CAPÍTULO 6

FUNDAMENTOS DE DISEÑO

6.1 Introducción.

La ingeniería es una de las actividades más importantes del hombre. Las pirámides de Egipto y los acueductos de la antigua Roma son unos de los primeros logros de la ingeniería. El diseño es una actividad creativa, y no es una exageración decir que los esfuerzos creativos del hombre es lo que más lo distingue de otras formas de vida. La creatividad aplicada a la ingeniería es la habilidad para concebir innovaciones básicas, percibir en una situación esos problemas que pueden ser resueltos fácilmente, idear una solución a nuevos problemas, y combinar conceptos familiares en formas inusuales. Por esta razón el diseño es la parte creativa de la ingeniería [33].

"Es tan amplio el criterio de definición del diseño que prácticamente cualquier objeto puede ser considerado como "diseño". Aún más, la naturaleza sigue sus propias reglas de diseño, por ejemplo la selección natural o la herencia genética" [34].

El proceso de diseño comienza con traducir una idea en información detallada a partir de la cual un producto o un servicio puede ser ofrecido [35]. En el caso del diseño en ingeniería, es el proceso en el que se utilizan principios científicos y métodos técnicos para llevar a cabo un plan que satisfaga las necesidades o demandas. El definir el concepto en el campo de la ingeniería mecánica nos llevará a la creación de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: máquinas, aparatos, estructuras, dispositivos, instrumentos, etc. Donde éstos no solo incluyen el diseño mecánico sino también involucran otras ciencias como lo son la térmica y la de los fluidos [36].

6.2 Tipos de diseño

Las tareas de diseño pueden ser clasificadas en diferentes formas. El diseño de un producto se puede clasificar en forma muy general como [35]:

- Un diseño original.
- Un diseño adaptado.
- Una variante del diseño.

Un diseño original (o invento) es un nuevo modelo que soluciona una tarea dada. El resultado de un diseño original, es una invención. Existen pocas compañías que permiten una invención y que basen su economía y éxito en esta, pues una invención original trae consigo altos riesgos, pero sin embargo también muchas oportunidades que podrán hacer que se domine el mercado.

Un diseño adaptado (o síntesis), toma el diseño original y lo adapta a un nuevo producto. Este tipo domina la gran mayoría de las actividades de diseño [35].

Una variante del diseño (o modificación), involucra la variación de parámetros como tamaño, geometría, propiedades del material, parámetros de control, etc.

para el desarrollo de nuevos diseños más robustos. Este tipo de diseño, usualmente se enfoca a modificar el funcionamiento de un subsistema sin cambiar su configuración [35].

6.3 Sistemas Técnicos.

Un sistema técnico consiste de ensambles y componentes que juntos desempeñarán una función en un diseño de maquinaria dado. Esto puede ser analizado en más de una forma.

Una de las consideraciones puede ser el dividir el sistema en subsistemas conectados los cuales desempeñaran una función unitaria. El resultado de este arreglo es llamado estructura-función del sistema.

La segunda forma de analizar un sistema es llamada ensambles y componentes la cuales son de gran ayuda para la selección de materiales en el sistema, (figura 6.1) [35].

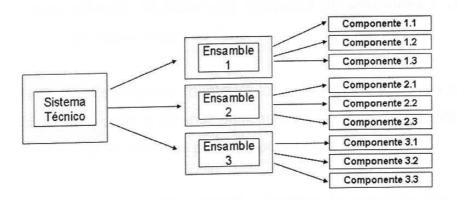


Fig. 6.1 Sistema ensamble-componentes [35].

6.4 Metodología para el diseño de maquinaria.

La complejidad del problema, va a dictar el grado de diseño que es requerido en la solución. Pero el proceso de diseño es esencialmente el mismo para un problema simple o una situación compleja. Es necesario mantener en mente cada uno de los pasos y secuencia referida al proceso de diseño para facilitar un orden en la solución.

Los pasos para el diseño de maquinaria propuesta por Parr [33], son los siguientes:

- Tener el conocimiento del problema. La importancia de esta actividad es por lo regular sobreestimada y se refiere a considerar toda la información que pueda tener efecto en el diseño.
- 2. Prepararse para tratar con el problema. Se debe estar familiarizado con el problema y preparado para tratar con esté. Aquí deberá de prepararse actividades de enriquecerse de conocimientos, buscando información y literatura, además de hacer una búsqueda de soluciones a conceptos parecidos al problema que se tiene.
- Identificar los elementos. Identificar los elementos o variables que serán considerados para el diseño. Básicamente se trata de identificar todos los factores, para dividirlos por su importancia.
- 4. Análisis de los elementos variables. Analizar las variables que han sido identificadas, principalmente las de mayor relevancia. Es necesario hacer un análisis de cada variable y no menospreciar a alguna de ellas, de igual forma no cerrarse a una sola.

- 5. Creación del diseño. Producir un nuevo diseño, es un ejercicio de creatividad que requiere eliminar y quitarse las viejas ideas. Una de las formas de hacer esto, es haciendo una lluvia de ideas de las posibles soluciones inclusive pueden ser fantasiosas. Es apropiado realizar diferentes diseños para ser evaluados y comparados.
- 6. Evaluación de los diseños. Ahora es necesario evaluar los diseños tomando los puntos críticos, en primera instancia y después los menos críticos. Parr, presenta en su texto una lista de criterios que pueden servir de guía para la evaluación.
- 7. Trabajar el diseño seleccionado. Propone tratar de modificar lo que fue el mejor diseño buscando mejorarlo, por que generalmente sucede una vez que se implemente el diseño de solución, se le encuentra alguna forma de haberlo realizado con alguna mejora, pero quizá para ese tiempo ya sea tarde. Es por esto, que el objetivo de este paso, es encontrar esa posible mejora antes de la implementación.
- Desarrollo del diseño seleccionado. Mantener el menor número de partes o mecanismos para hacer más eficiente el diseño. Construir un prototipo de prueba para verificar que efectivamente es un buen diseño.
- 9. Preparar el diseño al detalle. Existen dos razones para realizar el diseño al detalle, la primera es para la creación de los dibujos de manufactura y la construcción y la segunda para su aprobación. En preparación para ser aprobado deber seguirse los siguientes pasos:
 - Comprender a fondo la configuración física.
 - Comprender los principios en los cuales fue basado el diseño.
 - Demostrar que todos los requerimientos se cumplen
 - Asegurarse de las limitaciones.

- Tener evidencia de que se cumplen todas las restricciones.
- La validación de los conceptos teóricos.
- 10. Ganar la aceptación del diseño. Se debe adoptar la función de vendedor, de vendedor de su producto al cual le ha dedicado gran parte del tiempo y que lógicamente debe estar convencido de que ha hecho un buen diseño. Esta labor de venta, se refiera a vender la idea a los usuarios de la maquina o dispositivo realizado.

Si bien estos pasos son propuestos existen un sin fin de procedimientos que pueden llevarse a cabo para la elaboración de diseño de maquinaria.

6.5 Equipos de pruebas de erosión.

Existen diversos tipos de aparatos que han sido utilizados para pruebas de erosión por partículas sólidas [18].

En el sistema de brazo-lanzador mostrado en la figura 6.2(a) las partículas erosivas son alimentadas al brazo por la parte superior, en donde al acelerar las partículas salen disparadas por los extremos del brazo para ser impactadas en las probetas. Algunas de las características de este método son: capacidad de erosionar varias probetas durante la misma prueba, el ángulo de impacto puede variar inclinando las probetas, la velocidad de impacto dependerá de la velocidad del brazo-lanzador. La cámara es normalmente mantenida al vacío para evitar perdidas hidrodinámicas. Cuando las partículas salen del brazo, estas tendrán una velocidad tangencial V_T y una velocidad normal V_N dadas por la fuerza centrifuga. Bajo condiciones ideales de fricción se asume:

$$V_T = r\varpi ag{6.1}$$

$$V_N = \sqrt{2V_T}$$
 [6.2]

Donde ω es la velocidad angular (rad.·s⁻¹) y r es la distancia del centro del brazo a su salida.

Las desventajas de este sistema son la complejidad de operación, la baja cantidad de impactos por muestra, la gran cantidad de partículas erosivas para cada prueba y el costo.

El aparato cuyo principio es el brazo rotativo de la figura 6.2 (b) consiste en montar las probetas en los extremos del brazo, las partículas erosivas son alimentadas por caída libre recorriendo una distancia h, hasta ser interceptadas por las probetas, produciéndose así el impacto. Al igual que en el brazo-lanzador la cámara es mantenida al vació. La velocidad de impacto es la velocidad tangencial del brazo.

$$V = V_T = r\omega ag{6.3}$$

Donde r es el radio del brazo y ω su velocidad angular. Una de las ventajas de este aparato es que el control de la velocidad de impacto resulta ser simple, permitiendo tener un amplio rango de velocidades comparado con el brazolanzador. La principal característica del brazo rotativo es que en el pueden ser llevadas a cabo tanto pruebas de baja como de alta erosión.

El sistema de erosión con boquilla (figura 6.2 (c)) es el aparato más utilizado para pruebas de erosión. Se utiliza un chorro de gas presurizado (aire, nitrógeno, gas inerte, etc.) como el medio para acelerar las partículas erosivas a través de una boquilla. Una vez ocurrido esto, las partículas salen de la boquilla para ser impactadas en la probeta. Las principales variables de este aparato son:

- La velocidad de impacto
- El ángulo de impacto

Este aparato no requiere de una cámara de vacío, balanceo dinámico de componentes ni controles de velocidad de motor. Por lo que resulta ser económico [18].

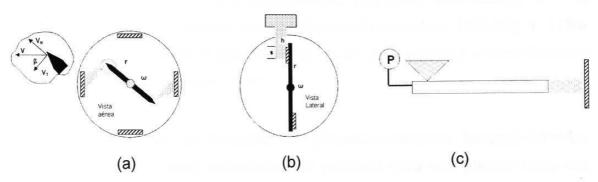


Fig.6.2 Equipos de prueba de erosión.
(a) brazo lanzador, (b) brazo rotativo, (c) Sistema Boquilla [18].

6.6 Principales variables a considerar en el desarrollo del equipo de un sistema por boquilla.

Las pruebas de laboratorio efectuadas con el sistema por boquilla son las más utilizadas para la investigación de los mecanismos de erosión. En el desarrollo de este equipo las principales variables a considerar son descritas en las siguientes secciones.

6.6.1 Relación longitud – Diámetro boquilla.

La ASTM G76 recomienda el uso de boquillas con dimensiones de 50 mm de longitud y un orificio de 1.5 mm [37]. La norma DIN 50332 sugiere una longitud de 120 mm con un diámetro interno entre 8 y 18 mm dependiendo de las condiciones de prueba [38].

Investigadores como Sheldon [24] han utilizado boquillas con longitudes de 305 mm y diámetros internos de 4.95 mm, la relación longitud-diámetro es de

alrededor de 61.6, esto es aproximadamente el doble de lo que sugiere la ASTM [37]. Otros investigadores como Marshall [38] han utilizado boquillas de 3m de longitud con un orificio de 9.5 mm de diámetro (su relación longitud-diámetro fue de 316) mientras que Andrews [38] utilizó una boquilla de 4 m longitud y 25 mm de diámetro interno (relación de aspecto = 160) [38]. Y. I Oka y Nishimura [39] utilizaron boquillas de 1.5 m. de longitud y 4 mm diámetro interno (relación de aspecto = 375).

El considerar el uso de boquillas con grandes relaciones longitud-diámetro boquilla conduce a altas velocidades de partícula para una presión dada del sistema. Esta consideración no es necesariamente correcta, Hutchings [39,40] demostró que para las relaciones de longitud-diámetro mayor a 20 no es factor importante para el diseño de este tipo de aparatos.

La figura 6.3 muestra los experimentos realizados por Stevenson y Hutchings [39,40] a boquillas de diámetro interno de 4.9 mm y longitudes de boquilla de 85, 154, 308, 650 y 1000 mm, en donde la velocidad de la partícula se encontró en el intervalo de 54 a 58 m·s⁻¹ a excepción de la boquilla de 1000 mm donde la velocidad cayo a 42 m·s⁻¹ [38]. Puede observarse que el valor mas alto de velocidad es de 58 m·s⁻¹ para la de boquilla de 308 mm en donde para obtener un incremento de velocidad de 4 m·s⁻¹ (6.8%) con respecto a la obtenida por la boquilla de 85 mm se tuvo que incrementar una longitud de 223 mm (362 %).

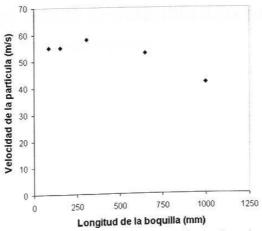


Fig. 6.3 Influencia de la longitud de la boquilla en la velocidad de la partícula.

6.6.2 Rugosidad de la boquilla

La rugosidad interna de la boquilla es un factor importante en la divergencia del chorro de partículas erosivas, Shipway y Hutchings [38] determinaron la divergencia por medio de ligeras películas en la superficie de las muestras impactadas. Encontraron que boquillas con pared interna rugosa causaban huellas de erosión más grandes que aquellas en las que las paredes de boquilla se encontraban pulidas.

Para reducir la divergencia y tener boquillas con las mismas condiciones iniciales de rugosidad, Shipway y Hutchings [38] llevaron a cabo un ciclo de 1 Kg. de carga de arena sílica con distribución de tamaños de 125 a 150 μm a una velocidad de 50 m·s⁻¹ para cada una de las boquillas a utilizar.

6.4.3 Huellas y ángulo de impacto

Investigadores como Y. I Oka y Nishimura [39] han realizado estudios en las superficies erosionadas para diversos ángulos de impacto. La figura 6.4 muestra la topografía de 4 muestras de aluminio erosionadas con partículas de SiO₂ de 49 µm de diámetro a una velocidad de 110 m/s. La huella obtenida por las partículas erosivas aumenta en la dirección longitudinal a medida que se reduce el ángulo de impacto. La profundidad de la huella también se encontró ser dependiente del ángulo de impacto.

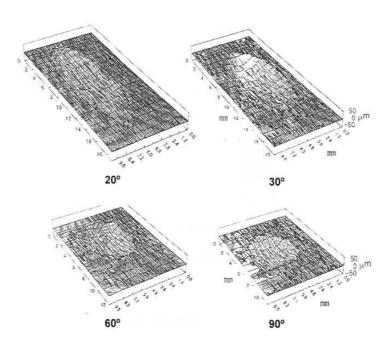


Fig. 6.4 Topografía de las superficies erosionadas a diversos ángulos de impacto. Muestras de aluminio impactadas a 20, 30, 60, 90° [39]

El estudio de la topografía es útil si se desea observar en donde se concentra el daño hecho por el impacto de partículas, rugosidades y qué cantidad de divergencia del chorro de partículas existe durante la prueba [39].

El área de impacto debe ser cubierta en su totalidad por las muestras a erosionar. Esto es debido a que las partículas tendrán la oportunidad de impactarse sobre la superficie y obtener un valor de pérdida de masa de la muestra en función del número total de partículas impactadas sobre ella.

Esquemas como el sugerido en la figura 6.5 (tipo 1) puede ser utilizado para ángulos mayores de 20°, mientras que para ángulos muy bajos puede ser utilizado la pieza con una extensión a partir del centro de impacto (figura 6.5 tipo 2) [39].

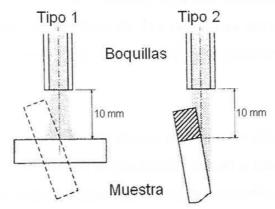


Fig. 6.5 Configuración de montaje a diferentes ángulos [39].

6.4.4 La velocidad de la partícula.

La velocidad de la partícula es otro factor importante a considerar en la divergencia presentada durante la erosión. La figura 6.6 muestra como para bajas velocidades el inverso del coeficiente del foco (β -1 valor adimensional en función de la dispersión de partículas a la salida de la boquilla) se encuentra en valores muy bajos. A medida que aumenta la velocidad el valor β -1 aumenta, aumentado así la divergencia [38].

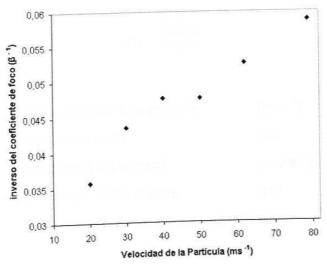
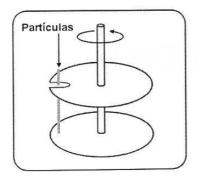
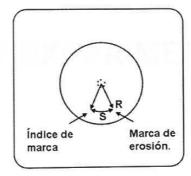


Fig.6.6 Efecto de la velocidad en la dispersión de las partículas [38].

La velocidad recomendada por el estándar ASTM G 76 [37] es de 30 ± 2 m·s⁻¹ y debe ser medida a la distancia de impacto. Algunos de los métodos aceptados para medir la velocidad de impacto de las partículas son: fotografía de alta velocidad, velocímetro láser y doble disco [37]. Por razones económicas este último es el más utilizado.

El sistema doble disco consta de dos discos unidos a un eje que se hacen girar a una velocidad angular conocida, las partículas pasan a través de la ranura del disco superior viajando una distancia L para posteriormente efectuar una marca en el disco inferior a un ángulo de desfasamiento. [12,18], ver figura 6.7.





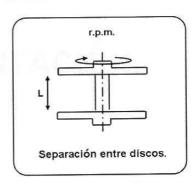


Fig.6.7 Diagramas esquemáticos del método doble disco.

Derecha, representación del método, centro vista superior, izquierda vista lateral [18].

La velocidad de la partícula será determinada por la ecuación 6.1 [18]:

$$Vp = \frac{2\pi RvL}{S} \tag{6.1}$$

Donde,

Vp, Velocidad de la partícula. (m·s⁻¹)

R. Radio del arco. (m)

v. Velocidad rotacional. (rev·s⁻¹)

L. Distancia entre discos (m)

S. Arco entre huellas de erosión. (m)