados a las condiciones bajo las que el modelo ha de funcionar.
- La cantidad de datos recolectados será idealmente la necesaria para no hacer el cálculo del modelo innecesariamente complicado ni falta de información.

Solución Es necesario llevar el proceso de experimentación considerando todos los detalles que intervienen en la toma de datos experimentales. Lo anterior puede verse en la figura A.

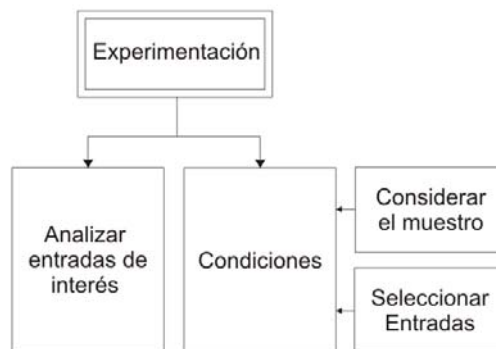


Figura A. Esquema de la fase de Experimentación

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Proceder a la etapa de pre-procesado de los datos obtenidos
-

El primer patrón de diseño que encontramos en esta sección es el de Causalidad, que guarda cierta relación con el patrón Estructura en el sentido en el que se deben observar las relaciones del sistema cuidadosamente, sólo que con un propósito diferente en cada uno.

PATRÓN DE DISEÑO - CAUSALIDAD

Contexto. Nos encontramos ante una planta, es posible recolectar datos de sus entradas y salidas y se dispone de cierto conocimiento de su funcionamiento.

Propósito. Definir el conjunto de variables en las que se recolectarán datos para representar el comportamiento del sistema.

Justificación. Es necesario descartar la información que no sea importante para reproducir el comportamiento de la planta considerando el propósito que queremos darle a nuestro modelo.

Beneficios.

- Recolectaremos únicamente los datos que necesitamos.
- La ausencia de exceso de datos se verá reflejada en la sencillez del proceso de Identificación.

Solución. Analizar detenidamente el funcionamiento del sistema, recolectar únicamente los datos que contengan información que nos sea de utilidad.

Ejemplo.

Considerando un sistema eléctrico como el mostrado en la figura A analizaremos las señales entre los elementos para reconocer cuáles son las que nos interesa medir.

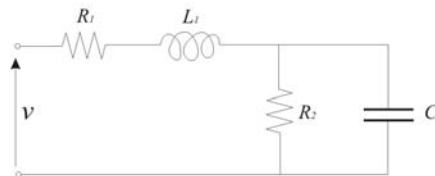


Figura A. Circuito eléctrico

En este caso, aplicando un análisis de causalidad entre las señales de un subsistema, obtenemos las relaciones mostradas en la figura B. Los detalles de este análisis pueden obtenerse de la literatura en identificación. De aquí es posible determinar que la señal que nos interesa medir como entrada es la corriente por el inductor y la salida puede ser la que requiera nuestro propósito, el voltaje entre las terminales del capacitor por ejemplo.

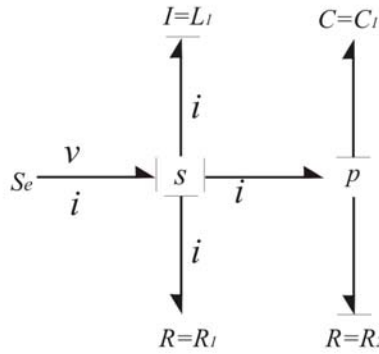


Figura B. Causalidad entre las señales del circuito eléctrico

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Utilizar los datos para el resto del proceso de Identificación

El siguiente patrón considera las condiciones del proceso experimental, se ayuda de un par de sub patrones para lograr su objetivo, que las condiciones del experimento sean lo más adecuadas posibles.

PATRÓN DE DISEÑO – CONDICIONES DEL EXPERIMENTO

Contexto. Nos encontramos ante una planta, estamos en el proceso de recolectar información para el proceso de Identificación.

Propósito. Definir las condiciones bajo las que se debe llevar a cabo el experimento del que se van a obtener los datos.

Justificación. Las condiciones del experimento deben ser correctamente planeadas tomando en cuenta el propósito del modelo que queremos obtener para que su funcionamiento se adecuado.

Beneficios.

- El modelo funcionará adecuadamente en su propósito final.

Solución. Buscar que las condiciones bajo las que se lleva a cabo el experimento sean lo más parecidas a aquellas bajo las que se planea exponer el modelo que se obtenga. Véase patrón Entradas y Muestreo para complementar esta solución.

Ejemplo.

Si nuestro propósito es modelar un sistema para desarrollar un controlador que operará bajo condiciones adversas, tales como temperaturas altas o interferencias magnéticas es necesario que el experimento se lleve a cabo con la planta trabajando bajo esas mismas condiciones.

Por ejemplo, en el caso un horno que se necesita controlar para trabajar a 1000°C debemos realizar experimentos que se asemejen a ese rango de operación, ya que si los datos experimentales se recolectan en otras condiciones, la información no será la correcta y el modelo no trabajará adecuadamente.

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Proceder a recolectar los datos con el experimento ya bien planeado.

Los patrones Muestreo y Entradas tienen la función de dar apoyo al patrón anterior, ya que forman parte de lo que es el desarrollo del experimento.

PATRÓN DE DISEÑO - MUESTREO

Contexto. Estamos realizando la fase de experimentación para obtener datos de una planta.

Propósito. Determinar el tiempo de muestreo que sea necesario para incluir toda la información necesaria de nuestra planta.

Justificación. Si el tiempo de muestreo no es el correcto se pueden dar pérdidas de información o bien podemos recolectar mucha más información de la necesaria.

Beneficios.

- La fase de experimentación se dará correctamente.
- La ejecución del modelo será razonablemente rápida.

Solución. De manera empírica se sugiere que el tiempo de muestreo se seleccione dentro del intervalo 0.125-0.20 veces el tiempo de crecimiento del sistema. El tiempo de crecimiento es el periodo de tiempo durante el cual la respuesta del sistema a un escalón va de 0.1 a 0.9 de su estado estacionario. Si el modelo es para control, el tiempo de crecimiento se refiere a aquel del lazo cerrado. Sin embargo, si el sistema no admite ser excitado, el periodo de muestreo debe ser obtenido mediante algunas iteraciones.

Ejemplo. Consideraremos el sistema de brazo de robot que se muestra en la figura A. En la parte superior encontramos el comportamiento real de la planta. Aplicando el patrón obtendremos un juego de datos experimentales que describan este comportamiento correctamente. Si no hacemos caso del patrón, podemos caer en pérdida de información, como se puede ver en la gráfica inferior de la figura A. Si nuestro intervalo de muestreo es, por el contrario, muy corto, la información no se verá afectada pero sí el tiempo de cómputo de nuestro modelo, efecto que tampoco es deseable en el proceso.

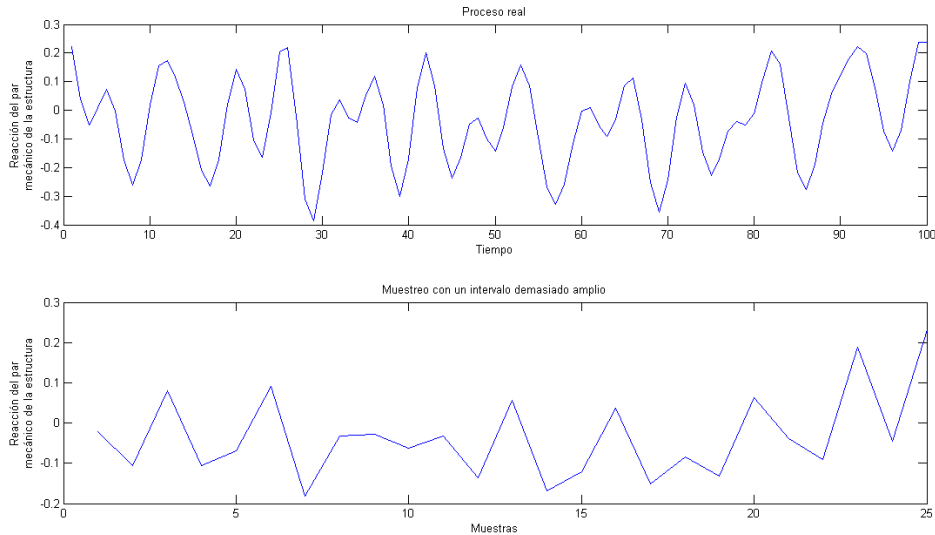


Figura A. Comportamiento real de la planta (superior) y Pérdida de información debido a un muestreo pobre (inferior)

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Obtener los datos para el proceso de identificación.

PATRÓN DE DISEÑO - ENTRADAS

Contexto. Estamos realizando la fase de experimentación para obtener datos de una planta.

Propósito. Determinar las entradas que excitarán al sistema en la fase de experimentación para recolectar los datos.

Justificación. La selección de las entradas debe de realizarse cuidadosamente, para brindar la mayor información posible acerca del sistema a la salida.

Beneficios.

- Obtendremos la información necesaria del sistema en la frecuencia en la que utilizaremos nuestro modelo.

Solución. Para sistemas lineales resulta adecuado aplicar una señal binaria, es recomendable analizar la entrada antes de que se aplique al sistema, para observar sus propiedades. Se debe de elegir una señal cuya energía se concentre en la banda de frecuencia importante para el sistema a modelar.

Ejemplo. Tenemos una planta que nos permite escoger la entrada que le aplicaremos y queremos obtener los datos a su salida. Aplicamos para ese propósito una señal senoidal de la forma $u(t) = u_0 \cos \omega t$. Y nos encontramos a la salida que toda la información que podemos obtener a la salida de la planta será únicamente acerca de la frecuencia ω que hayamos utilizado.

Utilizaremos entonces una señal binaria que oscile entre dos niveles, conocidas como “señales telegráficas”, ya que tales señales contienen todas las frecuencias. De este modo obtenemos la información correspondiente a todo el espectro de frecuencias. Para sistemas no lineales convendrá utilizar señales con más de dos niveles.

Si nos queremos enfocar a una banda de frecuencias podemos utilizar un filtro para la señal de entrada que seleccione únicamente las frecuencias que nos interesan para realizar el experimento.

En lo que respecta al tiempo, una forma de obtener información acerca del comportamiento en el tiempo del sistema es el introducir una serie de pulsos de suficiente duración para que permita al sistema asentarse después de introducir cada uno de ellos.

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Obtener los datos para el proceso de identificación.

4.3.3 Patrones para la fase de Pre-procesado

La etapa siguiente es la que se encarga del manejo de los datos una vez recolectados, usualmente éstos aún no están completamente preparados para ser utilizados, es necesario aplicar ciertos filtros y análisis a fin de localizar y eliminar algunas inconsistencias en los mismos.

PATRÓN DE ANÁLISIS – PRE-PROCESADO

Contexto Tenemos un juego de datos recolectado de una fase experimental, necesitamos aplicarlos a un método matemático que nos dé como resultado los parámetros del modelo matemático de los mismos.

Propósito Analizar los datos experimentales para obtener información que pueda ser importante así como depurar algunas fallas o errores dentro de la fase experimental.

Justificación Los datos tomados del proceso experimental contienen información que es de ayuda en el resto del proceso de Identificación, desde aquí podemos conocer los parámetros que rigen el comportamiento del sistema y utilizar este conocimiento para decidir el tipo de modelo a utilizar.

Beneficios

- Con la información recabada en este punto podremos decidir entre los diferentes tipos de modelo cuál es el que más nos conviene.
- Comprobaremos que no existan anomalías en el juego de datos experimentales que puedan dar lugar a errores en la obtención de parámetros.
- Adecuaremos los datos al método matemático que se haya elegido para obtener parámetros del modelo.

Solución Deberemos hacer uso de las herramientas que tengamos a mano para poder adecuar los datos experimentales al proceso de identificación y obtener información de los mismos, de acuerdo a como se muestra en la figura A.

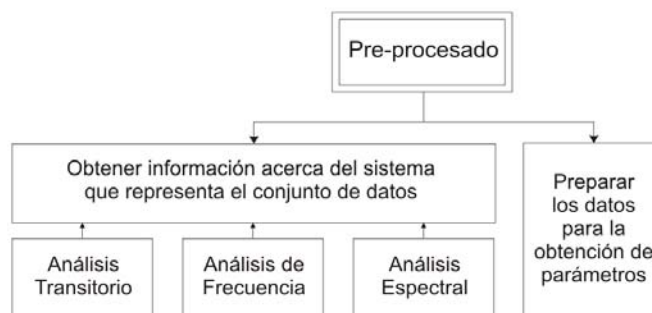


Figura A. Esquema de la fase de Pre-procesado

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Proceder a obtener los parámetros del modelo matemático con los datos que hemos trabajado en esta etapa.
-

El primer patrón tiene como finalidad el obtener los parámetros importantes del sistema que se trabaja, como son el tiempo de respuesta, la ganancia a lazo abierto, tiempo de asentamiento, si el sistema es amortiguado o sub amortiguado, con la finalidad de proporcionar herramientas para etapas posteriores.

PATRÓN DE DISEÑO – ANÁLISIS TRANSITORIO

Contexto. Se tiene un conjunto de datos de una planta. Es necesario obtener su modelo matemático para el desarrollo de la ley de control correspondiente.

Propósito. Identificar los parámetros principales del sistema representado por el conjunto de datos.

Justificación. El conocer los parámetros de respuesta transitoria de un sistema nos adentra en el desarrollo de un modelo matemático para el mismo, es esta información la que nos servirá de criterio para tomar decisiones posteriormente en el proceso.

Beneficios.

- Se determina los parámetros importantes en el proceso de identificación.
- Es el método más usado en identificación industrial
- El método de correlación no requiere entradas especiales.

Solución. Mediante un análisis de correlación, obtendremos un aproximado satisfactorio de la respuesta transitoria.

Ejemplo. Tenemos el conjunto de datos de un sistema de calentamiento, donde una placa de acero es expuesta a una lámpara de halógeno de 400W, la entrada, la salida es tomada de un termopar conectado al otro lado de la placa. Podemos ver esto en la figura A.

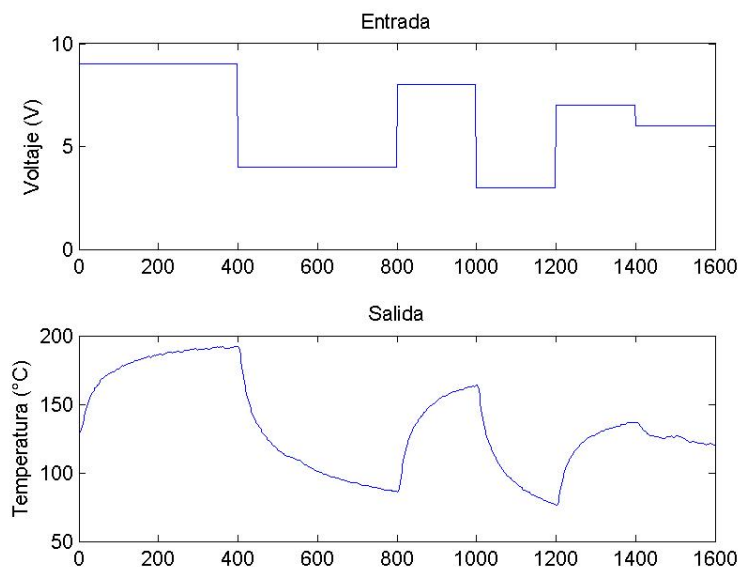


Figura A. Datos Experimentales del Sistema

Aplicamos el patrón de análisis transitorio y obtenemos los parámetros del sistema en la gráfica de respuesta al impulso. En la figura B podemos observar la respuesta al impulso indicando el tiempo de retardo que presenta el sistema, éste dato será útil en

etapas posteriores, es posible también obtener otros datos, tal como se menciona en el patrón.

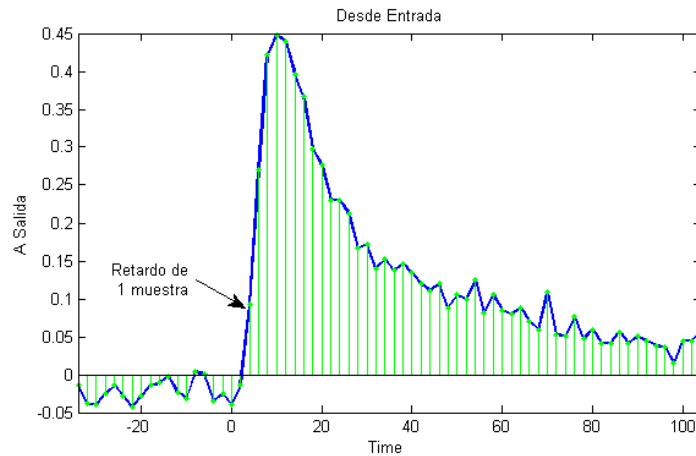


Figura B. Respuesta al Impulso del sistema

Contexto Resultante. Estamos ahora en condiciones de:

- Tenemos conocimiento de características del sistema tales como el tiempo de respuesta, la ganancia del sistema, sobretiro, etc.
- Podemos ahora proseguir en el proceso de identificación.
- Seleccionar adecuadamente el orden del modelo. Véase patrón Orden del modelo.

El análisis de frecuencia, como su nombre lo dice, nos muestra las frecuencias que son de interés en el conjunto de datos obtenido de la experimentación, para considerarlo también en etapas posteriores.

PATRÓN DE DISEÑO – ANÁLISIS DE FRECUENCIA

Contexto. Se tiene un conjunto de datos de una planta. Es necesario obtener su modelo matemático para el desarrollo de la ley de control correspondiente.

Propósito. Obtener la función de transferencia de un conjunto de datos para observar su comportamiento.

Justificación. Conocer la función de transferencia de un sistema es de ayuda en el proceso de identificación, nos da la perspectiva general del funcionamiento del mismo. En algunos casos es posible desarrollar un controlador por algún método gráfico a partir de este resultado.

Beneficios.

- Puede obtenerse información acerca de rangos de frecuencia específicos
- Es fácil de aplicar y sólo se requiere que el sistema sea lineal

Solución. Para determinar el espectro de frecuencia es necesario introducir una entrada senoidal $u(t) = u_0 \cos \omega t$ y observar la salida $y(t) = y_0 \cos(\omega t + \varphi)$, con lo que podremos determinar la función de transferencia punto por punto, en un proceso de barrido de frecuencias, mediante las ecuaciones:

$$y_0 = |G(i\omega)|u_0$$
$$\varphi = \arg G(i\omega)$$

Ejemplo. Tenemos el conjunto de datos de un sistema de calentamiento, donde una placa de acero es expuesta a una lámpara de halógeno de 400W, la entrada, la salida es tomada de un termopar conectado al otro lado de la placa. Podemos ver esto en la figura A.

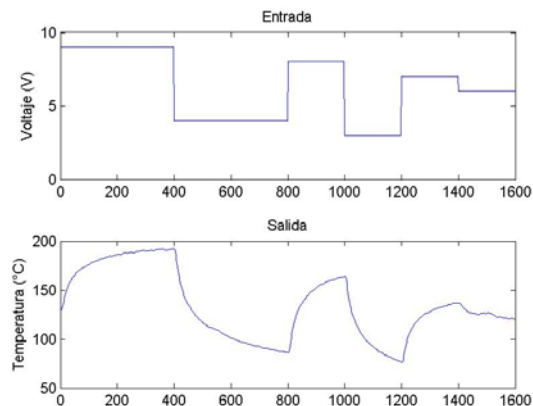


Figura A. Datos Experimentales del Sistema

Aplicando el patrón de Análisis de Frecuencia obtenemos:

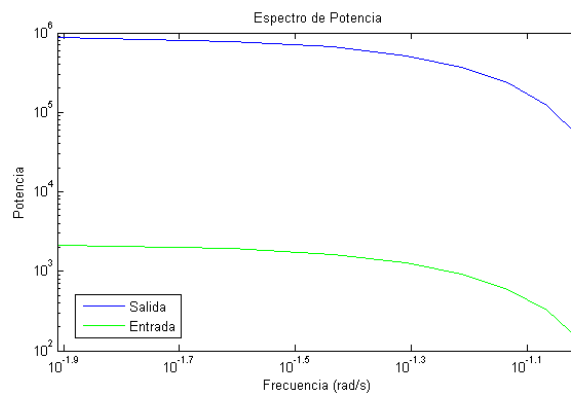


Figura B. Análisis de Frecuencia del Sistema

De la figura B podemos observar el ancho de banda en el que nuestro sistema trabaja así como el margen de ganancia, margen de fase, ganancia en DC y estabilidad.

Contexto Resultante. Estamos ahora en condiciones de:

- Tener una representación gráfica del comportamiento en frecuencia del sistema, estamos en posición ahora de proceder a la estimación de parámetros.
 - Poder también desarrollar un controlador a partir de un método gráfico.
-

Otro análisis que nos puede brindar información que nos sea de utilidad en el resto del proceso de Identificación es el análisis espectral, cuyo patrón presentamos a continuación.

PATRÓN DE DISEÑO – ANÁLISIS ESPECTRAL

Contexto. Se tiene un conjunto de datos de una planta. Es necesario obtener su modelo matemático para el desarrollo de la ley de control correspondiente.

Propósito. Obtener la función de transferencia de un conjunto de datos para observar su comportamiento.

Justificación. Conocer la función de transferencia de un sistema es de ayuda en el proceso de identificación, nos da la perspectiva general del funcionamiento del mismo. En algunos casos es posible desarrollar un controlador por algún método gráfico a partir de este resultado.

Beneficios.

- Puede obtenerse información acerca de rangos de frecuencia específicos.
- Es fácil de aplicar y sólo se requiere que el sistema sea lineal y no requiere entradas específicas.

Solución. Aplicar análisis espectral sobre el conjunto de datos con el que se cuenta. Una sugerencia de algoritmo para el análisis espectral es como sigue:

1. Colectar los datos $y(k)$, $u(k)$ $k = 1, \dots, N$. Sustrayendo los correspondientes valores medios.
2. Escoger el ancho de la ventana de observación $\varpi_\gamma(k)$.
3. Calcular $\hat{R}_y^N(k)$, $\hat{R}_u^N(k)$, y $\hat{R}_{yu}^N(k)$ para $|k| \leq \gamma$ de acuerdo a

$$\hat{R}_u^N(k) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N u(t+k)u(t)$$

4. Formar los estimados espectrales $\hat{\Phi}_y^N(\omega)$, $\hat{\Phi}_u^N(\omega)$, y $\hat{\Phi}_{yu}^N(\omega)$ de acuerdo a

$$\hat{\Phi}_N(\omega) = \sum_{k=-\gamma}^{\gamma} \omega_{\gamma}(k) \hat{R}_u^N(k) e^{-i\omega k}$$

y expresiones análogas.

5. Formar el estimado del espectro $\hat{G}_N(i\omega) = \frac{\hat{\Phi}_{yu}^N(\omega)}{\hat{\Phi}_u^N(\omega)}$ y de ser posible también el espectro de perturbaciones $\hat{\Phi}_v^N(\omega) = \hat{\Phi}_y^N(\omega) - \frac{|\hat{\Phi}_{yu}^N(\omega)|^2}{\hat{\Phi}_u^N(\omega)}$

Ejemplo. En ocasiones nos será imposible aplicar una solución que involucre alimentar a una planta con entradas arbitrarias que nos ayuden a obtener datos fácilmente. Esto se da principalmente en la industria, donde no se nos permite por motivos de seguridad o bien porque se tiene que detener alguna línea de producción. En este caso estamos considerando un sistema de secado, en donde un ventilador arroja aire a través de un tubo en donde este se calienta debido a resistores. La salida se toma mediante un termopar al otro extremo del tubo. No es posible aplicarle una entrada arbitraria. El método que se propone no necesita entradas específicas y por lo tanto es posible aplicarlo y obtener la respuesta de la figura A.

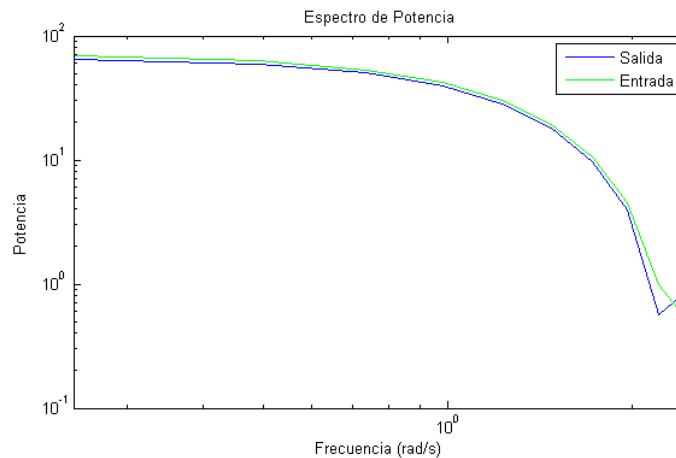


Figura A. Análisis Espectral del sistema

Contexto Resultante. Estamos ahora en condiciones de:

- Tener una representación gráfica del comportamiento en frecuencia del sistema, estamos en posición ahora de proceder a la estimación de parámetros.
- Poder también desarrollar un controlador a partir de un método gráfico.

El siguiente patrón se avoca a los errores que comúnmente se hacen presentes en el conjunto de datos y que pueden alterar el comportamiento del modelo resultante.

PATRÓN DE DISEÑO – ADECUAMIENTO

Contexto. Tenemos un conjunto de datos de una planta. Es necesario verificar que los datos no contengan errores y sean adecuados para la identificación.

Propósito. Proporcionar un conjunto de datos experimentales apropiado para el resto del proceso de identificación, tomando en cuenta el propósito que se le dará al modelo.

Justificación. El conjunto de datos puede no presentarse en la forma en la que se necesita. Esto puede ocasionar errores en las etapas posteriores, es necesario corregir esto para conseguir un buen resultado.

Beneficios.

- Adecuaremos los datos a la forma en que serán correctamente manejados
- Se aumentará la seguridad de un resultado con un buen desempeño.

Solución. Se contemplan 3 tipos de situaciones que pueden provocar que los datos no estén listos para el proceso de identificación.

1. Presencia de valores atípicos. Esto es común en situaciones donde la experimentación no se hizo de manera correcta. Se recomienda evitar las secciones que contengan estos valores o de si no es esto posible, tratar de suavizar mediante una interpolación.
2. Perturbaciones de Alta frecuencia. En esta caso el intervalo de muestreo y el filtro antialias no han sido bien utilizados, debe resolverse mediante un filtro de paso bajo.
3. Prefiltrado de los datos. Es una posibilidad cuando se construyen modelos con dinámicas complicadas, ya que el prefiltrado de los datos de entrada y salida antes de que se estimen los parámetros contribuye a un mejor resultado en el modelo. Lo anterior se debe a que los modelos ARX, que son los más utilizados tienen un carácter de filtro de paso alto, y los parámetros son ajustados con énfasis en altas frecuencias

Ejemplo.

Tenemos los datos de una planta y sabemos mediante el patrón Análisis de Frecuencia o Análisis Espectral la frecuencia de interés para el sistema. Aplicaremos el patrón Adecuamiento utilizando un filtro que permita el paso de la banda de frecuencia de interés o bien un filtro paso bajo con similar propósito. Esto favorecerá el resultado final en el modelo.

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Utilizar los datos para el resto del proceso de Identificación
-

4.3.4 Patrones para la fase de Obtención de Parámetros

Le etapa de obtención de parámetros es la que contiene la matemática del proceso, podría considerarse como la parte más mecánica del proceso. Sin embargo, existen algunos puntos que requieren la aplicación del criterio de usuario. A continuación presentamos el patrón de análisis de esta etapa.

PATRÓN DE ANÁLISIS – OBTENCIÓN DE PARÁMETROS

Contexto Tenemos un juego de datos y hemos extraído de él los parámetros más importantes de la planta, queremos obtener un modelo matemático a partir de esto.

Propósito Obtener un modelo matemático que represente la dinámica de la planta real de la que hemos extraído los datos.

Justificación Obtener los parámetros del modelo matemático es una de las etapas en donde se necesita mayor cantidad de criterio en la toma de decisiones, debemos pensar acerca del alcance que se le quiere dar al modelo, la aplicación del mismo, realizando así un correcto compromiso entre desempeño-complejidad.

Beneficios

- Elegiremos el tipo más adecuado a la aplicación que tendrá nuestro modelo.
- Evitaremos órdenes innecesarios en el modelo resultante.
- Procuraremos un correcto balance entre la complejidad del modelo y el buen desempeño del mismo.

Solución Es necesario llevar el proceso de experimentación considerando todos los detalles que intervienen en la toma de datos experimentales. Lo anterior puede verse en la figura A.

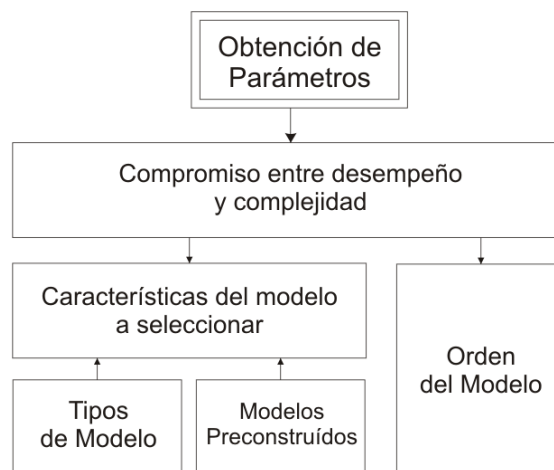


Figura A. Esquema de la fase de Obtención de parámetros

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Proceder a evaluar el desempeño y la calidad del modelo obtenido
-

El primer patrón de diseño que encontramos en esta sección es el de

Los dos primeros patrones en esta etapa se enfocan a la elección de la estructura que tendrá el modelo matemático, el primero nos ayuda a discernir entre si queremos un modelo pre-construido o un modelo a la medida. El segundo nos ubica en el contexto donde ya decidimos que necesitamos un modelo pre-construido y ahora la situación es elegir cuál de ellos.

PATRÓN DE DISEÑO – TIPO DE MODELO

Contexto. Tenemos un conjunto de datos listo para la etapa de estimación de parámetros, necesitamos determinar el tipo de modelo que utilizaremos.

Propósito. Visualizar el tipo de modelo que requiere nuestra aplicación, de modo que cumpla su propósito sin involucrar demasiada complejidad.

Justificación. Existen diferentes tipos de modelos, éstos están regidos mediante el compromiso de complejidad contra buen desempeño, es necesario decidir cuál es el tipo de modelo apropiado.

Beneficios.

- La correcta elección del tipo de modelo tendrá un impacto positivo en el resultado final.

Solución. Analizando el conocimiento que tengamos sobre nuestro sistema podemos elegir entre dos opciones:

Modelo a la medida. Si tenemos suficiente información sobre el sistema que estamos trabajando y sólo necesitamos identificar unos cuantos parámetros, esta puede ser la opción. La inclusión del conocimiento previo del proceso da como resultado que el comportamiento del modelo se asemeje más a aquél del proceso real. Sin embargo, las ecuaciones resultantes de este tipo de modelos suelen ser más complicados, ya que intervienen ecuaciones particulares del sistema.

Modelo Preconstruido. Si no sabemos mucho sobre el sistema que tratamos de identificar, la solución es optar por un modelo preconstruido. No obtendremos la misma calidad que con un modelo a la medida debido a que los modelos

preconstruidos son un tipo de plantillas suficientemente flexibles para poder simular el comportamiento de gran cantidad de sistemas con una simple selección de sus parámetros. Por otro lado, dicha estimación de parámetros resulta más sencilla que en el caso de los modelos hechos a la medida.

Ejemplo.

Nos encontramos en una situación en la cuál no contamos con un paquete de software que pueda sustentar las operaciones de un modelo hecho a la medida, en este caso aplicaremos el patrón y evaluaremos los pros y contras de usar un modelo a la medida o una estructura preconstruida con el fin de disminuir la carga computacional del proceso.

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Proceder a obtener los parámetros si elegimos un modelo a la medida
 - Decidir cuál modelo preconstruido es el adecuado. Véase Patrón Modelos Preconstruidos
-

PATRÓN DE DISEÑO – MODELOS PRECONSTRUIDOS

Contexto. Hemos determinado que necesitamos un modelo preconstruido para nuestra planta, necesitamos determinar aquél que cubra los requerimientos de la misma.

Propósito. Seleccionar un modelo preconstruido de entre los que se proponen en la literatura para obtener sus parámetros.

Justificación. Existen diferentes tipos de modelos preconstruidos, éstos están regidos mediante el compromiso de complejidad contra buen desempeño, es necesario decidir cuál es el tipo de modelo preconstruido apropiado.

Beneficios.

- La correcta elección del modelo preconstruido tiene como resultado un modelo más apegado a las necesidades de nuestro sistema.

Solución. De acuerdo a grado de flexibilidad que necesite nuestro sistema elegiremos entre:

Modelo ARX. $A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t)$. Es el más sencillo de estimar, debe de ser el primero que intentemos debido a su simplicidad. Sin embargo, debido a que el polinomio A debe también describir las propiedades de las perturbaciones a menudo pueden ocurrir inexactitudes en la estimación de parámetros. Los ordenes de los polinomios pueden requerir ordenes mayores.

Modelo ARMAX. $A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)$. Este modelo brinda mayor flexibilidad para manejar las perturbaciones al proporcionar un polinomio extra C que se encarga de ello. Es usualmente utilizado.

Modelo Output Error (OE) $y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t) + e(t)$. Tiene la ventaja de que la dinámica del sistema se describe por separado y que sus parámetros nada tiene que ver con las perturbaciones. Si el sistema trabaja sin retroalimentación en la recolección de datos se puede obtener una buena descripción de la función de transferencia $G(q) = \frac{B(q)}{F(q)}$ sin importar las perturbaciones. Sin embargo la minimización de la función criterio puede resultar más complicada que en el caso del ARMAX.

Modelo Box Jenkins (BJ) $y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t) + \frac{C(q)}{D(q)}e(t)$. Es un modelo completo, en donde la dinámica del sistema se encuentra separada de las propiedades de las perturbaciones.

Ejemplo. El uso de este patrón guarda estrecha relación con la aplicación que se le intente dar al modelo resultante.

Consideremos por ejemplo un proceso en el que las perturbaciones entren al sistema tempranamente, en este caso, una estructura ARX o ARMAX puede ser útil.

Si contamos con un sistema donde las perturbaciones entren al sistema tardíamente, será más apropiado utilizar un modelo Box Jenkins que permita modelarlas independientemente.

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Proceder a obtener los parámetros mediante un método numérico
-

El último patrón de esa etapa trata el tema de la elección del orden del modelo que hemos de elegir, existe un punto en el que la inclusión de un orden mayor puede resultar innecesaria y a lo único que contribuye es a agregar complejidad al modelo.

PATRÓN DE DISEÑO – ORDEN DEL MODELO

Contexto. Se ha seleccionado un modelo preconstruido y se necesita determinar el orden con el que se va a trabajar.

Propósito. Determinar el orden que tendrá el modelo que resulte del proceso de Identificación.

Justificación. Es siempre deseable mantener la complejidad del modelo tan simple como sea posible.

Beneficios.

- Obtendremos la información necesaria del sistema en la frecuencia en la que utilizaremos nuestro modelo.

Solución.

1. Estime las características del sistema (*Vea patrón Análisis Transitorio*)
2. Pruebe diferentes órdenes con el tiempo de respuesta obtenido en el paso anterior en un modelo ARX y seleccione el que de mejor resultado.
3. Grafique los polos y ceros de la estructura seleccionada, marcando sus regiones de incertidumbre, y busque por posibles cancelaciones de polos y ceros.
4. Con el orden reducido pruebe con la estructura pre-construida que seleccionó.

Ejemplo.

Tenemos un proceso de secado, aplicamos un voltaje a la entrada y medimos la temperatura como salida. Aplicando el patrón, propusimos diferentes órdenes para la estructura ARX, del desarrollo de este paso hemos derivado que el mejor desempeño se logra con una estructura ARX de cuarto orden. El resultado se muestra en la figura A, en donde se señala el porcentaje de concordancia con los datos tomados experimentalmente.

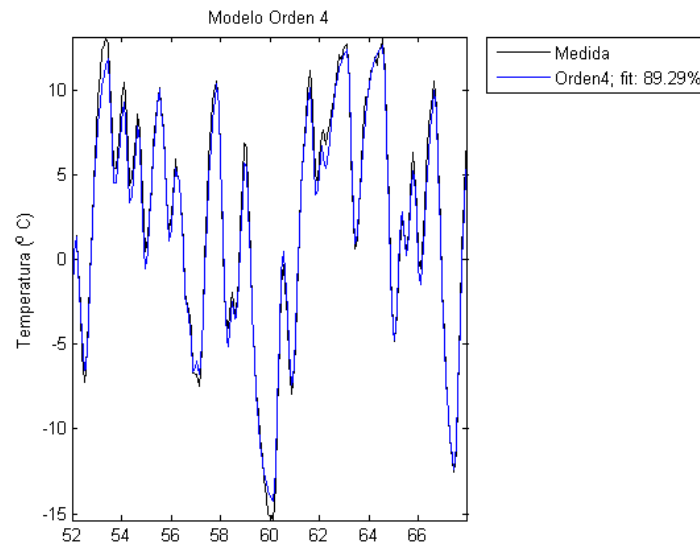


Figura A. Desempeño del modelo de orden 4

De acuerdo al patrón, debemos considerar una gráfica de los polos del sistema para comprobar posibles cancelaciones, esto se muestra en la figura B, en donde se observa que es posible hacer dos cancelaciones de polos con ceros, reduciendo el modelo a orden 2. En la figura C se muestra el resultado de hacer esta reducción, es de notarse que el desempeño del modelo no se ha visto drásticamente alterado y en pos de la simplicidad decidimos optar por el modelo de orden 2

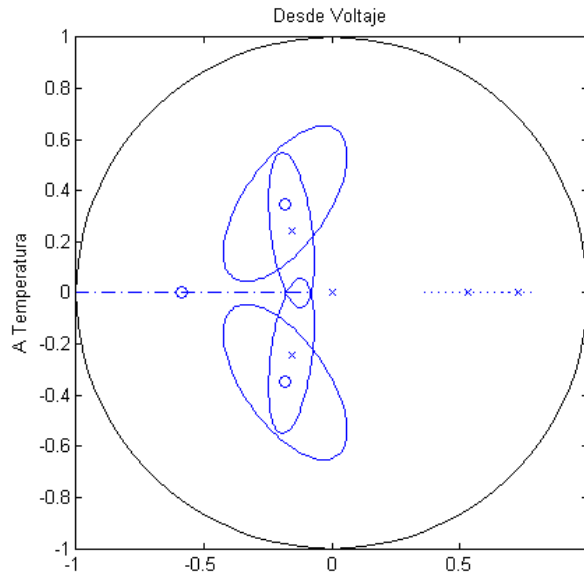


Figura B. Diagrama de polos y ceros del modelo de orden 4

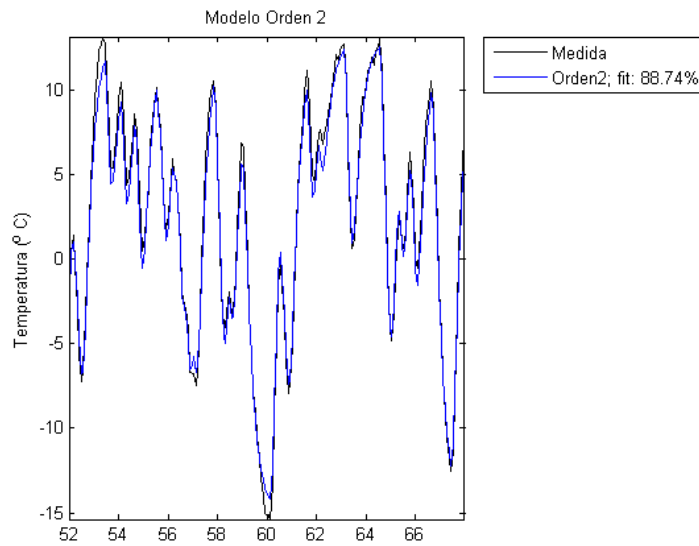


Figura C. Desempeño del modelo de orden 2

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Realizar la estimación de parámetros con este orden seleccionado.
- Obtener un modelo con un correcto balance entre complejidad y precisión.

4.3.5 Patrones para la fase de Validación del modelo

En la parte final del proceso de identificación nos encontramos con la fase de evaluación del modelo, donde podemos observar el siguiente patrón de análisis.

PATRÓN DE ANÁLISIS – VALIDACIÓN DEL MODELO

Contexto Tenemos un modelo matemático obtenido mediante el proceso de identificación, debemos evaluarlo en busca de errores para comprobar su utilidad así como el buen desempeño del mismo para nuestra aplicación.

Propósito Evaluar el modelo matemático obtenido durante la etapa de obtención de parámetros.

Justificación Es necesario comprobar que el modelo funciona correctamente para la aplicación que queremos darle, ya que podría ser un buen modelo para una aplicación mientras que para otra sea insuficientemente adecuado.

Beneficios

- Se detectarán posibles errores durante el proceso para proceder a su corrección.
- Se evaluará y confirmará el buen desempeño del modelo en la aplicación que se tiene considerada.

Solución La validación del modelo debe considerar una estructura como la que se muestra en la figura A. Donde podemos observar los aspectos que deben tomarse en cuenta.

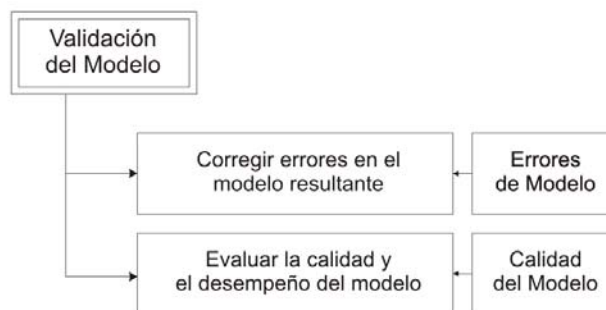


Figura A. Esquema de la fase de Validación del Modelo

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Utilizar el modelo obtenido y validado para el diseño de un controlador para la planta
 - Regresar a etapas anteriores a corregir algún error presente en el resultado final.
-

La última etapa del proceso nos presenta dos patrones que tienen como obvio propósito el evaluar la calidad y desempeño del modelo resultante. Mientras uno se enfoca en identificar las posibles causas de algunos errores comunes en el modelo final, el otro lo hace en evaluar cuál es la proximidad del comportamiento del modelo con el comportamiento real así como analiza las características del modelo en sí para determinar su complejidad. Ambos detalles son importantes para el modelo final.

PATRÓN DE DISEÑO – ERRORES DE MODELO

Contexto. Se tiene un modelo obtenido por identificación que no representa el comportamiento real correctamente.

Propósito. Localizar el origen del error que provocó esta diferencia entre el modelo y la planta.

Justificación. Si el modelo obtenido no cumple con la función de representar a la planta correctamente se debe de identificar el origen de error para poder remediarlo.

Beneficios.

- Ubicaremos el origen del error que se nos presenta en el modelo obtenido.
- Podremos corregir el error y obtener un modelo más adecuado.

Solución. Existen diferentes causas por las que el modelo puede presentar un comportamiento inadecuado:

Error de Varianza. Este error se da cuando las mediciones que hemos recolectado tienen influencia de ruido. Aún repitiendo un experimento con la misma entrada, la salida puede no ser la misma debido a la presencia de ruido. Esto podemos evitarlo tomando secuencias de medición de datos más largas.

Error de Polarización. Este error se da cuando se toman mediciones sin considerar que las condiciones del proceso de experimentación deben ser las mismas para producir la misma salida, ya que diferentes condiciones producen diferentes salidas, incluso si la secuencia de datos es suficientemente larga.

Ejemplo. Considerando el ejemplo de la planta de calentamiento, observamos en la figura A una secuencia de datos con ruido y en se presenta en la figura B el resultado del proceso de Identificación con estos datos.

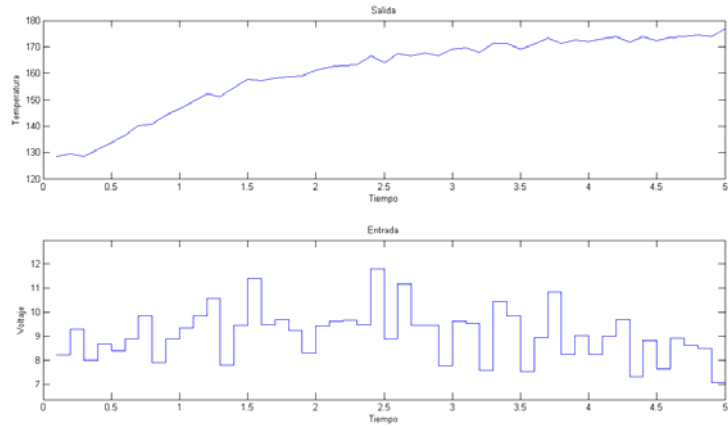


Figura A. Secuencia con ruido y poca cantidad de datos

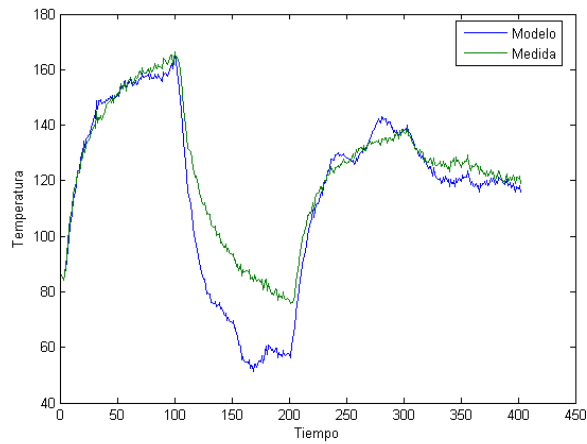


Figura B. Resultado de la identificación

Para solucionar este problema se considera una serie de datos más larga, que se presenta en la figura C, con su correspondiente resultado en la figura D, podemos concluir que aunque el problema no ha sido completamente resuelto, se aprecia una mejora en la calidad del modelo obtenido.

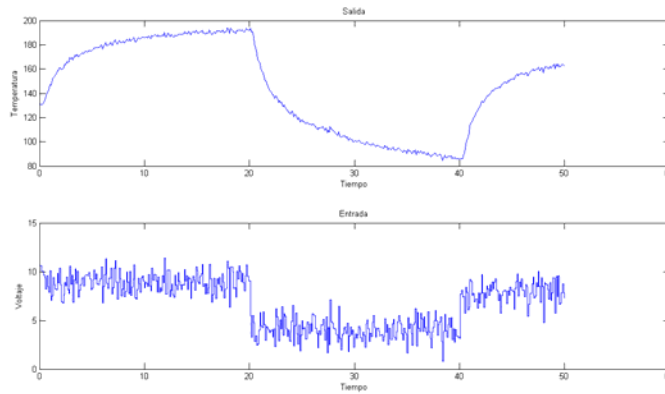


Figura C. Secuencia con mayor número de datos

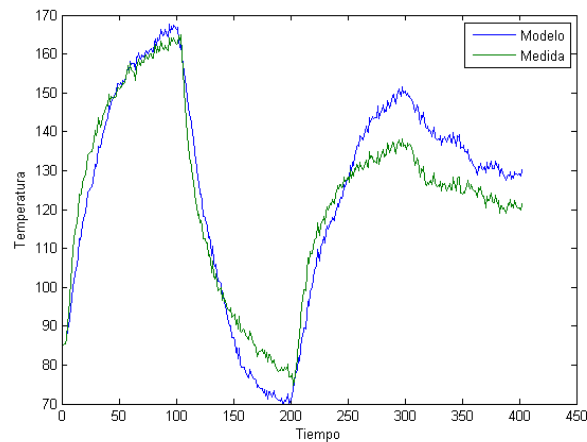


Figura D. Resultado de la identificación con más datos

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Corregir el error que se haya tenido en la obtención de los datos para el proceso de Identificación

PATRÓN DE DISEÑO – CALIDAD DEL MODELO

Contexto. Se tiene un modelo y se debe evaluar su desempeño para considerarlo un modelo terminado.

Propósito. Analizar el desempeño y las características de un modelo obtenido mediante el proceso de identificación.

Justificación. Una vez obtenido un modelo es necesario realizarle algunas pruebas y análisis para comprobar que su funcionamiento es el que nuestra aplicación necesita.

Beneficios.

- Comprobaremos el correcto funcionamiento del modelo que obtuvimos para tener la seguridad de utilizarlo en la aplicación final.

Solución. Al momento de comprobar el correcto funcionamiento del modelo debemos tomar en cuenta tres aspectos:

El uso que se le dará. Ya que el modelo puede ser excelente para una aplicación al mismo tiempo que para otra es deficiente.

La estabilidad del modelo. Debe de tenerse el cuidado de no terminar con un modelo que exhiba un comportamiento inestable. Una forma de confirmar su estabilidad es obtener las propiedades de entrada-salida (diagrama Bode por ejemplo) de un grupo de modelos obtenidos de diferentes juegos de datos experimentales, así se confirma que el modelo opera correctamente bajo tales cambios de operación. También puede compararse la función de transferencia en frecuencia del modelo con el diagrama obtenido en el patrón Análisis Espectral. Estas deben ser razonablemente coincidentes.

La habilidad del modelo para reproducir el comportamiento del sistema. Una prueba natural implica comparar la salida del sistema real con la salida del modelo. La comparación también puede ser hecha basada en la predicción de la salida que presenta el modelo, se recomienda hacer esto último mediante la técnica de Análisis Residual.

Ejemplo. Además de las obvias situaciones donde un modelo es mejor mientras más sea concordante con los datos obtenidos de la planta, debemos considerar ciertas situaciones donde un modelo puede ser útil para una situación pero no tanto para otra.

En el caso de las estructuras de modelos preconstruidas, el modelo tiende a tener una estructura polinomial que resultará conveniente si se trata de diseñar un controlador. Si la estructura es hecha a la medida será más exacto pero menos apropiado para un sencillo diseño de su controlador. Es decir, puede sacrificarse una mayor precisión para lograr mayor flexibilidad al diseñar el controlador. O bien, puede sacrificarse facilidad en el diseño del controlador si lo que se requiere es precisión al extremo.

Si lo que queremos es simplemente una simulación del comportamiento de la planta, incluso con el patrón Análisis Transitorio o Análisis Espectral podemos lograr un buen resultado.

Contexto Resultante

Estamos ahora en condiciones de:

- Utilizar el modelo para la aplicación final.
-

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Como resultado del desarrollo de este trabajo podemos concluir que se han cumplido los objetivos que nos planteamos al principio de la investigación. Hemos conseguido el propósito de aplicar la teoría de patrones de análisis y diseño a una nueva área de conocimiento. Tenemos ahora un conjunto de patrones que serán de ayuda a todo principiante que incursione en el camino de la identificación de sistemas.

El objetivo general se considera cumplido, ya que hemos logrado recopilar la experiencia de autores que han trabajado el tema de la identificación de sistemas mediante una teoría que presenta la experiencia de una forma clara y factible de ser entendida por el individuo inexperto en el campo de estudio.

Entre las contribuciones del trabajo al campo de la ciencia podemos mencionar que se realizó la propuesta de una estructura de patrones que contiene toda la información necesaria para su fácil aplicación en el campo de estudio seleccionado, la identificación de sistemas.

Se consiguió elaborar un conjunto de patrones en identificación de sistemas tal como se propuso, y se dividieron éstos en cinco subgrupos de acuerdo al fin particular que persiguen. Se elaboró un grupo de patrones destinados al modelado físico, ruta en ocasiones alterna y en ocasiones complementaria de la identificación. Otro grupo de patrones elaborado es el de experimentación, en donde se ubica a los patrones destinados a solventar el problema de la recolección de información acerca de una planta sin incurrir en errores propios de esta etapa. Un tercer grupo de patrones se enfoca a la etapa de pre-procesado, brindando ayuda con los análisis que se deben hacer sobre los datos en esta etapa. Otro grupo se destina a apoyar la etapa de obtención de parámetros, sección matemática por naturaleza pero que no está exenta de requerir un poco de experiencia para brindar mejores resultados. El último grupo de patrones se encarga de la etapa de validación del modelo, donde se ha de decidir si el modelo es adecuado para el propósito para el que fue concebido.

Además de la clasificación presentada, hemos ubicado a los patrones dentro de la categoría que deben ocupar por su naturaleza, especificando así, si se trata de un patrón de diseño o de un patrón de análisis. Dedicándose los patrones de análisis a observar cada una de las etapas de una forma muy abstracta para poder brindar al lector la posibilidad de tener una vista general del problema. Los patrones de diseño son los que ayudarán al lector a desarrollar una solución una vez teniendo la idea general brindada por los patrones de análisis.

También existe una aportación para aquellos que, debido a su experiencia, no requieren un conjunto de patrones en el cual apoyarse. Se trata de la creación de una *lingua franca*, que viene a ser de mucha utilidad en el quehacer cotidiano del individuo inmerso en este campo, ya que permite englobar todo un concepto dentro de un simple nombre de patrón. De esta manera el lenguaje entre colegas de este campo de estudio se ve elevado a un nivel de abstracción mayor.

La metodología mediante patrones propuesta en este trabajo de investigación contribuye aportando esa experiencia que requiere este proceso, esa misma experiencia que ha llevado a algunos a considerar a la identificación un “arte”. Los

patrones nos ayudarán a tomar decisiones con mejores fundamentos al momento de entrar en el proceso de obtención de un modelo por identificación.

Cabe mencionar que el alcance de esta tesis no cubre la totalidad del área de identificación de sistemas, aún existen algunos temas en este campo de estudio que no han sido tratados en este trabajo.

La vastedad de diferentes situaciones dentro del estudio de la obtención de modelos matemáticos por identificación hace imposible que se abarquen todos ellos en este trabajo. Se ha delimitado el trabajo a una identificación paramétrica, dejando todo el campo de la identificación no paramétrica como trabajo futuro.

A manera de proseguir por este camino de estudio podemos mencionar como trabajo futuro una serie de puntos. Es posible ampliar el alcance de esta idea incluyendo nuevas áreas del campo de identificación de sistemas a nuestro conjunto de patrones, analizando un mayor número de situaciones que sin duda nos llevarán a la elaboración de nuevos patrones que complementen los ya obtenidos en nuestra investigación.

Se propone como trabajo futuro realizar un estudio comparativo entre individuos a los que se les otorgue la herramienta de patrones e individuos que se valgan de sus propios métodos para lograr un modelo de una determinada planta. En este estudio podríamos determinar claramente los beneficios que presenta la aplicación de la metodología a través de patrones al proceso de identificación. También nos podría mostrar algunos puntos que debemos corregir o prestar mayor atención en nuestro lenguaje de patrones. Sin embargo, un estudio de este tipo implica la colaboración de un grupo de estudio así como un tiempo considerable para poder apreciar los resultados que perseguimos.

Un punto importante a considerar a modo de mejorar el alcance de este trabajo consiste en dar difusión a la utilización de este concepto, para lograr que el conocimiento se siga documentando en forma de patrones y no se desperdicie la experiencia obtenida por quienes han recorrido ya el camino del aprendizaje.

De acuerdo a todo lo anterior, podemos concluir que hemos logrado un resultado satisfactorio al conseguir alcanzar los propósitos que nos propusimos al principio del trabajo. Sin embargo, no dejamos de señalar todas las posibilidades de crecimiento que puede tener la idea de esta investigación, que de ser trabajadas podrían mejorar sustancialmente la utilización de este concepto.

Bibliografía

1. *Patterns*. **Fowler, Martin**. Marzo/Abril : s.n., 2003, IEEE Software, págs. 56-57.
2. **Alexander, Christopher**. *A Pattern Language*. New York : Oxford University Press, 1977.
3. *A pattern language for pattern writing*. **Meszaros, Gerard y Doble, Jim**.
4. **Vlissides, John**. *Pattern Hatching: Designing Patterns Applied*. s.l. : Addison Wesley.
5. *Using design patterns in real-time application*. **Carvalho, S., Rossy, G. y Balaguer, F**. Gramado, Brazil : s.n., 4-6 de Noviembre de 1997, Proc. WRTP'96 , IFAC/IFIP Workshop on real time programming, págs. 93-96.
6. *Towards a flexible application for data fusion using real-time design patterns*. **Parikh, C., y otros**. Aachen, Alemania : s.n., 7-10 de Septiembre de 1998, Proc. EUFIT'98 6th Eur. Cong. Intelligent Techniques and Soft Computing, págs. 1131-1135.
7. *A design pattern for autonomous vehicle software control architectures*. **Nelson, M**. 1999, PROC. 23rd COMPSAC Int. Computer Software and Applications, págs. 172-177.
8. *Design patterns for behavior-based robotics*. **Graves, A. y Czarnecki, Z**. 1, IEEE Trans. Man, Cybernet : s.n., 2000, Vol. 30, págs. 36-41.
9. **Pont, Michael J**. *Patterns for Time-Triggered Embedded Systems*. Londres : Pearson Education, 2001.
10. *Pattern-based Control System Engineering*. **Sanz, Ricardo y Zalewski, Janusz**. Junio de 2003, IEEE Control Systems Magazine, págs. 43-60.

11. *Real-time constraints as strategies*. **Buschmann, F.** Bad Irsee, Germany : s.n., 9-11 de July de 1999, Proc. EUROPLOP '98 3rd Euro conference Pattern Languages of programming and computing.

12. *Framework based software architectures for process automation systems*. **Buschmann, F., Gesiler, A. y Heimke, T.** 2000, Annu. Rev. Contr., Vol. 24, págs. 163-175.

13. *Object-oriented design pattern approach for modeling and simulating open distributed control systems*. **Tomura, T., y otros.** Seoul, South Korea : s.n., 21-26 de Mayo de 1997, Proc. 2001 ICRA. IEEE Conf. Robotics and Automation, págs. 211-216.

14. *System Identification using Identification Patterns*. **Henderson, Ian y Jackowska Strummillo, Lidia.** Glasgow, Scotland : s.n., 1999.

15. *The pros and cons of adopting and applying Design Patterns in the real world*. **Cline, Marshall P.** 10, Octubre de 1996, Communications of the ACM, Vol. 39, págs. 47-49.

16. **Gama, Erich, y otros.** *Design Patterns Elements of Reusable Object-Oriented Software*. s.l. : Addison-Wesley, 1995.

17. **Robertson, Suzanne y Robertson, James.** *Mastering the Requirements Process*. Londres : Addison-Wesley, 1999.

18. **Fowler, Martin.** *Analysis Patterns Reusable Object Models*. s.l. : Addison-Wesley, 1997.

19. **Sommerville, I.** *Ingeniería de Software*. Mexico : Pearson Education, 2002.

20. *User Interface Conceptual Patterns*. **Molina, P.J., Meliá, Santiago y Pastor, O.** Rostock, Alemania : s.n., Junio de 2002, Proceedings of the 4th International Workshop on Design Specification & Verification of Information Systems, págs. 201-214.

21. **Astrom, K y Wittenmark, K.** *Computer Controlled Systems: Theory and Design.* New Jersey : Prentice Hall, 1990.
22. *Advantages and disadvantages of controllers design using fuzzy logic.*
Ashbaugh, Ben y Boitano, Justin. San Diego, California : s.n.
23. **Ikonen, Enso y Najim, Kadour.** *Advanced Process Identification and Control.* New York : Marcel Dekker Inc., 2002.
24. **Ljung, Lennart.** *Modeling of Dynamic Systems.* s.l. : Prentice Hall, 1994.
25. *Modelado de Sistemas Dinámicos por Identificación aplicando el Paradigma de Patronos.* **Suárez, Dionisio, Muñoz, Jaime y Rodríguez, Gustavo.**
26. **Mikles, Jan y Fikar, Miroslav.** *Process Modelling Identification and Control.* New York : Springer Berlin Heidelberg, 2007.
27. **Shalloway, Alan y Trott, James R.** *Design Patterns Explained: A new perspective on Object Oriented Design.*
28. *A training experience with patterns.* **Goldfedder, Brandon y Rising, Linda.** 10, Octubre de 1996, Communications of the ACM, Vol. 39, págs. 60-64.
29. **Freeman, Eric y Freeman, Elisabeth.** *Head First: Design Patterns.* s.l. : O'Reilly.