

ARTÍCULOS

Diseño axiomático para dispositivos mecatrónicos

Axiomatic design for mechatronic devices

Jesús Mares Carreño

ORCID: 0000-0002-6367-6062

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, campus Hidalgo (UPIIH),
Instituto Politécnico Nacional (IPN)

Alan Eduardo Escobar Miranda

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, campus Hidalgo (UPIIH),
Instituto Politécnico Nacional (IPN)

Griselda Stephany Abarca Jiménez

ORCID: 0000-0002-7811-6471

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, campus Hidalgo (UPIIH),
Instituto Politécnico Nacional (IPN)

RESUMEN

En el presente artículo se aborda el diseño axiomático como una herramienta metodológica de diseño cuya finalidad es servir como puente entre lo que se necesita o desea y cómo se va a desarrollar e implementar una solución, ya sea de manera tangible (*hardware*) o intangible (*software*) a dichas necesidades o deseos. Se presenta la afinidad del diseño axiomático en el trabajo con equipos multidisciplinarios y, por último, se establece el potencial de aplicación del diseño axiomático en el proceso de diseño de dispositivos mecatrónicos que, por su naturaleza, requieren del trabajo de un equipo interdisciplinario.

PALABRAS CLAVE

diseño axiomático, dispositivos mecatrónicos, equipo multidisciplinario, equipo interdisciplinario

ABSTRACT

In this paper, axiomatic design is presented as a methodological design tool whose purpose is to serve as a bridge between what is needed or desired and how a solution is going to be developed and implemented, either in a tangible (*hardware*) or intangible (*software*) way to those needs or desires. The affinity of axiomatic design in working with multidisciplinary teams is presented and finally the potential for applying axiomatic design in the design process of mechatronic devices is established, which by nature require the work of a interdisciplinary team.

KEY WORDS

axiomatic design, mechatronic devices, multidisciplinary team, interdisciplinary team

El diseño axiomático

La finalidad del diseño axiomático es crear una cultura científica en el campo del diseño, mediante un enfoque de mayor rigor lógico a la creación de nuevos productos o servicios, con lo cual se pretende minimizar los errores y mejorar la eficiencia del proceso de diseño (Maldonado et al., 2019). A partir de conceptos matemáticos básicos, el diseño axiomático evita incurrir en prácticas de prueba y error, disminuye el impacto de las subjetividades y respalda el éxito del diseño de un producto o servicio.

La identificación de la necesidad es el punto de partida de cualquier proceso de diseño; por lo tanto, el diseño axiomático pone especial énfasis en la interpretación y satisfacción de las necesidades del cliente, al hacer un mapeo explícito entre los requerimientos expresados por el cliente y los parámetros técnicos que aseguren su cumplimiento.

Como su nombre lo indica, el diseño axiomático está basado en axiomas; así pues, para describir el proceso de diseño axiomático nos remitimos primero a la definición de un *axioma*, el cual, según la Real Academia Española (RAE), es “cada uno de los principios indemostrables sobre los que, por medio de un razonamiento deductivo, se construye una teoría” (RAE, 2014).

Por lo tanto, considerando que un axioma no tiene demostración formal, el diseño axiomático no está basado en una ley o elemento absoluto dentro del campo de la ciencia; sin embargo, los axiomas en los que se basa se pueden asumir como ciertos, puesto que representan un comportamiento que ha sido observado por mucho tiempo, cuentan con ciertos patrones que tienden a ser repetitivos y por lo general llegan a resultados favorables, por lo que constituyen un fundamento sólido para construir un sistema que permita entender y llevar a cabo patrones de éxito. El diseño axiomático se fundamenta en dos axiomas: el de *independencia* y el de *información*, ambos principios generalizables a diversos procesos de diseño y de los cuales es posible derivar corolarios o teoremas que sirvan como reglas de diseño para situaciones específicas.

Los dominios del diseño axiomático

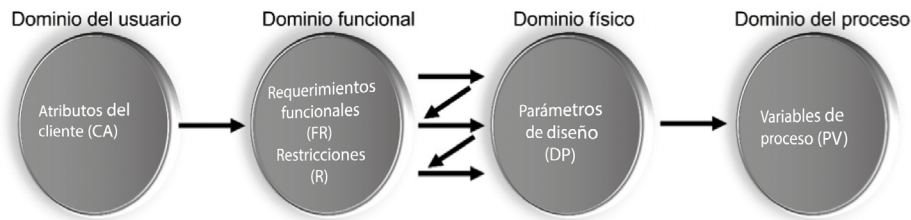
Antes de presentar los dos axiomas base, es necesario entender que con la metodología del diseño axiomático se realiza una serie de mapeos sobre cómo debe fluir la información desde el cliente hasta la manufactura del producto, y para esto se divide el *mundo del diseño* en cuatro dominios (figura 1, p. 3).

Dichos dominios representan las cuatro actividades diferentes que se llevarán a cabo durante el proceso de diseño; a saber: la obtención de necesidades, el desarrollo de especificaciones, el diseño conceptual y el diseño detallado.

En el *dominio del usuario* se ubican las necesidades que dan inicio y propósito al proyecto de diseño, ya sea que éstas surjan o sean expresadas por un cliente o por un usuario. A las

necesidades las llamaremos *atributos del cliente* o CA (por sus siglas en inglés), y pueden ser descritas de forma coloquial, sólo enfatizando lo que se quiere del producto o servicio.

Figura 1
Dominios del diseño axiomático



Fuente: Elaboración propia.

En el *dominio funcional* encontramos los llamados requerimientos funcionales (FR por sus siglas en inglés), que son los CA traducidos a un lenguaje más técnico y conciso; además, están las restricciones o R, las cuales establecen los límites a los que no se debe o no se puede llegar. Es posible encontrar dos tipos de restricciones: las impuestas por el propio cliente, incluidas las tolerancias asociadas con el producto, y las impuestas por la naturaleza del proyecto, que son las limitaciones intrínsecas de las plataformas tecnológicas por usar.

Los FR pueden tener una jerarquía en función de su relevancia, que va desde un alto nivel hasta el nivel más bajo. Con el fin de encontrar soluciones de manera sencilla, estos FR (padre) pueden ser desglosados en diferentes FR (hijos) hasta que la solución sea obvia y pueda tener sentido lógico y realista.

El *dominio físico* es la visualización de los FR en su forma física, la cual no necesariamente tiene que ser tangible (*hardware*), ya que podrían representarse con algoritmos o códigos (*software*). Asociados a este dominio están los *parámetros de diseño* (DP por sus siglas en inglés); es obligatorio que cada FR tenga su propio DP, empezando siempre desde los FR de mayor nivel. Para lograr lo anterior puede ser necesario un proceso iterativo o de zigzag.

En el *dominio del proceso* se ubican los procesos requeridos para que cada uno de los DP se pueda materializar y para que se pueda crear, programar o manufacturar; igualmente, con un enfoque uno a uno, para cada DP existe una *variable de proceso* (PV por sus siglas en inglés). En este punto ya se debieron haber considerado las tolerancias y las restricciones, así como todas las leyes naturales aplicables.

El acomodo de los dominios presentado en la figura 1 no es fortuito, ya que existe una relación entre éstos; si se toma un par de dominios contiguos, el dominio del lado izquierdo representa lo que se quiere alcanzar y el dominio de la derecha representa la solución de diseño, es decir, cómo se cubrirá lo establecido en el dominio de la izquierda (Suh, 2021).

Los axiomas

El *axioma de independencia* establece que se debe mantener la independencia de los requerimientos funcionales (FR), esto implica que ninguna de las soluciones a los atributos del cliente (CA) debe interferir con o depender de ninguna forma de las soluciones a los demás CA. Cumplir este axioma evita que alguna de las funciones falle en caso de que haya errores colectivos en el producto; en analogía con la electrónica, es como conectar un circuito en paralelo, en el que si algún componente falla, los otros no se ven afectados y continúan en funcionamiento. Sin embargo, es importante tener en cuenta que lo anterior es aplicable a la parte lógica, lo funcional, no a la parte física, ya que no es necesario tener un elemento físico para cada FR, en tanto la funcionalidad no se afecte de manera directa entre ellas.

Por otro lado, el *axioma de información* establece que en el diseño se debe minimizar el contenido de información. Básicamente, explica la cantidad de información requerida e integrada en el diseño de los productos, ya que afirma que la menor cantidad de información aumentará la probabilidad de éxito.

Este axioma es, en cierta forma, el que representa un mayor reto, ya que es necesario saber con qué información contamos, cuál hace falta, qué información necesitamos y finalmente discernir qué información es realmente necesaria y cuál puede ser omitida.

El trabajo multidisciplinario y el diseño axiomático

El contexto actual del desarrollo tecnocientífico exige un enfoque integrado que incluya diferentes áreas de conocimiento, tanto técnicas como administrativas, a fin de cubrir satisfactoriamente las exigencias de diseño.

Idealmente, para obtener un diseño exitoso, éste debería ser realizado por una sola persona que conozca perfectamente cada una de las leyes que rige cada área de conocimiento involucrada en el diseño (Suh, 2001). Lo anterior sugiere que sea una persona con conocimiento absoluto de todo lo necesario para el desarrollo del diseño; sin embargo, eso es imposible de lograr. Lo que sí es posible es crear un grupo de expertos que en conjunto cuenten con todo el conocimiento para que el proceso fluya de manera satisfactoria.

La necesidad de integrar equipos de trabajo para abordar la tarea de diseño es innegable, aún más cuando la labor de diseño se enfoca en el desarrollo de dispositivos tecnológicos innovadores, pues esto exige la integración de equipos multidisciplinarios de trabajo.

Lo que se busca con un trabajo multidisciplinario es el intercambio de conocimiento e ideas que se vean desde diferentes ángulos de entendimiento para generar mejores resultados en el proceso del diseño, ya que la ampliación de la mirada del producto traerá consigo una solución compuesta de mayor valor, viable y aceptable tanto funcional como socialmente.

En el diseño multidisciplinario, el problema de la colaboración requiere de la interacción entre las personas, mediada o no mediada por recursos informáticos, donde se puedan establecer puntos de vista y criterios integrales para tomar decisiones en forma colectiva (Aguilar Zambrano, 2009). El diseño axiomático se inserta de manera natural en el ámbito de los equipos de trabajo multidisciplinarios, lo que permite generar una estructura de trabajo clara, en la cual los objetivos de diseño sean nítidos para todo el equipo sin importar el área de especialidad de cada integrante, y centrar la atención en lo que se necesita hacer y no en preconcepciones técnicas.

Diseño axiomático y mecatrónica

El término mecatrónica fue acuñado en 1969 por Tetsuro Mori (Bradley y Russel, 2020), quien se basó en su visión acerca de la evolución de los productos tecnológicos. Así pues, podemos decir que la mecatrónica, como área de estudio y desarrollo, ha estado presente por más de cinco décadas; sin embargo, el término y la filosofía de diseño que la acompañan no tuvieron difusión masiva sino hasta la década de 1990. Durante los años posteriores, la mecatrónica tomó gran relevancia hasta convertirse en un término de uso común en el ámbito académico y de desarrollo tecnológico, pero, a pesar de esto, hoy en día es difícil encontrar una definición unificada para este término. Las acepciones más comunes mencionan:

- Según Bolton (1995), es la integración de la electrónica, la ingeniería de control y la ingeniería mecánica.
- Para Harashima et al. (1996), es la integración sinérgica de la ingeniería mecánica con electrónica y control inteligente en el diseño y manufactura de productos y procesos industriales.
- De acuerdo con Millbank (1993), por definición, la mecatrónica no es asignatura, ciencia o tecnología por sí misma; en realidad debe ser considerada como una filosofía, una forma fundamental de ver y hacer, y, por su naturaleza, requiere un enfoque unificado para su desarrollo.

Si bien no es posible encontrar una definición unificada de *mecatrónica*, sí es posible establecer, con base en cualquiera de las definiciones previas, que la mecatrónica por naturaleza implica múltiples disciplinas. Esto llevaría de inmediato a la conclusión de que la labor de diseño es multidisciplinaria; sin embargo, el proceso de diseño en la mecatrónica va más allá de la multidisciplinaria; el diseño en mecatrónica debe ser interdisciplinario, ya que, como lo mencionaba Tetsuro Mori en su definición, “la tecnología y el desarrollo de productos incorporará cada vez más electrónica a la mecánica, de manera íntima y orgánica, haciendo imposible discernir en dónde termina una y empieza la otra” (1969). Para lograr la interdisciplina en el proceso de diseño dentro de la mecatrónica, se ha buscado la creación de programas académicos cuyos currículos aglutinen los conocimientos considerados necesarios para

la formación de profesionales capacitados para ejecutar estas tareas de diseño; no obstante, el surgimiento cada vez más acelerado de nuevas herramientas técnicas hace que la idea de tener profesionistas con completo dominio de todo lo necesario para el diseño de dispositivos mecatrónicos sea utópica.

El proceso de diseño de dispositivos mecatrónicos requiere de equipos de trabajo interdisciplinarios, en los cuales el trabajo y la responsabilidad sean compartidas, y las tareas estén claramente asignadas, pero principalmente se requiere una estrategia de trabajo metódica, disciplinada, que además privilegie una comunicación clara y constante. Es precisamente en este punto donde una herramienta metodológica como el diseño axiomático toma importancia, ya que permite abordar la tarea de diseño de dispositivos mecatrónicos en toda su complejidad, pues clarifica la comunicación dentro del equipo de trabajo al establecer los objetivos del proyecto de diseño por medio de los dominios del usuario, funcional, físico y del proceso. El mapeo de los CA de un dominio a otro hace que las necesidades básicas a cubrir con el diseño no se difuminen en el proceso entre tecnicismos y cálculos; por el contrario, las mantiene siempre en el centro de atención; al guiar la labor de diseño de esta forma, se facilita la fusión de los conocimientos de los diferentes campos involucrados para dar soluciones integradas.

Conclusión

El uso de herramientas metodológicas de diseño bien fundamentadas permite la realización de trabajos de diseño estructurados en los que se minimice el impacto de las subjetividades en el producto final. El diseño axiomático demuestra ser una herramienta metodológica de gran utilidad, en especial en situaciones donde la labor de diseño es desempeñada por un equipo multidisciplinario. Esto porque el mapeo del diseño de los diferentes dominios, además de la búsqueda del cumplimiento de los dos axiomas, orienta el proceso de diseño al dejar bien establecidos los objetivos, lo que disminuye los posibles errores por mala comunicación y aumenta la probabilidad de éxito del diseño final.

Finalmente, destaca de manera especial el potencial de aplicaciones del diseño axiomático en un área de desarrollo tecnológico como la mecatrónica, la cual, de forma natural, requiere de equipos de trabajo interdisciplinarios para abordar la complejidad y amplitud de las labores de diseño que ésta implica.

Referencias

Aguilar-Zambrano, J. y González-Cruz, M. C. (2009). Equipos multidisciplinarios de diseño de producto con el diseño axiomático. XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Badajoz, 8-10 de julio de 2009. https://www.aepro.com/files/congresos/2009badajoz/cip09_1667_1678.2705.pdf

- Bolton, W. (1995). *Mechatronics: Electronic control systems in mechanical engineering*. Longman.
- Bradley, D. y Russell, D. W. (Eds.) (2020). *Mechatronics in action. Case studies in Mechatronics-applications and education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-080-9>
- Harashima, F., Tomizuka, M. y Fukuda, T. (1996). Mechatronics. "What is it, why, and how?". An editorial. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 1(1), 1-4. <https://doi.org/10.1109/TMECH.1996.7827930>
- Maldonado Macías, A. A., Balderrama Armendáriz, C. O., Pedrozo Escobedo, J. y García Alcaraz, J. (2019). *Diseño axiomático: Libro de fundamentos y aplicaciones*. Universidad de La Rioja.
- Millbank, J. (1993). Mecha-what? *Mechatronics Forum Newsletter*, (6).
- Mori, T. (1969). Mechatronics. *Yasakawa Internal Trademark Application Memo*.
- Real Academia Española (2014). Axioma. *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/axioma>
- Suh, N. P. (2001). *Axiomatic design: Advances and applications*. Oxford University Press.