

Desarrollo Integrado de Producto y Proceso y Diseño Axiomático y Concurrente

Andrés Holguín Restrepo
Ingeniería Mecatrónica
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
aholguinr@unal.edu.co

I. RESUMEN

El Desarrollo Integrado de Producto y Proceso (DIPP) y el Diseño Axiomático y Concurrente (DAC) son metodologías de ingeniería que se utilizan en la creación de nuevos productos y procesos. El DIPP involucra la colaboración estrecha entre los equipos de diseño y producción, reduciendo el tiempo de desarrollo y los costos. Por otro lado, el DAC se centra en el diseño de productos de alta calidad y eficiencia a través del uso de matrices de diseño. La combinación de estas metodologías puede llevar a la creación de productos y procesos altamente eficientes y efectivos. Ejemplos de aplicación exitosa incluyen la industria automotriz y la manufactura de productos electrónicos.

II. INTRODUCCIÓN

El DIPP y DAC son enfoques que se utilizan en la ingeniería para mejorar la eficiencia y efectividad del desarrollo de productos y procesos. El DIPP se enfoca en la integración temprana del diseño del producto y del proceso, mientras que el DAC se enfoca en la identificación y cumplimiento de los requisitos del cliente y la optimización del diseño del producto y del proceso. Ambos enfoques tienen como objetivo lograr un proceso de desarrollo más eficiente y reducir costos, mejorando la calidad del producto y acelerando el tiempo de lanzamiento al mercado. En este artículo se explorará en detalle el DIPP y el DAC, sus beneficios y su aplicación práctica en la ingeniería de productos y procesos. Se presentarán casos de estudio y se discutirán las mejores prácticas para la implementación efectiva de estas metodologías.

III. DESARROLLO INTEGRADO DE PRODUCTO Y PROCESO

El Desarrollo Integrado de Producto y Proceso (DIPP), también conocida como Integrated Product and Process Development (IPPD) en inglés, es una metodología de ingeniería que tiene como objetivo optimizar el proceso de desarrollo de un producto, integrando tanto el diseño del producto como del proceso de producción. En otras palabras, se trata de diseñar no solo el producto final, sino también los procesos necesarios para su fabricación y puesta en el mercado [1].

El DIPP se basa en la colaboración estrecha entre los equipos de diseño y producción, con el fin de lograr una mejor comunicación y un enfoque integrado en el desarrollo del producto. Los equipos de diseño y producción trabajan

juntos desde las primeras etapas del proyecto para identificar y solucionar posibles problemas de producción y asegurarse de que el producto final se pueda fabricar de manera efectiva.

Para lograr esto, el DIPP utiliza una serie de herramientas y técnicas que incluyen el Diseño Axiomático, el Diseño Concurrente, la Ingeniería de Valor y el Análisis de Costos del Ciclo de Vida. Estas herramientas permiten a los equipos de diseño y producción trabajar juntos para definir las características del producto, establecer los requisitos de fabricación y encontrar formas de mejorar el proceso de producción.

La colaboración entre los equipos de diseño y producción es esencial en el DIPP, ya que estos equipos trabajan juntos desde las etapas iniciales del desarrollo del producto hasta la producción en masa. La colaboración efectiva implica que el equipo de diseño y el equipo de producción trabajen en estrecha colaboración para identificar los problemas potenciales y las soluciones viables, lo que ayuda a garantizar que el diseño del producto sea factible y rentable en términos de producción y calidad.

El equipo de diseño, por ejemplo, puede identificar características del producto que son difíciles de fabricar o que pueden resultar en un aumento de los costos de producción. Por otro lado, el equipo de producción puede proporcionar retroalimentación sobre los métodos de producción, procesos y capacidades de la línea de producción para asegurarse de que el producto pueda ser producido de manera eficiente y económica.

La colaboración también permite que el equipo de diseño y el equipo de producción compartan información en tiempo real, lo que permite una comunicación efectiva y mejora la toma de decisiones. Esta colaboración temprana entre los equipos de diseño y producción también puede ayudar a reducir el tiempo de desarrollo, ya que los problemas de fabricación se identifican y resuelven antes de que se complete el diseño del producto.

Con todo y lo anterior, la implementación del DIPP puede ofrecer varios beneficios a las empresas, entre los que destacan:

- Reducción de costos: Al integrar el diseño del producto con el proceso de fabricación, se pueden identificar y solucionar problemas de manufacturabilidad de forma temprana. Esto reduce la necesidad de cambios costosos

en la producción en las etapas posteriores del ciclo de vida del producto.

- Reducción de tiempo de desarrollo: Al tener una visión completa del ciclo de vida del producto desde el principio, se pueden identificar y solucionar problemas de forma temprana. Esto acelera el proceso de desarrollo al reducir la necesidad de cambios de diseño y la retroalimentación entre ingenieros de diseño y producción.
- Mejora de la calidad del producto: Al tener en cuenta las limitaciones de fabricación desde el principio, se puede mejorar la calidad del producto. Además, al tener una visión completa del ciclo de vida del producto, se pueden identificar y solucionar problemas de calidad de forma temprana.
- Mejora de la comunicación: La integración del diseño del producto y el proceso de fabricación fomenta la comunicación entre los ingenieros de diseño y producción. Esto mejora la comprensión de los requisitos y limitaciones de cada departamento y ayuda a fomentar una cultura de colaboración y trabajo en equipo.

De este modo, al trabajar juntos de manera colaborativa, los equipos de diseño y producción pueden diseñar productos que sean más fáciles y menos costosos de fabricar, lo que a su vez puede permitir a la empresa ser más competitiva en el mercado.

III-A. Ejemplo 1

Un ejemplo de aplicación de la metodología DIPP se puede encontrar en el diseño y desarrollo de un nuevo producto electrónico, como un teléfono inteligente.

En la primera fase, el equipo de diseño trabaja en la identificación de las necesidades y deseos de los usuarios a través de la investigación de mercado, las tendencias de la industria y la retroalimentación de los clientes actuales. Esta información se utiliza para desarrollar las especificaciones del producto, incluyendo características, funciones y requisitos técnicos.

En la segunda fase, el equipo de diseño trabaja en la creación de un modelo virtual del producto utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD). Este modelo es utilizado para realizar pruebas virtuales y simulaciones del producto para asegurarse de que cumple con las especificaciones del diseño y para identificar cualquier problema potencial de fabricación o ensamblaje.

En la tercera fase, el equipo de producción se involucra en el proceso de diseño. Ellos trabajan con el equipo de diseño para identificar las mejores técnicas de fabricación y ensamblaje para el producto, y para asegurarse de que los componentes y materiales elegidos sean rentables y adecuados para la producción en masa.

En la cuarta fase, se realiza la producción piloto del producto para verificar la calidad y la funcionalidad del producto, así como para asegurarse de que la línea de producción pueda fabricar el producto a gran escala. Se realizan pruebas y mejoras, y se realiza una verificación final para asegurarse de que el producto cumpla con las especificaciones de diseño.

En la última fase, el producto se lanza al mercado y se realiza una monitorización continua de su desempeño. Se realizan mejoras y actualizaciones según sea necesario para garantizar la satisfacción del cliente y el éxito continuo del producto.

La metodología DIPP permite una integración eficaz entre el diseño y la producción del producto, lo que permite un proceso de desarrollo más rápido, eficiente y rentable.

III-B. Ejemplo 2

Para un segundo ejemplo de desarrollo DIPP se va a utilizar un ejemplo de la vida real aplicada en la clase de Robótica de la Universidad Nacional de Colombia. En el primer laboratorio es necesario diseñar y prototipar un portaherramientas para un marcador que sea utilizado por el robot IRB140 que se tiene en el LabSir. El objetivo principal de este laboratorio es que, con base al uso del robot IRB140 se puedan trazar con el marcador las iniciales de los usuarios ya sea en el suelo o en un plano inclinado. Para esto, es necesario el uso de un portaherramientas el cual permita el acople eficiente entre el marcador y el brazo del robot. Con base en lo anterior, se tiene como requerimientos de diseño el diseño de un portaherramientas que sea capaz de acoplarse al IRB140, y que logre mantener un marcador posicionado de tal manera que se puedan generar trazos mediante los movimientos del robot. Además es necesario que el marcador no esté completamente rígido a la hora de acoplarlo con el portaherramientas debido a que, si se genera un movimiento brusco o un contacto no intencional entre el marcador y la plataforma, no se dañe ni el marcador ni el portaherramientas, sino que el marcador sea capaz de acomodar su posición con el fin de generar un trazo adecuado.

Una vez planteado este problema es posible desarrollar este prototipo ya sea desde un enfoque DIPP o desde un enfoque convencional de diseño y manufactura del producto. Dicho esto, si un estudiante planea su diseño sin tener en cuenta el proceso de manufactura adecuado para prototipar su diseño, va a ser muy difícil contar con resultados óptimos y eficaces que permitan a plenitud completar los requerimientos de este laboratorio. Sin embargo, si uno tiene en cuenta desde el principio tanto el diseño como el proceso de manufactura para la implementación de este porta herramientas el usuario se va a evitar problemas finales de manufactura ya que desde el principio del proceso de diseño se tuvieron en cuenta la mayoría de posibilidades de problemáticas que se podrían llegar a generar.

Ya mencionado el inconveniente que se genera con un proceso de diseño y producto convencional se van a mostrar 2 casos de la vida real que se generaron con diversos compañeros. En el primer caso se tiene un grupo que planteó diseñar un porta herramientas mediante herramientas CAD donde se compone de un ensamble de 3 piezas. la primera pieza es un acople con el IRB 140 mediante tornillos m6. la segunda pieza es un acople entre la primera pieza y la tercera. por último, la tercera pieza cuenta con una estructura tipo tubo donde se puede colocar el marcador de tal modo que se mantenga su

posición en el porta herramienta. estas 3 piezas se ven en la figura 1.

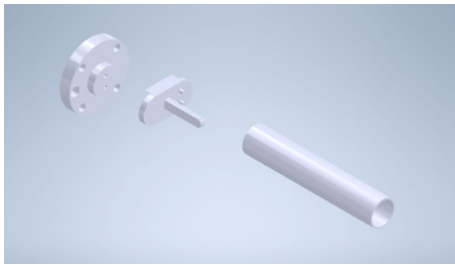


Figura 1. Ensamble portaherramientas

Una vez se terminó el diseño CAD, este grupo planteó un proceso de manufactura mediante impresión 3d convencional con PLA, sin embargo, no fueron conscientes de las limitaciones que se tienen en este proceso de manufactura. Uno de ellos es la calidad que se obtiene en un diseño de dimensiones reducidas, otro es el inconveniente de la utilización de material de soporte el cual reduce aún más la calidad final de las piezas. Además, se tiene el inconveniente de imprimir geometrías sencillas como un tubo, donde es más eficiente comprar un tubo de otro material y acoplarlo al diseño. El grupo no fue consciente de todos estos problemas hasta que antes de empezar el proceso de manufactura, una persona ajena a ellos les comentó todas estas limitaciones que tenían en su diseño. En este punto, el grupo optó por rediseñar su producto debido a que fueron conscientes de los errores cometidos al no acoplar adecuadamente la etapa de diseño y producto.

El segundo grupo que tuvo inconvenientes utilizó un planteamiento diferente en la etapa de diseño al caso anterior, sin embargo, tampoco acoplaron adecuadamente la etapa de manufactura. Se realizó un diseño de una única pieza, donde se realiza el acople con el IRB140 y el encaje con el marcador, este diseño se puede ver en la figura 2.

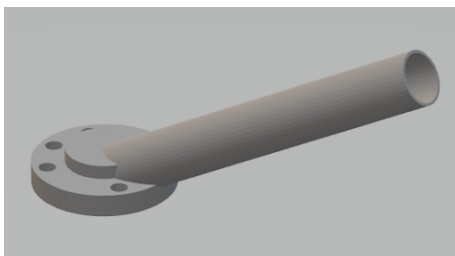


Figura 2. Ensamble portaherramientas

Similar al caso anterior, no se integró la etapa de producto con la etapa de diseño, lo cual implica que no tuvieron presente las limitaciones de la manufactura por impresión 3D. Debido a su geometría inclinada, se debía utilizar una gran cantidad de material de soporte, lo cual aumentaba los tiempos y costos de manufactura de la pieza, además de no tener en cuenta la baja resistencia que tendría su pieza debido a concentradores de esfuerzo entre la base del portaherramientas y el tubo de acople del marcador. Todas estas limitaciones a la hora de

analizar el resultado del proceso de manufactura generó que el equipo se replantea todo su diseño y volviera a empezar.

Por último, se plantea una solución óptima donde se implementó la metodología DIPP, ya que el diseñador del portaherramientas contaba con conocimientos de impresión 3D, lo cual le permitió acoplar adecuadamente la etapa de diseño y de producto teniendo en cuenta los objetivos y requerimientos del producto. Dicho esto, logró seccionar los objetivos y requerimientos del producto tal que tuviera una mejor visión de cómo generar una solución adecuada. Para el acople del portaherramientas con el robot, plantea una pieza diseñada en CAD y posteriormente impresa en PLA, mientras que para el soporte del marcador, para tener una mayor resistencia y ajuste de posición, utiliza un acople T de PVC tal que sea capaz de contener el marcador y se ajuste a la primera pieza diseñada en CAD. Este diseño se puede ver en la figura 3.

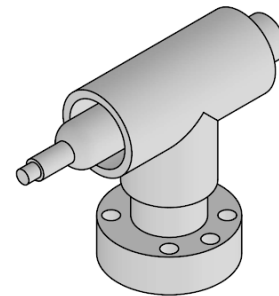


Figura 3. Diseño portaherramientas con metodología DIPP

Como se puede evidenciar, se logra un diseño que prevé el proceso de manufactura y sus posibles complicaciones, lo cual reduce y optimiza costos y tiempos, generando un producto final de mejor calidad a los casos mostrados anteriormente. El producto final se puede evidenciar en la figura 4.



Figura 4. Portaherramientas con metodología DIPP

IV. DISEÑO AXIOMÁTICO Y CONCURRENTES

La metodología DAC, o Diseño Axiomático Concurrente, es una estrategia de diseño que tiene como objetivo la optimización de productos y procesos de fabricación. Se basa en la idea de que un producto debe ser diseñado para que su proceso de fabricación sea eficiente y económico. El DAC se enfoca en el diseño de un sistema que permita la colaboración

entre los equipos de diseño y producción, para que se puedan optimizar tanto el producto como el proceso [2].

El proceso de implementación del DAC se divide en varias fases e iteraciones. La primera fase es la identificación de los requisitos del cliente y del mercado. Es importante tener una comprensión clara de las necesidades y expectativas del cliente para poder desarrollar un producto que satisfaga sus requerimientos.

La segunda fase del proceso es la definición del diseño del producto y del proceso. En esta fase, se utiliza la matriz de diseño del producto para identificar las características críticas del producto y se utiliza la matriz de diseño del proceso para identificar los procesos de fabricación necesarios para producir el producto.

La Matriz de Diseño del Producto es una herramienta que ayuda a definir los requerimientos del cliente y las especificaciones del producto. En esta matriz, se definen las funciones principales del producto, las características de desempeño, las restricciones y los objetivos del diseño. Para cada función principal, se definen los requisitos de desempeño y las características que deben cumplir. La matriz ayuda a los equipos de diseño y producción a entender los requerimientos del producto y a asegurarse de que el diseño cumple con los requisitos del cliente. La notación matricial de esta relación se da a continuación:

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_n \end{Bmatrix} = [A] \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_n \end{Bmatrix}$$

Donde se tiene el vector de los requerimientos funcionales FR, el vector de los parámetros de diseño DP, y la matriz de diseño del producto A que relaciona estos dos vectores.

La Matriz de Diseño del Proceso, por otro lado, es una herramienta que ayuda a definir los requerimientos del proceso de fabricación. En esta matriz, se definen las operaciones del proceso y se identifican las características del producto que deben ser controladas durante el proceso. Además, se definen los parámetros de proceso que deben ser monitoreados y controlados para asegurar la calidad del producto. La matriz ayuda a los equipos de diseño y producción a entender los requerimientos del proceso de fabricación y a asegurarse de que el proceso es capaz de producir un producto de alta calidad. La notación matricial de esta relación se da a continuación:

$$\begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_n \end{Bmatrix} = [A] \begin{Bmatrix} PV_1 \\ PV_n \end{Bmatrix}$$

Donde se tiene el vector de los parámetros de diseño DP, el vector de las variables de proceso PV, y la matriz de diseño del proceso B que relaciona estos dos vectores.

La tercera fase del proceso es la evaluación de la eficacia del diseño. En esta fase, se utilizan herramientas de simulación y análisis para evaluar la eficiencia y efectividad del diseño del producto y del proceso. Mediante la evaluación de los axiomas de la independencia y de la información, se realiza un análisis de las matrices A y B del sistema. El axioma de la independencia establece que cuando hay dos o más FRs, la solución de diseño debe ser tal que cada uno de los FRs

sea satisfecho sin afectar a los demás. Este axioma se puede evaluar mediante la matriz A.

$$A_1 = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \quad A_3 = \begin{bmatrix} X & 0 & X \\ X & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix}$$

En estos tres casos, se tiene que: A_1 es un Diseño desacoplado, A_2 es un Diseño desacoplado y A_3 es un Diseño acoplado. En cualquier diseño, lo ideal es tener un diseño desacoplado o desacoplado, tal que se puedan estructurar diseños funcionalmente independientes. Dicho esto, lo ideal es que A sea definida ya sea por una matriz diagonal, o por una matriz triangular. Si la matriz es diagonal (en el mejor de los casos), cada FR es afectado por un único DP. Si la matriz de diseño es triangular, la independencia funcional se puede garantizar siempre y cuando los DP se ajusten en un orden determinado. Ahora, para garantizar la independencia funcional de los FRs cuando se estén diseñando las variables de proceso PV, se realiza un análisis entre A y B, donde se establece que el producto entre las matrices A y B sea también diagonal o triangular [3].

Ya definidos los principios de estas matrices y su importancia en la evaluación de diseño, se debe traer a colación la técnica conocida como el Zig-Zagging para refinar la solución del diseño del producto y proceso. Para esto, el proceso de diseño se divide en varias iteraciones para lograr un diseño óptimo y eficiente. Cada iteración es un ciclo completo de diseño que consiste en la identificación de los problemas del diseño y en la aplicación de las matrices de diseño del producto y del proceso [2].

En la primera iteración, se aplica la matriz de diseño del producto para identificar las funciones principales, las subfunciones y los requerimientos del producto. A continuación, se aplica la matriz de diseño del proceso para identificar los procesos necesarios para fabricar el producto. En la segunda iteración, se evalúa la independencia de las subfunciones utilizando el axioma de la independencia. Si se encuentran dependencias, se ajustan las subfunciones para hacerlas más independientes.

En la tercera iteración, se utiliza la matriz de diseño del proceso para identificar los procesos necesarios para fabricar las subfunciones refinadas. En la cuarta iteración, se evalúa la independencia de los procesos utilizando el axioma de la independencia. Si se encuentran dependencias, se ajustan los procesos para hacerlos más independientes.

Este proceso de iteración continúa hasta que se obtiene un diseño final que cumple con todos los requerimientos del producto y es óptimo en términos de costo, calidad y tiempo de producción. La técnica de Zig-Zagging se llama así porque el proceso se mueve hacia adelante y hacia atrás, como se puede evidenciar en la figura 5, refinando gradualmente tanto el diseño del producto como el diseño del proceso hasta lograr una solución óptima.

La cuarta fase del proceso es la implementación del diseño. En esta fase, se produce el producto de acuerdo con las especificaciones del diseño del producto y del proceso. Donde, si se

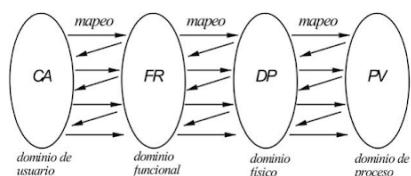


Figura 5. Zig-Zagging [3]

cumplió el axioma de la independencia, cada requerimiento funcional del diseño va a ser cumplido por subsistemas del diseño y producto, tal que son independientes entre ellos, lo cual facilita la etapa de implementación.

Por último, la quinta fase del proceso es la evaluación del rendimiento del sistema. En esta fase, se mide el rendimiento del sistema para determinar si se cumplieron los objetivos de diseño de forma independiente, donde se puede establecer que, una vez se cumplan todos los requerimientos y objetivos, se habrá finalizado adecuadamente todo el proceso DAC del producto.

IV-A. Ejemplo

Un ejemplo simple de aplicación de la metodología DAC se puede dar en el diseño y producción de un nuevo modelo de bicicleta. Primero, se deben definir las especificaciones del producto, como tamaño, peso, materiales y características técnicas, lo que se plasmará en la matriz de diseño del producto. Luego, se identificarán los procesos de fabricación necesarios para producir la bicicleta, tales como corte de materiales, soldadura, ensamblaje y pintura, y se plasmarán en la matriz de diseño del proceso.

A continuación, se evalúa el axioma de la independencia, que establece que los parámetros de diseño del producto deben ser independientes entre sí, lo mismo que los parámetros de diseño del proceso. En otras palabras, cada parámetro debe ser modificable de forma independiente sin afectar los demás. Para evaluar este axioma, se puede utilizar una matriz de relación que muestre las interacciones entre los parámetros de diseño. Por ejemplo, si el tamaño del marco de la bicicleta se incrementa, también se debe aumentar el tamaño de los neumáticos para mantener la estabilidad, lo que indica una dependencia entre estos parámetros.

Una vez evaluado el axioma de la independencia, se procede a diseñar la bicicleta y el proceso de producción de manera concurrente, utilizando la matriz de diseño del producto y del proceso como guía. Esto permite que los equipos de diseño y producción trabajen juntos para garantizar que los diseños del producto y del proceso sean compatibles y optimizados.

Una vez finalizada esta etapa, se logra pasar a la manufactura del producto y su posterior evaluación, identificando que todos los requerimientos funcionales hayan sido cumplidos.

V. CONCLUSIONES

El DIPP es una metodología de desarrollo de productos que busca la integración de los equipos de diseño y producción

desde el principio, lo que resulta en una mayor eficiencia, reducción de costos y tiempos de desarrollo.

La metodología DAC es una estrategia de diseño que se enfoca en la optimización del diseño de productos y procesos de fabricación. Su implementación involucra la colaboración entre los equipos de diseño y producción y se divide en cinco fases: identificación de los requisitos del cliente y del mercado, definición del diseño del producto y del proceso, evaluación de la eficacia del diseño, implementación del diseño y evaluación del rendimiento del sistema.

Para finalizar, la metodología del Desarrollo Integrado de Producto y Proceso (DIPP) y del Diseño Axiomático y Concurrente (DAC) son herramientas poderosas que permiten una gestión más eficiente y colaborativa de proyectos de desarrollo de productos. La implementación de estas metodologías puede mejorar la calidad del producto final, reducir los costos y acelerar los tiempos de desarrollo. La combinación de ambas metodologías permite una visión completa e integrada del proceso de desarrollo de productos, desde la fase de diseño hasta la producción, lo que puede resultar en una mayor eficiencia y competitividad para las empresas. Es importante destacar que, para lograr una implementación efectiva de estas metodologías, es necesario fomentar la colaboración entre los equipos de diseño y producción, y estar dispuestos a adaptarse a los cambios y mejoras propuestos por los equipos en cada etapa del proceso.

REFERENCIAS

- [1] DIMA UN. 2022. DISEÑO DIPP Y MANUFACTURA SOSTENIBLE
- [2] Suh, N.P. 2001. Axiomatic Design: Advances and Applications. Oxford University Press
- [3] Díaz, Edwin. A. 2007. METODOLOGÍA DEL DISEÑO AXIOMÁTICO APLICADA AL DISEÑO DE UNA MÁQUINA ETIQUETADORA