



Diseño de una herramienta para la selección del proceso de diseño en empresas del sector metalmecánico

Juan David Carvajal Corrales

Tesis de maestría presentada para optar al título de Magíster en Ingeniería Mecánica

Director

Junes Abdul Villarraga Ossa, Doctor (PhD) en Ciencia y Tecnología de Materiales

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	Carvajal Corrales [1]
Referencia	[1] J. D. Carvajal Corrales, "Diseño de una herramienta para la selección del proceso de diseño en empresas del sector metalmecánico", Tesis de maestría, Maestría en Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.
Estilo IEEE (2020)	



Maestría en Ingeniería Mecánica, Cohorte III.

Grupo de Investigación Diseño Mecánico.



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Este trabajo está dedicado a:

Mis padres Hernán y Aura, que me enseñaron que a pesar de todo siempre hay que levantarse y continuar.

Mi esposa Mónica, sin tu aliento no hubiera podido seguir, gracias por no dejar de confiar en mí.

Mi hijo Samuel, tu energía y alegría me dieron un objetivo en la vida. Gracias por existir.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer al Ph.D Junes Villarraga Ossa, el cual confió en el impacto de este trabajo en la sociedad y en mis capacidades para poder llevarlo a término.

También quiero agradecer a la facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, por permitirme aprender de la gran calidad de docentes que posee y que me acompañaron durante toda la maestría.

INDICE

LISTA DE FIGURAS	1
LISTA DE TABLAS.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
MARCO TEÓRICO.....	7
QUE ES EL DISEÑO.....	7
CUAL ES EL PROCESO DE DISEÑO – ETAPAS GENERALES	7
PORQUE ES IMPORTANTE A NIVEL INDUSTRIAL.....	9
SITUACIÓN DEL SECTOR METALMECÁNICO DE LA REGIÓN	12
SELECCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS, MÉTODOS Y TÉCNICAS RELEVANTES AL SECTOR.....	16
Técnicas de creatividad	16
Quality Funtion Deployment (QFD).....	20
Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF)	24
TRIZ.....	28
Diseño Total (Stuart Pugh).....	32
Análisis Funcional.....	37
DFM&A (Design for Manufacturing and Assembly).....	38
Diseño Axiomático.....	41
Cuadro Morfológico	43
Proceso Analítico Jerarquico (<i>AHP</i>).....	44
ESTADO DEL ARTE	49
OBJETIVOS	54
OBJETIVO GENERAL	54
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	54
METODOLOGÍA.....	55
¿Cómo se percibe el diseño en el sector metalmecánico?	55
¿Qué herramientas son las más adecuadas?	56
RESULTADOS	59
Encuestas.....	59
LAS MHT's.....	67

Matriz Morfológica	68
Matriz de Pugh	71
PDS (Product Design Specifications)	73
QFD	75
TRIZ	78
DFA	80
CDS (Component Design Specifications)	83
Brainstorming	85
AMEF	87
AHP	89
Herramienta de asistencia en el proceso de diseño	93
CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFIA	99
ANEXOS	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del proceso de diseño – Adaptado (Cross, 2000)	8
Figura 2. Modelo Ullman 5 etapas – Adaptado (Ullman, 2010)	8
Figura 3. Modelo VDI 2221 (und Mechatronik, 1993)	9
Figura 4. Proceso de diseño respecto al desarrollo de un producto (adaptado ejemplo FORD) (Ullman, 2010)	11
Figura 5. Costos de manufactura incurridos durante el diseño de producto (Ullman, 2010)	11
Figura 6. Encargados de las actividades de diseño dentro de las empresas (Bohórquez et al., 2008)	12
Figura 7. Formación profesional de los responsables del diseño al interior de las empresas de manufactura (Bohórquez et al., 2008)	13
Figura 8. Actividades desarrolladas por las personas a cargo del diseño en las empresas manufactureras (Bohórquez et al., 2008)	14
Figura 9. Manejo del diseño, desarrollo e innovación en el sector metalmeccánico (Bohórquez et al., 2008)	15
Figura 10. Manejo del diseño, desarrollo e innovación en el sector automotor y agroindustria. (Bohórquez et al., 2008)	16
Figura 11. Porción del cliente de la matriz QFD (Day, 1993)	21
Figura 12. Porción técnica de la matriz QFD (Day, 1993)	23
Figura 13. Uso del AMEF de diseño y de proceso (Chrysler et al., 2008)	24
Figura 14. Ejemplo AMEF	28
Figura 15. Esquema de solución de problemas usando TRIZ	30
Figura 16. Núcleo de diseño según Pugh – Adaptado (Pugh, 1993)	33
Figura 17. Especificaciones del producto (PDS) (Pugh, 1993)	34
Figura 18. Esquema completo del diseño total de Stuart Pugh (King & Sivaloganathan, 1999)	36
Figura 19. Caja negra para una máquina de té – Adaptado (Cross, 2000)	38
Figura 20. Tres alternativas de proceso para la máquina de té – Adaptado (Cross, 2000)	38
Figura 21. Impacto del DFA sobre los productos – Adaptado (Boothroyd et al., 2000)	40
Figura 22. Dominios definidos en el diseño axiomático (Alberto Aguilar-Zambrano, 2007)	42
Figura 23. Forma matricial del diseño desacoplado (Alberto Aguilar-Zambrano, 2007)	43
Figura 24. Ejemplo de cuadro morfológico (Cross, 2000)	44
Figura 25. Jerarquía del AHP – Propio	45
Figura 26. Mapeo de métodos y técnicas para el diseño (Alcaide et al., 2004)	48
Figura 27. Muestra de la encuesta realizada para el sector metalmeccánico.	56
Figura 28. Herramientas seleccionadas por su fácil implementación	57
Figura 29. Estructura de flujo para trabajar en Twine.	58
Figura 30. Número de empleados por empresa	60
Figura 31. Actividades responsables del área de diseño	62
Figura 32. Herramientas usadas en los procesos de diseño, desarrollo de producto e Innovación	63
Figura 33. Apoyo por parte de instituciones	63

Figura 34. Actividades desarrolladas con mayor frecuencia en el área de diseño.....	64
Figura 35. Formación profesional de las personas encargadas del diseño	65
Figura 36. Aspectos indispensables en la formación de un diseñador.	66
Figura 37. Matriz Morfológica	68
Figura 38. Matriz Morfológica (Plantilla)	69
Figura 39. Matriz Morfológica (Resultados)	70
Figura 40. Matriz de Pugh.....	71
Figura 41. Matriz de Pugh (Plantilla).....	72
Figura 42. PDS	73
Figura 43. PDS (Plantilla)	74
Figura 44. QFD	75
Figura 45. QFD(Plantilla)	76
Figura 46. QFD (Resultados)	77
Figura 47. TRIZ	78
Figura 48. TRIZ (Plantilla)	79
Figura 49. DFA	80
Figura 50. DFA (Plantilla).....	81
Figura 51. DFA (Resultados).....	82
Figura 52. CDS.....	83
Figura 53. CDS (Plantilla)	84
Figura 54. Brainstorming	85
Figura 55. Brainstorming (Plantilla)	86
Figura 56. AMEF.....	87
Figura 57. AMEF (Resultados)	88
Figura 58. AHP	89
Figura 59. AHP (Tabla de dominancias)	90
Figura 60. AHP (Plantilla).....	91
Figura 61. AHP (Resumen)	92
Figura 62. Esquema simplificado del Toolbox de diseño	93
Figura 63. Diagrama de flujo - Diseño máquina	94
Figura 64. Diagrama de flujo - Diseño de herramental.....	95
Figura 65. Diagrama de flujo - Rediseño.....	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista de preguntas de Osborn (Osborn, 1953).....	19
Tabla 2. Valores de severidad en el AMEF (Chrysler et al., 2008)	25
Tabla 3. Valores de ocurrencia en el AMEF (Chrysler et al., 2008)	26
Tabla 4. Valores de detección en el AMEF (Chrysler et al., 2008)	26
Tabla 5. 39 parámetros técnicos para el uso de TRIZ (Altshuller, 1999)	31
Tabla 6. 40 principios inventivos para la solución de conflictos en TRIZ (Altshuller, 1999)	31
Tabla 7. Parámetros por evaluar en la PDS (Pugh, 1993).....	35
Tabla 8. Escala cuantitativa de comparación de alternativas – Adaptado (García, Noriega, Díaz, & Riva, 2005).....	46
Tabla 9. Tabla de criterios (García et al., 2005)	46
Tabla 10. Importancia de las alternativas con respecto a los costos (García et al., 2005)	47
Tabla 11. Importancia de las alternativas con respecto a la potencia (García et al., 2005)	47
Tabla 12. Resumen de la Información (García et al., 2005)	47

INTRODUCCIÓN

El mercado internacional actual, está regido por una velocidad muy superior en cuanto a los tiempos de salida de los productos al mercado, sumado a esto, los productos deben tener mayor valor agregado y costos de fabricación inferiores para poder así competir con mercados donde los costos de mano de obra son ínfimos y los accesos a las materias primas son muy superiores.

El poder producir productos con mayor valor agregado y más impactantes en costo y velocidad de lanzamiento permiten potenciar el sector del cual participan, mejorando así la percepción que se tenga de este frente a los clientes y aumentando la cuota de mercado de la empresa que lanza el producto dentro del sector al cual pertenece.

El proceso de diseño de ingeniería es una parte fundamental dentro de los procesos de desarrollo al interior de las compañías ya que este es el que ayudará en gran manera a alcanzar dentro de los productos los ya mencionados valor agregado, costos menores y velocidades de lanzamiento inferiores. Garantizar un proceso de diseño correcto es necesario para facilitar que el proyecto de ingeniería que se esté llevando a cabo se pueda cumplir con el alcance previsto, el presupuesto asignado y en el tiempo establecido, es decir, la triple restricción de la gestión de proyectos (Project & Management Institute Inc., 2017)

Para esto es necesario entender que, aunque el proceso de diseño es sólo el 5% del costo total del desarrollo de un producto, pueden generar tantos sobrecostos y fallos en la calidad percibida de los productos que pueden literal sacar el producto del mercado (Ullman, 2010).

El sector metalmecánico nacional debe mejorar la percepción del mercado globalizado, con mejores tiempos y mejor calidad, fundamentada en procesos de alto nivel ingenieril, interpretando correctamente los requisitos del cliente y sincronizando todo lo anterior con procesos de diseño de alto nivel y procesos de manufactura más eficientes en función de velocidades de operación, consumo optimizado de insumos y nuevas tecnologías.

El impacto que se puede tener al articular diferentes técnicas y herramientas dentro de cada etapa del proceso de diseño ya ha sido abordado por diferentes investigadores. Se tienen herramientas como tormenta de ideas, mindmapping, QFD, AMEF, Matriz de Pugh, Triz, entre muchas otras

que aportan a cada etapa del proceso de diseño (Levantamiento de especificaciones, diseño conceptual, diseño de detalle). Un ejemplo de esto está en los artículos presentados por diferentes autores como son el artículo sobre técnicas de generación de conceptos presentado por King (King & Sivaloganathan, 1999) y Julian Boker con su revisión y clasificación de diseños conceptuales (Booker, Lock, Williamson, & Freire Gómez, 2016).

Así mismo hay bastante literatura de como conjugar diferentes herramientas y técnicas para poder obtener resultados más impactantes en campos como: Productos de consumo, maquinaria, rediseño, diseño de procesos, entre otros.

El sector metalmecánico nacional carece de procesos de diseño bien instalados al interior de sus metodologías de desarrollo de productos, esto genera problemas de diferente índole con el proceso de desarrollo o directamente con el producto final, como son: productos que apenas cumplen con la función principal, cambios de especificaciones que no fueron tenidas en cuenta desde el inicio, baja duración del producto, entre otros. Todos estos problemas afectan los costos de desarrollo o el costo final del producto, así como la salida al mercado.

Al verificar las percepciones o importancia que se le da al diseño dentro de las compañías se encuentra que a pesar de que lo perciben como importante, no hay estructuras correctamente formadas que soporten esta percepción. No se encuentran correctamente identificadas las responsabilidades de diseño o simplemente es un proceso que se tercerizan y adicionalmente no hay un vínculo afianzado con la academia que pueda soportar estos procesos. Esto es más evidente en la pequeña y mediana empresa, las cuales por sus recursos limitados y el personal polivalente no disponen de los recursos o el tiempo para adquirir la experticia en estos procesos de diseño.

Si la intención es potenciar el sector metalmecánico nacional, se hace necesario dotar a este sector de herramientas gratis o de bajo costo que le permitan abordar de una forma cómoda y entendible las diferentes etapas de este, en una secuencia lógica y con unos resultados concretos.

El objetivo de este trabajo busca presentar al sector metalmecánico una herramienta de apoyo que permita abordar los diseños de máquinas, herramientas y los rediseños en una forma lógica

y secuencial para poder obtener los resultados que brinden gran impacto como los anteriormente mencionados.

Para esto se realizó una exploración de las diferentes técnicas y herramientas disponibles para las diferentes etapas de diseño, así como el uso y los diferentes casos de éxito. Después se seleccionaron varias herramientas que por su facilidad de uso y curva de aprendizaje puedan ser aplicadas de forma autodidacta dentro del sector y estas fueron configuradas en forma de plantillas para ser diligenciadas. Por último, se realizó la construcción de una herramienta interactiva que permite seguir correctamente la secuencia de diseño y al final ofrecer los procedimientos necesarios según sea el caso.

MARCO TEÓRICO

QUE ES EL DISEÑO

El diseño es una actividad que ha estado vinculada a la existencia humana desde que se comenzaron a construir herramientas para resolver necesidades básicas como cazar, cultivar, transformar objetos como muebles, ropa, construir refugio.

En los comienzos de la sociedad artesanal la actividad de diseñar y materializar las ideas estaba a cargo de la misma persona, creando así artefactos únicos, aunque a unas tasas de producción muy bajas. Cuando se avanza a la sociedad industrial, donde se necesitaba crear grandes lotes de un único objeto se comenzó una separación entre el diseño y la materialización de dicho objeto (Manufactura), permitiendo así probar los artefactos antes de ser fabricados, permitiendo así obtener una descripción detallada del artefacto a construir (Cross, 2000).

El estudio del diseño busca racionalizar el proceso de diseño para no depender solo del talento que posea el diseñador y para potencializar la actividad al dotarla de un orden y proceso conocido, medible y controlable. Se debe quitar el velo de magia que recubre el proceso de diseño y ver lo que realmente puede alcanzar.

CUAL ES EL PROCESO DE DISEÑO – ETAPAS GENERALES

Existen diferentes escuelas o autores que definen el proceso de diseño, estas se diferencian principalmente en el número de pasos que involucran, uniendo o desagregando pasos, es decir, especificando en mayor o menor medida el objetivo a cumplir en cada etapa.

El proceso de diseño planteado por Cross presenta un modelo de cuatro etapas (Figura 1): Exploración, Generación, Evaluación y Comunicación (Cross, 2000).



Figura 1. Etapas del proceso de diseño – Adaptado (Cross, 2000)

Mientras que Ullman lo plantea como un proceso de cinco etapas (Figura 2): Identificar la necesidad, planear el proceso de diseño, desarrollar los requerimientos de ingeniería, desarrollar conceptos y desarrollar el producto (Ullman, 2010).

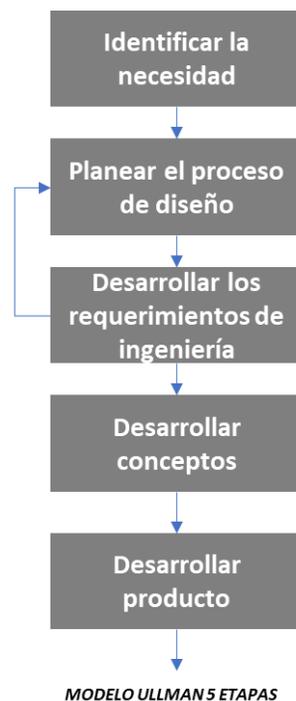


Figura 2. Modelo Ullman 5 etapas – Adaptado (Ullman, 2010)

La asociación alemana de ingenieros (VDI por sus siglas en alemán) en su norma VDI 2221 (und Mechatronik, 1993) (aproximación sistemática al diseño de sistemas técnicos y productos) presenta un proceso sistemático de 7 pasos (Figura 3): Clarificación de la tarea, definición de las funciones, búsqueda de principios de solución, división en módulos, distribución de los módulos, completar la distribución general y preparación de la producción.

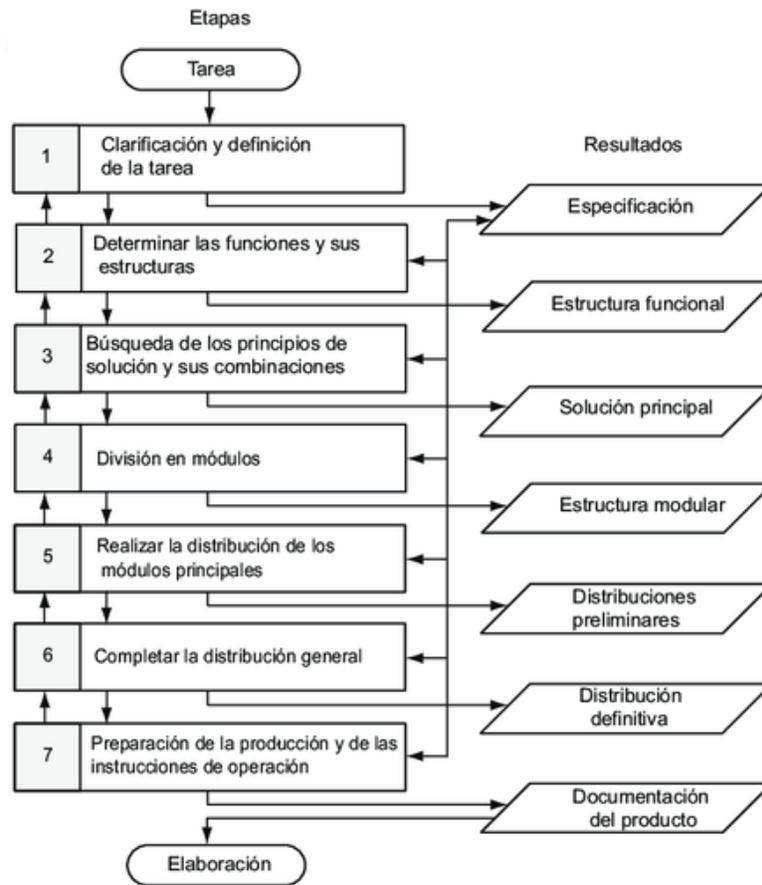


Figura 3. Modelo VDI 2221 (und Mechatronik, 1993)

PORQUE ES IMPORTANTE A NIVEL INDUSTRIAL

Todas las empresas deben cubrir costos directos e indirectos de fabricación de sus productos (impuestos, arriendos, salarios, etc.) (Eder & Hosnedl Stanislav, 2010), por lo que sus procesos deben ser lo suficientemente eficientes para no sobrecargar dichos costos. Dentro de estos procesos encontramos el proceso de diseño como tarea importante dentro de dichas empresas

y al diseñador como un partícipe vital dentro del éxito de los productos y soluciones diseñadas por las empresas.

La tarea del ingeniero de diseño es conjugar el conocimiento científico con el ingenieril para poder entregar soluciones eficientes a las necesidades generadas por las empresas, pero, esta conjugación no es libre, se encuentra acotada por múltiples requerimientos y restricciones del tipo material, tecnológicas, económicas, legales, ambientales y humanas (Cross, 2000). Además el diseñador tiene la responsabilidad de afectar de manera consciente y controlada todos los parámetros del producto como son la seguridad, ergonomía, producción, transporte, operación, mantenimiento, reciclado y disposición final (Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grote, 2007).

Después de lo anteriormente expresado, el diseñador debe encontrar un balance adecuado ya que las soluciones presentadas tienen influencia en temas como son la producción, los costos operativos, la calidad, los tiempos de producción, entre otros.

A pesar de conocer esta situación se presenta con mucha frecuencia diseños desarticulados con el contexto donde se genera la necesidad, por lo que se puede decir que el 85% de los diseños generados son diseños pobres, que cuestan mucho o se demoran demasiado (Ullman, 2010) y esto va en contravía del comportamiento del mercado dinámico actual, el cual exige mejoras en el rendimiento, calidad, la reducción de costos, las entregas más ágiles entre otros (Fox, 1995).

A la hora de analizar la actividad de diseño dentro del desarrollo de un producto, se encuentra que esta es alrededor de un 5% del costo total de desarrollar un producto (Figura 4) (esto para el caso de FORD) (Ullman, 2010), pero, el impacto en la calidad del diseño es muchísimo mayor que ese porcentaje influyendo enormemente en el costo del producto final. Como el mismo Ullman dice

“Fail early; fail often” (Ullman, 2010)

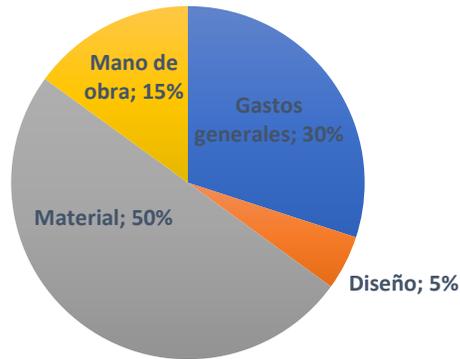


Figura 4. Proceso de diseño respecto al desarrollo de un producto (adaptado ejemplo FORD) (Ullman, 2010)

Se le debe dar la importancia necesaria a las actividades de diseño, esto con el fin de poder cultivar diseñadores con más manejo del conocimiento teórico y con mejor experiencia, permitiendo así potenciar las actividades industriales. Repercutiendo en diseños más integrales, eficientes e innovadores.

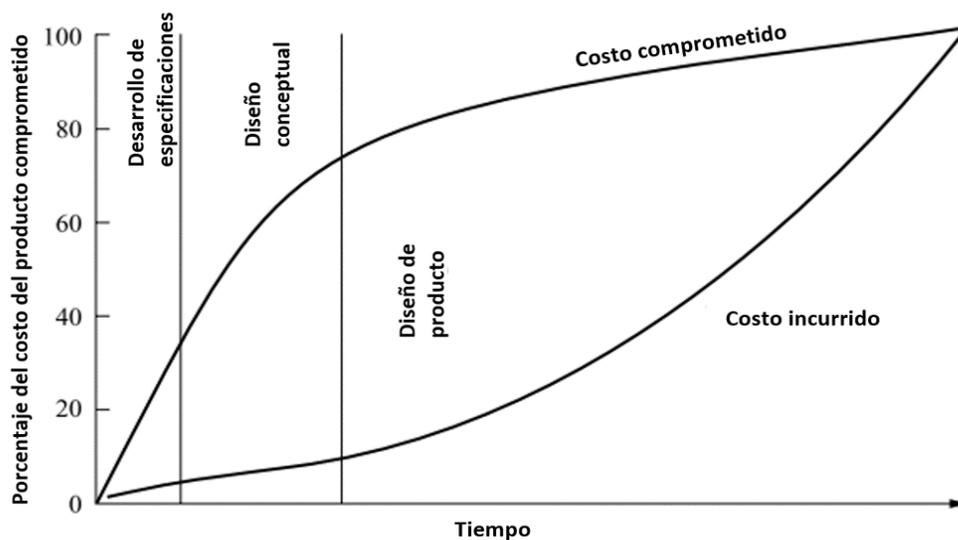


Figura 5. Costos de manufactura incurridos durante el diseño de producto (Ullman, 2010)

De la curva superior (Figura 5) se puede extraer que luego de la etapa del diseño conceptual cualquier cambio que se realice en el diseño solo logra afectar un 25% del costo de manufactura

del producto, evidenciando la importancia del desarrollo de especificaciones y del diseño conceptual. Por otra parte, la curva inferior muestra el costo incurrido en el proceso de diseño del producto, Acá se observa el impacto sobre el costo del producto cuando comienza la manufactura, por lo que se muestra la importancia de atacar fuertemente las primeras fases del diseño y lo costoso de incurrir en rediseños posteriores.

SITUACIÓN DEL SECTOR METALMECÁNICO DE LA REGIÓN

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) realizó una caracterización del proceso de diseño en la industria colombiana, entendiéndose el diseño en todas sus facetas, desde el industrial y mecánico hasta el diseño de calzado y marroquinería. Esta caracterización, aunque es del año 2008 permite obtener una radiografía muy acertada del diseño en el contexto colombiano, qué importancia se le da y también confirma el correcto enfoque del presente trabajo de investigación.

En la gráfica siguiente (Figura 6) se puede observar quienes son los encargados del diseño dentro de las empresas

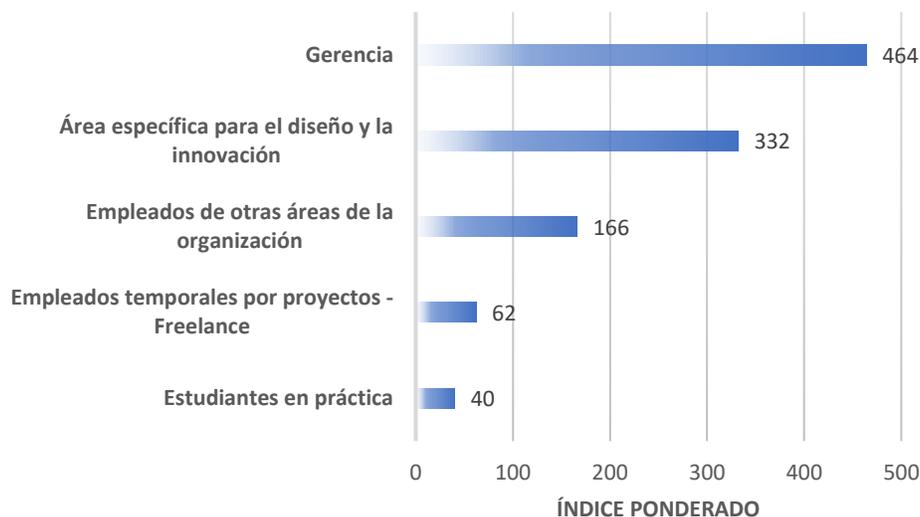


Figura 6. Encargados de las actividades de diseño dentro de las empresas (Bohórquez et al., 2008)

Esta gráfica permite evidenciar que los esfuerzos de diseño están ubicados al interior de las mismas empresas, buscando hacerlo parte del quehacer diario (áreas de diseño e innovación y gerencia).

En la siguiente gráfica (Figura 7) podemos observar que tipo de profesiones son las que se encargan de las actividades de diseño en el interior de las empresas colombianas

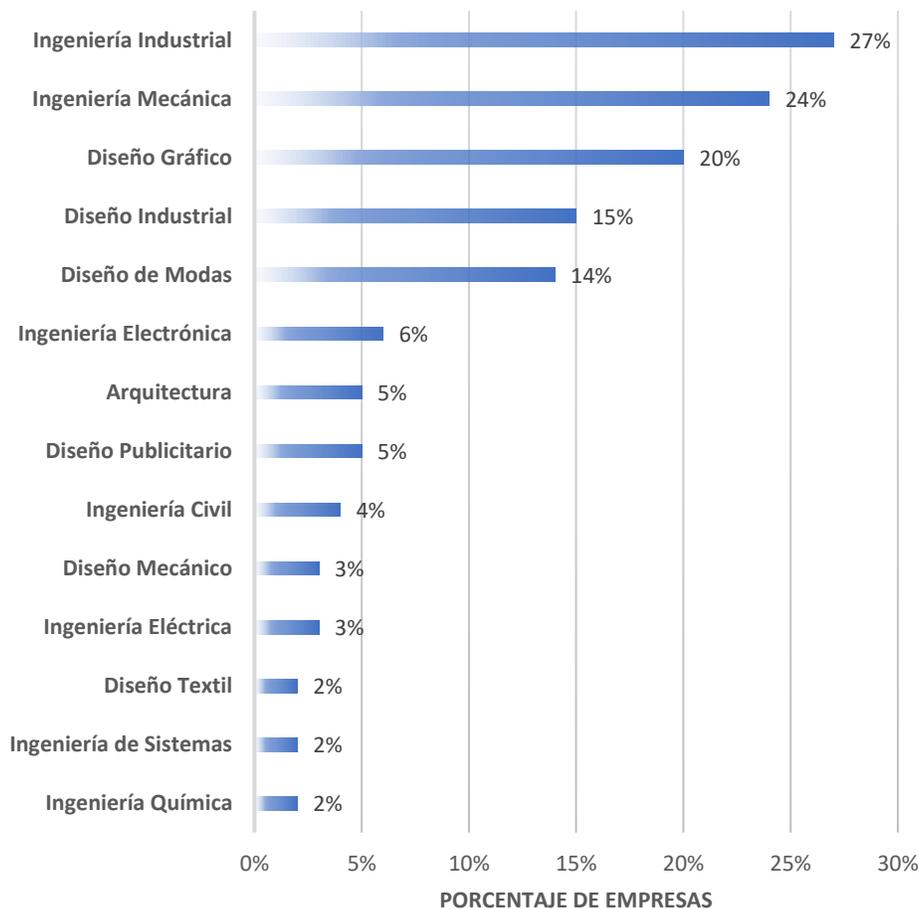


Figura 7. Formación profesional de los responsables del diseño al interior de las empresas de manufactura (Bohórquez et al., 2008)

Se puede observar que la mayoría de las responsabilidades del diseño recaen sobre dos profesiones: Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial. Por tradición están encargadas del diseño de sistemas técnicos y producto respectivamente. Aunque esa línea se ha ido

desdibujando con el paso del tiempo, impulsando que una ingeniería desarrolle habilidades propias de la otra. La siguiente gráfica apoya la idea anteriormente mencionada (Figura 8).



Figura 8. Actividades desarrolladas por las personas a cargo del diseño en las empresas manufactureras (Bohórquez et al., 2008)

Se puede observar que el grueso de las actividades de diseño está abarcado por el diseño y desarrollo de producto. Esto nos reúne desde el diseño del concepto del producto (usabilidad, forma, definición) hasta la forma como se debe producir (medios, tecnología, materiales).

La Figura 9 la cual muestra como se encuentra distribuido el manejo de los temas de diseño, desarrollo de productos e innovación como quehacer del departamento de diseño dentro de las empresas del sector metalmecánico, permite evidenciar el ítem *Diseño aportado por el cliente* como la frecuencia más alta en el sector. Esto se debe a que este sector está más enfocado a la producción de bienes intermedios, es decir, sus productos son parte de una cadena más grande que si apunta al consumidor final.

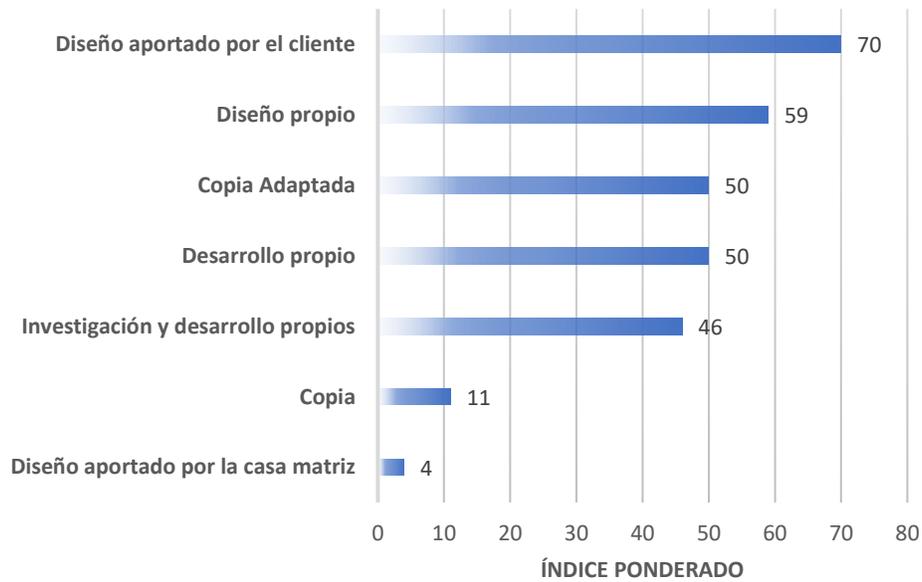


Figura 9. Manejo del diseño, desarrollo e innovación el en sector metalmecánico (Bohórquez et al., 2008)

En cuanto al manejo de los temas de diseño, desarrollo de producto e innovación para el sector automotor y agroindustria (Figura 10), se puede observar que el mayor índice lo ocupa el ítem de Copia Adaptada, esto tiene congruencia con la tendencia cultural de trabajar con modelos desarrollados por alguien más, buscando adaptar el producto a los procesos asequibles en el medio y buscando generar precios competitivos.

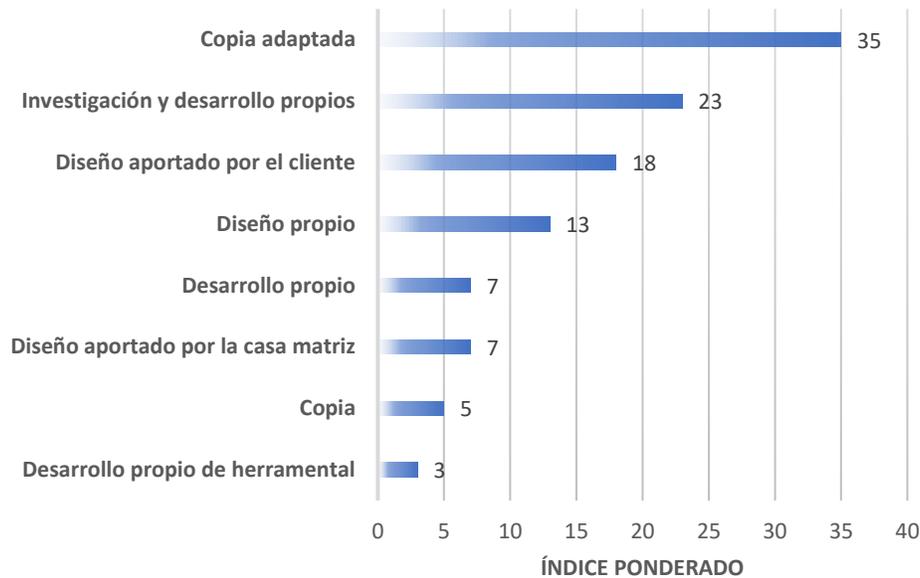


Figura 10. Manejo del diseño, desarrollo e innovación en el sector automotor y agroindustria. (Bohórquez et al., 2008)

SELECCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS, MÉTODOS Y TÉCNICAS RELEVANTES AL SECTOR

Técnicas de creatividad

Estas técnicas tienen como objetivo generar ideas o conceptos de valor estimulando el uso de rutas de pensamiento diferentes a las habituales, buscando esquivar los temores, las soluciones prácticas, es decir, evitando el uso del pensamiento lineal al que estamos habituados en el día a día.

Estas técnicas de creatividad pueden llegar a generar una cantidad alta de conceptos que pueden estar dispersos o ser soluciones muy amplias al problema o necesidad en cuestión. Según Pugh (Pugh, 1993) esto sucede porque hay una mala definición del problema a resolver o una mala acotación de la solución.

Para tener un ambiente generador de ideas de calidad se debe contar con un sitio espacioso, aireado, en lo posible deben ser actividades que se realicen por fuera del área de trabajo, con el mínimo de interrupciones y con acceso a la información.

La importancia de unas buenas sesiones de ideación se ve reflejada por la siguiente frase:

“Una mala elección de un concepto en una situación de diseño dada, rara vez puede ser recuperada por un diseño brillante” (Pugh, 1993).

A continuación, se describirán someramente algunas técnicas de creatividad comúnmente usadas para la generación de conceptos de diseño (King & Sivaloganathan, 1999) (Alcaide, Diego, & Artacho, 2004).

Tormenta de ideas (Brainstorming): esta técnica fue creada por Alex Osborn en los años 50 (Osborn, 1953), esta busca encontrar la solución a un problema definido por medio la acumulación de ideas generadas en un ambiente espontáneo y donde se ha suprimido previamente toda crítica. El principal beneficio de esta técnica es la cantidad, ya que las primeras ideas que son generadas pueden ser las más obvias.

Esta técnica se desarrolla en tres etapas que son:

Sugerencia: Cada miembro del grupo genera ideas que aporten solución al problema definido, sin crítica, desaprobación y sin importar lo vagas que puedan ser.

Discusión: Se discutirán las ideas de la etapa anterior, permitiendo pulir las ideas vagas generadas anteriormente o eliminar las que son imposibles o inviables.

Aprobación: en esta etapa se consolidará un número de conceptos que tienen potencial de cumplir con los requerimientos de la solución. Se pueden agregar notas y bosquejos a los registros de la sesión.

Brainwriting: Esta técnica es una derivación de la técnica de Brainstorming, también es llamada técnica 6-3-5, el nombre viene de la forma en que se desarrolla, el cual es seis personas generan tres ideas en cinco minutos.

La ventaja de este método es la de minimizar el efecto dominante que pueden generar algunos miembros del grupo por temas como: relaciones de poder o mayor espontaneidad.

Seis sombreros de pensamiento: Esta técnica fue creada por Edward de Bono en los años 80's (Bono, 2012), la intención de esta técnica es fomentar el pensamiento paralelo al pedir a un participante que cambien de forma de pensar al entregarle un sombrero de determinado color, aumentar la amplitud de pensamiento al poder usar diferentes líneas de pensamiento.

Los seis sombreros utilizados son:

Sombrero Blanco: Este es el pensamiento de las cifras, los hechos, las necesidades y ausencias de información, este se encarga de aterrizar las ideas.

Sombrero Rojo: Este sombrero es más visceral, recurre a la intuición, a los sentimientos y emociones. Este expone sus sentimientos sin necesidad de justificación.

Sombrero Negro: El usuario de este sombrero se encarga de encontrar todo lo negativo, de señalar lo que está mal y explicar las razones por las que puede fallar, siempre recurriendo a la lógica.

Sombrero Amarillo: Este sombrero es el antagónico del sombrero negro, siempre recurre a la lógica positiva. Porque puede funcionar y las razones por las que será beneficioso o exitoso.

Sombrero Verde: este es el sombrero creativo, alternativo, el de las soluciones o propuestas fuera de lo obvio.

Sombrero Azul: Este sombrero lo llevará la persona encargada de obtener una visión global, el panorama completo. Es el encargado de llamar al frente a cualquiera de los demás sombreros cuando considere que es necesario dentro de la discusión, es decir, hace las veces de moderador. Se encarga de la síntesis, visión global y conclusiones.

Listas de atributos: Esta técnica fue creada por R.P Crawford (Crawford, 1964) y su fuerte es la mejora de productos existentes por medio de tres etapas simples:

- Se realiza un listado con todos los atributos que se quieren mejorar del producto existente (color, peso, material, consumo energético) y se define su estado actual.
- Por medio de diferentes preguntas al facilitador se analiza el atributo y se proponen mejoras.
- Se seleccionan las mejores ideas para una evaluación posterior

Listas de comprobación (check list): Este método fue creado por Alex Osborn (Osborn, 1953) apoyado en su afirmación “La pregunta es la más creativa de las conductas humanas”. La intención es que una batería de preguntas desate la generación de ideas conforme se van realizando dichas preguntas (Tabla 1).

El autor marca unas preguntas principales, las cuales siempre deben hacerse: ¿Por qué?, ¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Qué?, ¿Quién?, ¿Cómo?

Tabla 1. Lista de preguntas de Osborn (Osborn, 1953)

<p><u>SUSTITUIR</u></p> <p>¿QUÉ OTROS materiales, productos, máquinas, aparatos métodos, procedimientos, trabajo de las personas, medio ambiente, fuentes de energía, SE PUEDEN EMPLEAR?</p> <p>¿Qué pondríamos en su lugar?</p> <p>¿A qué otra hora lo podríamos hacer?</p> <p>¿Qué otro espacio emplear? ¿Qué otro punto de vista tomar? ¿Qué otras cosas se pueden sustituir?</p> <p><u>AMPLIAR</u></p> <p>¿Qué podríamos añadir? ¿Se debería dedicar más tiempo?</p> <p>¿Se debería aumentar la frecuencia? ¿Y si lo hiciéramos más resistente? ¿Hacerlo más alto? ¿más alto o grueso? ¿Añadir algo suplementario? ¿Aumentar el número de ingredientes?</p> <p>¿Duplicarlo?</p> <p><u>DISMINUIR</u></p> <p>¿Qué se podría disminuir? ¿Podríamos hacerlo más pequeño? ¿Y si lo hiciéramos más compacto? ¿Y si lo hiciéramos en miniatura? ¿Podría ser más bajo? ¿más corto?</p>	<p><u>REDISPONER</u></p> <p>¿Es esta la causa o es el efecto? ¿Por qué no cambiar la secuencia? ¿Y si intercambiáramos los componentes?</p> <p>¿Podríamos cambiar el orden de elementos? ¿Por qué no establecer otro modelo? ¿Y si cambiáramos el horario? ¿Por qué no otro ritmo?</p> <p><u>ADAPTAR</u></p> <p>¿Qué ideas sugiere esto? ¿A qué se parece esto? ¿Se ha hecho en el pasado algo análogo? ¿Qué copiar que fuera aplicable? ¿Qué utilizar como fuente de inspiración?</p> <p><u>INVERTIR</u></p> <p>¿Y si comenzáramos por el final? ¿No deberíamos poner lo de arriba abajo? ¿Y lo de abajo arriba? ¿Cuáles son las posiciones contrarias? ¿Por qué no invertir los papeles?</p> <p>¿Cómo podríamos expresar esto al revés? ¿Por qué no ensayar por otro lado? ¿Y si lo hiciéramos de arriba hacia abajo?</p> <p><u>OTROS USOS</u></p>
---	--

<p>¿No podría ser más ligero? ¿Qué se podría quitar? ¿Y si dedicáramos menos tiempo? ¿Cómo hacerlo divisible en piezas?</p> <p><u>COMBINAR</u></p> <p>¿Qué ideas podríamos combinar entre sí? ¿Y si hiciéramos una aleación? ¿Qué obtendríamos con una mezcla? ¿Y una combinación de unidades? ¿Y si uniéramos los objetivos? ¿Por qué no hacer un conjunto? ¿Qué otra cosa podríamos asociar a esta? ¿Qué podríamos usar para multiplicar los usos?</p> <p><u>MODIFICAR</u></p> <p>¿Y si le diéramos una nueva forma? ¿Otro color? ¿Otro aspecto? ¿Otro olor? ¿Otro movimiento? ¿Otra textura? ¿Otra iluminación? ¿Podríamos cambiar el material? ¿Se podrían hacer otros cambios?</p>	<p>¿Para qué otra cosa puede usarse tal como es? ¿Cómo podríamos modificarlo para otros usos? ¿En qué otros productos podríamos utilizar este material? ¿En qué otra situación utilizar este procedimiento? ¿Para qué pueden servir sus desechos? ¿En qué otros puestos pueden aprovecharse estas aptitudes? ¿Qué otras cosas podríamos hacer con esta máquina?</p>
---	---

Quality Function Deployment (QFD)

Es considerado un proceso de planeación el cual busca traducir la voz del cliente en requerimientos técnicos, el arreglo matricial sobre el que está construido del proceso QFD permite analizar y determinar prioridades en función de las relaciones identificadas al desarrollar la matriz, lo que se traduce en acciones claves para mejorar la satisfacción del cliente basadas en las entradas de la matriz (voz del cliente) (Chan & Wu, 2005).

Para entender el uso del QFD hay que repensar el concepto de calidad y darle un horizonte más amplio. esto se consigue asumiendo que la calidad está compuesta por 8 dimensiones (Day, 1993) expresadas como:

1. Desempeño.
2. Características.
3. Confiabilidad.
4. Conformidad.
5. Durabilidad.
6. Utilidad.
7. Estética.

Porción Técnica: En esta sección (Figura 12) se consigna las especificaciones técnicas que a criterio de la compañía se pueden accionar y medir para atender cada voz del cliente. En el centro de la matriz donde se intersecan la porción del cliente y la porción técnica se puede evidenciar la fuerza de las relaciones entre cada especificación técnica y cada voz del cliente.

El producto debe ser evaluado en cuanto a su desempeño y compararlo con la competencia y permitirá ver tendencias o aspectos a mejorar de forma más ágil.

Por último, se dará peso a la información contenida en la matriz y al final se agregan las acciones que la empresa decida emprender para mejorar la voz del cliente.

Debido a que acciones emprendidas para mejorar un aspecto técnico pueden o no afectar otros aspectos tanto de forma positiva como negativa, estas relaciones se consignan en la parte superior de la matriz, por tener esta forma triangular es que se le conoce a esta matriz como la casa de la calidad.

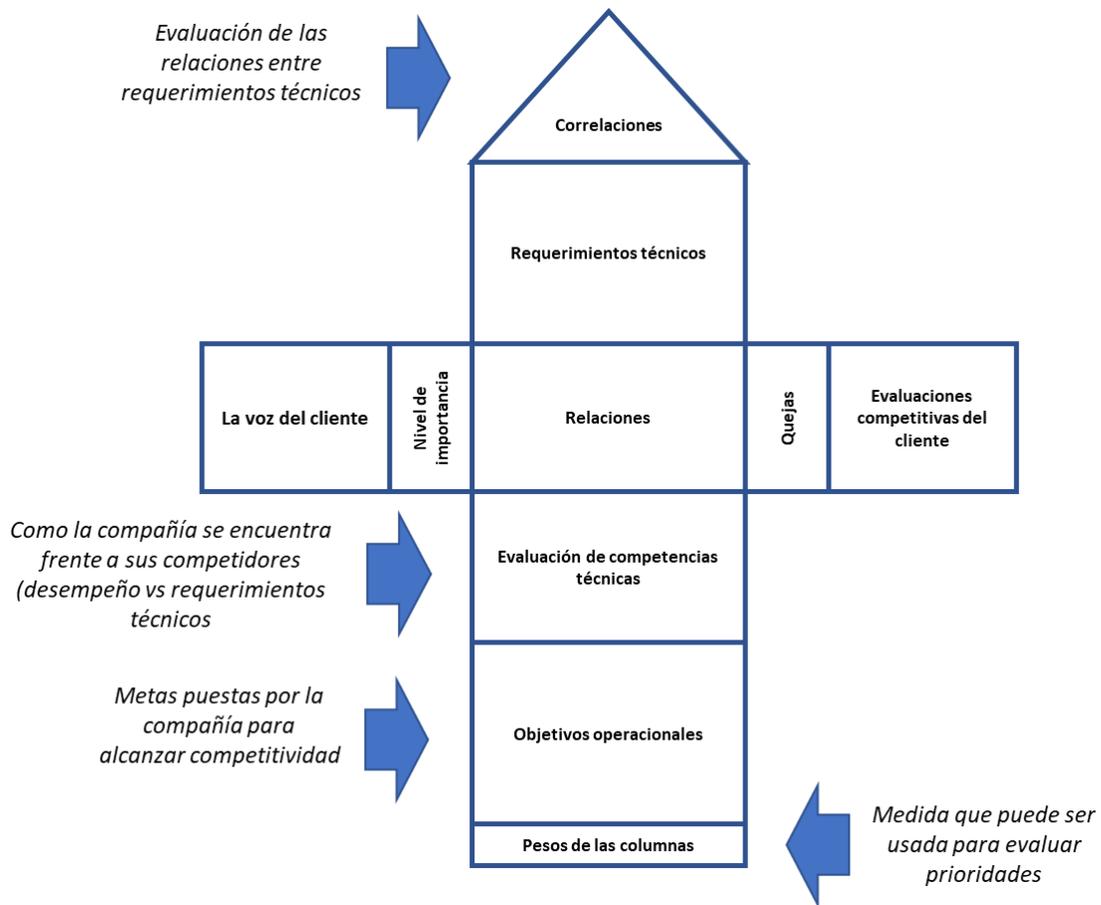


Figura 12. Porción técnica de la matriz QFD (Day, 1993)

El análisis QFD en resumen permite.

- Priorizar la voz del cliente.
- Identificar cuáles son los aspectos técnicos más relevantes de nuestro producto permitiendo canalizar de forma eficiente los esfuerzos de diseño y desarrollo, así como tiempo y dinero en el proceso.
- Crear objetivos claros para alcanzar las características técnicas que debe tener el producto para ser competitivo y satisfacer al cliente con el mínimo costo y esfuerzo.

Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF)

El AMEF (Chrysler, Ford Motor, & General Motors, 2008) es una herramienta creada por el ejército de los Estados Unidos en la década de los 40's buscando reducir el fallo en sus municiones, dicha herramienta buscaba aumentar la confiabilidad de estas.

El AMEF (Figura 13) es un procedimiento que busca identificar los posibles fallos en un producto, proceso o sistema. Además, permite identificar y clasificar los efectos, causas y forma de identificación para así evitar o reducir su aparición en la vida útil de un diseño.

Esta herramienta es ampliamente utilizada en los procesos de desarrollo de producto, pudiendo aparecer tanto en la planeación, diseño y desarrollo del producto y también en la etapa de desarrollo del proceso, permitiendo así la existencia de tres tipos de AMEF: de planeación, de diseño de producto y de diseño de proceso.

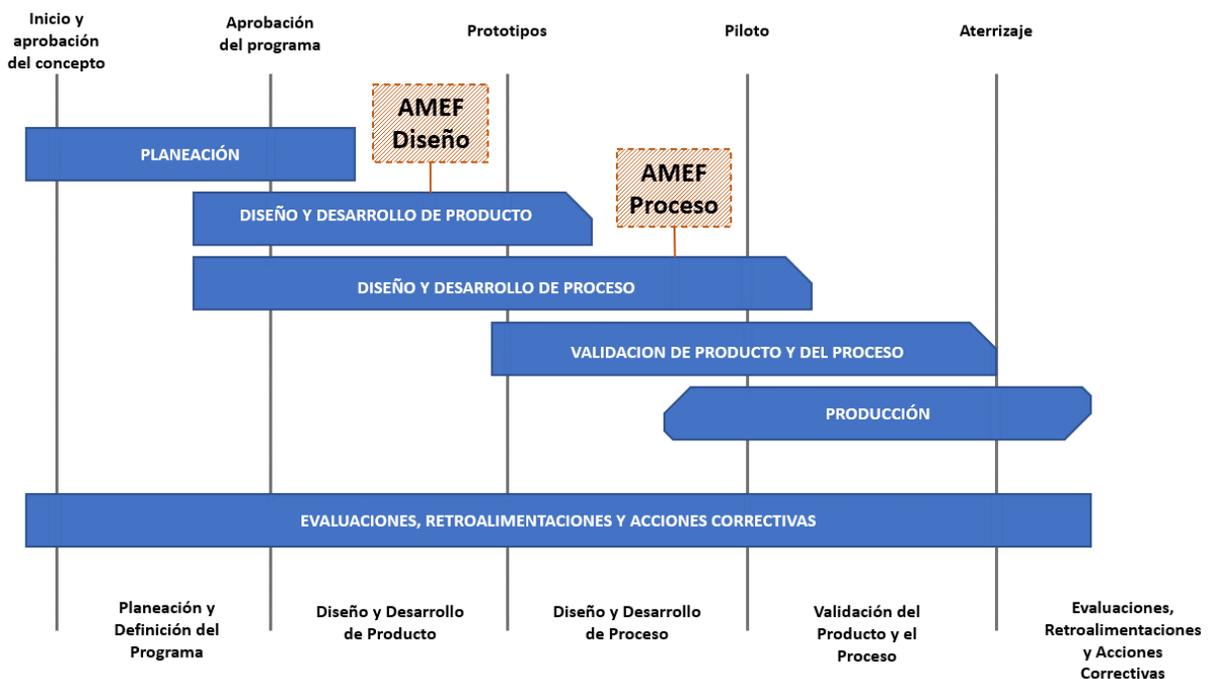


Figura 13. Uso del AMEF de diseño y de proceso (Chrysler et al., 2008)

Para este caso ahondaremos en el AMEF de diseño, el cual permite:

- Identificar posibles fallos en el diseño.

- Conocer en detalle el producto a diseñar.
- Identificar los efectos que pueden generar un fallo en el funcionamiento del producto a diseñar.
- Evaluar el nivel de criticidad de los efectos.
- Identificar las posibles causas que desembocan en un fallo.
- Establecer niveles de confiabilidad para la detección de fallas.
- Evaluar mediante indicadores específicos la relación entre: gravedad, ocurrencia y detectabilidad.
- Documentar los planes de acción para minimizar los riesgos.
- Identificar oportunidades de mejora.
- Generar *Know-how* al interior de la empresa.

Para explicar el funcionamiento del AMEF se deben clarificar tres conceptos claves para su ejecución: *Severidad, Ocurrencia Y Detección*.

Severidad: Es el valor asociado al más serio efecto para un modo de falla dado, Esto quiere decir, que tan graves es que suceda un tipo de fallo (Tabla 2).

Para ayudarnos a clasificar este ítem se puede recurrir a tablas que estandarizan dicho valor.

Tabla 2. Valores de severidad en el AMEF (Chrysler et al., 2008)

Efecto	Severidad del Efecto en el Producto	Rango
Falta en el cumplimiento con requerimientos de seguridad y/o regulatorios	Modo de falla potencial afecta a la operación segura y/o involucra incumplimientos en regulaciones gubernamentales sin advertencia	10
	Modo de falla potencial afecta a la operación segura y/o involucra incumplimientos en regulaciones gubernamentales con advertencia	9
Pérdida o degradamiento de alguna función primaria	Pérdida de alguna función primaria (Artefacto inoperable, no afecta la operación segura)	8
	Degradamiento de alguna función primaria (Artefacto operable, pero con un nivel de desempeño reducido)	7
Pérdida o degradamiento de alguna función secundaria	Pérdida de alguna función secundaria (Artefacto operable, pero algunas funciones de confort/conveniencias inoperables)	6
	Degradamiento de alguna función secundaria (vehículo operable, pero algunas funciones de confort/conveniencia con un nivel de desempeño reducido)	5
Incomodidad/Molestia	Apariencia ó ruido audible, artefacto operable, algún ítem no cumple y es notado por la mayoría de los clientes (>75%)	4
	Apariencia ó ruido audible, artefacto operable, algún ítem no cumple y es notado por muchos clientes (50%)	3
	Apariencia ó ruido audible, artefacto operable, algún ítem no cumple y es notado por un mínimo de los clientes (<25%)	2
Sin efecto	Sin algún efecto discernible	1

En resumen, la severidad es una evaluación del nivel de impacto de una falla en el cliente.

Ocurrencia: Es la probabilidad de que una causa/mecanismo específico ocurra, resultando en un modo de falla dentro de la vida del diseño.

La clasificación de esta se hace a través de rangos como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de ocurrencia en el AMEF (Chrysler et al., 2008)

Probabilidad de falla	Ocurrencia de la causa	Rango
Muy Alta	Nueva tecnología/nuevo diseño sin historia	10
Alta	Falla es inevitable con el nuevo diseño, nueva aplicación o cambio en las condiciones de operación/ciclos debidos	9
	Falla es probable con el nuevo diseño, nueva aplicación o cambio en las condiciones de operación/ciclos debidos	8
	Falla es incierta con el nuevo diseño, nueva aplicación o cambio en las condiciones de operación/ciclos debidos	7
Moderada	Fallas frecuentes asociadas con diseños similares o en simulaciones y pruebas de diseños	6
	Fallas ocasionales asociadas con diseños similares o en simulaciones y pruebas de diseños	5
	Fallas aisladas asociadas con diseños similares o en simulaciones y pruebas de diseños	4
Baja	Solo fallas aisladas asociadas con diseños casi idénticos o en simulaciones y pruebas de diseños	3
	No se observan fallas asociadas con diseños casi idénticos o en simulaciones y pruebas de diseños	2
Muy Baja	La falla es eliminada a través de controles preventivos	1

En resumen, Ocurrencia es con qué frecuencia la causa de una falla puede ocurrir.

Detección: Es el rango asociado con el mejor control de detección para un fallo determinado, estos valores se pueden observar en la tabla a continuación (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de detección en el AMEF (Chrysler et al., 2008)

Oportunidad para Detección	Probabilidad de detección por controles de diseño	Rango	Probabilidad de detección
Oportunidad de No Detección	Sin control de diseño actual, no puede detectarse ó no es analizado	10	Casi imposible
Sin probabilidad de detección	Controles de análisis/detección de diseño cuentan con una capacidad de detección débil; Análisis virtuales (ej. CAE, FEA, etc.) no están correlacionados con las condiciones de operación actuales esperadas	9	Muy remota

Congelamiento posterior al diseño y previo al lanzamiento	Verificación/Validación del producto después de un congelamiento del diseño y previo al lanzamiento con pruebas pasa/falla (pruebas del sistema y subsistemas con criterios de aceptación tales como, conducción y manejo, evaluación de envío, etc.)	8	Remota
	Verificación/Validación del producto después de un congelamiento del diseño y previo al lanzamiento con pruebas para falla (pruebas del sistema y subsistemas hasta que una falla ocurre, pruebas de las interacciones del sistema, etc.)	7	Muy baja
	Verificación/Validación del producto después de un congelamiento del diseño y previo al lanzamiento de degradamiento (pruebas del sistema y subsistemas después de pruebas de durabilidad, ej. Chequeo de funcionamiento)	6	Baja
Congelamiento previo al Diseño	Validación del producto (pruebas de confiabilidad, pruebas de desarrollo y validación) previo al congelamiento del diseño usando pruebas pasa/falla (ej. Hasta que se fuga, rendimientos, grietas, etc.)	5	Moderada
	Validación del producto (pruebas de confiabilidad, pruebas de desarrollo y validación) previo al congelamiento del diseño usando pruebas para fallas (ej. Criterios de aceptación para desempeño, chequeos de funcionamiento, etc.)	4	Moderadamente Alta
	Validación del producto (pruebas de confiabilidad, pruebas de desarrollo ó validación) previo al congelamiento del diseño usando pruebas de degradamiento (ej. Tendencias de datos, valores antes/después, etc.)	3	Alta
Análisis virtual - Correlacionado	Controles de análisis/detección del diseño cuentan con una fuerte capacidad de detección. Análisis virtuales (ej. CAE, FEA, etc.) están altamente correlacionados con las condiciones de operación actuales ó esperadas previo al congelamiento del diseño	2	Muy Alta
Detección no aplica; Prevención de fallas	Causas de fallas ó modos de falla no pueden ocurrir porque está totalmente prevenido a través de soluciones de diseño (ej. Estándar de diseño probado, mejores prácticas ó material común, etc.)	1	Casi Cierta

En resumen, Detección es una evaluación de qué tan bien los controles del producto detectan las causas de las fallas o modos de fallas.

Número de Prioridad en Riesgos (NPR): Un enfoque para apoyar en la priorización de acciones ha sido usar el Número de Prioridad en Riesgos,

$$NPR = Severidad (S) \times Ocurrencia (O) \times Detección (D)$$

Dentro del alcance del AMEF individual, este valor puede tener un rango de 1 a 1,000.

El uso de un umbral para NPR no se recomienda como una práctica para determinar la necesidad de acciones. La aplicación del umbral asume que los NPRs son una medida de riesgo relativa (las cuales a menudo no lo son) y que el mejoramiento continuo no se requiere (el cual sí).

Después de encontrar este número, se utiliza como un indicativo de la forma en que se deben priorizar las modificaciones para blindar el diseño sobre posibles fallos.

Como todo proceso, depende del rigor con que se apliquen las acciones tanto de construcción como de ejecución. A continuación, se muestra un AMEF de diseño como ejemplo de trabajo a seguir.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE LA FALLA POTENCIAL															Bonem												
Producto/Código:		GATO LATERAL MOTOCICLETA				Fecha elaboración:				10/05/2021																	
Vehículo/Modelo:		Equipo Original				Preparado por (nombre y firma):				JUAN DAVID CARVAJAL																	
Resp. Proceso:		JEFE DE INNOVACION Y DESARROLLO				Proceso:				AMEF N°																	
Equipo:		Equipo Reducción de riesgo (AMEF)				Modelo / Programa:				Fecha revisión																	
L. i. n. e	No	Etapa del proceso / función o propósito	Requerimiento	Modo de falla	Efecto de la falla	Severidad	Clase	Causa / mecanismo de la falla	Ocurrencia	Control de PREVENCIÓN actual al proceso	Control de DETECCIÓN actual al proceso	Detección	N.P.R.	Plan de acción				Valores anteriores									
														Acción recomendada.	Fecha implementación recomendada	Origen	Responsable	Acción tomada	Severidad	Ocurrencia	N.P.R. Anterior						
1	01	Recepción materia prima	Cantidad de materia prima conforme a orden de compra	Cantidad no conforme	Problema de inventarios y/o despachos de producto al cliente	2		Mal despacho	2	Orden de compra SAP	Inspección contra orden de compra	5	20														
2	01	Recepción materia prima	Dimensiones de materia prima dentro de especificaciones	Dimensiones no conformes	Problema en el ensamble y/o retrabajo	3	Δ	Falta de control del proveedor	2	Especificación de plano	Inspección dimensional eje	6	36														
3	01	Recepción materia prima	Materia prima dentro de especificaciones	Materia prima no conforme	Problema en la fabricación y/o retrabajo	3	Δ	Falta de control del proveedor	2	Especificación de plano y MMT	Inspección dimensional eje	6	36														
4	01	Recepción materia prima	Materia prima con apariencia conforme	Deterioro y mala presentación de las piezas	Mala presentación	3	Δ	Mal almacenamiento del proveedor	2		Inspección en proceso siguiente 100% atributos	7	42														
5	02	Almacenamiento materia prima	Materia prima en buen estado	Deterioro y mala presentación de las piezas por golpes y medio ambiente	Mala presentación	3		Filtraciones en techos y carcasas	3	Mantenimiento programado de techos y carcasas	Inspección en proceso siguiente 100% atributos	3	27														

Figura 14. Ejemplo AMEF

En resumen, el AMEF nos permite clasificar según su nivel de importancia los posibles modos de falla del producto, permitiendo así enfocar los procesos de corrección de diseño, evitando así, problemas posteriores no identificados que puedan poner en riesgo la salida al mercado de dicho producto o peor aún, problemas de cara al cliente, derrumbando la confianza sobre el producto. Recordemos que los rediseños mientras más avanzado se encuentre el desarrollo del producto más costoso se hace cualquier rediseño.

TRIZ

También conocido como resolución inventiva de problemas, se encuentra basada en la hipótesis que existen principios de invención que están por encima de un campo de aplicación específico, es decir, es posible encontrar solución a problemas de un campo determinado, en otro campo aparentemente diferente. Se encuentra sustentada en el concepto que el diseño es un concepto holístico.

Fue creada en la década de los 50 en la antigua URSS por el ingeniero ruso Genrich S. Altshuller (Altshuller, 1999), que después de analizar un millón y medio de patentes encontró que a pesar de que los inventos solucionaban problemas en campos que aparentemente no se relacionaban, de las soluciones obtenidas se podían extraer un conjunto reducido de ideas o principios de invención.

El método TRIZ está concebido inicialmente para problemas del tipo tecnológico, donde una solución de un problema o necesidad interviniendo un parámetro, genera una contradicción con otro parámetro existente que también es importante para sistema, por ejemplo, si debo aumentar la resistencia de un objeto una posible solución en volverlo más robusto, pero esto a su vez aumenta el peso del sistema, el cual es necesario mantener al mínimo. Esto se considera una contradicción.

Al utilizar esta metodología, los problemas son clasificados en dos grandes grupos: los de solución conocida y los de solución desconocida.

Clasificación de las soluciones:

Nivel 1 – Elemental (Sin invención): problemas rutinarios con soluciones conocidas dentro del campo de aplicación. No conllevan ninguna invención y son fáciles de resolver 32%

Nivel 2 – Mejora: Mejoras menores a sistemas conocidos, con soluciones conocidas en la industria. 45%

Nivel 3 – Invención dentro del paradigma: Mejoras fundamentales a sistemas existentes, por métodos conocidos por fuera de la industria. 18%

Nivel 4 – Invención fuera del paradigma: Una generación nueva que usa un nuevo principio de funcionamiento para realizar sus funciones primarias. Se apoyó más en la ciencia que en la tecnología. 4%

Nivel 5 – Descubrimiento: descubrimiento raro científico o invención pionera. 1%

Ecuación de idealidad

$$IDEALIDAD = \frac{\sum \text{Beneficios}}{\sum \text{Perjuicios}}$$

El método TRIZ busca aumentar la idealidad de un sistema, es decir, aumentar los efectos benéficos sobre el sistema sin aumentar los efectos perjudiciales. Estos efectos perjudiciales pueden ser mayor consumo de energía, mayor costo de fabricación, contaminación, etc.

Cuando el aumento de un efecto benéfico trae el aumento de un efecto es lo que anteriormente se nombró contradicción. Por lo que el principio de universalidad creciente pretende aumentar los efectos benéficos del sistema controlando o disminuyendo los perjudiciales.

El proceso general de TRIZ sigue el siguiente patrón (Figura 15)

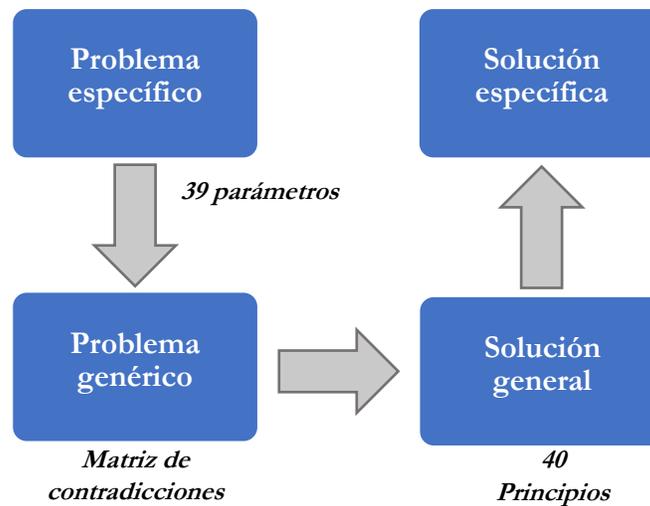


Figura 15. Esquema de solución de problemas usando TRIZ

A grandes rasgos debemos comenzar por definir bien nuestro problema de diseño, luego debemos volverlo genérico utilizando los 39 parámetros (Tabla 5) definidos por Altshuller (Altshuller, 1999), después de tener identificados en función de estos parámetros los que se

encuentran en conflicto se recurre a la matriz de contradicciones para encontrar cual(es) de los 40 principios de soluciones (Tabla 6) (Altshuller, 1999) se aplican a nuestro escenario. Todos los principios no son siempre aplicables a nuestro problema debido a lo genérico de las soluciones, en esta situación influye la capacidad técnica de los participantes a la hora de filtrar las soluciones aplicables al contexto del problema. Al final se particulariza la solución seleccionada de nuevo al campo de aplicación del diseño.

Tabla 5. 39 parámetros técnicos para el uso de TRIZ (Altshuller, 1999)

Parámetros Técnicos TRIZ	
Peso del objeto móvil	Peso del objeto inmóvil
Longitud del objeto móvil	Longitud del objeto inmóvil
Área del objeto móvil	Área del objeto inmóvil
Volumen del objeto móvil	Volumen del objeto inmóvil
Velocidad	Fuerza
Tensión, presión	Forma
Estabilidad del objeto	Fortaleza
Durabilidad del objeto móvil	Durabilidad del objeto inmóvil.
Temperatura	Brillo
Gasto energético de objeto móvil	
Gasto energético de objeto inmóvil	Potencia
Pérdida de energía	Pérdida de sustancia
Pérdida de información	Pérdida de tiempo
Cantidad de sustancia	Confiabilidad
Precisión de medida	Precisión de fabricación
Factores nocivos actuando sobre el objeto	Efectos laterales perjudiciales
Manufacturabilidad	Conveniencia de uso
Reparabilidad	Adaptabilidad
Complejidad del dispositivo	Complejidad del control
Nivel de automatización	Productividad

Tabla 6. 40 principios inventivos para la solución de conflictos en TRIZ (Altshuller, 1999)

1. Segmentación (fragmentación)	2. Separación (hablar fuera, extraer)
3. Calidad local	4. Cambio de simetría (asimetría)
5. Combinación (consolidación)	6. Multifuncionalidad (consolidación)
7. “La muñeca anidada” (la encapsulada “Matrushka”)	8. Compensación de peso (anti-peso, contrapeso)
9. Neutralización preliminar (anti-acción preliminar, pre-contracción)	10. Acción preliminar (acción prioritaria, hacerlo en forma adelantada)
11. Compensación de antemano por consiguiente amortiguamiento, amortiguar previamente	12. Equipotencialmente (traer cosas al mismo nivel)

13. “El otro camino alrededor” (realizarlo en reversa, hacerlo inversamente)	14. Incremento de la curvatura (curvatura esférica)
15. Partes dinámicas (dinámicamente, dinamización, dinámica)	16. Acciones parciales o excesivas (hacer un poco menos)
17. Cambio de dimensión (otra dimensión)	18. Vibración mecánica
19. Acción periódica	20. Continuidad de acción útil
21. Apresurarse (saltar, apresurarse a través)	22. “Bendición para fingir” (convertir los daños en beneficios)
23. Retroalimentación	24. Intermediación (mediador)
25. Autoservicio	26. Copiando
27. Disposiciones baratas	28. Sustitución de interacción mecánica (uso de campos)
29. Neumáticos e hidráulicos	30. Escudos flexibles y películas delgadas
31. Materiales porosos	32. Cambios de propiedad óptica (cambio de color)
33. Homogeneidad	34. Descartar y recuperación
35. Cambios de parámetros (transformación de propiedades)	36. Transiciones de fase
37. Expansión térmica	38. Oxidantes fuertes (oxidación acelerada)
39. Atmósfera inerte (ambiente inerte)	40. Materiales compuestos

Haciendo uso de la matriz de contradicciones podremos encontrar varias sugerencias de solución a la contradicción que bloquea la solución ideal en el proceso de diseño.

Diseño Total (Stuart Pugh)

Denominado por el mismo autor como un conjunto de métodos integrados para el desarrollo exitoso de productos de ingeniería (Pugh, 1993). Este método busca conjugar una cantidad de herramientas alrededor del núcleo de diseño (Figura 16), nombre que le asignó Pugh al ciclo de vida del producto desde el análisis del mercado hasta la venta del producto.

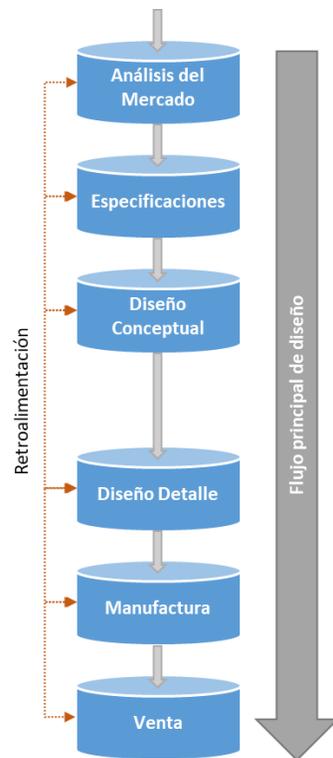


Figura 16. Núcleo de diseño según Pugh – Adaptado (Pugh, 1993)

El núcleo de diseño tiene la particularidad que se puede considerar independiente del tipo de diseño o del tipo de dominio.

El núcleo de diseño está acotado por las especificaciones del producto (Figura 17) o *Product Design Specifications* (PDS)

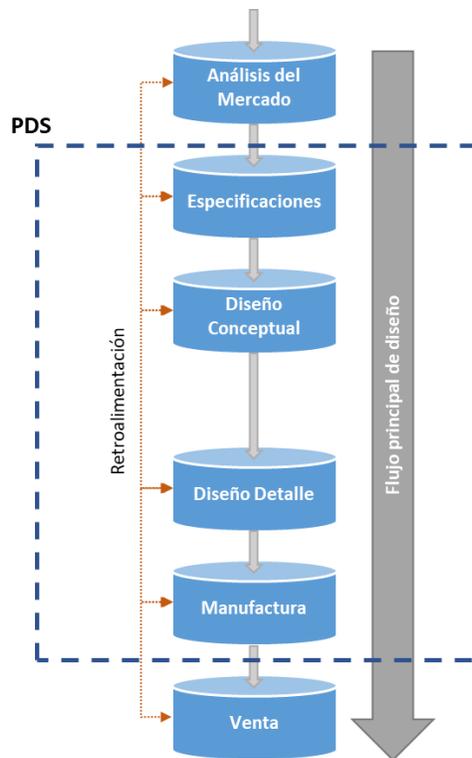


Figura 17. Especificaciones del producto (PDS) (Pugh, 1993)

La PDS se encarga de mantener enfocado el proceso de diseño, pero a su vez tiene permitido evolucionar. Esto significa que, si encontramos algún vacío en la especificación del producto durante el proceso de diseño, no se debe continuar sin llenar dicho vacío.

Diseñar sin PDS es una forma tradicional de diseño, diseñar con la intuición, con corazonadas. Estas formas de diseño tienen baja probabilidad de triunfo, el éxito del diseño se puede enmarcar en función del uso de la PDS. El autor lo expresa en una frase: “Un diseño sin el uso de PDS está destinado a fallar, una PDS pobre generará un diseño pobre y una PDS bien construida no garantiza un buen diseño, pero ayudará bastante a conseguirlo” (Pugh, 1993).

La PDS basa su construcción en un conjunto de parámetros a considerar (Tabla 7) a la hora de definir el producto a diseñar, todos los diseños no usan exactamente todos los parámetros, pero se deben evaluar todos inicialmente y si al final se consideran que no son aplicables se pueden eliminar.

Tabla 7. Parámetros por evaluar en la PDS (Pugh, 1993)

Parámetros Para Evaluar en una PDS			
Desempeño	Ambiente	Vida de servicio	Mantenimiento
Precio objetivo	Competencia	Embarco	Empaque
Cantidad	Capacidad de fabricación	Tamaño	Peso
Estética, apariencia y acabado	Materiales	Vida útil del producto	Estándar y especificaciones
Ergonomía	Cliente	Calidad y confiabilidad	Almacenamiento
Procesos	Escalas de tiempo	Ensayos y pruebas	Seguridad
Restricciones de la compañía	Restricciones del mercado	Patentes, literatura y datos de producto	Implicaciones sociales y políticas
Legal	Instalación	Documentación	Disposición final y desechado

Adicionalmente, se considera que cada etapa del núcleo de diseño recibe dos tipos de entradas: dependientes e independientes de la tecnología o tipo de diseño. Las dependientes están asociadas al tipo de diseño de ingeniería, sea eléctrico, mecánico, electromecánico, etc. Las independientes son las asociadas al análisis de la competencia, manejo y análisis de información, optimización, costos, etc. (Figura 18).

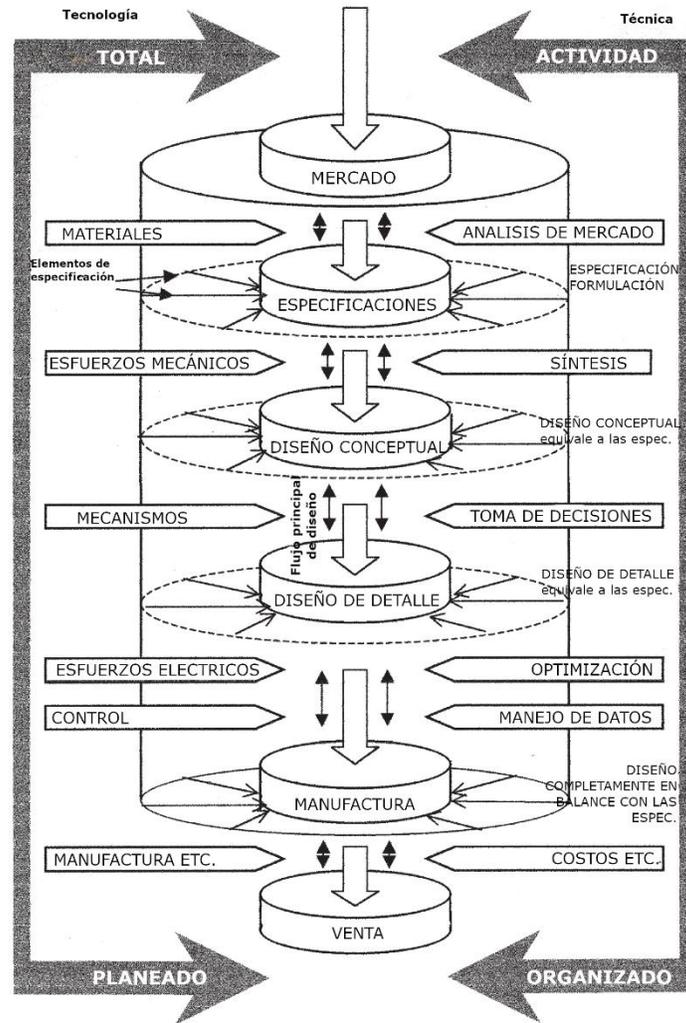


Figura 18. Esquema completo del diseño total de Stuart Pugh – Traducción propia (King & Sivaloganathan, 1999)

Pugh analiza cada etapa de diseño y aporta para esta las herramientas necesarias para llevarla a buen término. Un ejemplo de estas es el método de convergencia controlada y el método de calificación y ponderación para la evaluación del diseño conceptual, la CDS (*Component Design Specification*) y los tipos de costeo en el diseño de detalle, el DfM (*Design for Manufacturability*) en la etapa de manufactura, entre otros.

Todo esto está desarrollado como un paso a paso para poder tener control del producto hasta el final de su vida útil, generando valor agregado en cada etapa de esta, convirtiendo así el producto en uno exitoso y diferenciado en el mercado donde se ubique.

Análisis Funcional

En el momento de abordar un diseño se pueden presentar dos situaciones:

Si el diseño no se delimita, se pueden presentar posibles soluciones al moverse entre los diferentes niveles de solución, presentando posibles soluciones que, aunque válidas, no son las buscadas por el cliente o son demasiado robustas para el alcance inicial planteado. En otras situaciones, el diseño solicitado por el cliente puede estar demasiado acotado, encontrando así el diseñador que las soluciones más acordes se encuentran en niveles superiores.

Por lo anterior se hace necesario tener los medios para que al momento de diseñar no se analicen las potenciales soluciones como tal, si no, las funciones que debe cumplir dicho diseño. Esto da libertad al diseñador de explorar alternativas.

Las funciones esenciales son aquellas que el producto o sistema deben alcanzar incondicionalmente, sin importar los medios para lograrlo y enfocan y delimitan las potenciales soluciones.

Para esto está pensando el método del análisis funcional y la forma de realizarlo es la siguiente:

- Exprese la función principal del diseño en función de una caja negra con sus entradas y salidas.
- Despiece la función principal en subfunciones esenciales. Las subfunciones deben comprender todas las tareas que deben ir dentro de la caja negra para llevar a cabo la función principal.
- Dibuje un diagrama de bloques que muestre las interacciones entre las subfunciones. La caja negra se vuelve transparente, entonces las subfunciones y sus interacciones se vuelven visibles.
- Dibuje el límite del sistema. El límite del sistema define el límite funcional del producto o sistema.
- Busque los componentes apropiados para ejecutar las subfunciones y sus interacciones. Muchos componentes alternativos deben ser capaces de realizar las funciones identificadas.

Un ejemplo de este análisis se puede observar en las Figura 19 y Figura 20



Figura 19. Caja negra para una máquina de té – Adaptado (Cross, 2000)

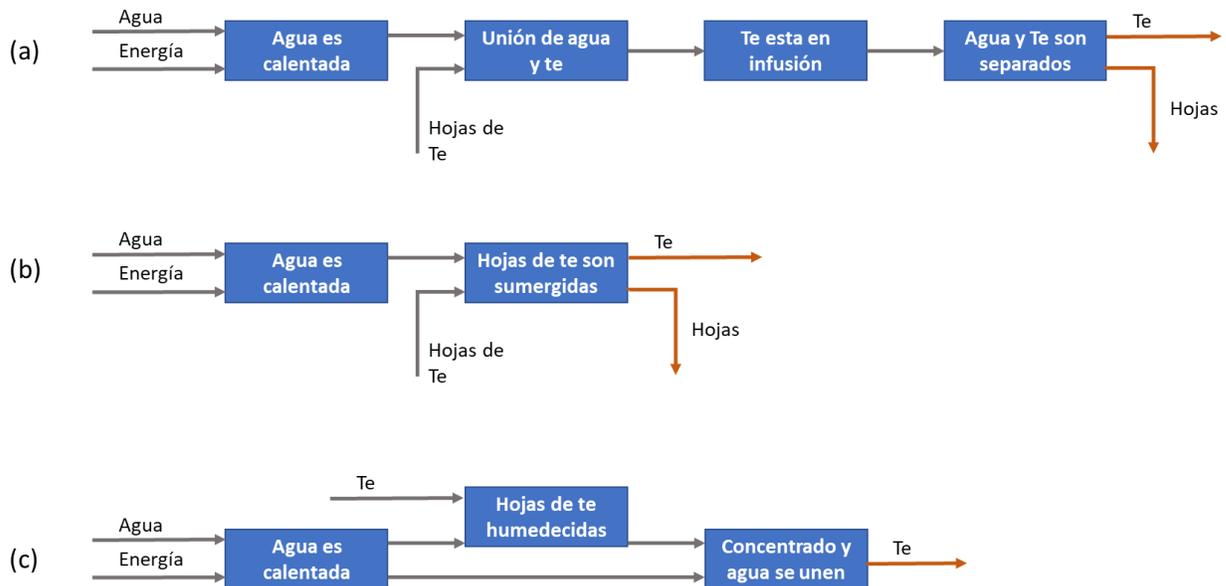


Figura 20. Tres alternativas de proceso para la máquina de té – Adaptado (Cross, 2000)

DFM&A (Design for Manufacturing and Assembly)

DFM&A se refiere al diseño para la manufactura y el ensamble, este hace parte de la corriente de DfX (Diseño para X) donde el objetivo del diseño tiene como criterio de valor una variable determinante. A parte de la manufactura y el ensamble, se pueden encontrar comúnmente Diseño para: la calidad, la confiabilidad, el reciclaje, la seguridad, el desensamble, entre otros (Kuo, Huang, & Zhang, 2001).

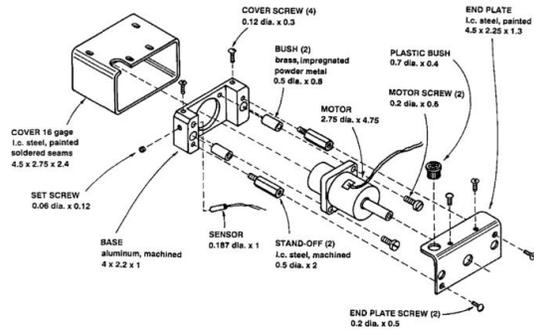
El DFM&A se gestó con Boothroyd y Dewhurst (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2000), propiamente el DFA apunta a que los costos de un producto se pueden disminuir al diseñarlo de forma que tenga un método apropiado de ensamble para esto, se sigue el siguiente camino.

1. Siguiendo un criterio básico se debe cuestionar porque un componente no puede ser eliminado o combinado con otro (transferencia de funciones).
2. Se calcula el tiempo de ensamble partiendo de una base de tiempos reales estándar diseñada para el DFA.
3. El índice de eficiencia de diseño se obtiene en base a la configuración actual y sus tiempos de ensamble.
4. Se identifican las dificultades de diseño que pueden desencadenar problemas de calidad y de manufactura.

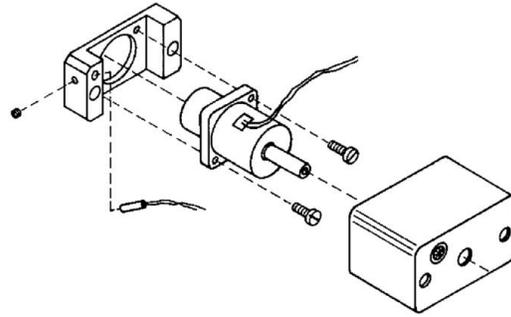
Posteriormente se debe seguir los siguientes criterios de análisis que buscan reducir el número de partes y facilitar el ensamble.

1. Minimizar el número de partes y fijaciones, variantes de diseño, movimientos de ensamble y direcciones de ensamble.
2. Proveer chaflanes que permitan la inserción de componentes, alineaciones automáticas, fácil acceso a los lugares de ensamble, partes simétricas o con asimetrías notorias y fácil manipulación y transporte.
3. Evitar obstrucciones visuales, operaciones de ensamble simultáneas, partes que se puedan enredar, ajustes que puedan afectar ajustes hechos con anterioridad y la posibilidad de errores de ensamble.

Una rápida vista del impacto que puede tener este método se puede observar en la Figura 21



A. Diseño antes de DFA



B. Diseño después de DFA

Figura 21. Impacto del DFA sobre los productos – Adaptado (Boothroyd et al., 2000)

Factor de complejidad DFA: El factor de complejidad permite definir un punto de partida desde el cual se puede medir la simplificación del diseño obtenido gracias a los criterios u objetivos del DFA.

El factor de complejidad está dado por la ecuación:

$$FC = \sqrt{\sum NP_x \sum NI}$$

Donde se tiene que:

NP: Número de partes o componentes

NI: Número de interfaces parte – parte, donde,

$$NI = 2(NP - 1)$$

El objetivo por alcanzar con el factor de complejidad es siempre llevarlo al mínimo, por lo que debe calcularse antes y después del rediseño.

- Los principios del DFA siempre serán:
- Minimizar el número de piezas
- Diseñar piezas con características de auto ubicación
- Diseñar piezas con características de auto fijación
- Minimizar la reorientación de las piezas durante el montaje

- Diseñar las piezas para su recolección, manipulación e inserción
- Hacer hincapié en los ensamblajes "de arriba abajo".
- Estandarizar las piezas... uso mínimo de elementos de fijación
- Fomentar el diseño modular
- Diseñar una pieza base para ubicar otros componentes
- Diseñar para la simetría de los componentes para la inserción

Seguir estos principios permitirá que el proceso de diseño siempre tenga presente preguntas como:

¿Estoy seleccionando el mejor proceso de manufactura? ¿estoy seleccionando el mejor material?
 ¿Estoy obteniendo la mejor relación función vs costo?

Diseño Axiomático

El diseño axiomático es una teoría y metodología creada por Nam P. Suh (Suh, 2001) buscando un acercamiento sistémico y científico a la labor de diseño, con el objetivo de crear diseñadores más creativos, reducir la aleatoriedad del proceso y disminuir el ensayo y error común en estos procesos (Vargas, 2006).

La metodología de diseño axiomático se basa en la premisa que el diseño se mueve entre cuatro dominios establecidos: Dominio del usuario, funcional, físico y del proceso. Cada uno de estos dominios está regido por su propio vector característico.

En el Dominio del Usuario se encuentra los deseos y requerimientos del cliente a la hora de comenzar el proceso de diseño, este dominio tiene como vector característico los atributos del cliente (CAs), En el Dominio funcional se encuentra la traducción de los CAs de una forma técnica dando lugar a los requerimientos funcionales (FRs). El Dominio físico comprende los parámetros de diseño necesarios para satisfacer los FRs del dominio anterior, dando lugar a los parámetros de diseño (DPs). El último dominio o Dominio del proceso comprende todas las variables de proceso (PVs) requeridas para poder crear los parámetros de diseño del tercer dominio (Figura 22).

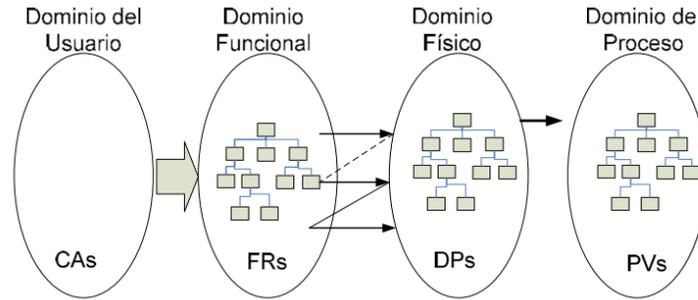


Figura 22. Dominios definidos en el diseño axiomático (Alberto Aguilar-Zambrano, 2007)

La descomposición de los FRs y los DPs se lleva a cabo zigzagueando entre el Dominio Funcional y el Dominio Físico. Puesto que existirán muchos DPs que satisfarán un Requerimiento Funcional dado, es importante que el mejor DP sea escogido para producir el diseño más robusto (Suh, 2001).

El diseño axiomático está fundamentado en los siguientes axiomas.

Axioma de independencia: Este busca que los requerimientos funcionales sean independientes entre sí, es decir, que al satisfacer un requerimiento funcional por medio de un cambio en un parámetro de diseño, no se altere ningún otro requerimiento funcional.

Axioma de información: este axioma busca minimizar el contenido de la información de diseño, haciendo más fácil de transmitir a otros diseñadores la intención del diseño. Es decir, el mejor diseño es el que contiene la menor información.

Tipos de diseños

Diseño desacoplado: Este tipo de diseño es el ideal a conseguir en esta metodología, en este, todos los requerimientos funcionales son independientes entre sí, es decir, se cumple completamente el primer axioma; a continuación, se presenta la matriz de forma diagonal (Figura 23).

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ \vdots \\ FR_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ \vdots \\ DP_n \end{Bmatrix}$$

Figura 23. Forma matricial del diseño desacoplado (Alberto Aguilar-Zambrano, 2007)

Diseño cuasiacoplado: este tipo de diseño se considera la independencia de los requerimientos funcionales (FR) si se seleccionan los parámetros de diseño (DP) secuencialmente desde el parámetro de diseño que no presenta acoplamiento. Este tipo de diseño se caracteriza por ser una matriz triangular.

Diseño acoplado: este caso se presenta cuando el diseño no tiene solución bajo el planteamiento dado, obligando a buscar otro tipo de alternativas de solución para tratar de dirigirlo a un estado de cuasiacoplamiento. Se caracteriza por no ser una matriz ni diagonal, ni triangular.

Cuadro Morfológico

El método de cuadro morfológico es un método de generación de ideas. Este método al igual que otros métodos de diseño, busca no pensar en los componentes que debe llevar un sistema, en lugar de esto busca qué funciones debe cumplir dicho sistema (Cross, 2000).

Procedimiento:

1. Liste las características o funciones que son indispensables para el producto a diseñar: En este punto se deben listar las características o funciones tales como: elevar, sostener, dividir, transformar, etc.
2. Por cada característica o función liste los medios por los cuales podría lograrse: este punto lleva a generar alternativas de solución para cada función, por ejemplo, para mover algo podemos cargarlo, empujarlo, rodarlo, etc. Con esto generamos alternativas de solución.

3. Elabore un cuadro con todas las posibles soluciones secundarias: en esta etapa, condensamos el ejercicio en una matriz donde en la primera columna ubicamos las funciones o características a resolver o conseguir y en la primera fila las alternativas de solución.
4. Realice combinaciones entre las posibles sub-soluciones: esta es la verdadera etapa de generación de ideas, acá se realizan combinaciones entre cada sub-solución para encontrar una solución general, se debe realizar una cantidad generosa de combinaciones que luego deben ser analizadas y calificadas.

Un claro ejemplo de cuadro morfológico se puede observar en la Figura 24

Función	Medios				
<i>Soporte</i>	Ruedas	Riel	Cojín de aire	Portaobjetos	
<i>Propulsión</i>	Ruedas conductoras	Empuje de aire	Cable en movimiento	Inducción lineal	
<i>Poder</i>	Eléctrico	Gasolina	Diesel	Gas	Vapor
<i>Transmisión</i>	Ejes y engranes	Correas	Cadenas	Hidráulico	Cable flexible
<i>Dirección</i>	Ruedas móviles	Empuje de aire	Rieles		
<i>Parada</i>	Frenos	Empuje inverso	Trinquete		
<i>Elevación</i>	Pistón hidráulico	Piñón y corona	Tornillo	Malacate	
<i>Operador</i>	Sentado al frente	Sentado atrás	De pie	Caminando	Control Remoto

Figura 24. Ejemplo de cuadro morfológico (Cross, 2000)

Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Este proceso fue formulado por Thomas Saaty (Saaty, 1990) en los años 60, buscando diseñar una herramienta sencilla para ayudar a los responsables de la toma de decisiones (Bhushan & Rai, 2004).

La simplicidad y el poder de esta herramienta se ha probado en diversos campos y ha sido diseñada con el objetivo de estructurar, medir y sintetizar la toma de decisiones. Permitiendo así analizar efectos que genera un cambio en un nivel determinado sobre los niveles inferiores,

permite una vista amplia de los actores, objetivos y propósitos y da flexibilidad para abordar los cambios en algún elemento sin perder la estructura total (Gómez & Cabrera, 2008).

El AHP se rige por tres principios y tres axiomas (Saaty, 1990) (Gómez & Cabrera, 2008):

Principio de descomposición: para lidiar con las complejidades el AHP permite descomponer el problema en subproblemas con una jerarquía determinada que son dependientes entre si con una determinada intensidad.

Juicios comparativos: permite realizar combinaciones en parejas entre elementos del mismo nivel jerárquico con respecto al criterio principal (comparaciones biunívocas).

Síntesis de prioridades: se producen prioridades globales a través de la multiplicación de las prioridades locales.

Axioma recíprocal: Si frente a un criterio, una alternativa A es n veces mejor que B, entonces B es 1/n veces mejor que A.

Axioma de homogeneidad: los elementos que son comparados no deben ser muy diferentes respecto a la característica contra la cual se comparan.

Axioma de la síntesis: Los juicios acerca de las prioridades de los elementos en una jerarquía no dependen de los elementos de los niveles inferiores.

Paso a paso

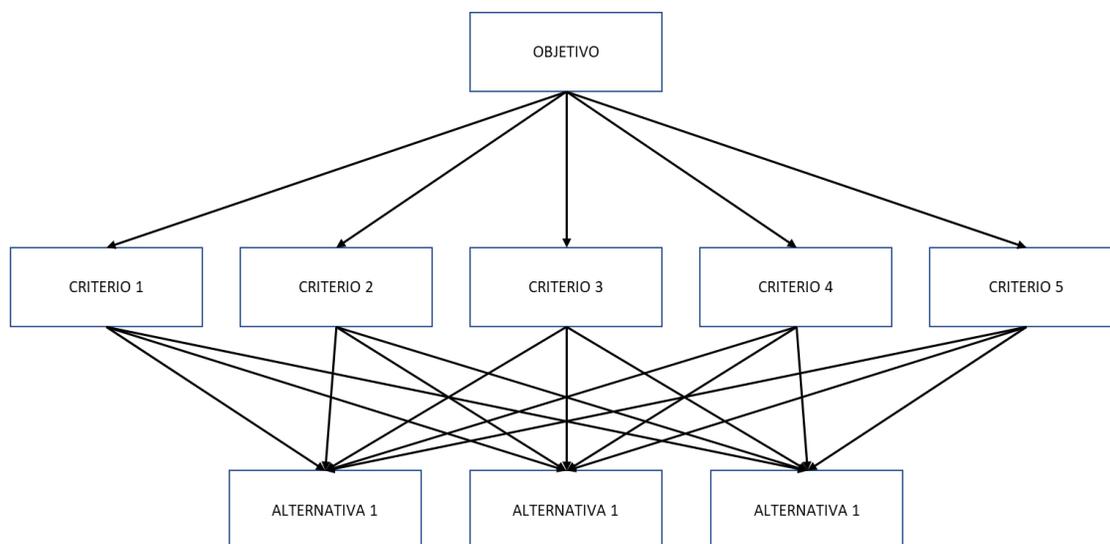


Figura 25. Jerarquía del AHP – Propio

Tabla 8. Escala cuantitativa de comparación de alternativas – Adaptado (García, Noriega, Díaz, & Riva, 2005)

Opción	Valor
Igual	1
Marginalmente fuerte	3
Fuerte	5
Muy fuerte	7
Extremadamente fuerte	9
Valores intermedios donde hay entradas difusas	2,4,6,8
Reflejan dominancia de la segunda alternativa comparada con la primera	Recíprocos

Los pasos descritos a continuación darán a grandes rasgos una idea de la facilidad de implementación del método, además de mostrar porqué es tan utilizado para la toma de decisiones (García et al., 2005):

1. Definición de criterios: se identifican los criterios determinantes para la selección de las alternativas disponibles.
2. Se realiza una comparación entre criterios dando una calificación según la Tabla 8, si el criterio 1 es mayor que el dos se coloca el valor entero, si es al contrario se coloca el inverso como se puede ver en el ejemplo (Tabla 9).

Tabla 9. Tabla de criterios (García et al., 2005)

Criterios	Co	Po	Fl	Cm	Se	Ponderación
Co	1	2	5	5	1	0.364
Po	1/2	1	3	3	1	0.223
Fl	1/5	1/3	1	1	1/3	0.077
Cm	1/5	1/3	1	1	1/3	0.077
Se	1	1	3	3	1	0.259

3. Comparación entre alternativas para cada criterio: las alternativas son comparadas entre sí y calificadas según sea el peso para cada criterio evaluado como se muestra en las Tabla 10 y Tabla 11.

Tabla 10. Importancia de las alternativas con respecto a los costos (García et al., 2005)

Alternativa	A1	A2	A3	Ponderación
A1	1	2	6	0.567
A2	1/2	1	6	0.357
A3	1/6	1/6	1	0.075

Tabla 11. Importancia de las alternativas con respecto a la potencia (García et al., 2005)

Alternativa	A1	A2	A3	Ponderación
A1	1	6	9	0.77
A2	1/6	1	3	0.162
A3	1/9	1/3	1	0.068

4. Para cada comparación realizada se debe calcular la relación de consistencia (RC), la cual es una forma de determinar la validez del ejercicio, dicha relación debe ser menor que 0,1. Siendo IC el índice de consistencia y el IA los índices aleatorios (García et al., 2005).

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

5. Por último, se totalizan las ponderaciones realizadas y se toma el mayor valor como la solución correcta (Tabla 12).

Tabla 12. Resumen de la Información (García et al., 2005)

Criterio	Alternativa			Producto		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Co (0.364)	0.567	0.357	0.075	0.206388	0.129948	0.0273
Po (0.223)	0.77	0.162	0.068	0.17171	0.036126	0.015164
Fl (0.077)	0.258	0.637	0.105	0.019866	0.049049	0.008085
Cm (0.077)	0.517	0.359	0.124	0.039809	0.027643	0.009548
Se (0.259)	0.226	0.674	0.101	0.058534	0.174566	0.026159
	Suma			0.496307	0.417332	0.026159

Por último, tenemos el gráfico presentado por Jorge Alcaide (Alcaide et al., 2004) donde muestra como los métodos de diseño se traslapan y aportan en diferentes etapas del proceso, incluso no limitándose a una sola etapa (Figura 26).

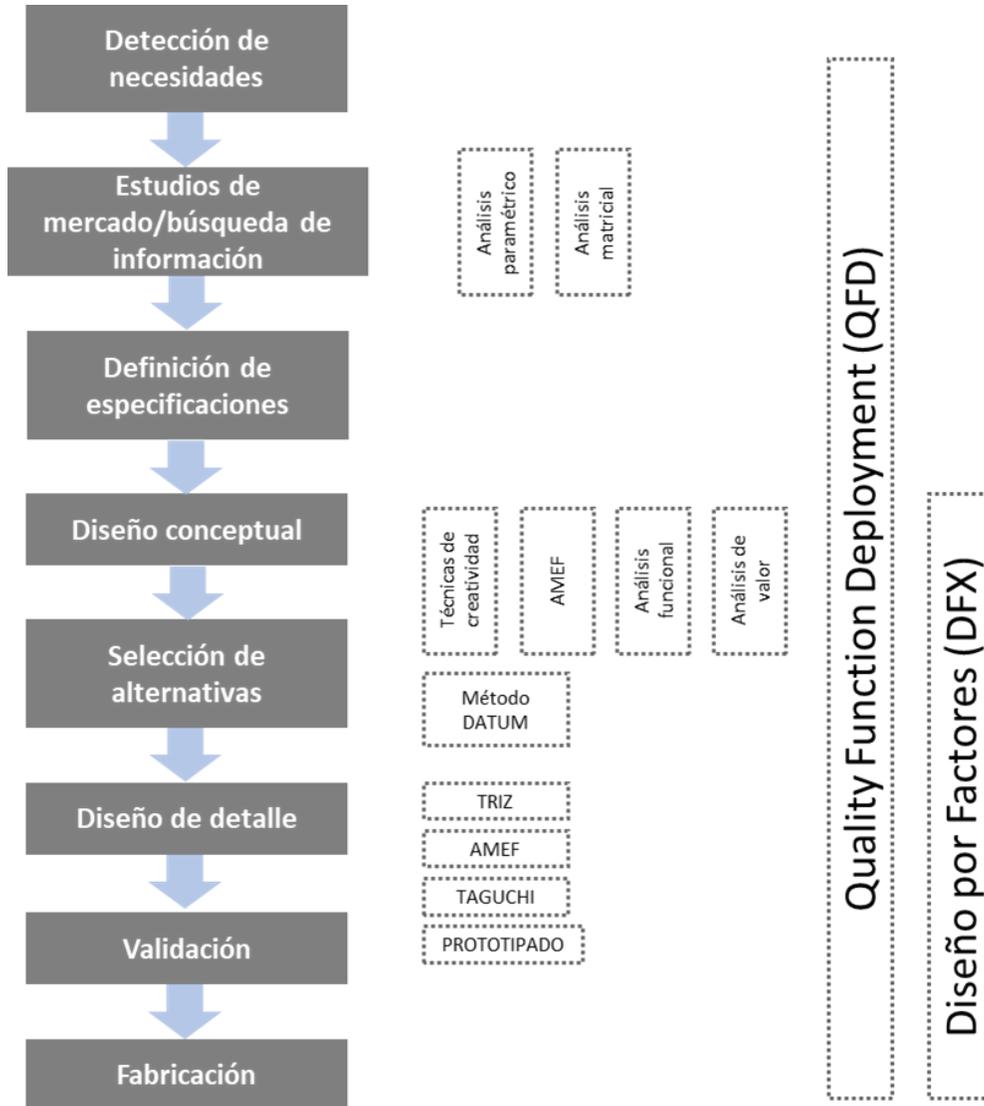


Figura 26. Mapeo de métodos y técnicas para el diseño (Alcaide et al., 2004)

ESTADO DEL ARTE

En la cotidianidad del diseño es muy común que los problemas que se presentan durante dicho proceso sean resueltos de manera intuitiva, buscando removerlos del camino de la forma más rápida posible. Esto incentiva la no valoración de los conceptos de solución, porque dicha valoración da la impresión de consumir demasiado tiempo y lo que se quiere generalmente es continuar con el desarrollo del producto a la mayor brevedad, para “disminuir” tiempos y costos e incrementar los beneficios.

Lo que no se visualiza es que la planeación del diseño en estados tempranos del desarrollo es una inversión, ya que como lo mencionó Ullman anteriormente (Ullman, 2010), conforme avance el proceso de desarrollo más costoso puede ser intervenir el diseño. No solo se deben calcular los costos directos como horas de diseñador o aumento en materiales, mecanizado u otros, también deben contemplarse los costos indirectos y ocultos como pueden ser: perder la ventaja respecto a la competencia y que esta libere un producto exitoso primero, los costos asociados al incumplimiento de tiempos acordados, costos asociados a pérdida de confianza de los clientes y más grave aún, defectos que afecten la funcionalidad o incluso la seguridad, entre otros. Todo esto va en contra de lo que el frenético mercado actual exige (velocidad, calidad, valor agregado, etc.).

Como ya se ha mencionado, el potencial de las herramientas que pueden ser usadas en los procesos de diseño al interior de las empresas es de un alcance bastante importante, permitiendo la potenciación de los resultados del diseño, así como mejorando la competitividad frente a mercados internacionales que exigen tanto tiempos de desarrollo cortos como calidad excepcional. Esto demuestra la necesidad de implementar dicho conocimiento, en lo posible desde la empresa más pequeña de la cadena productiva, buscando así generar un cambio cultural en la forma de diseñar, lo que se manifestara en una repetibilidad en los resultados obtenidos y en mejoras a todo lo largo de la cadena productiva ya mencionada. Estos resultados lograrán un impulso en la calidad tanto de los profesionales, como de las empresas y de los sectores que los acogen.

Como ya se tiene clara la intención del proceso de diseño, se pueden encontrar investigadores que han logrado articular diferentes métodos y técnicas para conseguir resultados de mayor

calidad en una o varias etapas del proceso de diseño. Un claro ejemplo se puede evidenciar en estudios como el de King y Sivalogonathan (King & Sivalogonathan, 1999), en donde se muestran varias técnicas de generación de conceptos (CGM: Concept Generation Methods) cómo son *brainstorming*, *brainwriting*, *mind-mapping*, búsqueda en bases de datos, *sketch*; en estos primeros estados es más importante la cantidad que la calidad, ya que posteriormente se pueden crear sinergias entre conceptos. Luego se mencionan las técnicas de selección de conceptos (CSM) como son la teoría de utilidad de Path y Beitz, el análisis jerárquico de proceso (AHP), el método de Pugh, la matriz QFD y los métodos difusos. Por último, los autores proponen una metodología flexible de selección de conceptos que busca generar un diseño también flexible que puede terminar en una variedad de productos finales. King menciona que 60%-80% del costo de un producto queda definido por el concepto de diseño, por lo que se refuerza la idea de invertir bastantes esfuerzos en las etapas de diseño.

Por otra parte, Julian Booker *et al* (Booker, Lock, Williamson, & Freire Gómez, 2016) hace una revisión de la generación, clasificación y valoración de los diseños conceptuales, utilizando diferentes métodos como son el QFD, la matriz de selección de Pugh, el AHP, entre otros, y aplicando estos al diseño de sistemas electromecánicos, mostrando así, la aplicabilidad y efectividad de estos métodos para definir el material de entrada para el diseño de detalle. Se establece que los criterios de calificación deben estar atados a un valor de importancia y la forma de realizarlo está particularmente bien descrita en este trabajo, teniendo en cuenta factores como la subjetividad y la cantidad de criterios, necesarios para no robustecer más de la cuenta los análisis necesarios para culminar satisfactoriamente con el proceso del diseño.

En vista de lo anterior, se comienzan a introducir en el quehacer ingenieril prácticas más sistémicas de diseño, buscando resultados repetibles y más que aceptables. Las ensambladoras automotrices son un claro ejemplo del uso de estas herramientas. Buscando reducir los problemas de calidad en toda la cadena de desarrollo, recurren a herramientas diseñadas para atender cada uno de los aspectos a considerar, como son: el control de la calidad, el aseguramiento metrológico, la eficiencia de desarrollo de producto y proceso, entre otros, dentro de todas estas herramientas resalta para el caso de diseño el AMEF (Chrysler et al., 2008) usado tanto para diseño de producto, como para el diseño de proceso. A pesar de ser el AMEF una herramienta muy arraigada en el sector autopartista, ha logrado hacerse campo en el diseño por fuera de este sector, un claro ejemplo es el trabajo en el diseño de turbinas de viento (Arabian-

Hoseynabadi, Orace, & Tavner, 2010), diseño de calderas en ingenios azucareros (Mariajayaprakash & Senthilvelan, 2013), entre otros.

Otra de las herramientas que se ha adoptado con éxito, ha sido la QFD ya que ha permitido traducir todos esos deseos y requerimientos que expresan los clientes con la intención de obtener el resultado que los haga sentir a gusto, que llene todas sus expectativas, que supere el *must be*. La ventaja de esta herramienta es la aplicación en varias de las etapas del desarrollo de producto (levantamiento de necesidades, diseño conceptual, diseño de detalle, manufactura, comercialización). Esta adopción y versatilidad se ven reflejadas en la gran cantidad de áreas de aplicación (Mehrjerdi, 2010), desde mejoras en el desempeño hasta la industria hospitalaria, pasando por proyectos de investigación y desarrollo, selección óptima de requerimientos de diseño, diseño de productos, entre otros.

La facilidad del QFD para interactuar con otras herramientas como el análisis de valor (VA) y el DFA es demostrado por Frizziero (Frizziero, 2014) en el diseño de una cafetera. Este demuestra claramente en que impacta cada metodología, validando la importancia del QFD a la hora de estructurar la información de entrada en el diseño, el VA al momento de involucrar los costos y al momento de diseño y el DFA para evidenciar el impacto del diseño en los métodos de producción.

La facilidad de interacción y el impacto del QFD también puede ser observada cuando interactúa con herramientas como el AHP siendo usada en campos como la manufactura, la relación entre requerimientos del cliente y las especificaciones de diseño entre otros (Mehrjerdi, 2010).

Otra herramienta para resaltar es TRIZ la cual es ampliamente conocida por su impacto a la hora de afrontar rediseños y eliminar contradicciones en la funcionalidad de un artefacto, siendo una metodología reconocida en el campo de la innovación, no solo para productos, también para procesos y sistemas organizacionales.

El uso de TRIZ es capaz de abordar diseños y rediseños tan variados como es el caso de productos de consumo (lavadoras, carcasas para laptop, aspiradoras), Automoción (balastros para locomotoras, palancas para freno de mano), entre otros, mostrando así mismo su conjunción con técnicas como AHP, QFD, AMEF, Diseño axiomático, entre otros (Mansor, Sapuan, Zainudin, Nuraini, & Hambali, 2014).

En su trabajo Mayda y Borklu (MAYDA & BORKLU, 2014) desarrollan una técnica innovadora para el diseño conceptual utilizando TRIZ, QFD y el diseño sistemático de Pahl and Beitz's. En esta técnica se puede observar el uso de TRIZ como localizador de contradicciones, generador de soluciones y mejorador de dichas soluciones.

Otro claro ejemplo de cómo se articulan las herramientas para apoyar una o varias etapas del proceso de diseño es el presentado por Mansor *et al* (Mansor et al., 2014) a la hora de realizar el proceso de diseño conceptual de una palanca de freno en fibra de Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) conjugando las herramientas TRIZ – Cuadro morfológico – AHP, Donde TRIZ y cuadro morfológico permitieron la generación de 5 conceptos que por último fueron calificados por medio de AHP.

El sector metalmecánico en Colombia se caracteriza por ser heterogéneo en su forma de operar, esto se debe a que es común que una empresa metalmecánica se vea altamente influenciada por su principal tipo de cliente, para ilustrar esto, las empresas metalmecánicas que sus principales clientes son ensambladoras, tanto de automóviles como motocicletas, tienden a tener cierta estructura en sus procesos de desarrollo de producto, ya que esta estructura es un requisito exigido por dichas ensambladoras para poder formalizar una relación comercial. Las ensambladoras por lo general están bajo certificaciones ISO 9000 e IATF16949, las cuales presentan etapas definidas para diseño y desarrollo de producto.

La influencia de las ensambladoras logró que empresas metalmecánicas asimilaran herramientas como el AMEF por ser un requisito, sin embargo, otras herramientas bastante prácticas siguen siendo desconocidas por no ser un requisito para el desarrollo de productos por parte del cliente.

Es necesario también poner en evidencia que la influencia de las ensambladoras se va diluyendo conforme se baja en la cadena productiva. Dentro de la industria automotriz se denominan Tier, donde el Tier1 es la empresa que suministra directamente a las ensambladoras, productos de alto valor agregado, el Tier2 suministra productos o materias primas al Tier1 y por último el Tier3 suministra productos y materias primas al Tier2.

Si una empresa metalmecánica no es Tier1, es difícil que dentro de su cultura organizacional y sus formas de operar cuente con la estructura exigida por las ensambladoras a no ser que dentro de sus filas cuente con personas que hayan trabajado en este medio.

La pregunta que surge es: ¿Qué sucede con las empresas que son metalmecánicas, pero no se encuentran en el mercado de las ensambladoras? ¿Cómo estas empresas pueden lograr un nivel de calidad en sus diseños y desarrollos igual al exigente nivel exhibido por las ensambladoras?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una herramienta para la selección de los métodos y técnicas de diseño para el sector metalmeccánico teniendo en cuenta las necesidades y capacidades de dicho sector.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Comprender los métodos y técnicas de diseño aplicables al sector metalmeccánico.
- Clasificar las metodologías, métodos y técnicas con sus respectivos criterios de evaluación aplicables a las capacidades tecnológicas del sector metalmeccánico nacional.
- Establecer los criterios de selección de las diferentes metodologías, métodos y técnicas seleccionados.
- Diseñar una herramienta para la selección adecuada de las metodologías, métodos y técnicas a implementar en la solución de la necesidad de diseño.

METODOLOGÍA

Para poder dar solución al objetivo planteado de encontrar una herramienta que fuera de fácil adaptación a las empresas del sector metalmecánico independiente de su tamaño y que esta a su vez potencie la calidad y alcance de los procesos de diseño, se hace necesario dar solución a dos interrogantes:

- ¿Cómo se percibe, se interpreta o se asumen los procesos de diseño dentro de las empresas del sector metalmecánico?
- ¿Qué herramientas son las más adecuadas para ofrecer a este sector productivo?

¿Cómo se percibe el diseño en el sector metalmecánico?

Para esta interrogante se optó por realizar una encuesta a empresas representativas del sector buscando resolver preguntas del tipo:

¿Qué importancia tiene el diseño para el sector?

¿Qué tan profundos son esos procesos de diseño al interior de las empresas?

¿Qué herramientas de diseño se conocen?

¿Qué tanto usan dichas herramientas?

¿En cabeza de quien recae la responsabilidad del diseño?

El objetivo de esta encuesta es validar los resultados obtenidos por Bohórquez en su caracterización del diseño en el sector metalmecánico (Bohórquez et al., 2008).

Para realizar esta encuesta se utilizó la herramienta de formularios de Google, la cual permitió generar una encuesta electrónica y ser enviada a las empresas para ser diligenciada.

Esta encuesta se vio influenciada por la encuesta realizada por el Sena y la Universidad Nacional en su Caracterización ocupacional del diseño en la industria colombiana (Bohórquez et al., 2008).

La encuesta enviada a las empresas puede ser encontrada en el anexo 1 y una muestra de esta se puede ver en la Figura 27

1/6/2021 Diseño en el medio industrial

Diseño en el medio industrial

Esta encuesta busca identificar el estado y nivel de las practicas de diseño en el sector industrial, por medio de preguntas que apuntan al uso e importancia que se le da a esta practica y que herramientas son usadas en la actualidad

***Obligatorio**

1. Correo *

2. 1. Nombre de la empresa *

3. 2. Nit *

4. 3. Tipo de sociedad *

5. 4. Nombre de la persona entrevistada *

6. 5. Cargo *

7. 6. Teléfono *

1/6/2021 Diseño en el medio industrial

8. 7. email *

9. 8. Ciudad *

10. 9. Dirección *

11. 10. Pagina web

12. 11. Sector al que pertenece la empresa *

Metalmecánico, Autopartista, Ensamblador, Productos de consumo, etc.

13. 12. Actividad económica actual *

14. 13. Numero de empleados *

Seleccione el rango de empleados

Marca solo un óvalo.

1 a 50 personas

51 a 100 personas

101 a 200 personas

201 o más

https://docs.google.com/forms/d/12c5H3A7AID_VmGERepLkS3y5s-ORD_x_HixTPHahMedit 1/16

https://docs.google.com/forms/d/12c5H3A7AID_VmGERepLkS3y5s-ORD_x_HixTPHahMedit 2/16

Figura 27. Muestra de la encuesta realizada para el sector metalmecánico.

¿Qué herramientas son las más adecuadas?

De las herramientas mencionadas en el marco teórico, se analizó cuales presentaban una curva de aprendizaje más suave, ya que hay herramientas como es el caso del Diseño Axiomático que tienden a ser bastante complejas en su introducción, sumado a esto el manejo matricial no está acorde a todos los niveles técnicos que pueden encontrarse en las pequeñas empresas.

Esta selección basada en la facilidad de aprendizaje e implementación permitió definir la estructura mostrada a continuación en la Figura 28

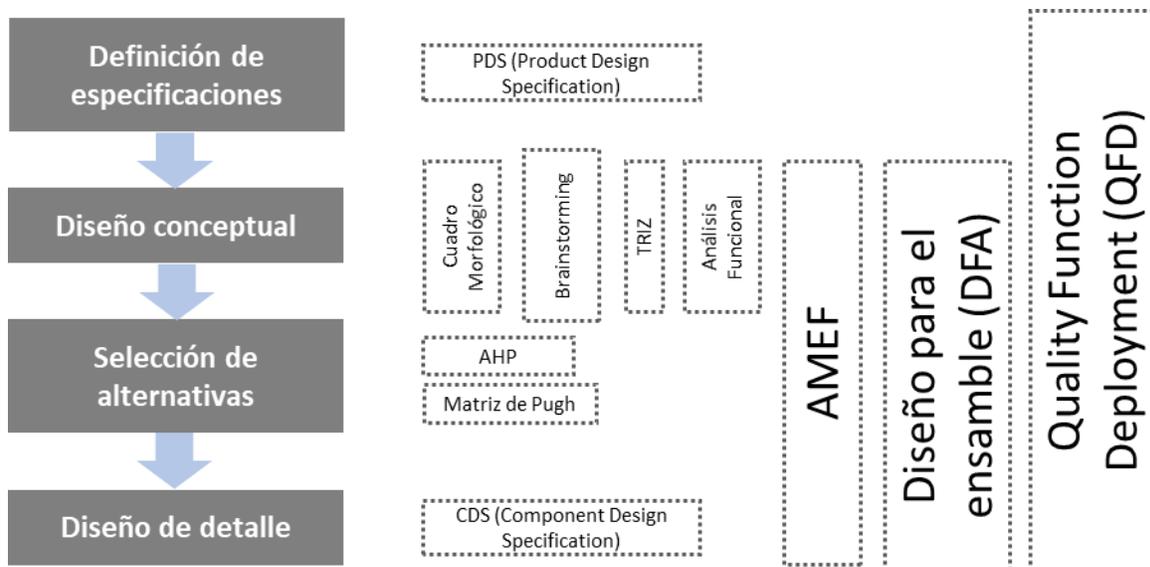


Figura 28. Herramientas seleccionadas por su fácil implementación

Al definir la estructura anterior se continua con la creación de plantillas para las herramientas (llamadas de ahora en adelante MHT) a utilizar buscando que faciliten el uso y tengan suficientes indicaciones para su aplicación.

Para poder guiar al usuario a través de las etapas generales del proceso de diseño se decidió crear un paso a paso, el cual, según la etapa donde se encuentre el usuario en su proceso, una secuencia de diferentes preguntas le indiquen qué camino tomar y que herramientas usar.

Para esto se recurrió a una herramienta open-source llamada Twine® (Klimas, 2009) el cual es como sus creadores manifiestan es una herramienta para contar historias interactivas no lineales.

La ventaja de poder manejar historias no lineales es que se presenta la posibilidad de tomar diferentes decisiones según los criterios presentados. Un caso práctico se puede observar en este ejemplo de una historia interactiva en Twine® (<http://librojuegos.org/wp-content/uploads/2016/02/replicantes.html>)

Para poder usar la herramienta Twine® primero se hace necesario crear la estructura que va a seguir la herramienta de diseño, para esto, se crearon tres tipologías de productos a diseñar más

comunes en el sector metalmeccánico: Diseño de herramental, diseño de máquina y rediseño (ver Figura 29).

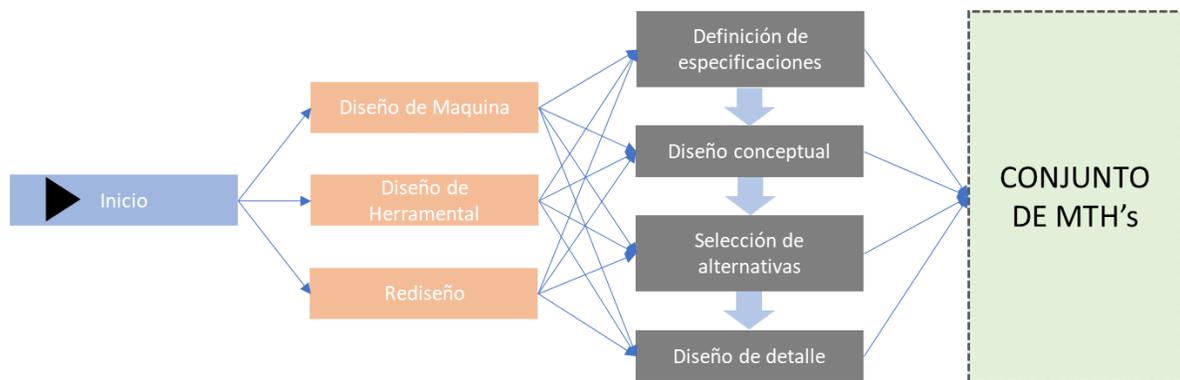


Figura 29. Estructura de flujo para trabajar en Twine.

Para cada una de estas tipologías, se crearon diagramas de flujo que permitieran seguir en función de preguntas y decisiones un camino lógico y a su vez ofrecer el uso de las MHT ya construidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados de los dos frentes de trabajo: Encuestas y la Herramienta.

Encuestas

Las encuestas enviadas tuvieron respuesta de 6 empresas distribuidas de la siguiente forma:

- Dos empresas del sector metalmecánico proveedores de ensambladoras de automóviles
- Dos empresas del sector metalmecánico que cobijan nichos diferentes al autopartista
- Una ensambladora de motocicletas
- Una empresa dedicada al diseño y desarrollo de soluciones de ingeniería.

El resultado de las encuestas se puede observar en el anexo 2

Cabe resaltar que el objetivo de estas encuestas es validar que tanto a cambiado el panorama del sector metalmecánico en cuanto a los procesos de diseño respecto al año 2008 en los resultados presentados por el SENA en su “Estudio de caracterización ocupacional del diseño en la industria colombiana” (Bohórquez et al., 2008).

Tamaño de las empresas

El tamaño que exhibe una empresa puede ser un indicativo de la especialización de funciones, ya que en empresas muy pequeñas es muy probable que una misma persona se encargue de varias funciones inclusive de aquellas diametralmente opuestas, por ejemplo, encargarse de la producción y la calidad. En el caso del diseño las empresas muy pequeñas o pymes tienden a que el diseñador no cuente con un equipo multidisciplinario y llevándolo a caer en juego de ser “juez y parte” de sus propios diseños.

El tener organigramas bien definidos permite contar con personal dedicado las labores de diseño y con el apoyo de otras dependencias a la hora de conceptualizar, detallar y materializar los diseños.

De las empresas encuestadas, 3 de estas tienen un número de empleados mayor a 201 personas y solo una menor a 50 personas como se puede observar en la Figura 30

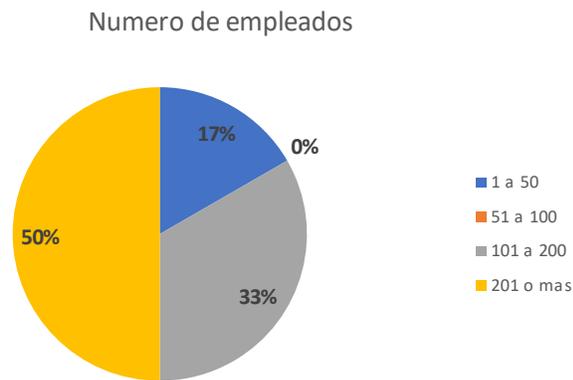


Figura 30. Número de empleados por empresa

Certificaciones:

A pesar de que se estaría cayendo en un error al generalizar en decir que una empresa sin certificación no puede entregar productos de calidad, no se puede desconocer que el trabajo que requiere obtener una certificación lleva a las organizaciones a un nivel de cultura organizacional que se refleja en el orden, gestión de conocimiento y método a la hora de abordar cualquier proceso, sea un proyecto, un diseño, entre otros.

De las empresas encuestadas solo dos no poseen ningún certificado, el resto de las empresas cuenta como mínimo con la certificación ISO 9001. Las Empresas que son autopartistas y suministran bienes a las ensambladoras cuentan además con certificación IATF 16949 (norma internacional para sistemas de gestión de la calidad en la automoción) que equivale a dos empresas de las encuestadas.

Responsabilidades

Para las compañías encuestadas está completamente claro que el área de diseño se debe encargar de todos los estudios y levantamiento de especificaciones para el desarrollo de nuevos productos, así como toda la definición de especificaciones técnicas de dichos productos. En otros casos dependiendo del tamaño del tamaño de las empresas hay funciones que se empiezan a transversalizar, como es el tema de costos de producción, ya que las empresas más grandes pueden contar con departamentos o mínimo personal para el análisis de costos y presupuestos. También se evidencia como requerimiento importante el manejo de herramientas CAD para poder materializar los diseños.

Las tres principales actividades que el medio identifica como primordiales serían según la Figura 31

1. Estudios para el desarrollo de productos
2. Especificaciones técnicas de los productos
3. Generación de conceptos de productos

Que la generación de conceptos no aparezca en primer lugar puede estar relacionado con el tipo de cliente que manejen las empresas. En el caso de las empresas autopartistas, los clientes son ensambladoras que tienen completamente definidos sus diseños, por lo tanto, la participación de las empresas en etapas como levantamiento de especificaciones y el diseño conceptual pueden ser nulas.

Actividades responsables del area de diseño



Figura 31. Actividades responsables del área de diseño

Herramientas y metodologías conocidas y usadas en el medio

Al hacer la pregunta si las compañías utilizan alguna herramienta o metodología, la respuesta fue si en todos los casos (Figura 32), pero al ahondar más se puede evidenciar varios vacíos en cuanto al concepto de herramientas y metodologías de diseño.

Esto se hace evidente cuando al preguntar por cuáles eran esas herramientas, se encuentran que algunas empresas califican el PMBOK (cuerpo de conocimiento de la gestión de proyectos) como una metodología para el diseño. Así mismo, los programas CAD por sí solos no deben ser considerados como herramientas que diseñan si no que dan forma a lo que el proceso de diseño va generando.

La metodología APQP (Planificación avanzada de la calidad del producto) aparece en las empresas que están influenciadas como ya se ha mencionado por las ensambladoras, ya que esta metodología es de origen autopartista.

Al indagar propiamente por las herramientas mencionadas en el marco teórico y estado del arte podemos ver como se encuentran estas posicionadas en el sector según la figura

Herramientas usadas en los procesos de diseño, desarrollo de producto e innovación

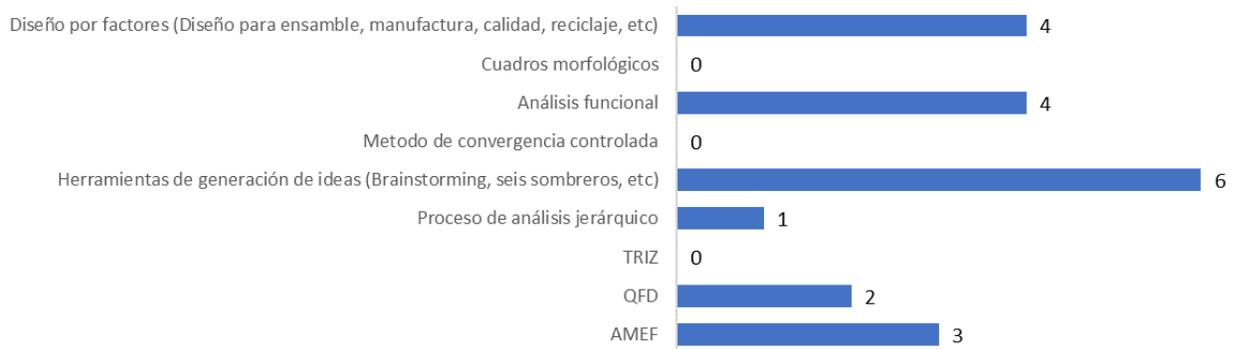


Figura 32. Herramientas usadas en los procesos de diseño, desarrollo de producto e Innovación

Apoyo en el diseño

Al preguntar a las empresas si alguna vez han recibido apoyo en los procesos de diseño por parte de instituciones universitarias o fondos que promueven la investigación y el desarrollo tecnológico, se evidencia que no es una práctica normal. Algunas veces se apoyan en las universidades o en el SENA (Figura 33)

Apoyo por parte de instituciones

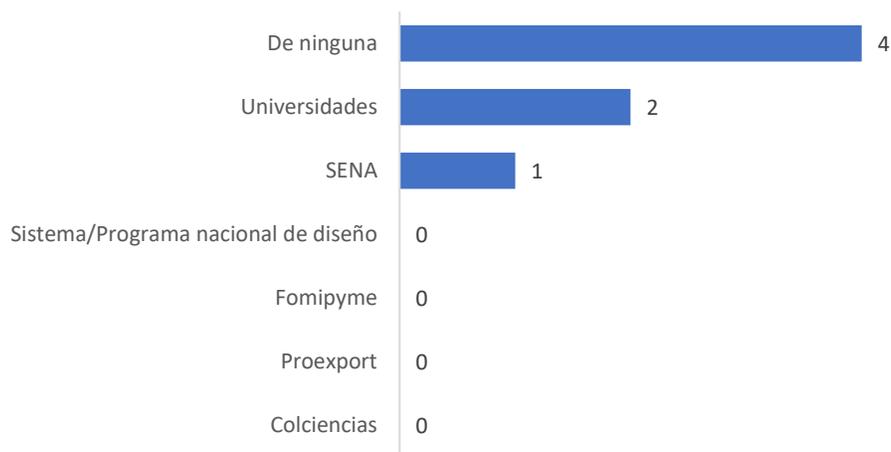


Figura 33. Apoyo por parte de instituciones

Esto muestra que no hay un canal afianzado que permita el refresco de conocimientos, no hay un vínculo fuerte entre la academia y las empresas.

En cuanto a la responsabilidad de los procesos de diseño, está claro que esta recae en el área encargada del diseño, en algunas ocasiones se entregan a practicantes o a la misma gerencia, pero lo común es que el área de diseño sea la responsable.

El diseño y desarrollo de producto es la labor principal identificada en el área de diseño, seguido por la construcción de especificaciones técnicas y el diseño y fabricación de medios de producción (moldes, troqueles, etc.) (Figura 34)

Actividades desarrolladas con mayor frecuencia

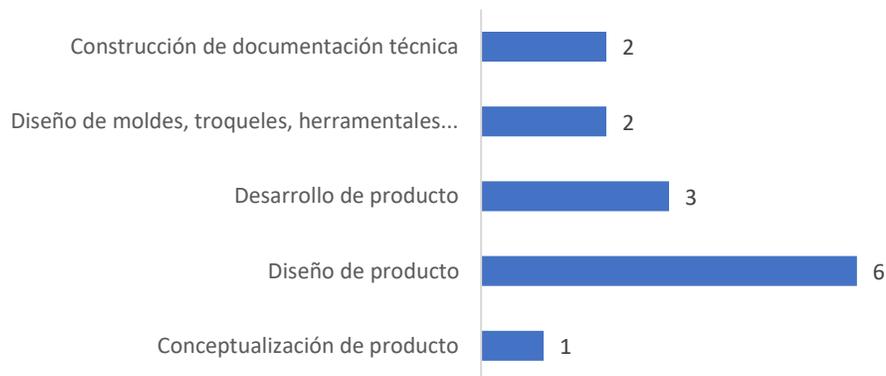


Figura 34. Actividades desarrolladas con mayor frecuencia en el área de diseño

Formación

El top 3 en cuanto a la formación profesional de los encargados del diseño está integrado por: Ingeniería mecánica, Diseño mecánico y dibujantes (Figura 35).

Formación profesional de los encargados del diseño

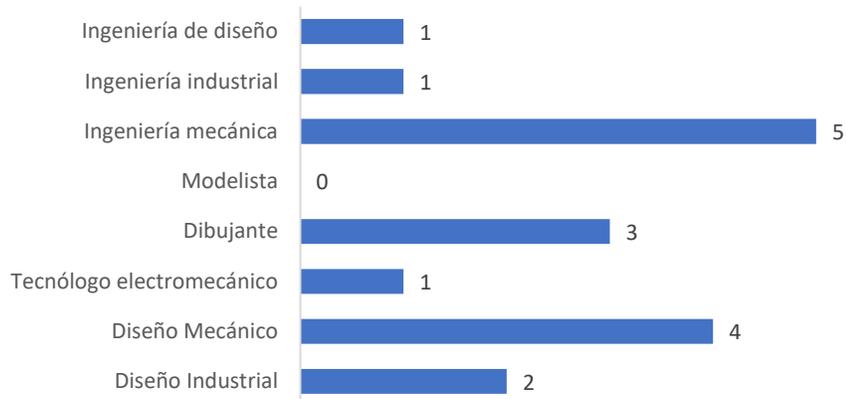


Figura 35. Formación profesional de las personas encargadas del diseño

Esto puede obedecer al sector analizado (metalmecánico) y en el tamaño de la muestra, es posible que la ingeniería industrial y la ingeniería de diseño pueda subir en el escalafón con una muestra mayor, ya que aportan mucho en la parte conceptual, basados en conceptos estéticos y funcionales.

Por último, se realizó una pregunta donde se pedía que calificaran diferentes habilidades necesarias en la formación de un diseñador. Esto permitió identificar que se da una mayor valoración a las habilidades con los softwares CAD sobre las capacidades investigativas y de innovación o sobre las habilidades para la solución de problemas.

Todas concuerdan en que es necesario un dominio en cuanto a procesos de manufactura y materiales (Figura 36).

Aspectos indispensables en la formación de un diseñador



Figura 36. Aspectos indispensables en la formación de un diseñador.

LAS MHT's

Después de seleccionar las MHT más acordes al nicho en que se va a trabajar, se procedió a construir formatos en el software Excel que permitieran el fácil aprendizaje y aplicación. Estas MHT se encuentran compuestas de forma general por una hoja con las instrucciones, otra con la plantilla para diligenciar y por último una hoja con los resultados.

A continuación, se pueden observar las capturas de dichos formatos y estos a su vez se pueden consultar en el apartado anexos.

Matriz Morfológica



TOOLBOX DE DISEÑO MATRIZ MORFOLOGICA



GUIA

En un análisis previo identifique las funciones o características esenciales para el producto, debe abarcar todas las funciones a un nivel de generalidad apropiado. Estas funciones pueden ser por ejemplo: Soporte, corte, transmisión, desplazamiento, etc.

Para cada una de las funciones identificadas a continuación enumere los medios o formas en que se puede lograr esta función. Pueden ser nuevas ideas o soluciones preexistentes. Por ejemplo, para un desplazamiento de un punto a otro se pueden usar: ruedas, deslizamiento, colchón de aire, etc. Utilice dibujos, diagramas, texto para que sea más claro.

Utilice la matriz para ubicar las funciones con sus alternativas de solución. Este representa el espacio total de soluciones para el producto.

A continuación, identifique combinaciones viables de alternativas de soluciones, como se pueden generar números muy grandes de combinaciones, estas deben ser restringidas con criterios o limitaciones de diseños.

Un ejemplo de matriz morfológica se muestra a continuación:

SUB-FUNCION	ALTERNATIVAS				
Soporte	Ruedas	Pista	Colchón de aire	Deslizador	
Propulsión	Ruedas direccionales	Impulso aire	Cable motriz	Inducción lineal	
Fuente Poder	Eléctrico	Gasolina	Diesel	Gas embotellado	Vapor
Transmisión	Engranajes y ejes	Correas	Cadenas	Hidráulico	Cable flexible
Dirección	Ruedas giratorias	Impulso aire	Rieles		
Detención	Frenos	Empuje en reversa	Ratchet		
Elevación	Brazo hidráulico	Piñón y corredera	Tornillo	Cadena o malacate	
Operador	Sentado en el frente	Sentado atrás	De pie	Caminando	Control remoto

Luego de generar las diferentes combinaciones, seleccione al menos las 3 más viables para ser analizadas a profundidad.

Adaptado de:
Métodos de diseño en ingeniería - Nigel Cross
Por:
Ing. Juan David Carvajal

Figura 37. Matriz Morfológica



TOOLBOX DE DISEÑO
MATRIZ MORFOLOGICA



PROYECTO: _____

RESPONSABLE: _____

FECHA: _____ VERSION _____

Definición del problema de diseño		Alternativas						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Subfuncion1							
2	Subfuncion2							
3	Subfuncion3							
4	Subfuncion4							
5	Subfuncion5							
6	Subfuncion6							
7	Subfuncion7							
8	Subfuncion8							
9	Subfuncion9							
10	Subfuncion10							
11	Subfuncion11							
12	Subfuncion12							

OBSERVACIONES

Figura 38. Matriz Morfológica (Plantilla)



TOOLBOX DE DISEÑO

MATRIZ MORFOLOGICA



PROYECTO: _____

RESPONSABLE: _____

FECHA: _____ VERSION _____

Definición del problema de diseño		
	Nomenclatura	Descripción de la solución
A		
B		
C		

OBSERVACIONES

Construido por:
Ing. Juan David Carvajal Carrales

Figura 39. Matriz Morfológica (Resultados)

Matriz de Pugh



TOOLBOX DE DISEÑO

MATRIZ DE PUGH

Selección de alternativas



¿Que es?

La matriz de pugh es un diagrama matricial que permite la toma de decisiones multicriterio evitando que sean inconsistentes e irracionales, es decir, buscando la repetibilidad del proceso de toma de decisión y que los criterios sean validos y acordados. Esta herramienta es muy util cuando se tienen claros los criterios de calificación y se tiene un producto referente contra el cual comparar, ya que permite observar como esta cada uno de los criterios de todas las alternativas de solución con respecto a la competencia o referente.

GUIA DE USO

Criterios

Se debe definir cuales serán los criterios contra los cuales se van a calificar las alternativas de solución. Estos criterios deben venir de un referente existente o desde una clara especificación de diseño. Estos criterios pueden ser del tipo: estetico, funcional, comercial, entre otros. Algunos ejemplos pueden ser: Bajo mantenimiento, precio de venta, brillo, facilidad de uso, ergonomía, resistencia a la corrosión, sensación al tacto, etc.

Peso de los criterios

Este ítem consiste en calificar en una escala de 1 a 10 los criterios seleccionados en nivel de importancia, siendo 1 el de menos importante y 10 el mas importante. Por ejemplo en el diseño de un ascensor el criterio factor de seguridad es muchos mas importante que criterio iluminación. como se ha mencionado en herramientas anteriores, es importante y necesario en lo posible realizar todas estas calificaciones y selecciones de criterios en equipos multidisciplinarios para enriquecer el ejercicio con diferentes puntos de vista.

Referente

En esta columna debemos colocar nuestro referente o especificación meta sobre la cual compararemos cada una de las alternativas de solución. Esta actividad debe realizarse de la forma mas clara y concisa posible, si posee valores numericos para estos criterios deben ser escritos.

Calificación de alternativas

Para cada una de las alternativas de solución proceda a calificar cada criterio respecto al referente. La calificación esta en una escala de 5 valores, los cuales son: Muy Malo, Malo, Igual, Mejor, Mucho Mejor. Analice cada alternativa criterio a criterio con respecto al referente y seleccione la calificación que considere correcta.

Muy malo	1
Malo	2
Igual	3
Mejor	4
Mucho Mejor	5

Resultados

Luego de realizar todo el procedimiento de calificar las alternativas, obtendrá la siguiente información:

- Suma Mejores:** total de criterios en los cuales ha superado al referente.
- Suma Peores:** total de criterios en los cuales no ha logrado superar al referente
- Suma Iguales:** total de criterios en los que solo logro igual al referente

Al final obtendrá una tabla donde se observaran el total de los criterios mejores y peores multiplicados por el peso de cada criterio, así como una Calificación total que será la resta de Total Mejores menos Total Peores. Esta calificación total será la que indique según los criterios y las valoraciones dadas cual es la mejor alternativa de solución.

Figura 40. Matriz de Pugh



TOOLBOX DE DISEÑO



MATRIZ DE PUGH Selección de alternativas

PROYECTO: _____
 RESPONSABLE: _____
 FECHA: _____ VERSION: _____

VALORACION DE ALTERNATIVAS

CRITERIOS	PESO	REFERENTE	ALTERNATIVAS					
			ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5	ALT6
Criterio 1	5	Igual	Igual	Malo	Mejor	Muy malo	Igual	Mejor
Criterio 2	6	Igual	Malo	Muy malo	Mejor	Igual	Mejor	Malo
Criterio 3	10	Igual	Mejor	Mejor	Muy malo	Igual	Mejor	Mucho Mejor
Criterio 4	1	Igual	Mucho Mejor	Malo	Malo	Mejor	Mucho Mejor	Malo
Criterio 5	9	Igual	Mucho Mejor	Mucho Mejor	Mucho Mejor	Mucho Mejor	Mucho Mejor	Mucho Mejor
Criterio 6	7	Igual	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo
Criterio 7	8	Igual	Mucho Mejor	Muy malo	Igual	Mucho Mejor	Muy malo	Mucho Mejor
Criterio 8	10	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual
Criterio 9	10	Igual	Mucho Mejor	Igual	Mucho Mejor	Igual	Mucho Mejor	Muy malo
Criterio 10	3	Igual	Muy malo	Muy malo	Muy malo	Muy malo	Muy malo	Muy malo
Criterio 11	5	Igual	Mucho Mejor	Igual	Mucho Mejor	Mejor	Igual	Mucho Mejor
Criterio 12	1	Igual	Malo	Malo	Malo	Muy malo	Mucho Mejor	Malo
Criterio 13	10	Igual	Mucho Mejor	Mejor	Mucho Mejor	Igual	Mucho Mejor	Mejor

RESULTADOS

	ALTERNATIVAS					
	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5	ALT6
Suma Mejores	7	3	6	4	7	6
Suma Peores	4	7	5	4	3	6
Suma Iguales	2	3	2	5	3	1
Total Mejores	25	125	214	109	219	220
Total Peores	31	45	31	23	25	43
Calificación total	224	80	183	86	194	177

OBSERVACIONES

Construido por:
 Ing. Juan David Ornejal Ornejal

Figura 41. Matriz de Pugh (Plantilla)

PDS (Product Design Specifications)



TOOLBOX DE DISEÑO



PDS (Especificaciones de diseño de producto)

GUIA DE USO

El formato de especificaciones de diseño permite condensar todos los aspectos que pueden impactar los resultados del proceso de diseño. A continuación se dan algunas recomendaciones para su uso.

- 1 La PDS es un documento de control y debe contener las especificaciones que se están tratando de alcanzar, no los valores alcanzados.
- 2 Recuerde que es un documento de usuario, por lo que debe ser construido de forma clara y simple
- 3 No debe escribirse en forma de ensayo. Use definiciones cortas y concisas. Este debe ser un documento amigable
- 4 Trate de cuantificar desde el principio los parámetros en cada área. Si no es fácil use estimaciones
- 5 La PDS es única para cada situación de diseño, por lo que se pueden crear diferentes PDS variando el enfoque, sea desde desempeño, otra desde ambiente, etc.
- 6 Siempre colocar la fecha de creación y versión.
- 7 Usar un correcto control de cambios sobre las adiciones o cambios de especificaciones

El siguiente listado, da una breve descripción sobre cada uno de los posibles aspectos a considerar

ASPECTO	DESCRIPCION
<i>Desempeño</i>	Se debe definir completamente todas las condiciones de desempeño que son necesarias para el diseño. Que tan rápido, que tan lento, si el funcionamiento es continuo o discontinuo. Tener en cuenta que la sobre-especificación acarrea costos mayores.
<i>Precio objetivo</i>	El precio objetivo debe tenerse siempre presente y revisarse constantemente si es compatible con la competencia o con el proceso de manufactura deseado.
<i>Cantidad</i>	Exceptuando casos particulares como los diseños de máquinas a medida, la cantidad de productos a fabricar influye en decisiones como la calidad y robustez de los herramientas y las materias primas a utilizar. Lotes de pequeñas cantidades podrían requerir herramientas temporales y más baratos que los lotes constantes y de grandes unidades. Adicionalmente los grandes producciones tienen costos de producción más bajos.
<i>Estética, apariencia y acabado</i>	Características como forma, color, perfil, texturas o acabados deben siempre tenerse en consideración. Además de que se debe definir que partes o subsistemas son susceptibles de calificaciones de apariencia, ej: el carcasa de una máquina de café o la textura de una manija de un exprimidor de naranjas.
<i>Ergonomía</i>	Es necesario siempre considerar las partes o acciones que serán accionadas o estarán en contacto con las personas, ya que todas las máquinas tienen en algún punto lo que llamaremos interfaces humano-máquina. Se debe considerar las cargas máximas a manipular, los torques a ejercer por las personas o que deban soportar, etc.
<i>Procesos</i>	Los diseños incluyen procesos internos que deben ser especificados, como son: recubrimientos, tratamientos térmicos, etc.
<i>Restricciones de la compañía</i>	Deben ser consideradas todas las restricciones que puedan afectar el alcance de un diseño, como son las de tipo económico/inversiones, capacidad de planta y equipos, etc
<i>Legal</i>	El impacto de los defectos de diseño en los que se puedan incurrir debe ser analizado a nivel legal. ¿Como son castigados los accidentes asociados a un defecto de diseño? ¿Peligran vidas? ¿Existe alguna legislación vigente para estos casos de seguridad? ¿Que factores de seguridad deben ser usados por legislación en este diseño?. Los defectos deben ser clasificados como: de especificación, de diseño, de manufactura.

Figura 42. PDS



TOOLBOX DE DISEÑO
PDS (Especificaciones de diseño de producto)



PROYECTO: _____

RESPONSABLE: _____

FECHA: _____ VERSION _____

PARAMETROS	Descripción	Parametros			
		Mejor Competidor	Modelo Actual	Intención de diseño	Meta (Clase mundial)
Desempeño					
Precio objetivo					
Cantidad					
Estética, apariencia y acabado					
Ergonomía					
Procesos					
Restricciones de la compañía					
Legal					
Ambiente					
Competencia					
Capacidad de fabricación					
Materiales					
Cliente					
Escalas de tiempo					
Restricciones del mercado					
Instalación					
Vida del servicio					
Embarca					
Tamaño					
Vida útil del producto					
Calidad y confiabilidad					
Ensayos y pruebas					
Patentes, literatura y datos de producto					
Documentación					
Mantenimiento					
Empaque					
Peso					
Estándar y especificaciones					
Almacenamiento					
Seguridad					
Implicaciones sociales y políticas					
Disposición final y desecho					

OBSERVACIONES:

Figura 43. PDS (Plantilla)



TOOLBOX DE DISEÑO
 FUNCION DE DESPLIEGUE DE LA CALIDAD
 QFD



GUIA DEL USUARIO

QUE? (Requerimientos del Cliente)

Se deben enunciar que es lo que el cliente está solicitando, estas solicitudes normalmente no tienen una descripción técnica muy detallada. Por lo general son del tipo: Quien que sea más liviano, que tenga mayor autonomía, que sea más fácil de operar, que no consuma mucha materia prima, etc.

Estos requerimientos son la base del diseño que desea el cliente e identifican necesidades a resolver

Enunde como mínimo 5 que's en la plantilla y deje el resto de celdas vacías.

IMPORTANCIA PARA EL USUARIO

Se debe calificar la importancia que el usuario otorga a cada uno de los requerimientos que plantea. Esta calificación debe dar de 1 a 5

COMO? (Requerimientos Técnicos)

En este apartado enunciamos todos los requerimientos técnicos que nos permitirán alcanzar los requerimientos técnicos, estos ya deben ser especificados en función de variables técnicas amables dentro del diseño a realizar. Ej: Capacidad de la batería en mAh, Presión en Pa, Velocidad en rpm, etc.

Enunde como mínimo 5 COMO en la plantilla y deje el resto de celdas vacías.

RELACION ENTRE REQUISITOS DEL CLIENTE Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

En esta punto, se debe calificar la relación de cada QUE con cada COMO asignando los valores de 1 a la relación débil, 3 a la relación media y 9 a la relación fuerte.

COMPARATIVO RESPECTO A LA COMPETENCIA

Se deben identificar los competidores directos de nuestro producto o diseño y para cada uno de estos debemos calificar de 1 a 5 (siendo 1 mucho peor y 5 mucho mejor) su desempeño respecto a cada uno de los QUE y a su vez debemos evaluar nuestro producto para poder realizar una comparación. Adicionalmente debemos colocar cual sería la meta de alcanzar para cada uno de los QUE. Esto permitirá visualizar las brechas que se tienen respecto a la competencia y a la meta planteada.

RELACIONES ENTRE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

En la pestaña relaciones técnicas se debe calificar de 1 a 5 las relaciones entre los COMO (siendo 1 una relación muy débil o muy negativa y 5 una relación muy fuerte o muy positiva). Esta calificación permite visualizar los efectos de alterar algún requerimiento técnico sobre los otros.

Diligencia cada fila y califique respecto a cada columna hasta completar la cantidad de requerimientos técnicos a utilizar en el análisis

Hasta acá es la parte que se debe diligenciar, ahora analizaremos los resultados arrojados por la plantilla

IMPORTANCIA PONDERADA DE LOS REQUISITOS TÉCNICOS

Este apartado muestra cual de los requerimientos técnicos es más importante en función de la forma como se relaciona con los otros requerimientos y el impacto que tiene sobre estos.

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

Importancia ponderada relativa: Muestra cual es la importancia de los requisitos del cliente en función de la importancia de cada QUE otorgada por el cliente y la relación de estos con los COMO planteados.

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

Importancia ponderada relativa: Es la importancia de los requisitos técnicos en función de todos los análisis anteriores (importancia de los requerimientos del cliente, importancia de los requisitos técnicos y la relación de los QUE y los COMO), esta última permite rankear que requisitos técnicos son más impactantes de cara al cliente a la hora de intervenir, permitiendo así no gastar recursos y esfuerzos en cambiar requisitos técnicos que al final no van a generar mucho impacto.

Esta guía permitirá por lo tanto orientar esfuerzos, optimizando tiempo y recursos de diseño.

GRAFICO COMPETITIVIDAD

Este muestra de forma gráfica las brechas que tenemos en cada uno de los QUE con respecto a nuestra competencia y a su vez con la meta planteada a alcanzar en cada uno de estos.

ORDEN DE USO

1. Diligenciar los requerimientos del cliente
2. Diligenciar los requerimientos técnicos
3. Determinar la relación entre los QUE y los COMO
4. Calificar las que por nivel de importancia para el usuario
5. Realizar la comparación con la competencia y seleccionar la meta de los QUE
6. Seleccionar la meta de los requerimientos técnicos
7. Determinar la forma como se relacionan los requerimientos técnicos entre si en la pestaña "Relaciones técnicas"
8. Analice los resultados del ranking para los requerimientos del cliente y los requerimientos técnicos y tome decisiones del tipo:
 - a. Cuales requerimientos técnicos intervendrá y cuales no
 - b. Si bus para alcanzar las metas en todos los requerimientos técnicos o cuales dejara como estan actualmente
 - c. Forma de intervencion de los requerimientos técnicos
 - d. Que brechas mostradas en el grafico de competitividad decidira acortar y porque

Construido por:
 Ing. Juan David Cornejo Corrales

Figura 44. QFD



TOOLBOX DE DISEÑO



FUNCION DE DESPLIEGUE DE LA CALIDAD
QFD

PROYECTO: _____
 COMPONENTE/SISTEMA: _____
 RESPONSABLE: _____
 FECHA: _____
 REVISION: _____

PLANTILLA

Importancia ponderada de los requisitos técnicos		1,1	1,2	1,3	1,0	1,1					
COMO? (Requerimientos Técnicos para cumplir los "Que")		Como1	Como2	Como3	Como4	Como5					
Meta u Objetivo del requerimiento técnico		x	xx	x	x	x	x	x	x	x	
Columna	QUE? (Requerimientos del cliente)	Importancia para el usuario	Relacion entre QUEy COMO (1= Débil, 3=Media, 9=Fuerte)								
	1	Que1	10	1	3	9	1	3			
	2	Que2	7	9	1	1	3	9			
	3	Que3	5	3	3	1	1	1			
	4	Que4	2	9	9	3	9	3			
	5	Que5	9	1	1	1	9	1			
	6										
	7										
	8										
	9										
	10										

Comparativo con la competencia (1 a 5)				
Nuestra producto	Competidor1	Competidor2	Competidor3	META REQUERIMIENTO DEL CLIENTE
3	3	1	3	4
2	4	2	2	5
5	4	3	1	3
2	2	4	2	3
4	2	3	3	4

Requerimientos cliente	Importancia ponderada absoluta	5,7	4,7	4,3	5,9	4,1			
	Importancia ponderada relativa	1,4	1,1	1,0	1,4	1,0			
	RANKING	2,0	3,0	4,0	1,0	5,0			

Requerimientos Técnicos	Importancia ponderada absoluta	61,4	57,8	56,2	59,0	44,2			
	Importancia ponderada relativa	1,4	1,3	1,3	1,3	1,0			
	RANKING	1	3	4	2	5			

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

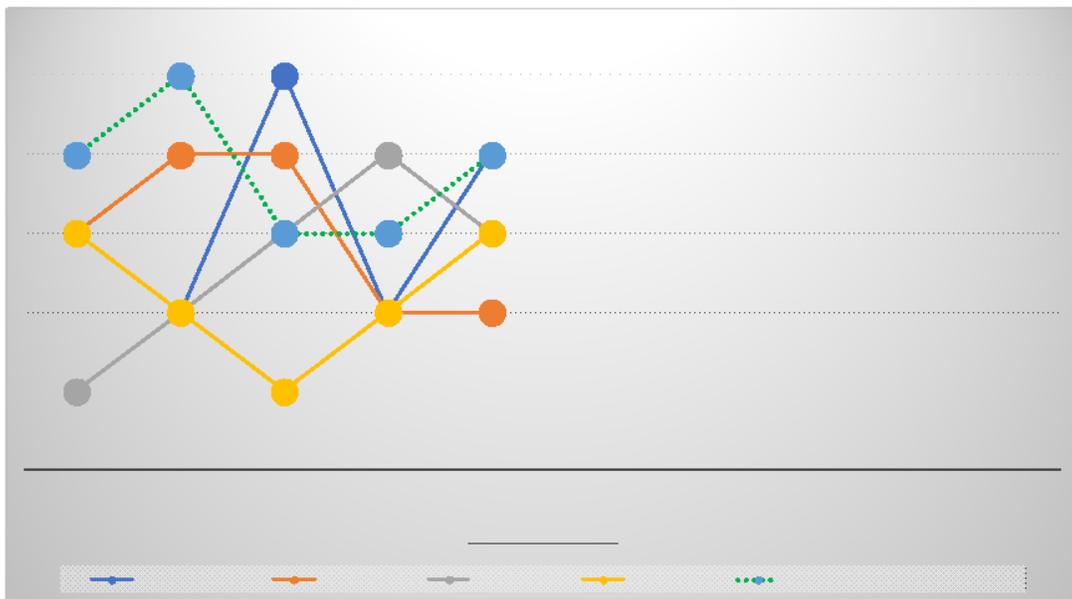
Construido por:
ing. Juan David Carvajal Carreles

Figura 45.QFD(Plantilla)

Grafico de competitividad

Este grafico permite visualizar las brechas que se presentan respecto a la competencia y respecto a la meta en cada uno de los requerimientos del cliente que se han presentado en este analisis.

El objetivo de esto es tener un mayor control visual a la hora de decidir que brechas se deberan cerrar, es decir, si se decide alcanzar la meta, acercarse a la competencia o dejarla en su estado actual



OBSERVACIONES

Construido por:
Ing. Juan David Carvajal Corrales

Figura 46. QFD (Resultados)

TRIZ



UNIVERSIDAD
DE ANTOQUIA

TOOLBOX DE DISEÑO

Teoría de Resolución Inventiva de Problemas

TRIZ



GOM
DESIGN, SIMULATION & VERIFICATION

Que es TRIZ

TRIZ ó Teoría de resolución inventiva de problemas es una técnica que busca resolver las posibles contradicciones que se puedan presentar a la hora de diseñar. Esta se encuentra justificada en que toda mejora realizada trae consigo un nuevo problema de inventiva

Una contradicción se presenta cuando al optimizar un parámetro técnico esta mejora entra en conflicto con otro parámetro haciendo que este empeore o pierda calidad, un ejemplo común seria querer diseñar una mesa lo mas liviana posible sin sacrificar resistencia. Lo mas común que suceda es que al rebajar peso de la forma convencional, la resistencia sea afectada directamente.

Otro ejemplo de contradicción se puede observar en el caso de un software desarrollado, el cual debe ser bastante robusto (Muchas y elaboradas funciones) pero a su vez debe ser fácil de aprender.

Pasos de aplicación

Definición del problema específico

En esta etapa se debe dar una descripción clara y concisa de la contradicción que se esta presentado, en términos técnicos y acotada en el diseño particular que se esta realizando.

Transforme el problema específico en un problema general

Utilizando la tabla de parámetros técnicos anexa, convierta el problema específico en un problema de la forma: Parámetro a mejorar vs Parámetro que empeora

Uso del formato

Luego de tener los dos parámetros técnicos definidos (el que mejora y el que empeora), selecciónelos de la lista desplegable, al realizarlo mas abajo mostrara los principios de inventiva que pueden ser utilizados para resolver la contradicción presentada.

Al usar el formato se pueden obtener tres resultados posibles:

1. Aparece uno o varios principios de inventiva posibles para dar solución: en este caso se debe usar el mas acorde al problema y contexto de diseño. No necesariamente son todos aplicables.
2. Aparece como principio la palabra "Igual": en este caso fue que se selecciono el mismo parámetro técnico tanto en el campo de mejora, como en el de empeora, por lo que se debe revisar los
3. Aparece como principio la palabra "Cualquiera": cuando esto sucede es porque no hay un principio particular asociado a esta combinación de parámetros, por lo que se puede valer del que según su criterio y experiencia pueda ser aplicable.

Describe en función del principio de inventiva escogido, las soluciones propuestas de forma específica y en el contexto del diseño que se están realizando.

Figura 47. TRIZ



TOOLBOX DE DISEÑO



Teoría de Resolución Inventiva de Problemas TRIZ

Proyecto: _____

Responsable: _____

Fecha: _____

Versión: _____

Descripción del problema específico

(Especifique de forma clara y concisa cual es la contradicción que desea resolver.)

Definición del problema de forma general

(Utilizando los 39 parámetros técnicos describa de forma clara y concisa cual es la contradicción encontrada)

<i>Selección del Menú desplegable el parámetro a mejorar y cual se empeora con dicha mejora</i>	Parámetro a mejorar	<input type="text" value="2. Peso de un objeto sin movimiento"/>
	Parámetro que empeora	<input type="text" value="26. Cantidad de sustancia"/>

PRINCIPIOS DE INVENTIVA A USAR

19 Acción periódica

- a. Reemplace una acción continua con una periódica, o un impulso
- b. Si una acción es periódica, cambie su frecuencia
- c. Use pausas entre impulsos para dar acción adicional

6 Universalidad

- a. Que el objeto realice múltiples funciones, de esta manera se elimina la necesidad de algunos otros objetos

18 Vibración mecánica:

- a. Ponga un objeto en oscilación
- b. Si la oscilación existe, incremente su frecuencia, aun tanto como hasta la ultrasónica
- c. Use la frecuencia de resonancia
- d. En lugar de vibraciones mecánicas, use piezas vibradores
- e. Use vibraciones ultrasónicas en conjunción con un campo electromagnético

26 Copiado

- a. Use un simple y poco costosa copia en lugar de un objeto que es complejo, costoso, frágil o inconveniente de operar
- b. Reemplace un objeto o un sistema de objetos por una copia óptica, imagen óptica. Una escala puede ser usada para reducir o alargar la imagen
- c. Si se usan copias ópticas visibles, reemplácelas con copias infrarrojas o ultravioletas

SOLUCIONES PLANTEADAS

Figura 48. TRIZ (Plantilla)



TOOLBOX DE DISEÑO
DISEÑO PARA EL ENSAMBLE
Estructura del Ensamble



PROYECTO _____

FECHA _____

RESPONSABLE _____

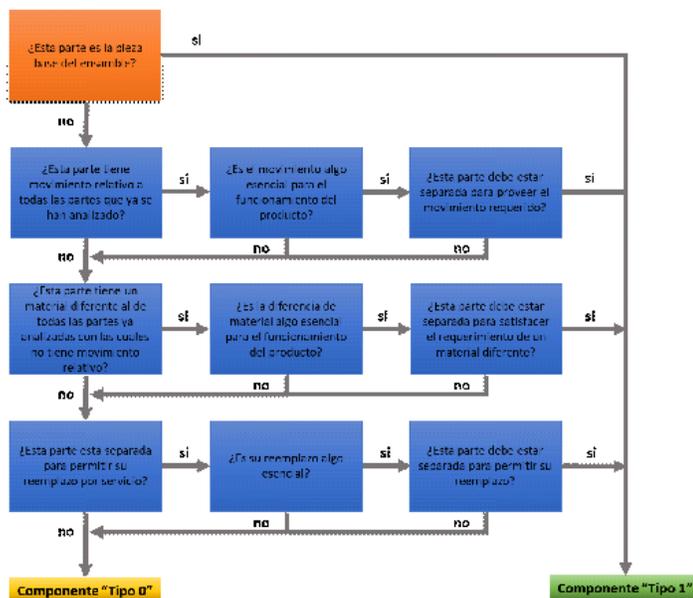
REVISION _____

Estas preguntas deben ser diligenciadas en el orden correcto, después de seleccionar la respuesta, siga atentamente la acción sugerida. En el caso de duda, respondano a la pregunta

El laparte inferior podra encontrar un diagrama ilustrativo del orden de las preguntas.

GUIA DE TIPIFICACION DE LOS COMPONENTES

ITEM	PREGUNTA	RESPUESTA	ACCION
0	Esta parte es la pieza base del ensamble		
1	Esta parte tiene movimiento relativo a todas las partes que ya se han analizado?		
2	Es el movimiento algo esencial para el funcionamiento del producto?		
3	Esta parte debe estar separada para proveer el movimiento requerido?		
4	Esta parte tiene un material diferente al de todas las partes ya analizadas con las cuales no tiene movimiento relativo?		
5	Es la diferencia de material algo esencial para el funcionamiento del producto?		
6	Esta parte debe estar separada para satisfacer el requerimiento de un material diferente?		
7	Esta parte esta separada para permitir su reemplazo por servicio?		
8	Es su reemplazo algo esencial?		
9	Esta parte debe estar separada para permitir su reemplazo?		



Adaptado de guía DFA Ing. Sergio Arístizabal

Figura 50. DFA (Plantilla)



TOOLBOX DE DISEÑO
DISEÑO PARA EL ENSAMBLE
Cuadro Resumen



GUIA DE USO:

Lo primero a realizar en esta plantilla es diligenciar los tiempos de penalización de cada componente con sus respectivos códigos encontrados en los apartados 4.2, 4.3 y 4.4

La plantilla muestra el tiempo total utilizado para ese tipo de componente y al final se visualiza el tiempo total de ensamble calculado. Al final de cada componente se puede revisar de que tipo es (Tipo 0o Tipo 1) y con base en eso y en los tiempos encontrados se pueden generar observaciones o sugerencias de como intervenir, retirar, adaptar el componente, siempre buscando minimizar el tiempo global de ensamble.

Después de realizar este análisis, queda analizar las observaciones o sugerencias planteadas y crear un nuevo escenario con estas. Volver a identificar las penalizaciones y comparar el tiempo global de ensamble de este nuevo escenario con el inicial para verificar que si ha mejorado el EMB y el índice de luces.

ITEM	Descripción	Cantidad (#Piezas)	Tiempo para disponer (TD)	Código de Manejo	Tiempo de Manejo (TM)	Código de Inserción	Tiempo de Inserción (TI)	Tiempo Total Tda (#Piezas*(TM+TI))	Tipo de pieza	Observaciones y sugerencias de optimización
1	-	1						0	Tipo 1	
2	-	1						0	Tipo 1	
3	-	1						0	Tipo 1	
4	-	1						0	Tipo 1	
5	-	1						0	Tipo 1	
6	-	3						0	Tipo 1	
7	-	3						0	Tipo 1	
8	-	34						0	Tipo 1	
9	-	1						0	Tipo 1	
10	-	1						0	Tipo 1	
11	-	1						0	Tipo 1	
12	-	1						0	Tipo 1	
13	-	1						0	Tipo 1	
14	-	1						0	Tipo 1	
15	-	1						0	Tipo 1	
16	-	1						0	Tipo 1	
17	-	1						0	Tipo 0	
18	-	1						0	Tipo 0	
19	-	1						0	Tipo 0	
20	-	1						0	Tipo 0	
21	-	1						0	Tipo 0	
22	-	1						0	Tipo 0	
23	-	1						0	Tipo 0	
24	-	1						0	Tipo 0	
25	-	1						0	Tipo 0	
26	-	1						0	Tipo 0	
27	-	1						0	Tipo 0	
28	-	1						0	Tipo 0	
29	-	1						0	Tipo 0	
30	-	1						0	Tipo 0	

OBSERVACIONES

Figura 51. DFA (Resultados)

CDS (Component Design Specifications)

 TOOLBOX DE DISEÑO ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE COMPONENTE CDS 	
OBJETIVO	
<p>El objetivo de este documento es dejar condensada la mayor cantidad de información posible asociada a la fabricación de un componente cuanto este ya paso por la etapa de diseño de detalle.</p> <p>Con esto se busca evitar repetir análisis previos por falta de documentación y además evitar errores de cara a proveedores y procesos internos por falta de claridad.</p>	
DEFINICIONES	
NOMBRE DEL COMPONENTE	Nombre asignado al componente dentro del ensamble, este debe identificar claramente de que pieza se esta hablando haciendo referencia a su uso, forma, etc. Este nombre debe ser el mismo que usaran todos lo involucrados dentro de la organización.
REFERENCIA	Código con el que la compañía identifica claramente la pieza dentro de su sistema de gestión.
CANTIDAD	Numero de piezas que se deben fabricar de dicho componente.
MATERIAL	Especificación del material a utilizar en su fabricación, se debe especificar el material tanto en forma standard como en forma comercial. Ej: SAE 1045, Chronit, P20 (Impax), etc. Si se tiene identificado un material sustituto en el caso de que la primera opción no este disponible, esta alternativa igual debe ser especificada.
PROVEEDOR HOMOLOGADO	Si se tienen proveedores especificados para la compra del material, los cuales ya estan homologados por la compañía, se deben especificar en este apartado.
PESO (Bruto/Terminada)	Peso de la pieza en bruto (material sin procesar)/Peso de la pieza terminada.
ACABADOS SUPERFICIALES	Se deben especificar que superficies llevan acabados especiales y cual es la especificación o condición de este. Algunos tipos de acabado son: acabados espejo, shotpeening, granallado, grafilado, etc.
PLANO	Adjuntar el plano de la pieza correctamente identificado en su cajetín y correctamente acotado.
TRATAMIENTOS TERMICOS	Se deben citar los tratamientos termicos que puede llevar la pieza. Ej: Carbonitruración con 600 Hv y un espesor de capa de 0,2 mm, dureza del nucleo 400Hv.
PIEZAS CON QUE INTERACTUA	Es necesario conocer con que piezas interactua este componente, sea ensambles, pieza contenida dentro de otra, deslizamientos, fricción, apoyos, para tener conciencia de como abordar dichas interacciones.
APARIENCIA	Si las piezas tienen condiciones de apariencia que deban ser verificadas, requerimientos de rugosidad al tacto, color, pintura, tratamientos superficiales. En el caso de las pinturas por ejemplo, se debe especificar el tipo y condición de aplicación Ej: Pintura en polvo electrostatica con x espesor de capa y debe cumplir xxxx horas de camara salina.
PROCESOS DE PREPARACION DE SUPERFICIE	Si las superficies deben ser preparadas para procesos posteriores, se debe especificar la forma de preparación, ej: Fosfatado, catáforesis, granallado, plañorización, etc.
CONDICIONES ESPECIALES DE MANIPULACION	Dependiendo de la aplicación, condiciones de entrega o material, puede ser necesario especificar como manipular el componente, por ejemplo, en el caso que la pieza se pueda oxidar con el sudor, esta debe ser manipulada con guantes, si no debe ensudarse o engrasarse en el caso de piezas para componentes medicos, estas deben manipularse con guantes claros que resalten la suciedad.
CONDICIONES ESPECIALES PARA MECANIZADO	Este apartado ayuda a identificar si la pieza tiene zonas a proteger en los procesos de mecanizado, por ejemplo, zonas que no deben usarse para sujetar la pieza durante el proceso o si se deben usar medios de sujeción que protejan el componente, Ej: usar mordazas de nylon para no rayar la pieza, entre otras.
MATERIAL REACCIONA CON	Si el material tiene condiciones especiales de reacción química que afecte su composición o apariencia, estas deben ser especificadas, es decir, si el material reacciona con ados, con el liquido refrigerante usado en los procesos de mecanizado, etc.
RECUBRIMIENTOS	Los componentes para mejorar prestaciones en algun característica como pueden ser: resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, conductividad o aislamiento termico, eléctrico. En estos casos se debe especificar correctamente el tipo y condiciones de aplicación.
OBSERVACIONES	Se deben especificar cualquier condición adicional de fabricación que no este contenida en ninguno de los apartados anteriores.

Figura 52. CDS



TOOLBOX DE DISEÑO

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE COMPONENTES CDS



PROYECTO _____
RESPONSABLE _____

FECHA _____
REVISION _____

Nombre
Referencia
Material
Peso
Cantidad
Plano No



Proveedor Homologado

Apariencia

Piezas con que interactua

Condiciones especiales de mecanizado

Acabados superficiales

Tratamientos termicos

Procesos de preparacion de superficie

Recubrimientos



Condiciones especiales de manipulacion

Material reaccion con

OBSERVACIONES

Figura 53. CDS (Plantilla)

Brainstorming



TOOLBOX DE DISEÑO

Brainstorming



REGLAS

1. Aplazar la critica. Nunca se sabe de donde pueden venir las buenas ideas. El ambiente se debe prestar para no cohibirse por pensar lo que los demas puedan decir.
2. Fomente las ideas diferentes, fuera de lo comun. Estas ideas aumentan los saltos creativos.
3. Construya sobre las ideas de otros. Ser positivo y construir sobre las ideas de los demas requiere cierta habilidad. Utilice "y" en lugar de "pero" en las conversaciones.
4. Intente llevar la discusion de forma convergente, mantenerse siempre el foco sobre el tema.
5. Realice una conversacion a la vez. Es mas productivo mientras el equipo presta atencion al que esta socializando sus ideas.
6. Dibujalo. El brainstorming es un ejercicio que se apoya mucho en lo visual, siempre es mejor si se dibuja asi no se tengan muchas habilidades.
7. Mejor cantidad que calidad. Se deben generar la mayor cantidad de ideas posibles. El cerebro tiende a resolver los problemas con lo mas cerca que tenga o la idea mas comun. Abogar por cantidad permite forzar el cerebro a imaginar nuevas ideas y vaciar las preconcebidas.

<http://www.designkit.org/methods/28>

PASOS

1. Entregue lapices, lapiceros o marcadores y post-its a todos. Ademas disponga de una pared o tablero para pegarlos durante la sesion.
2. Revise las reglas del brainstorming antes de empezar.
3. Plantee la pregunta o el reto que quiere resolver. Escrivalo de forma visible para que no se pierda el foco del ejercicio. De una pregunta o reto bien formulado depende
4. A medida que cada persona tenga una idea, esta la debe describir al grupo y pegarla en la pared o el sitio destinada para el ejercicio.
5. Genere la mayor cantidad de ideas posibles.

DESPUES DEL BRAINSTORMING..

1. Resuma las ideas creando grupos: Se juntar las ideas que tengan relacion entre si formando grupos, si una idea cabe en mas de un grupo esta se debe repetir para no perder ninguna combinacion. categoricelas sea en relacion con su funcionalidad, facilidad de implementacion, caracteristicas, entre otros. Las ideas que no encajen en ningun grupo se pueden dejar por fuera.
2. Etiquete los grupos: las etiquetas deben ser simples y concisas, que identifiquen el concepto que hay detrás de ese grupo, sea por ejemplo reduccion de costos, aumento de productividad, reduccion de desperdicios, etc.
3. Califique las ideas: apoyese en diferentes formas de votas las ideas, sea consenso, ponderacion u otros medios

Figura 54. Brainstorming



TOOLBOX DE DISEÑO

Brainstorming



FORMATO DE ASISTENCIA

Materiales

- Post-its
- Tablero
- Lapiceros o marcadores de colores
- Lapices
- Borradores
- Hojas

Espacio fisico adecuado

Lugar espacioso: Debe crear una sensacion de amplitud, buscando asi que fluyan las ideas

Mobiliario comodo: debe permitir que los participantes no se distraigan con sensaciones de incomodidad o cansancio

Tablero: Es necesario para poder explicar las ideas o anotar puntos importantes a considerar durante el ejercicio

Mesas redondas: o similares que busquen eliminar las jerarquias y faciliten la conversacion con los demas participantes

Figura 55. Brainstorming (Plantilla)



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

TOOLBOX DE DISEÑO

ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF)



GDM
CON CALIDAD Y SERVICIO

PROCESO PARA CONSTRUIR UN AMEF:

1. Se debe crear un equipo multidisciplinario para afrontar el proceso de AMEF, por ejemplo, el encargado del diseño + encargado de la manufactura + usuario potencial
2. Escribir el nombre el componente ó sistema a analizar de forma clara
3. Liste las posibles formas en que dicho sistema o componente puede fallar
4. Para cada modo de fallo listado identifique lo siguiente:
 - Severidad de efecto sobre las funciones del componente/sistema causado por el fallo generado
 - Ocurrencia ó La posibilidad de que ocurra el fallo mencionado, cual seria la frecuencia en que se puede presentar dicho fallo
 - Deteccion ó Los medios utilizados actualmente para detectar los posibles fallos de diseño
5. La plantilla se encargara de calcular el numero NPR
6. Los fallos se evaluan del mayor al menor valor de NPR, siendo el de mayor valor el que debe ser intervenido, pueden ser obviados los fallos con NPR < 100
7. Despues de identificar estos modos de fallos representativos se procede a proponer acciones para disminuir este numero, dichas acciones pueden ser:
 - Atacando la Severidad: buscando alternativas de soluciones que disminuyan los impactos negativos del fallo del componente (fusibles, sistemas de bypass, disminuir dependencia de funciones sobre el componente, etc)
 - Atacando la Ocurrencia: mejoras en el diseño que disminuyan la posibilidad de fallo del componente (materiales, geometrias, etc)
 - Atacando la deteccion: analisis previos, pruebas mas rigurosas que apunten a determinar con anterioridad la posibilidad de fallo, ademas de sistemas que informen con tiempo el posible fallo
8. Se deben seleccionar los criterios de Severidad, Ocurrencia y Deteccion acordes a la(s) mejoras propuestas para recalcular el valor de NPR, el cual debe ser inferior al inicial

Aclaraciones:

En el caso donde los modos de fallo tengan Severidad igual a 10, recomendable intervenirlos asi no presenten un NPR demasiado elevado.

El valor NPR no es un numero determinante por si solo, se debe someter a evaluacion cualquier accion de mejora a implementar desde la optica de costos e impacto respecto al diseño completo

Figura 56. AMEF

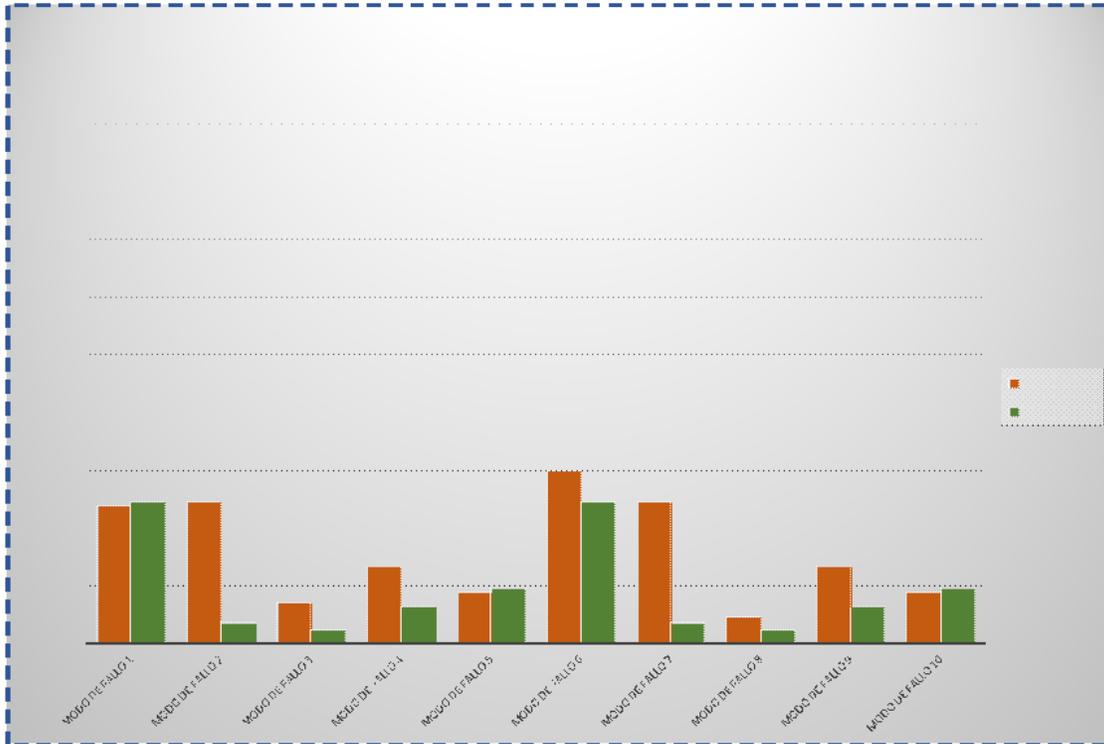


TOOLBOX DE DISEÑO



ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF)

Referencia: _____
Nombre del componente/sistema: _____
Proyecto: _____
Responsable: _____
Fecha: _____
No. Revision: _____



Observaciones:

Construido por:
Ing. Juan David Carvajal Carrales

Figura 57. AMEF (Resultados)



TOOLBOX DE DISEÑO

PROCESO DE ANALISIS JERARQUICO

Secuencia del analisis



Defina las alternativas de solucion:
 Despues del proceso de diseño conceptual, se deben enumerar estos conceptos de solucion. Para el analisis usaremos minimo 3 conceptos o alternativas de solucion, las cuales se escribiran en la hoja

Defina los criterios de evaluacion
 Se debe enunciar los criterios que seran utilizados para evaluar los conceptos, dichos criterios son atributos que debe cumplir el diseño. Ej: costo, facilidad de mantenimiento, usabilidad, peso, etc.

Diligencie las matrices de comparacion
 En la hoja "Calculos" se deben diligenciar las matrices de comparacion tanto entre criterios, como entre alternativas para cada criterio. Esto se realiza contrastando cada columna con cada fila, para el caso de los criterios, se evalua el criterio 1 (fila) con respecto al criterio 2 (columna) y se le da un valor en cuanto a la relevancia del uno respecto al otro (ver tabla anexa).

A modo ilustrativo se tiene la siguiente matriz con 4 criterios

	C1	C2	C3	C4
C1	1		1/3	
C2		1		
C3	3		1	
C4				1

El criterio 3 (C3) respecto al criterio 1 (C1) tiene una relacion de dominancia debil, según la tabla anexa, esta relacion se califica como 3, a partir de esto, la relacion inversa, es decir, el criterio 1 vs el criterio 3 se calificaria como el inverso, es decir, como 1/3

De esta forma se diligencian:

Matriz de comparacion entre criterios: se debe comparar cada criterio entre si.

Matriz de comparacion entre alternativas: se debe comparar cada alternativa entre si para cada criterio, lo que generara tantas matrices como criterios existan. Por ejemplo para criterios como: costo, peso, mantenimiento, se generan matrices donde se comparan alternativas de soluciones en funcion del costo, alternativas en funcion de peso y alternativas en funcion del mantenimiento

Revise el analisis de congruencias
 para validar se las comparaciones esta tasadas de una forma coherente, se recule al analisis de convergencia. Este valor (RC) debe ser $RC < 0,1$ si esta relacion no se cumple, se debe realizar nuevamente el proceso de asignar pesos en la matriz de comparacion.

Observe la mejor solucion
 En la hoja resumen encontrara de forma visual las alternativas de solucion en funcion de cual es mas acertada de utilizar

Figura 58. AHP



TOOLBOX DE DISEÑO
PROCESO DE ANALISIS JERARQUICO
TABLA DE DOMINACIAS ENTRE CRITERIOS



Importancia	Definición	Explicacion
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo.
2	Valor intermedio de decisión	
3	Dominancia débil	La experiencia manifiesta que existe una débil dominancia de un elemento sobre otro.
4	Valor intermedio de decisión	
5	Fuerte dominancia	La experiencia manifiesta una fuerte dominancia de un elemento sobre otro.
6	Valor intermedio de decisión	
7	Demostrada dominancia	La dominancia de un elemento sobre otro es completamente demostrada.
8	Valor intermedio de decisión	
9	Absoluta dominancia	Las evidencias de muestran que un elemento es absolutamente dominado por otro.

Adaptada de: García, J., Noriega, S., Díaz, J. J., & Riva, J. de la. (2005). Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la selección de tecnología agrícola. *Agronomía Costarricense*, 30 (1), 107-114.

Figura 59. AHP (Tabla de dominancias)



TOOLBOX DE DISEÑO



PROCESO DE ANALISIS JERARQUICO

Proyecto

Responsable

Objetivo

#C= *Numero de Criterios (Seleccione minimo 3, máximo 10)*

#A= *Numero de Alternativas (Seleccione minimo 3, máximo 5)*

Alternativas

Nombre las alternativas de solución que utilizara en el analisis

A1
A2
A3
0
0

Criterios

Nombre los criterios de evaluacion de las alternativas

C1
C2
C3
C4
C5
0
0
0
0
0

Figura 60. AHP (Plantilla)



TOOLBOX DE DISEÑO



PROCESO DE ANALISIS JERARQUICO RESUMEN DE RESULTADOS

Analisis de Congruencias

Entre Criterios	Congruente
Entre alternativas para el C1	Congruente
Entre alternativas para el C2	Congruente
Entre alternativas para el C3	Congruente
Entre alternativas para el C4	Congruente
Entre alternativas para el C5	Congruente
Entre alternativas para el C6	--
Entre alternativas para el C7	--
Entre alternativas para el C8	--
Entre alternativas para el C9	--
Entre alternativas para el C10	--

El analisis de congruencias evalua la calificacion que se asigno entre criterios o entre alternativas en las matrices de la hoja calculos, si algun comparativo muestra "Recalcular" dirijase a esa matriz y replantee los pesos asignados

Importancia de los criterios	C1	36%
	C2	22%
	C3	8%
	C4	8%
	C5	26%
	C6	0%
	C7	0%
	C8	0%
	C9	0%
	C10	0%

Este cuadro representa el nivel de importancia que se le esta dando a los criterios en el analisis

La mejor alternativa es...

Alternativa 1	50%
Alternativa 2	42%
Alternativa 3	9%
Alternativa 4	0%
Alternativa 5	0%

Observaciones

Construido por:
Ing. Juan David Carvajal Corrales

Figura 61. AHP (Resumen)

Herramienta de asistencia en el proceso de diseño

Para poder estructurar esta herramienta se hizo necesario crear una estructura de diagrama de flujo que llevara a través del proceso de diseño los tres ítems seleccionados: Máquina, herramental y rediseño. De ahora en adelante llamaremos la herramienta como Toolbox de Diseño.

Un esquema simplificado del diagrama de flujo utilizado en el Toolbox de Diseño se puede observar en la Figura 62

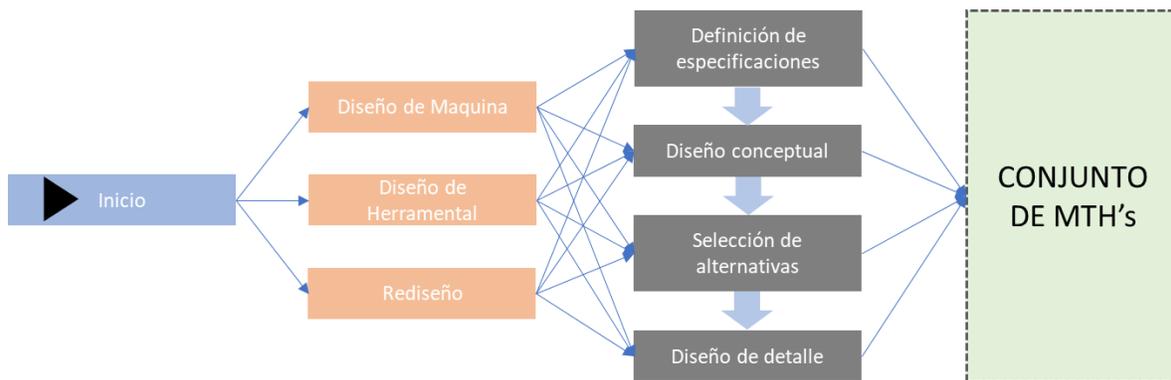


Figura 62. Esquema simplificado del Toolbox de diseño

A continuación, se puede observar los diagramas de flujos detallados para cada ítem planteado

- Diseño de máquina (Figura 63)
- Diseño de herramental (Figura 64)
- Rediseño (Figura 65)

Empleando el software Twine® se realizó, una herramienta que permite al usuario seleccionando el ítem a diseñar, viajar a través de todas las etapas del proceso de diseño y guiarlo en el uso de las herramientas que se ajusten de manera más útil y fácilmente aplicable a la etapa de diseño.

Esta herramienta se entrega en formato HTML en el anexo 13.

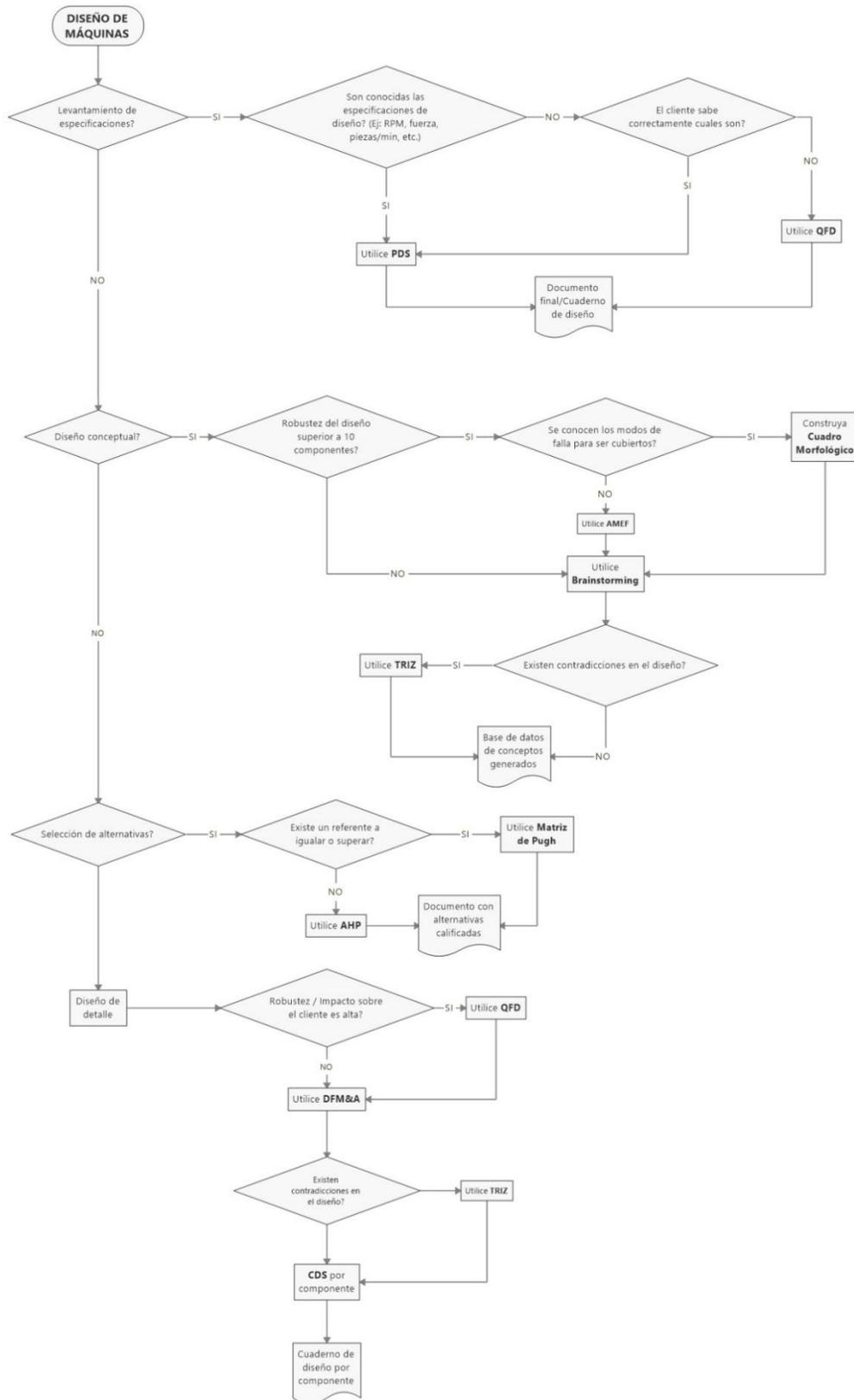


Figura 63. Diagrama de flujo - Diseño máquina

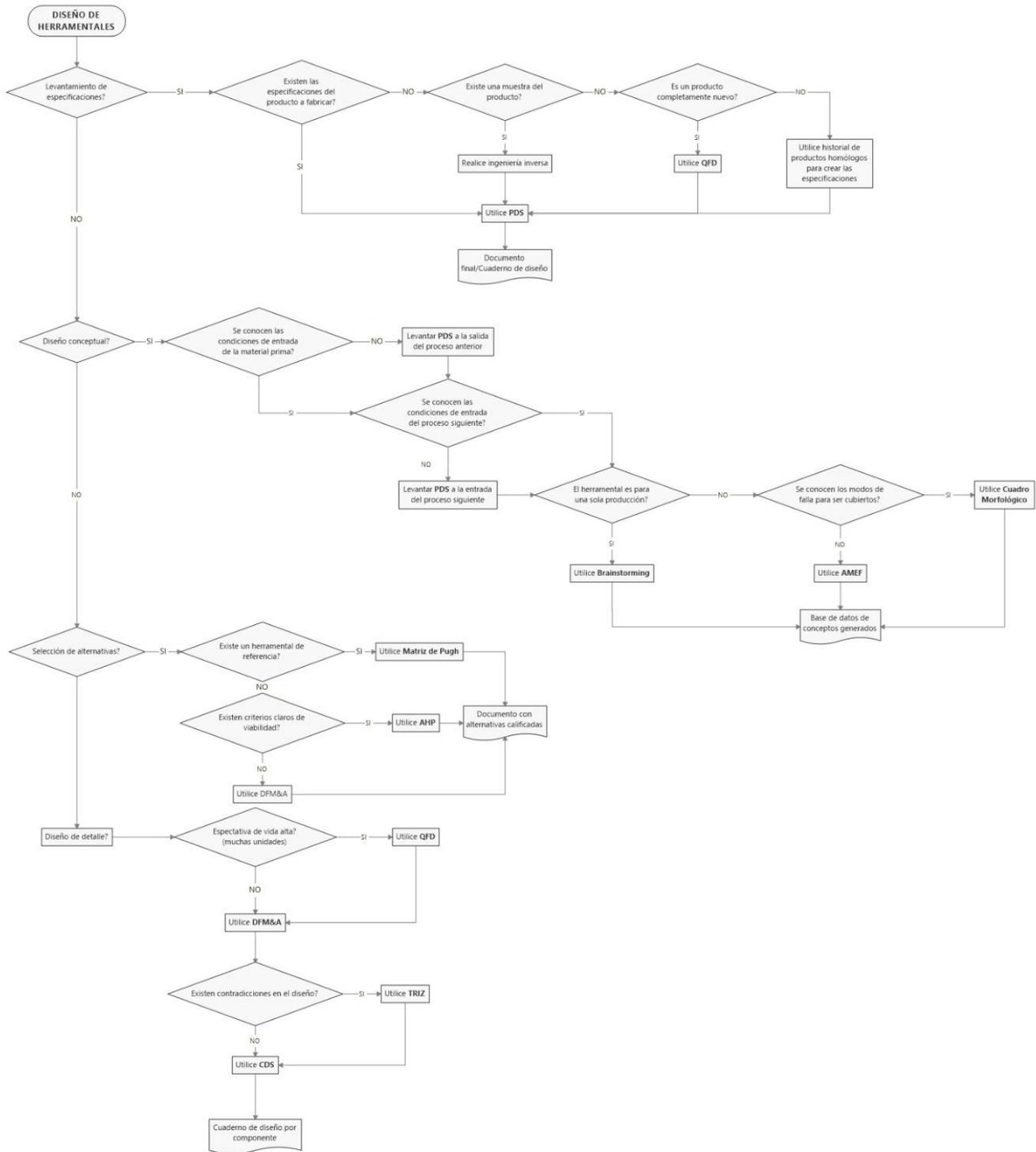


Figura 64. Diagrama de flujo - Diseño de herramental

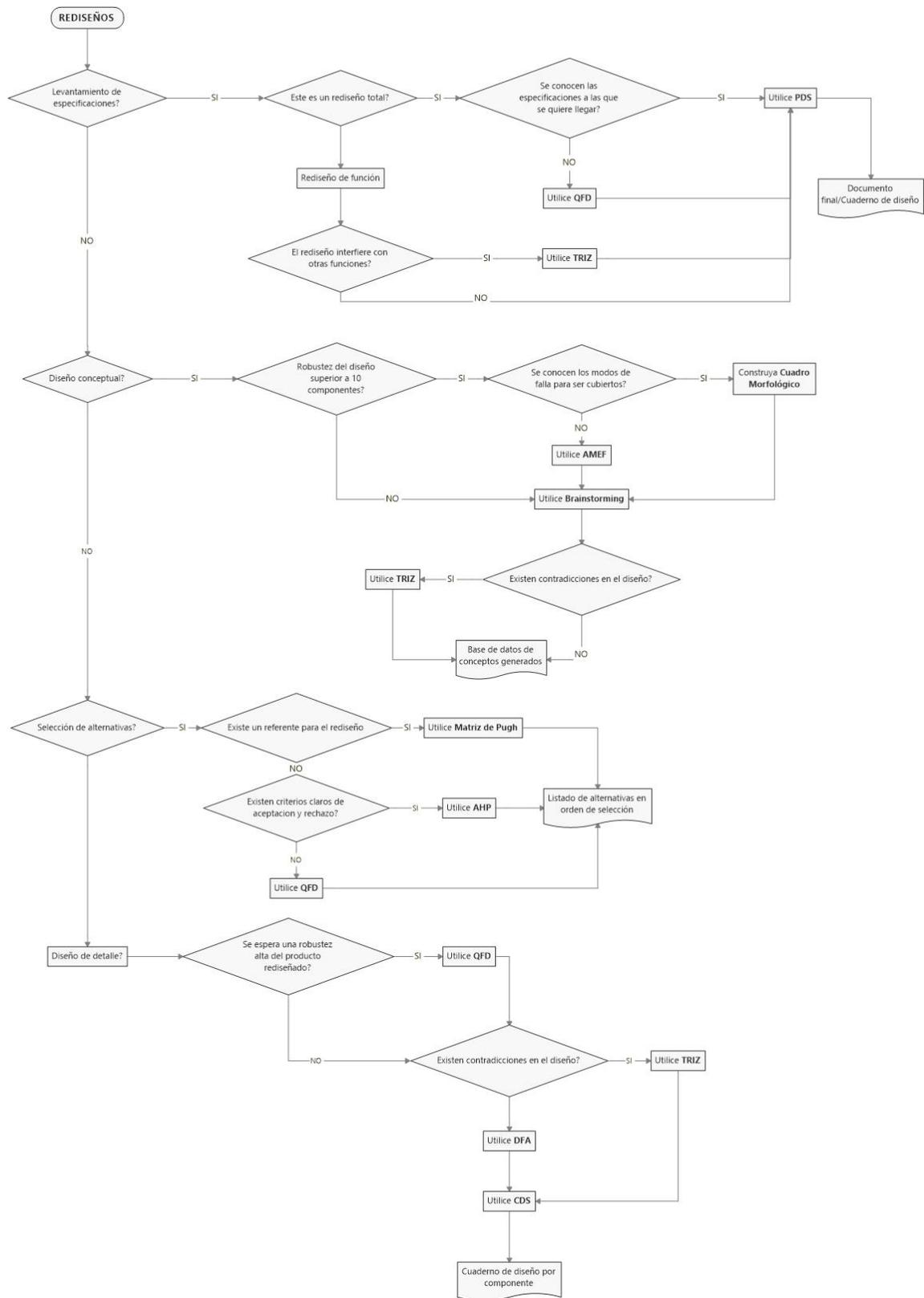


Figura 65. Diagrama de flujo - Rediseño

CONCLUSIONES

- Efectivamente el sector metalmecánico nacional presenta falencias en sus procesos de diseño, lo que generalmente desemboca en retrasos, sobrecostos o salidas fallidas al mercado. Por esto se percibe que este tipo de investigaciones y trabajos son pertinentes para poder potenciar al sector de cara a mercados internacionales.
- Se logró crear una herramienta intuitiva, fundamentada en las historias interactivas no lineales, para de cierta forma, contar como es el proceso de diseño, identificando las etapas y ofreciendo las herramientas más acordes al trabajo de las PyMES del sector metalmecánico.
- Al consultar con diferentes empresas del sector metalmecánico se encuentra que las que pueden tener un poco mejor desarrollado los procesos de diseño, son las compañías que tienen relación con ensambladoras tanto de automóviles como de motocicletas. Esto hace que las buenas prácticas que puedan tener las ensambladoras se transversalicen a sus proveedores. Esto a su vez excluye de este conocimiento a las empresas metalmecánicas que no han tenido la oportunidad de incursionar en este mercado.
- La carencia de dominio en los métodos, técnicas y herramientas disponibles para los procesos de diseño abre la puerta para impulsar el sector a través de mejoras y capacitaciones que puedan permitir a los responsables del diseño dentro de las organizaciones tomar mejores decisiones y obtener resultados de mayor impacto.
- La selección de las herramientas obedeció a la evidente polivalencia en otras funciones de muchos de los encargados del diseño al interior de las compañías. Como se pudo evidenciar a través de las encuestas, estos encargados a su vez tienen otras responsabilidades diferentes al diseño por lo que escogieron herramientas de fácil aprendizaje y aplicación, lo que dejó por fuera de este trabajo a herramientas como el diseño axiomático que por su complejidad y alta carga matricial podría generar inconvenientes en lugar de facilitar la tarea.
- La herramienta diseñada acompaña al usuario a través de todas las etapas y la posibilidad de retroceso apunta a la naturaleza iterativa inherente a los procesos de diseño.
- La herramienta Twine® fue una muy buena selección por la facilidad de programar de manera visual los flujogramas de diseño. A pesar de esto, cuando se le quiere agregar

mayor estética buscando que sea amigable a la vista, requiere un nivel de conocimiento medio en el lenguaje de programación CSS, lo que genero dificultades para su diagramación por falta de dominio.

BIBLIOGRAFIA

- Alberto Aguilar-Zambrano, J. (2007). El diseño axiomático: oportunidades para el trabajo multidisciplinar en el diseño de productos, 26–28.
- Alcaide, J., Diego, J. A., & Artacho, M. A. (2004). Diseño de producto: Métodos y técnicas. *Editorial Alfaomega*.
- Altshuller, G. (1999). *The Innovation Algorithm-TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*.
- Arabian-Hoseynabadi, H., Oraee, H., & Tavner, P. J. (2010). Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for wind turbines. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 32(7), 817–824. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2010.01.019>
- Bhushan, N., & Rai, K. (2004). The Analytic Hierarchy Process. *Strategic Decision Making Applying the Analytic Hierarchy Process*, 172. <https://doi.org/0070543712>
- Bohórquez, A., Hernández, D., Acosta, A., Cortes, J., Agudelo, I., Abril, M., & Morales, A. (2008). *Estudio de caracterización ocupacional del diseño en la industria colombiana*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Bono, E. de. (2012). *Seis Sombreros para pensar (Spanish Edition)*.
- Booker, J. D., Lock, R., Williamson, S., & Freire Gómez, J. (2016). Effective practices for the concept design of electromechanical systems. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 14(3), 489–506. <https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2014-0017>
- Boothroyd, Dewhurst, & Knight. (2000). *Product design for manufacture and assembly. Computer-Aided Design* (Vol. 26). [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(94\)90082-5](https://doi.org/10.1016/0010-4485(94)90082-5)
- Chan, L. K., & Wu, M. L. (2005). A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example. *Omega*, 33(2), 119–139. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.03.010>
- Chrysler, Ford Motor, C., & General Motors, C. (2008). *Análisis de Modo y Efecto de Falla Potenciales*.
- Crawford, R. P. (1964). *Direct Creativity, with Attribute Listing*. Fraser Publishing Company.
- Cross, N. (2000). *Engineering Design Methods. Design*.
- Day, R. G. (1993). *Quality function deployment: Linking a company with its customers*. Asq Press.
- Eder, W. E., & Hosnedl Stanislav. (2010). *Introduction to Design Engineering*.
- Fox, J. (1995). Managing design for a quality product. *Assembly Automation*, 15(1), 12–14. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000004220>
- Frizziero, L. (2014). A Coffee Machine Design Project Through Innovative Methods : Qfd , Value Analysis and Design for Assembly, 9(7), 1134–1139.
- García, J., Noriega, S., Díaz, J. J., & Riva, J. de la. (2005). Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la selección de tecnología agrícola. *Agronomía Costarricense*, 30(1), 107–114.

- Gómez, J. C., & Cabrera, J. P. (2008). El Proceso De Análisis Jerárquico (Ahp) Y La Toma De Decisiones Multicriterio. Ejemplo De Aplicación. *Scientia Et Technica*, XIV(39), 247–252. <https://doi.org/0122-1701>
- King, a. M., & Sivaloganathan, S. (1999). Development of a Methodology for Concept Selection in Flexible Design Strategies. *Journal of Engineering Design*, 10(4), 329–349. <https://doi.org/10.1080/095448299261236>
- Klimas, C. (2009). Twine. Retrieved May 31, 2021, from <http://twinery.org/>
- Kuo, T. C., Huang, S. H., & Zhang, H. C. (2001). Design for manufacture and design for “X”: Concepts, applications, and perspectives. *Computers and Industrial Engineering*, 41(3), 241–260. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(01\)00045-6](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(01)00045-6)
- Mansor, M. R., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., Nuraini, A. A., & Hambali, A. (2014). Conceptual design of kenaf fiber polymer composite automotive parking brake lever using integrated TRIZ-Morphological Chart-Analytic Hierarchy Process method. *Materials and Design*, 54, 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.08.064>
- Mariajayaprakash, A., & Senthilvelan, T. (2013). Failure detection and optimization of sugar mill boiler using FMEA and Taguchi method. *Engineering Failure Analysis*, 30, 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.12.010>
- MAYDA, M., & BORKLU, H. R. (2014). Development of an innovative conceptual design process by using Pahl and Beitz systematic design, TRIZ and QFD. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 8(3), JAMDSM0031–JAMDSM0031. <https://doi.org/10.1299/jamdsm.2014jamdsm0031>
- Mehrjerdi, Y. Z. (2010). Applications and extensions of quality function deployment. *Assembly Automation*, 30(4), 388–403. <https://doi.org/10.1108/01445151011075843>
- Osborn, A. F. (1953). Applied imagination.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2007). *Engineering design: a systematic approach*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-319-2>
- Project, & Management Institute Inc. (2017). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos, (Guía del PMBOK®) (Sexta Edic)*.
- Pugh, S. (1993). *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison. Willey Publishing Company, Inc.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Suh, N. P. (2001). *Axiomatic Design - Advances and Applications*.
- Ullman, D. G. (2010). *The Mechanical Design Process. Mechanics of Materials*.
- und Mechatronik, V.-F. P. (1993). VDI 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-GPP.
- Vargas, L. (2006). Aplicación de la metodología de diseño axiomático en el diseño y desarrollo tecnologico de una máquina serigráfica por cilindro y marco plano.

ANEXOS

Todos los anexos citados en este trabajo se encuentran en la carpeta digital “Anexos” que se entrega junto con este trabajo escrito

Anexo 1 – Encuesta Diseño en el medio industrial

Anexo 2 – Encuesta Diseño en el medio industrial – Respuestas

Anexo 3 – Matriz morfológica Final

Anexo 4 – Matriz Pugh Final

Anexo 5 – PDS Final

Anexo 6 – QFD Final

Anexo 7 – TRIZ Final

Anexo 8 – DFA Final

Anexo 9 – CDS Final

Anexo 10 – Brainstorming Final

Anexo 11 – AMEF Final

Anexo 12 – AHP Final

Anexo 13 – Toolbox de diseño