



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Material didáctico para la
enseñanza del diseño
para ensamble**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A N

Gabriel Arreola Juan Jesús

López Cano Omar Cuauhtémoc

Sánchez Zambrano Christopher

Santibáñez Torres Asahel

**ASESOR DE MATERIAL
DIDÁCTICO**

Dr. Jesús Manuel Dorador González



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos al Dr. Jesús Manuel Dorador González por ser parte crucial como director de este trabajo, y como pieza clave para coadyuvar la labor en equipo que culminó con éxito este trabajo profesional. Gracias por todas sus enseñanzas de técnica y de vida que nos ha proporcionado desde etapas tempranas de la carrera universitaria.

Agradecemos al núcleo familiar de cada uno de los integrantes del equipo de trabajo, que, sin su apoyo inestimable e incondicional, no habrían existido los valores ni el profesionalismo que hizo capaz la consumación de esta etapa.

Las instituciones están por encima de cualquier persona, por lo que agradecemos a la Facultad de Ingeniería y a la Universidad Nacional Autónoma de México, quedando con la encomienda de mantener y engrandecer estas.

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto UNAM-DGAPA-PAPIME PE102915 DISEÑO PARA ENSAMBLE Y MANUFACTURA.

Agradecemos por la impresión de ensambles didácticos a UNAM-DGAPA-PAPIME PE104016 en la realización del proyecto "Desarrollo de material didáctico mediante manufactura aditiva, para facilitar el proceso de enseñanza en las asignaturas de ciencia de materiales y procesos de manufactura del nuevo plan de estudios"

Prólogo.

Dentro de la ingeniería concurrente se encuentra el diseño para ensamble DFA (design for assembly) por sus siglas en inglés, una herramienta ampliamente usada para mejorar la calidad de ensamble y manufactura en un producto, lo cual conlleva a varias ventajas que se manifiestan en una mejora en la calidad final del producto, menor tiempo y costo de fabricación, aumento en la flexibilidad de la línea de producción, mayor rentabilidad del producto, y aumento en la satisfacción del cliente, entre otras. El diseño para ensamble es una herramienta que se emplea en las primeras etapas del ciclo de vida de un producto, es decir, que esta técnica afecta la etapa de diseño, ingeniería de detalle y los procesos de fabricación del producto, lo cual hace que requiera de la participación no solo de los encargados del diseño de un producto, sino también de los encargados de manufacturarlo.

El material aquí presentado es una guía de apoyo para la enseñanza del diseño para ensamble, siguiendo fielmente la convicción de los miembros del equipo de trabajo, convergente en que no existe una metodología establecida y universal para el diseño de un producto, sin embargo, reconocemos que existen modelos y metodologías, que ayudan al diseñador a proporcionarle herramientas para su camino circundante del diseño. El alumno de los cursos de diseño debe tener siempre en cuenta que esta no es una guía con pasos secuenciales y establecidos, más bien se trata de material de apoyo, con la finalidad de adaptarse a un procedimiento de diseño propio, que reseña y constata un conjunto de técnicas correctamente aplicables según el estado actual de la técnica del diseño para ensamble.

En el primer capítulo de este trabajo, se presenta una introducción al diseño para ensamble, así como sus beneficios al utilizarlo en el desarrollo de productos. El segundo capítulo presenta conceptos y definiciones acerca de las herramientas de material didáctico que se utilizaron para canalizar la información. En el tercer capítulo se aborda el método Boothroyd – Dewhurst, en qué consiste, cómo aplicarlo a ensambles manuales, y diversos ejemplos donde se aplicó. En el cuarto capítulo se mencionan algunos ejemplos en la industria donde se aplicó esta metodología, dando a conocer ejemplos del procedimiento para aplicarlo en la industria como una estrategia de ingeniería concurrente. Con la finalidad de conocer el desarrollo en el campo del diseño para ensamble se ha realizado una prospección del estado del arte en el quinto capítulo, en la cual se muestran algunos de los avances en este campo, particularmente de innovaciones para mejorar los resultados obtenidos por el método Boothroyd – Dewhurst, y aplicaciones dentro de este a productos con el fin de mejorar la funcionalidad del producto mediante una simplificación del mismo. El sexto capítulo corresponde al caso de estudio, donde se analiza el ensamble de una chapa de bola, se ubican los componentes y operaciones que requieren un rediseño, y se proponen soluciones para hacer más sencillo el ensamble. En los anexos I, II y III se encuentra la documentación del material didáctico, en el anexo I se encontrará la guía de mejores prácticas del diseño para ensamble, en el anexo II se puede encontrar el catálogo de piezas didácticas que ejemplifican problemas típicos de ensamble, y el anexo III donde se encuentra el manual de prácticas de DFA.

Objetivo.

El objetivo del material aquí presentado es proporcionar una guía de apoyo para la enseñanza del diseño para ensamble.

En el desarrollo técnico, científico y tecnológico, es indispensable la etapa de investigación y captación del estado del arte. De la indagación y la observación parte el desarrollo y la innovación. El material didáctico, tiene su razón de ser en esta faceta, pues tiene en ésta su sustento y su objetivo, el cual es ofrecer herramientas prácticas, y sencillas a quienes se interesen en el tema, sirviendo así, como punto de partida para el desarrollo y enfoque de subtemas más particulares que se deducen del tema principal, o bien para desarrollar ideas más generales que se inducen del mismo. Recíprocamente, la realización de un material didáctico requiere necesariamente de un proceso de investigación, para así poder ofrecer herramientas sólidas y actualizadas del tema. Por lo tanto, en la elaboración de material didáctico es necesaria la investigación, así como reportar y hacer una síntesis de la información recopilada.

El material didáctico requiere manipular información, para desarrollar con ella material tangible y asimilable, de tal suerte que facilite la enseñanza y el aprendizaje del tema, ya sea de forma representativa, explícita y/o experimental.

Tomando las características descritas como necesarias para el desarrollo del material didáctico, se realizaron en este trabajo las siguientes actividades, los cuales se desglosarán más adelante en definición y en práctica.

- Guía de buenas prácticas del diseño para ensamble.
- Catálogo de ensamblajes didácticos en impresión 3D.
- Prácticas académicas que ejemplifican el uso del DFA.

Al revisar y analizar el material que aquí se presenta, así como la realización de las prácticas académicas, se espera que el alumno del curso de diseño para ensamble adquiera con claridad las siguientes ideas: Qué es el DFA, para qué sirve, cómo se aplica, aprender al menos un método de análisis del diseño para ensamble, identificar los casos donde conviene un rediseño para facilitar el ensamble, conocer las principales directrices, casos de estudio y reglas del DFA, observar y experimentar físicamente las ventajas del uso del DFA y obtener un criterio de diseño utilizando estas herramientas.

Es importante aclarar, que es recomendable que el alumno que se adentre en este material, con el fin de que este obtenga un entendimiento claro de los temas y las prácticas, tenga nociones básicas de ciencias básicas de la ingeniería, de desarrollo de un producto, conocimientos intermedios de CAD, y haber cursado al menos un curso o asignatura de diseño. En este trabajo, se introduce al alumno al análisis sobre el ensamble manual, presentando todos los lineamientos para este tipo de ensamble, y se da una introducción a las reglas más generales para ensamblajes automatizados y robotizados, donde se requieren procesos de alimentación y orientación muy estrictos, para asegurar totalmente la correcta manipulación e inserción.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. DFMA	1
1.2. ¿Qué ventajas tiene el uso del DFA?.....	3
1.3. ¿Cuál es el campo de aplicación del DFA?	4
2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS.....	6
2.1. Guía de mejores prácticas	6
2.2. Material didáctico.	7
2.3. Piezas didácticas para la enseñanza del DFA.	8
2.4. Prácticas académicas.	8
3. MÉTODO BOOTHROYD - DEWHURST.....	10
3.1. Efecto de la simetría de la pieza en el tiempo de manipulación.	11
3.2. Efecto del espesor y tamaño de las piezas en el tiempo de manipulación.	12
3.3. Efecto de la simetría en piezas propensas a atascarse o atorarse.....	13
3.4. Efecto del diseño de chaflanes en la inserción.	13
3.5. Efecto de la limitación de la visión y el acceso restringido en la inserción de sujetadores con cuerda.....	14
3.6. Uso de tablas de manipulación e inserción desarrolladas por Boothroyd.....	16
3.7. ¿Cómo aplicar el método Boothroyd - Dewhurst?	19
3.8. Aplicación del método de Boothroyd – Dewhurst a una clavija.....	22
3.9. Análisis de otras clavijas con el método Boothroyd-Dewhurst.....	28
4. DFA EN LA INDUSTRIA.....	33
5. ESTADO DEL ARTE.	37
5.1. Aplicaciones de la metodología Boothroyd – Dewhurst.....	37
5.1.1. DFA aplicado a equipos de calibración.....	37
5.1.2. Aplicación del método de DFA en el rediseño de una bomba axial acuícola.	40
5.2. Avances acerca del DFA; mejoras de los métodos existentes.	41
5.2.1. Desarrollo de un sistema artificial para optimizar DFA	42
5.2.2. Diseño para ensamble de piezas grandes y pesadas.	43
5.2.3. Diseño de una nueva herramienta de DFA y DFD basada en factores de puntuación.....	46
5.2.4. Diseño para ensamble y desensamble para remanufactura.....	49
5.2.5. Otras contribuciones.	52

5.3. Argumento.....	52
6. CASO DE ESTUDIO.....	54
6.1. Chapa de bola.....	54
6.2. Propuestas de rediseño para la chapa de bola.....	67
7. CONCLUSIONES.....	70
8. REFERENCIAS.....	72
9. Anexo I. Guía de mejores prácticas sobre el diseño para ensamble.....	74
10. Anexo II. Catálogo de piezas didácticas para la enseñanza del diseño para ensamble.....	74
11. Anexo III. Manual de prácticas sobre diseño para ensamble.....	74

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. DFMA

El Diseño para la Manufactura y Ensamble (DFMA) por sus siglas en inglés, consiste en un conjunto de técnicas y metodologías para la mejora del diseño (o rediseño) de un producto que, respetando sus funciones esenciales, tiene por objetivo mejorar los aspectos de manufactura, montaje y costos. Se puede definir "DFA" como el proceso para mejorar el diseño del producto con la finalidad de que sea fácil de ensamblar, aumentando la calidad y reduciendo los costos de ensamble. A su vez esta herramienta permite a los diseñadores e ingenieros, evaluar sistemáticamente los componentes del producto de manera que resulten fáciles de ensamblar y fabricar.

El DFA, por sus siglas en inglés, se engloba dentro de la Ingeniería Concurrente (también denominada en la literatura especializada ingeniería simultánea, diseño total o diseño integrado). [Carbonell, D., 2015]. La ingeniería concurrente es la integración de equipos de trabajo y herramientas de diseño, de diferentes etapas del ciclo de vida de un producto, con la finalidad de que funcionen en sincronía con una activa realimentación en cada etapa. También puede considerarse un enfoque basado en la ingeniería inversa, dado que las metodologías analizan sistemáticamente las tecnologías terminadas, para generar innovaciones y mejoras.

El DFA es una metodología y técnica ampliamente usada, que permite analizar en forma sistemática la facilidad de ensamble y subensamble de cualquier producto, a partir de este análisis se proponen modificaciones al diseño existente con el objetivo de reducir el número de piezas, disminuir tiempo y herramientas de ensamble, con lo cual se reduce el tiempo de desarrollo de un producto enfocándose en la funcionabilidad, lo cual conlleva como resultado una mejora en la calidad del mismo y una minimización de costos.

El enfoque del DFA se puede generalizar de la siguiente forma: a partir del análisis de la geometría de las piezas individuales, y de la geometría y funcionalidad de un producto, así como de la naturaleza de los procesos de montaje del ensamble de este, se han generado lineamientos y reglas generales de diseño, para hacer más sencillo el ensamble de piezas y subensambles. Estos lineamientos se basan en la facilidad tanto en esfuerzo como en tiempo (ambos reflejados en costos) de dos operaciones básicamente: la inserción y la manipulación tanto individual como a granel. Con base en estas dos operaciones, los lineamientos generados y la geometría de las partes, se han generado factores estandarizados que califican la facilidad de realizar la manipulación y la inserción de cada operación de un ensamble, y así se genera un método sistemático, que analiza un ensamble real, y mediante estos factores, nos ayuda a calificar lo bueno y eficiente que es este, identificar aquellas operaciones y piezas que son innecesarias o requieren

ser cambiadas o rediseñadas, reduciendo la complejidad de un ensamble, consolidándolo en diseños elegantes, funcionales y eficaces.

Las decisiones tomadas en la fase de diseño comprometen el 70% del costo del producto. Si se desea reducir los costos de un producto, una posible línea de actuación sería a través del DFMA mediante una optimización del diseño del producto [Fernández J. y colaboradores, --]. El diseño para ensamble se emplea comúnmente en esta etapa, para lograr que se tomen decisiones adecuadas relativas a los procesos de fabricación, geometrías, tolerancias, agrupamientos de piezas y medios de ensamble.

Diversos autores coinciden en que el costo de ensamble de un producto se ubica entre un 20 y 50 % y que las operaciones de ensamble ocupan un poco más del 50% del tiempo empleado en el desarrollo de un producto [Contero and Villa, 2005, citado por Villanueva P. 2007]. Según estudios realizados en Estados Unidos, el ensamble abarca entre 40% y el 60% del tiempo total de producción. Es por ello, que una reducción del tiempo de ensamble generará un incremento de productividad [Iturbe I., 2010]. La habilidad de estimar los costos de ensamble y fabricación de partes en las etapas más tempranas del desarrollo del producto es la esencia del DFMA [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 6].

El diseño para ensamble y manufactura en conjunto tienen una serie de directrices propuestas para aplicar en la mejora de diseño de productos, que, entre otras cosas, ayudan a disminuir diversos problemas de montaje. Al aplicar una metodología sobre DFA o DFMA, como resultado de este análisis se obtienen las áreas de oportunidad para mejorar el diseño del producto, posteriormente se generan propuestas de rediseño y para generar estas propuestas existen las diversas directrices y lineamientos sobre el DFA, las cuales se mencionan a continuación:

- Minimizar el número de piezas del ensamble.
- Estandarización de componentes.
- Diseñar piezas para que sean multifuncionales.
- Diseño de piezas auto-alineantes y auto-localizantes.
- Asegurar la facilidad de manipulación e inserción mediante modificación de la geometría de las partes (simetría-asimetría).
- Diseño de piezas que no se puedan instalar incorrectamente.
- Asegurar unión de piezas adecuadamente y no limitar visión de operario.
- Rediseño de piezas susceptibles de atascarse.
- Asegurar facilidad de sujeción.
- Diseño sobre la pieza base (ensamble piramidal).
- Diseño de ensambles unidireccionales.

1.2. ¿Qué ventajas tiene el uso del DFA?

La aplicación de las técnicas y métodos del DFA tiene muchas ventajas comprobadas en la industria, entre las cuales destaca la reducción importante de costos, identificación de implicaciones de diseño y fabricación en etapas tempranas del diseño del producto y proporcionar una solución eficiente. Se trata de un proceso iterativo en el que se va depurando el diseño, con las características de la ingeniería concurrente, complementa el proceso de diseño clásico, pero enfocado a la simplificación del diseño según directrices DFA y haciendo uso de las herramientas de soporte digital disponibles.

Los costos de producción de los productos incluyen los de la fabricación, ensamble y ensayos, los asociados a la amortización de las instalaciones, al desarrollo del proceso, a las operaciones de producción, al control de calidad y requerimientos iniciales de soporte logístico. Conocer los costos lo antes posible y con precisión permite a las empresas evaluar si pueden emprender un proyecto, o permitir al diseñador conocer la importancia de sus decisiones de diseño en las etapas de producción y en el impacto que tiene en el entorno y sociedad.

Los costos asociados al ciclo de vida de un producto van más allá de los costos que tiene la empresa de diseño y producción (fabricación y montaje). La empresa también incurre en costos de transporte, almacenamiento, desperdicios, roturas o servicios de garantía. Por otra parte, el usuario también tiene costos asociados al uso: transporte, gasto de energía, de material y de retirada o fin de vida. [Paz Bernales, H. 2016]

En la Figura 1 se muestra un impacto general que tiene el empleo del diseño para ensamble en un producto ordinario.

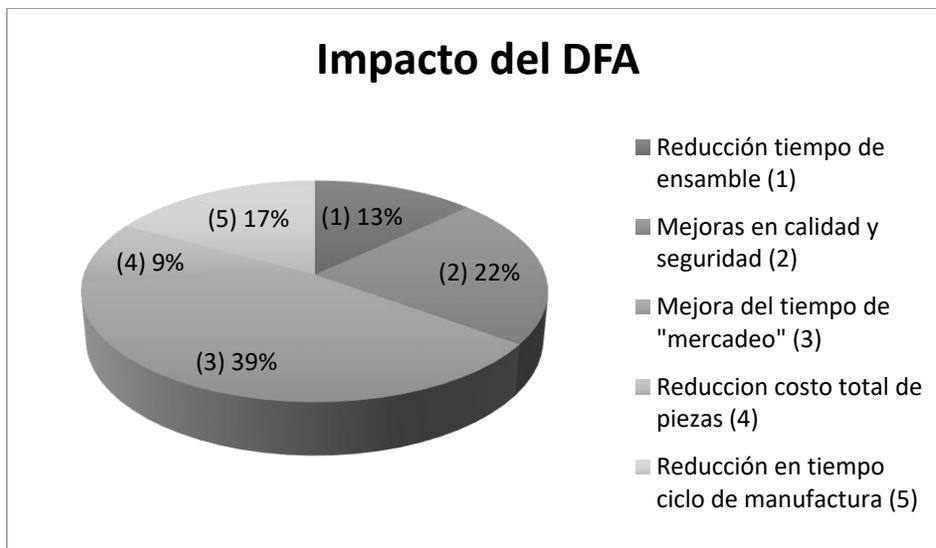


Figura 1. DFMA Importancia e impacto [Gráfico]. Fuente: [Artílez C., Mazara H., Adón D. 2015]

La implementación de las técnicas del DFMA, permite: *[Morales, L. (--)]*

- 1) Menor tiempo para llevar el producto al mercado.
- 2) Facilitar las operaciones de fabricación y montaje.
- 3) Disminuir costos de fabricación y montaje.
- 4) Disminuir las inversiones.
- 5) Disminuir costos de gestión.
- 6) Optimizar el uso de herramientas y equipos de fabricación y montaje.
- 7) Aumento en la flexibilidad de fabricación.
- 8) Menos componentes en el producto final.
- 9) Mayor calidad de productos
- 10) Mayor satisfacción de los clientes.

1.3. ¿Cuál es el campo de aplicación del DFA?

Para aplicar las técnicas del DFA, primero se deben de conocer las principales operaciones de montaje sobre las cuales tiene efecto esta herramienta, y sobre las cuales se introducen las directrices del diseño para ensamble.

Operaciones de montaje.

A continuación, se enlistan las principales operaciones de montaje que se presentan en un ensamble. *[Fernández J. y colaboradores, --]*

- a) Manipulación de piezas y componentes:
 - Movimientos de posicionamiento y de orientación.
 - Realización de la operación de prensión.
- b) Composición de piezas y de componentes:
 - Yuxtaposición de piezas
 - Inserción (eje en un alojamiento, corredera en una guía)
 - Colocación de cables y conducciones
 - Llenado de recipientes y depósitos (engrasado, líquidos, gases)
- c) Unión de piezas y de componentes:
 - Uniones desmontables (roscadas, pasadores, chavetas)
 - Ajuste por fuerza (unión elástica)
 - Uniones por deformación (remaches)
 - Uniones permanentes (soldadura, pegamentos)
- d) Operaciones de ajuste:

- Retoque de piezas (rebabas, lima, ajuste por deformación)
- Operaciones de ajuste mecánico (conos)
- Operaciones de ajuste eléctrico (potenciómetros, condensadores)

Defectos más comunes en el montaje.

Los defectos más frecuentes que afectan en las operaciones de montaje son:
[Fernández J. y colaboradores, --]

a) Defectos en las operaciones de manipulación:

- Dificultad en el reconocimiento y referenciación de piezas.
- Dimensiones o formas de difícil manipulación.
- Roturas en la manipulación y en la inserción.

b) Defectos que inciden en las operaciones de composición:

- Errores dimensionales y de forma.
- Elementos deformados (fundición, soldadura, tratamientos térmicos)
- Tolerancias excesivamente críticas.
- Falta de elementos de guía en las inserciones

c) Defectos que inciden en las operaciones de unión.

- Acceso restringido y limitación de visión.
- Limitaciones en los movimientos para la unión
- Incorrecto encaje de las piezas
- Contaminación de superficies (soldadura, encolado)

Conociendo estas áreas de oportunidad, se puede hacer una correlación directa entre los problemas típicos de ensamble, y las directrices básicas de DFA. Se puede decir que en general el DFA se puede aplicar en todas las empresas dedicadas a la manufactura y creación de productos, tales como la industria automotriz, fabricantes de componentes informáticos y electrónicos o maquinaria en general, ejemplos claros son la eliminación de sujetadores y tornillería, cables y conectores, entre otros.

El propósito de implementar el DFA en entornos industriales es promover su conocimiento para aplicarlo de una manera efectiva al diseño del ciclo de vida del producto, reduciendo el costo y la complejidad, para satisfacer, de forma efectiva, los nuevos requerimientos sociales, económicos y ambientales.

CAPÍTULO 2.

2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

2.1. Guía de mejores prácticas

[Braslavsky, C., Abdoulaye Anne, A. y Patiño, M. I., 2003 citado por Casabón, A. I. S. y colaboradores] considera que una buena práctica es una manera de actuar que ofrece unos resultados concluyentes y que en su puesta en práctica pueden mostrar una innovación respecto a lo que se hace hasta el momento. Por su parte, autores como Pablos y González [Pablos Pons, J. de y González Ramírez, T., 2007 citado por Casabón, A. I. S. y colaboradores] consideran que una buena práctica es la innovación que permite mejorar el presente y, por tanto, es o puede ser un modelo o norma en un determinado sistema.

La UNESCO, por su parte, en el marco de su programa MOST (Management of Social Transformations), analiza cuáles deben ser las características de las buenas prácticas, y determina que hay cuatro rasgos fundamentales que no se deben obviar, las buenas prácticas deben ser innovadoras, efectivas (pues demuestran un impacto positivo y tangible sobre la mejora), sostenibles (ya que pueden mantenerse en el tiempo y producir efectos duraderos) y replicables (al servir como modelo para desarrollar iniciativas y actuaciones en otros lugares).

Se entiende por buenas prácticas a aquellas recomendaciones o directrices, basadas en experiencias y criterios que se rigen por principios, objetivos, procedimientos, o pautas aconsejables que se adecuan a determinados estándares, aportan una herramienta sistemática, eficaz, sostenible e innovadora que solventa un problema o necesidad de un área en específico. Las buenas prácticas pueden hacer referencia también a una forma óptima de ejecutar un proceso o actividad.

El uso de las guías de mejores prácticas se extiende a casi cualquier situación, en las cuales se accede a conocimiento de otras personas y nos permiten aplicarlas de manera correcta, aunque es importante recordar que no todas las buenas prácticas son aplicables a todas las organizaciones por igual. Es necesario detectar cuáles son útiles y adaptarlas a cada caso.

En el presente trabajo se redacta una guía de mejores prácticas presentada en el Anexo I, fundamentado en la teoría del diseño para ensamble, principalmente basándonos en la metodología de Boothroyd - Dewhurst, el cuál es una herramienta de aprendizaje que apoya la correcta forma de aplicar el diseño de ensambles y subensambles de los diversos productos.

2.2. Material didáctico.

Se le conoce al material didáctico como aquellos instrumentos y herramientas que reúnen medios y recursos (impresos, orales, visuales) que facilitan la enseñanza y el aprendizaje. Además de exponer y presentar un tema, interactúan con quien los utiliza, con el fin de apoyar el aprendizaje de nuevos conceptos, desarrollo de habilidades y/o comprobación de elementos.

Objetivos de un material didáctico.

- ✓ Lograr un aprendizaje significativo en el alumno.
- ✓ Facilitar la adquisición de conceptos, habilidades, actitudes y destrezas.
- ✓ Despertar y retener la atención.
- ✓ Concretar e ilustrar lo que se está exponiendo verbalmente.
- ✓ Motivar el interés en el tema.

Las ventajas que aportan los materiales didácticos los hacen instrumentos indispensables en la formación académica: Proporcionan información y guían el aprendizaje, es decir, aportan una base concreta para el pensamiento conceptual y contribuye en el aumento de significados; desarrollan la continuidad de pensamiento, hacen que el aprendizaje sea más duradero y brindan una experiencia real que estimula, la actividad de los alumnos. [*ECURED. (--)*]

- Clasificación. [*ECURED. (--)*]
 - ✓ Auditivos: radios, discos, cassettes, CDs, Mp3, etcétera.
 - ✓ Visuales: fotografías, transparencias, Imágenes electrónicas, acetatos, carteles, diagramas, gráficas, mapas, ilustraciones.
 - ✓ Los materiales impresos: fotocopias, libros, revistas, etcétera.
 - ✓ Audiovisuales: Videos, películas, multimedia, Internet y otros más.
 - ✓ Materiales tridimensionales: objetos en general. Diversidad de materiales que, como ha de entenderse, nos permiten adecuarlos a nuestras necesidades y coadyuvar los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Para que un material didáctico resulte eficaz en el logro de aprendizajes, no basta con que se trate de un "buen material", ni tampoco es necesario que sea un material de última tecnología. Cuando seleccionamos recursos educativos para utilizar en nuestra labor docente, además de su calidad objetiva hemos de considerar en qué medida sus características específicas (contenidos, actividades, tutorización...) están en sincronía con determinados aspectos curriculares de nuestro contexto educativo: [*ECURED. (--)*]

- ✓ Los objetivos educativos que pretendemos lograr. Debemos considerar en qué medida el material nos puede ayudar a ello.
- ✓ Las características de los estudiantes que los utilizarán: capacidades, estilos cognitivos, intereses, conocimientos previos, experiencia y habilidades requeridas para el uso de estos materiales etc.

Todo material didáctico requiere que sus usuarios tengan unos determinados prerrequisitos.

2.3. Piezas didácticas para la enseñanza del DFA.

Las metodologías del diseño para ensamble concluyen en reglas o lineamientos generales que se recomienda aplicar al diseño de productos, mediante los cuales se ha comprobado que se disminuyen notablemente los tiempos y costos de ensamble. Estos lineamientos, aunque algunas veces resultan contradictorios entre sí, fueron generados a partir de una síntesis de las metodologías, por lo que resultan ser ilustrativos y fácilmente entendibles, ayudan ampliamente al utilizarlos de forma pragmática, ya sea en la docencia o en la industria, puesto que no es necesario ser especialista en el diseño para ensamble y manufactura, o dominar el uso de alguna de las metodologías, para poder identificar e interpretar estas directrices. Estas directrices, al ser fácilmente asimilables, pueden ser utilizadas de manera introductoria en un curso de diseño para ensamble, una forma de reproducirlas es con la realización de ensambles sustentados en estos lineamientos, con los cuales se pretende mostrar que, con su asimilación, se llega claramente a una mejora en la simplificación del ensamble.

El catálogo de piezas didácticas que se incluye en el Anexo II, es parte del material didáctico de este trabajo, el cual consiste en ensambles, cada uno conteniendo entre 2 a 5 piezas, todas ligeras y de dimensiones pequeñas para facilitar su manipulación, cada ensamble está hecho con la finalidad de ejemplificar la aplicación de alguna de las directrices del diseño para ensamble, por lo que para asegurar esta tarea, cada ensamble contiene su complementario, el cual ejemplifica el rediseño aplicando la directriz, es decir, se cuenta con un ensamble que ilustre claramente alguna dificultad típica de ensamble, y se cuenta con su similar en el que se observa claramente la aplicación de la regla, y por consiguiente la facilidad y simplificación en el ensamble. Para apoyar el entendimiento, cada ensamble cuenta con una breve descripción donde se describe lo que se intenta mostrar con cada ensamble y su complementario.

Es importante resaltar que el objetivo de estos ensambles didácticos es, ejemplificar de forma directa, las directrices del diseño para ensamble, con la expectativa de que el alumno experimente las sensaciones de dificultad y facilidad de ensamble, y de esta forma plasmar de forma pragmática las directrices de ensamble.

2.4. Prácticas académicas.

Las prácticas académicas son herramientas que proporcionan al alumno aprendizaje de un tema previamente estudiado o investigado, en el cual se tratan de reforzar los conceptos vistos en clase de una manera más didáctica, asimismo también sirve para la investigación de algún proyecto, para comprobar hipótesis, o para comprobar el nivel del entendimiento de lo aprendido, también son útiles como material evaluativo.

Usando algún tipo de material como apoyo en la mayoría de las ocasiones, hay muchos tipos de prácticas académicas, estas dependen del enfoque o el área de estudio, dependiendo del objetivo que esta tenga se sigue cierta metodología para desarrollarla. Para que los resultados de esta sean los deseados brindando a los alumnos nuevos conocimientos que posteriormente pueden aplicarlos en la vida laboral o cotidiana.

Nuestros alcances en la realización de las prácticas académicas como material didáctico para el diseño para ensamble son a nivel de comprensión, que los alumnos por medio de estas actividades puedan identificar claramente los conceptos del diseño para ensamble, puedan reconocer fácilmente los problemas típicos de ensamble, y proponer soluciones inmediatas a ellos, así como también que puedan interpretar una metodología de ensamble, y llegar al nivel aplicativo.

CAPÍTULO 3.

3. MÉTODO BOOTHROYD - DEWHURST.

En esta sección se presenta una breve descripción de la metodología de Boothroyd – Dewhurst sobre el diseño para ensamble, que es el método que se utiliza en este trabajo, y sobre el cual se realizó gran parte del material didáctico, a pesar de existir otras metodologías, que en este trabajo se mencionan a manera de cita solamente. La metodología de Boothroyd-Dewhurst consiste en hacer un análisis de tiempos y costos de ensamble. Se trata de una metodología de ingeniería inversa, es decir, de un ensamble ya realizado, se hace un análisis para obtener información acerca del mismo, y de ahí proponer el rediseño.

El método consiste en evidenciar las piezas que sean candidatas para eliminarse de un ensamble, además de calcular tiempos y costos relacionados a piezas y operaciones individuales del ensamble, y de esta manera, obtener información acerca de aquellas que consumen mucho tiempo y costo. Otro parámetro que se obtiene a partir de este método es el cálculo de una eficiencia de diseño llamada “eficiencia de ensamble”, la cual indica la pauta entre la necesidad real o no de un rediseño. Según las bases del diseño para ensamble, existen 2 operaciones principales que el método considera para un ensamble, que son la manipulación de una pieza, y su inserción en el ensamble o en otra pieza.

Los dos factores que más influyen en el costo y tiempo de un ensamble o subensamble son:

- El número de componentes en un producto.
- La facilidad de manejo, inserción y sujeción de las piezas.

La cifra para el número mínimo teórico de piezas representa una situación ideal donde las partes separadas se combinan en una sola pieza, una pieza no es susceptible de eliminarse o es esencial si cumple con alguno de los siguientes criterios: [*Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 91*].

- Durante el funcionamiento normal del producto, el componente se desplaza (movimiento relativo) en relación con otros componentes ya ensamblados.
- La pieza debe ser de un material diferente, o estar aislada de los demás componentes ya ensamblados (para aislamiento, aislamiento eléctrico, amortiguación de vibraciones, etc.).
- La pieza debe estar separada de todas las demás piezas ensambladas, debido a que de otra forma el ensamble o desensamble no podría realizarse.

Cabe señalar que estos criterios deben aplicarse sin tener en cuenta los requisitos generales de diseño.

Los parámetros que el método toma en cuenta, para dar peso específico a las piezas y operaciones respecto al tiempo que les corresponde, son esencialmente características

geométricas. A continuación, se describen de manera breve las características que influyen en los tiempos estándares del método, las cuales se encuentran implícitas en las tablas de inserción y manipulación.

3.1. Efecto de la simetría de la pieza en el tiempo de manipulación.

Una de las principales características de diseño geométrico que afecta al tiempo de ensamble para tomar y orientar una pieza es su simetría. Las operaciones de montaje implican siempre al menos dos componentes: la parte que se va a insertar y la parte o conjunto (receptáculo) en el que se inserta la pieza.

La simetría de las piezas se define por los grados de giro que se requieren para que la pieza ya orientada vuelva a alcanzar la posición deseada para la inserción.

Por lo tanto, es necesario definir dos tipos de simetría para una pieza. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 91].

1. Simetría Alfa: se determina mediante el valor del ángulo de desplazamiento, al girar una pieza alrededor de un eje perpendicular al eje de inserción, para repetir su correcta orientación de inserción.

2. Simetría Beta: se determina mediante el valor del ángulo de desplazamiento, al girar una pieza alrededor del eje de inserción, para repetir su correcta orientación de inserción.

Por ejemplo, un cilindro cuadrado recto, que se va a insertar en un agujero cuadrado, considerando la rotación sobre el eje perpendicular al de inserción, el prisma repite su orientación cada 180° , se puede denominar 180° como el valor de la simetría alfa.

Considerando la rotación respecto al eje de inserción, la orientación alrededor de este eje se repetiría cada 90° , esto implica una simetría beta de 90° .

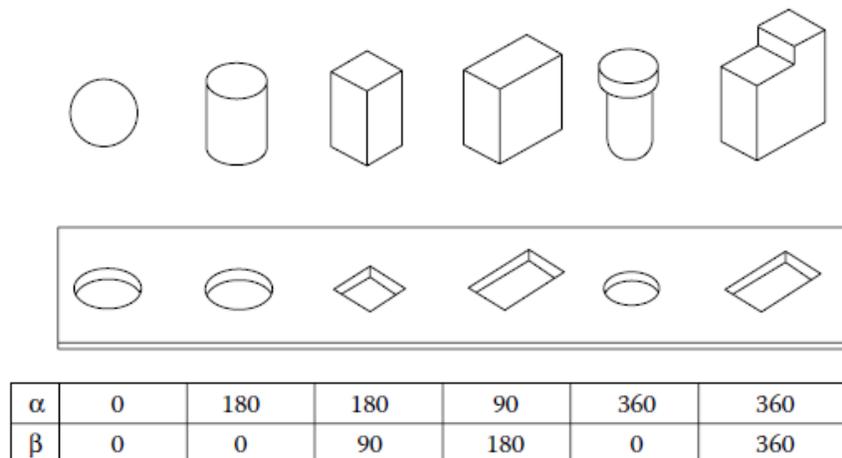


Figura 2. Ejemplos de valores para los ángulos Alfa y Beta. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 85].

3.2. Efecto del espesor y tamaño de las piezas en el tiempo de manipulación.

Es evidente la relación del tamaño de la pieza, con las dificultades que se presentan al tomarlas y manipularlas, ya que, si son muy pequeñas, es difícil para un operario o un manipulador tomarlas y orientarlas de la manera correcta, y en caso de ser muy grandes, por lo general se requieren ayudas para su sujeción. El espesor en piezas cilíndricas es definido como su radio, y en piezas no cilíndricas, es la más pequeña de todas sus dimensiones, considerando una superficie plana que la contenga. El tamaño es la dimensión más grande de una pieza contenida dentro de un prisma. A continuación, se muestran figuras que ejemplifican la determinación del espesor y el tamaño, así como su efecto en la penalización del tiempo de manipulación. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 91]

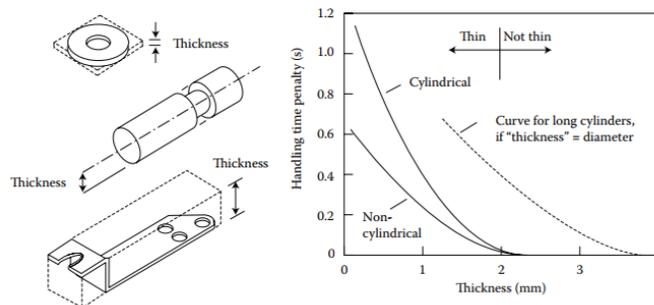


Figura 3. Ejemplo de determinación de espesor en piezas cilíndricas y no cilíndricas, así como el efecto en el tiempo de manipulación. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 88].

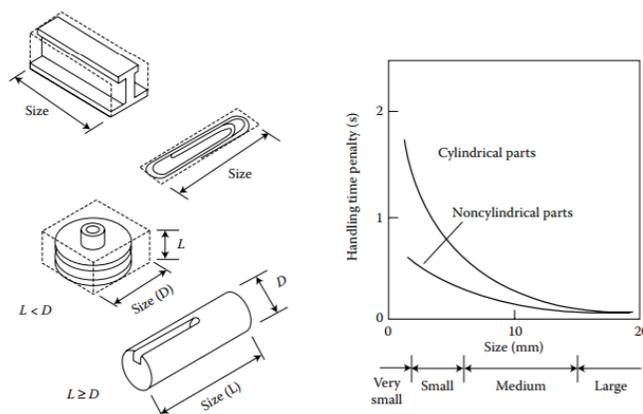


Figura 4. Ejemplo de determinación de tamaño en piezas cilíndricas y no cilíndricas, así como el efecto en el tiempo de manipulación. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 89].

3.3. Efecto de la simetría en piezas propensas a atascarse o atorarse.

Una pieza requiere manipulación con pinzas cuando:

- El espesor es muy pequeño para ser tomada con los dedos.
- La visión se encuentra obstruida y el posicionamiento es complicado debido a su pequeño tamaño
- No es posible tocarla con las manos por altas temperaturas u otros factores que puedan lastimar.
- Los dedos no alcanzan la ubicación deseada.

La penalización del tiempo por piezas que se atascan se considera debido a que generalmente se requieren 2 manos para separar las piezas atoradas, y en general, se penaliza más la manipulación con pinzas que con manos. A continuación, se muestra en la Figura 5, una gráfica del incremento de la penalización del tiempo de manipulación con relación a los ángulos Alfa y Beta, de piezas que se atorán. Las líneas punteadas representan manipulación con manos, y la línea continua representa la manipulación con ayuda de pinzas. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 91]

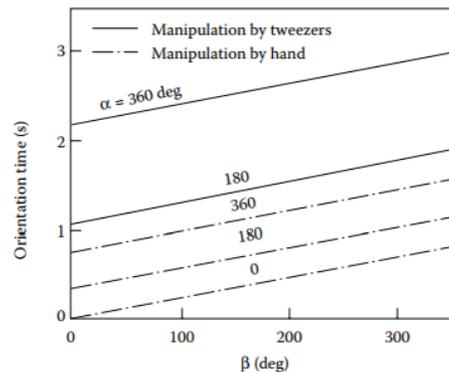


Figura 5. Efecto de los ángulos de simetría en el tiempo de penalización de la orientación, en piezas que se atorán o atascan. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 91]

3.4. Efecto del diseño de chaflanes en la inserción.

Dos operaciones muy comunes en el ensamble es la inserción de una pieza cilíndrica, el cual puede tratarse de un tronillo, pija, eje, flecha, espiga, en un hueco. A continuación, se muestra en (3.1) el diseño típico de chaflanes cónicos, donde se obtiene la relación adimensional diametral entre el eje y el hueco. Donde D es el diámetro del agujero, y d es el diámetro de la pieza cilíndrica. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 91]

$$\frac{(D-d)}{D} \quad (3.1)$$

A continuación, se muestra en la Figura 6 el efecto de distintos tipos de diseños de chaflanes, en el tiempo de su inserción, de acuerdo con el tipo de chaflán, y a la relación diametral del hueco con la pieza cilíndrica a insertar, donde el eje de las abscisas es representado por esta relación adimensional, y el eje de las ordenadas representa el tiempo de inserción.

Se pueden hacer las siguientes observaciones a partir del gráfico mostrado en la Figura 6.

- I. Para una relación diametral dada, la diferencia en tiempos de inserción es constante para diferentes diseños de chaflanes.
- II. Es más efectivo el chaflán en la pieza cilíndrica que en el hueco
- III. Los chaflanes curvos u ovalados son los más efectivos para reducir el tiempo de inserción, sin embargo, su manufactura es más costosa, se deben de utilizar cuando se justifique el costo de manufactura con el de ensamble.

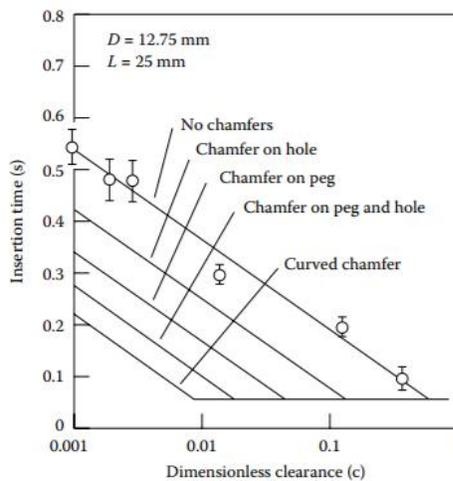


Figura 6. Efecto de la relación diametral en el tiempo de penalización de la inserción. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 93]

3.5. Efecto de la limitación de la visión y el acceso restringido en la inserción de sujetadores con cuerda.

En la Figura 7 se muestra dos gráficas (a) muestra el tiempo de inserción respecto a una relación de accesibilidad, cuando se tiene una restricción en la visión, mientras que en (b) se muestra la relación de las mismas variables sin limitación en la visión.

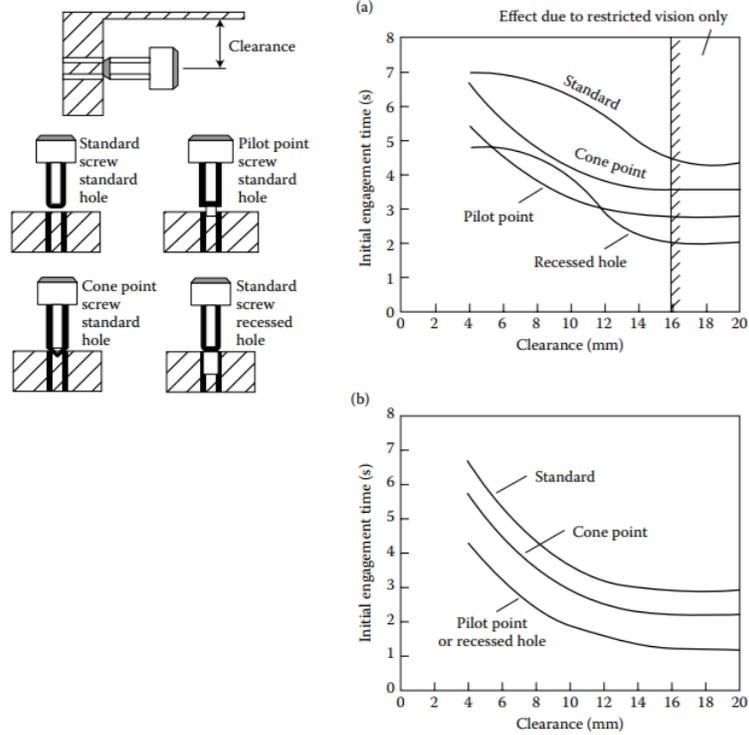


Figura 7. Efecto en el tiempo de inserción, según la accesibilidad y el tipo de sujetador. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 98]

En la Figura 8 se muestra el efecto del número de hilos en el tiempo de inserción, de acuerdo con el tipo de cabezal del tornillo; cabezal ranurado, cabezal Phillips, y cabezal Allen. Se puede observar que el sujetador que consume menos tiempo es el de cabezal ranurado con herramienta energizada, por el contrario, este mismo pero insertados con herramientas manuales, son los que consumen más tiempo.

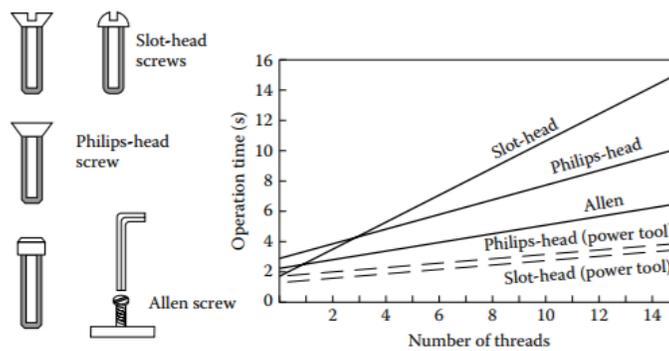


Figura 8. Efecto en el tiempo de operación según el tipo y número de hilos del sujetador. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, p. 99]

3.6. Uso de tablas de manipulación e inserción desarrolladas por Boothroyd.

La parte del sistema de clasificación para los procesos de inserción y sujeción manual se refiere a la interacción entre las partes coincidentes a medida que se ensamblan. La inserción y fijación manual consiste en una variedad finita de tareas básicas de montaje (clavija en agujero, tornillo, soldadura, remache, ajuste a presión, etc.) que son comunes a la mayoría de los productos manufacturados.

Los números de clasificación para el uso de las tablas desarrolladas por Boothroyd – Dewhurst, consisten en dos dígitos; el primer dígito (identificado a partir del uso de simetrías Alfa y Beta), identifica la fila y el segundo dígito identifica la columna de la tabla. Para cada número de código de dos dígitos, se da un tiempo medio. Por lo tanto, tenemos un conjunto de normas de tiempo que se pueden utilizar para estimar los tiempos de ensamble manual. Estos patrones de tiempo se obtuvieron a partir de numerosos experimentos.

Notas acerca de la tabla de estimación de tiempos para la manipulación manual.

- Las piezas pueden presentar dificultades de manipulación si se anidan o enredan, se pegan por causa de fuerza magnética o recubrimiento de grasa, etc., son resbaladizas o requieren un manejo cuidadoso.
- Las partes que son resbaladizas son las que se deslizan fácilmente de los dedos o debido a su forma y / o estado superficial.
- Las piezas que requieren un manejo cuidadoso son aquellas que son frágiles o delicadas, tienen esquinas o bordes afilados, o presentan otros peligros al operador.
- Las piezas son difíciles de orientar en su posición correcta.

Notas para la tabla de estimación de tiempos para la inserción manual.

- Mantener presionado significa que la pieza es inestable después de su colocación o inserción o durante las operaciones posteriores y requerirá que se apriete, realineación o retención antes de que finalmente se asegure.
- Fácil de alinear y posicionar significa que la inserción es facilitada por chaflanes bien diseñados o características similares.
- El acceso obstruido significa que el espacio disponible para la operación de montaje provoca un aumento significativo del tiempo de operación.
- La visión restringida significa que el operador tiene que basarse principalmente en la detección táctil durante el proceso de montaje.
- La resistencia encontrada durante la inserción de la pieza puede deberse a pequeñas holguras, atascos o acuñaiones, condiciones de colgado o inserción contra una gran fuerza

		LAS PIEZAS SON FÁCILES DE TOMAR Y MANIPULAR					LAS PIEZAS TIENEN DIFICULTADES DE MANIPULACIÓN							
		ESPESOR > 2mm		ESPESOR ≤ 2mm			ESPESOR > 2mm		ESPESOR ≤ 2mm					
		TAMAÑO > 15 mm	6 mm ≤ TAMAÑO ≤ 15 mm	TAMAÑO > 6 mm	TAMAÑO > 6 mm	TAMAÑO ≤ 6 mm	TAMAÑO > 15 mm	6 mm ≤ TAMAÑO ≤ 15 mm	TAMAÑO < 6 mm	TAMAÑO > 6 mm	TAMAÑO ≤ 6 mm			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> UNA MANO LAS PIEZAS PUEDEN SER SUJETADAS Y MANIPULADAS CON UNA SOLA MANO SIN LA AYUDA DE HERRAMIENTAS	$(\alpha + \beta) < 360$	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98		
	$360 \leq (\alpha + \beta) < 540$	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38		
	$540 \leq (\alpha + \beta) < 720$	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7		
	$(\alpha + \beta) = 720$	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4		
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> UNA MANO CON AYUDAS PARA SUJECCIÓN LAS PIEZAS PUEDEN SER SUJETADAS Y MANIPULADAS CON UNA SOLA MANO PERO SOLO CON LA AYUDA DE HERRAMIENTAS	$\alpha \leq 180$	$0 \leq \beta \leq 180$	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7	
		$\beta = 360$	5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8	
	$\alpha = 360$	$0 \leq \beta \leq 180$	6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9	
		$\beta = 360$	7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10	
	<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> DOS MANOS PARA MANIPULACIÓN LAS PIEZAS SE ATORAN SEVERAMENTE O SE ENGANCHAN O SON FLEXIBLES PERO PUEDEN SER SUJETADAS Y LEVANTADAS CON UNA SOLA MANO (CON EL USO DE HERRAMIENTAS SI FUERA NECESARIO)	$\alpha \leq 180$	$\alpha \leq 180$	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7
			$\alpha = 360$	9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9
		$\alpha = 360$	$\alpha \leq 180$	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7
			$\alpha = 360$	9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> SE REQUIEREN DOS MANOS DEBIDO AL GRAN TAMAÑO SE REQUIEREN DOS MANOS PARA SUJETAR Y TRANSPORTAR LAS PIEZAS		LAS PIEZAS PUEDEN SER MANIPULADAS POR UNA PERSONA SIN AYUDA MECÁNICA												
		LAS PIEZAS NO SE ENGANCHAN NI SE ANIDAN NI SON FLEXIBLES												
		LAS PIEZAS PESAN MENOS DE 10 lb					LAS PIEZAS SON PESADAS (>10 lb)							
		LAS PIEZAS SON FÁCILES DE TOMAR Y MANIPULAR		LAS PIEZAS PRESENTAN OTRAS DIFICULTADES DE MANIPULACIÓN			LAS PIEZAS SON FÁCILES DE TOMAR Y MANIPULAR		LAS PIEZAS PRESENTAN OTRAS DIFICULTADES DE MANIPULACIÓN				LAS PIEZAS SE ANIDAN SEVERAMENTE O SE ENGANCHAN O SON FLEXIBLES	LAS PIEZAS NECESITAN HERRAMIENTAL ESPECIAL PARA SUJETARLAS Y MANIPULARLAS
		$\alpha \leq 180$	$\alpha = 360$	$\alpha \leq 180$	$\alpha = 360$	$\alpha \leq 180$	$\alpha = 360$	$\alpha \leq 180$	$\alpha = 360$					
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
	0	1	2	3	3	4	4	5	7	9				

Tabla 1. Tabla de tiempos de manipulación manual para el método de Boothroyd – Dewhurst. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, citado por Iturbe, 2010, p. 13]

		DESPUÉS DEL ENSAMBLE NO SE REQUIERE SUJETAR LA PIEZA PARA MANTENER SU ORIENTACIÓN Y LOCALIZACIÓN				DESPUÉS DEL ENSAMBLE SE REQUIERE SUJETAR LA PIEZA PARA MANTENER SU ORIENTACIÓN Y LOCALIZACIÓN															
		FÁCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE		DIFÍCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE		FÁCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE		DIFÍCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE													
		NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN												
		0	1	2	3	6	7	8	9												
PIEZA AÑADIDA PERO NO ASEGURADA ADICIÓN DE CUALQUIER PIEZA EN DONDE NI LA PROPIA PIEZA NI LAS DEMÁS SE ASEGURAN INMEDIATAMENTE LA PIEZA Y EL HERRAMENTAL ASOCIADO (INCLUYENDO LAS MANOS) PUEDE ALCANZAR FÁCILMENTE LA POSICIÓN DESEADA DEBIDO A UN ACCESO RESTRINGIDO O A UNA RESTRICCIÓN EN LA VISIÓN LA PIEZA Y EL HERRAMENTAL ASOCIADO (INCLUYENDO LAS MANOS) NO PUEDE ALCANZAR FÁCILMENTE LA POSICIÓN DESEADA DEBIDO A UN ACCESO RESTRINGIDO Y A UNA RESTRICCIÓN EN LA VISIÓN	0	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5												
	1	4	5	5	6	8	9	9	10												
	2	5.5	6.5	6	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5												
PIEZA ASEGURADA INMEDIATAMENTE ADICIÓN DE OTRAS PIEZAS EN DONDE LA PROPIA PIEZA Y LAS DEMÁS SE ASEGURAN INMEDIATAMENTE LA PIEZA Y EL HERRAMENTAL ASOCIADO (INCLUYENDO LAS MANOS) PUEDE ALCANZAR FÁCILMENTE LA POSICIÓN DESEADA Y EL HERRAMENTAL SE PUEDE OPERAR FÁCILMENTE DEBIDO A UN ACCESO RESTRINGIDO O A UNA RESTRICCIÓN EN LA VISIÓN LA PIEZA Y EL HERRAMENTAL ASOCIADO (INCLUYENDO LAS MANOS) NO PUEDE ALCANZAR FÁCILMENTE LA POSICIÓN DESEADA O EL HERRAMENTAL SE PUEDE OPERAR FÁCILMENTE DEBIDO A UN ACCESO RESTRINGIDO Y A UNA RESTRICCIÓN EN LA VISIÓN	3	2	5	4	5	7	8	9	6	8											
	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5										
	5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12										
	NO SE REQUIEREN OPERACIONES DE ATORNILLADO O DE DEFORMACIÓN INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA INSERCIÓN		DEFORMACIÓN PLÁSTICA INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA INSERCIÓN						ATORNILLADO INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA INSERCIÓN												
	FÁCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR SIN RESISTENCIA A LA INSERCIÓN DIFÍCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR Y/O RESISTENCIA A LA INSERCIÓN		FÁCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN		DIFÍCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN		RIVETEADO U OPERACIONES SIMILARES FÁCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN		DIFÍCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN		FÁCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR SIN RESISTENCIA TORSIONAL DIFÍCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR Y/O RESISTENCIA TORSIONAL										
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9										
OPERACIÓN SEPARADA PROCESOS DE ENSAMBLE DONDE TODAS LAS PIEZAS SÓLDAS ESTÁN EN SU LUGAR	PROCESOS DE UNIÓN MECÁNICAS (LAS PIEZAS YA ESTÁN EN SU LUGAR PERO NO FUERON SUJETADAS INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA INSERCIÓN)				PROCESOS DE UNIÓN NO MECÁNICOS (LAS PIEZAS YA ESTÁN EN SU LUGAR PERO NO FUERON SUJETADAS INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA INSERCIÓN)				PROCESOS QUE NO SON DE UNIÓN												
	NO HAY DEFORMACIÓN PLÁSTICA O ESTA MUY LOCALIZADA				PROCESOS METALÚRGICOS																
DOBLADO O PROCESOS SIMILARES		RIVETEADO O PROCESOS SIMILARES		APRIETE POR ROSCA U OTROS PROCESOS		PRESILLA DE PINZA CONEXIÓN RÁPIDA UNIÓN POR PRESIÓN		NO SE REQUIERE MATERIAL ADICIONAL (ej. soldadura por fricción, por resistencia)		SE REQUIERE MATERIAL ADICIONAL		PROCESOS QUÍMICOS (ej. unión por pegamento)		MANIPULACIÓN DE PIEZAS O SUBENSAMBLÉS (ej. orientación, ajustes, etc.)		OTROS PROCESOS (ej. inserción de líquidos, etc.)					
0		1		2		3		4		5		6		7		8		9			
9		4		7		5		3.5		7		8		12		12		9		12	

Tabla 2. Tabla de tiempos de inserción manual para el método de Boothroyd – Dewhurst. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, citado por Iturbe, 2010, p. 14]

3.7. ¿Cómo aplicar el método Boothroyd - Dewhurst?

Para aplicar el método de Boothroyd -Dewhurst a un ensamble manual, es preciso, dividir cada operación de montaje o ensamble en dos categorías, la operación de inserción y la operación de manipulación.

Antes de comenzar y aplicar la metodología de Boothroyd - Dewhurst se debe de proporcionar una ruta de ensamble del producto en cuestión; es decir se debe de conocer los pasos o instrucciones de cómo se ensambló el producto originalmente, de no conocerse, se debe crear una ruta de ensamble ideal, a como el diseñador piensa que se ensambló y es más fácil de ensamblar el producto, esto no quiere decir que si una ruta de ensamble no resulta ser la más óptima, es necesariamente incorrecta.

Se recomienda emplear un editor con hoja de cálculo, y hacer una tabla como la que se muestra en la Figura 9.

- I. El primer paso es determinar una ruta de ensamble adecuada del producto.
- II. Se recomienda hacer agrupaciones de dos o más piezas para formar subensambles cada vez más grandes hasta llegar al ensamble final.
- III. Posteriormente determinar para todas las piezas las simetrías Alfa y Beta.
- IV. Siguiendo el siguiente paso es sumar el ángulo total de simetrías ($\alpha + \beta$).
- V. Contar el número de veces que la acción se repite, por ejemplo, si en subensamble hay tres tornillos se cuenta una operación de atornillado que se repite 3 veces.
- VI. El siguiente paso es determinar si la pieza puede ser manipulada con una sola mano, una mano y ayuda para sujeción o dos manos.
- VII. Seleccionar en la tabla de manipulación manual el código correspondiente de dos dígitos, el primer dígito es correspondiente al ángulo de simetría y el siguiente dígito correspondiente al tamaño y forma de la pieza, se debe de seleccionar la operación de acuerdo con la geometría de la misma, para posteriormente determinar el tiempo estimado de manipulación de acuerdo con la tabla. Recuerde que, para determinar el tamaño y el espesor de cada pieza, se considera la dimensión más grande y más pequeña respectivamente de la misma, considerando las 3 dimensiones cartesianas del prisma de menor tamaño que contenga la pieza, sin importar si es cilíndrica o no cilíndrica.
- VIII. Para estimar el tiempo y código de inserción, se debe de seleccionar de la tabla de inserción manual, las características del subensamble entre dos piezas o más, para determinar el primer dígito, se debe de especificar si en el montaje la pieza está añadida pero no asegurada, si la pieza está asegurada inmediatamente, o cuenta como una operación separada; el segundo dígito se determina observando las características del ensamble y seleccionando la opción más adecuada, para posteriormente determinar el tiempo estimado de inserción.
- IX. Se recomienda enlistar las piezas a medida que se van ensamblando, colocando la subsecuente debajo de la anterior en la tabla, de igual forma, colocar las

operaciones separadas en el orden que van apareciendo dentro de las piezas y subensambles.

- X. Para calcular el tiempo total de operación se suman los tiempos de manipulación e inserción, multiplicados por el número de veces que se repite cada operación, de cada una de las piezas o subensambles, en adición con el tiempo de adquisición de la herramienta, si es necesario.
- XI. Número mínimo de piezas. Es una forma de identificar posibles simplificaciones en la estructura del producto. Es un paso fundamental, ya que la eficiencia de ensamble, contempla el número mínimo teórico de piezas del ensamble, que se obtiene eliminando o no tomando en cuenta aquellas que resulten ser susceptibles de eliminarse al aplicar los 3 criterios de eliminación – combinación de piezas de Boothroyd. Esto se logra de dos formas:
- ♦ ¿Cómo es el producto?
Se deben de formular los tres criterios anteriormente presentados para determinar la posible eliminación de una pieza, de no cumplir con los criterios esa pieza es candidata a ser eliminada, aunque en este momento del análisis no se dará la solución de cómo podría ser reemplazada.
 - ♦ ¿Cómo debería ser el producto?
Este método es un poco más complejo que el anterior, de igual forma se debe de plantear los criterios para la eliminación de una pieza, de no cumplir con los criterios esa pieza es candidato a ser eliminada, aunque a la par de que se aplican los criterios se puede pensar en una mejora, y se presenta una o varias soluciones basadas en los principios y directrices del DFA que permiten la eliminación inmediata de esta.
- XII. Resultados del análisis.
Una vez completado este análisis para todas las piezas, se suma el tiempo de operación de cada pieza, se suma el número total de piezas y el número total de piezas mínimas, posteriormente calculamos la eficiencia de ensamble.
El diseño para ensamble propone una forma cuantitativa para conocer la “eficiencia de ensamble” de un diseño o prototipo propuesto, este índice mide la relación entre el tiempo mínimo teórico de ensamble y una estimación del tiempo real de ensamble para el producto.

La fórmula para calcular el índice de eficiencia de facilidad de ensamble es:

$$\text{Eficiencia del diseño (manual)} = \frac{3 \times \text{número mínimo teórico de piezas}}{\text{tiempo total de ensamble manual}}$$

Figura 10. Ecuación para el cálculo de la eficiencia de ensamble. [Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. 2011, citado en Iturbe, 2010, p. 11]

Se multiplica por 3 (segundos) el número teórico de piezas, puesto que es el promedio de tiempo de un componente que no presenta dificultad ni de inserción ni de manipulación y está adaptada adecuadamente para el ensamble.

XIII. Cambios en el diseño y ahorros asociados.

Con las piezas susceptibles a eliminarse se aplican las pautas del DFA, para aportar y mejorar el diseño del producto.

El equipo de diseño debe de considerar las consecuencias técnicas y económicas de los nuevos diseños propuestos; ya que una modificación en la estructura del producto puede significar aumento de costos en la manufactura o herramental, aunque estos costos en la mayoría de ocasiones resultan menores que los que se tenían con el diseño original.

Entre las principales limitaciones del método de Boothroyd – Dewhurst, se puede mencionar la ruta de ensamble, ya que toma en cuenta que el diseñador ha seleccionado la ruta de ensamble óptima, se requiere de otro análisis independiente para determinar la ruta óptima de ensamble, se podría ahorrar un rediseño que resultaría costoso, si se cambiase de ruta de ensamble. Otra limitante importante es la ambigüedad de la aplicación de los criterios, un mismo producto analizado mediante la misma ruta de ensamble, puede diferir debido a la selección de criterios de dificultades de ensamble de cada diseñador. Estas limitaciones serán comentadas más adelante en la revisión literaria.

3.8. Aplicación del método de Boothroyd – Dewhurst a una clavija

A continuación, se presenta un ejemplo de la aplicación del método de Boothroyd – Dewhurst al ensamble manual de la clavija Volteck blindada de 2 polos y tierra.

Con el fin de ilustrar la aplicación de la metodología del DFA, en la Figura 11 se muestra el explosivo del ensamble de la clavija. El ensamble de este producto requiere operaciones de alineación, sujeción de piezas pequeñas y atornillados.

Es importante definir la ruta de ensamble que se va a seguir para el análisis, ya que el método empieza con el supuesto de que ya se ha definido la ruta de ensamble más efectiva posible. La forma correcta de encontrar la ruta de ensamble es tomar en cuenta directamente la que sigue el operario en el área de trabajo de ensamble del producto, si no es posible, como es este caso, se recomienda desensamblar el producto y buscar mediante el ensayo de varias posibilidades la mejor ruta de ensamble.

A continuación, en la Tabla 3 se muestra la ruta de ensamble que se siguió y se consideró como la más óptima, con base en esta ruta se realizó la aplicación del método. En los ejemplos siguientes usted podrá proponer la ruta de ensamble para posteriormente aplicar los criterios pertinentes al método.

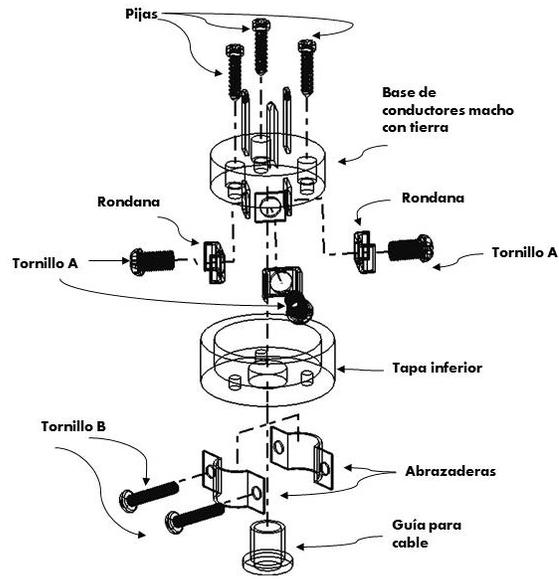


Figura 11. Ensamble de la clavija Volteck blindada de 2 polos y tierra.

Piezas y/o operación	Fotografía descriptiva	Descripción	No de veces que se hace la operación
Tornillo A y rondana		Esta operación contempla sujetar el tornillo con un desarmador e insertar la rondana en el	Estas dos operaciones se realizan 3 veces, una por cada tornillo con rondana

<p>Atornillado a la base de los conectores macho con tierra</p>		<p>Esta operación contempla el atornillado del tornillo con rondana en la pieza base de los conectores macho con tierra</p>	
<p>Subensamble 2</p>		<p>Después de realizar las primeras 2 operaciones, se tiene este subensamble, el cual una vez armado, se coloca a unos cuantos centímetros para proceder con la siguiente operación</p>	<p>Solo una vez</p>
<p>Abrazaderas y base inferior</p>		<p>Se coloca la base inferior en una posición óptima, y se insertan las abrazaderas</p>	<p>Se insertan 2 abrazaderas en la base</p>

Guía para el cable		Se inserta la guía de hule para el cable en medio de las 2 abrazaderas	Solo una vez
Tornillo B		Se insertan los tornillos para fijar las abrazaderas y apretar la guía del cable	2 tornillos
Subensamblado 3		Con estas operaciones se tiene el subensamblado 3, se procede a unir el subensamblado 2 con el 3, colocando uno encima de otro en su orientación correcta.	Solo una vez

Pija		Se atornillan las pijas que sujetan ambos subensambles, y finalizan el ensamble del producto	3 pijas
------	---	--	---------

Tabla 3. Explicación de la ruta de ensamble seleccionada para aplicar la metodología de Boothroyd-Dewhurst.

En la Figura 12 se muestra una hoja de trabajo en forma de lista tabulada, con el análisis completo de la metodología aplicada al ensamble de la clavija, donde se puede observar cada pieza y operación con su respectivo tiempo de ensamble, el número mínimo de piezas según los criterios del método, así como el cálculo de la eficiencia de ensamble.

Observe de nuevo la tabla de la hoja de trabajo de la Figura 12, prestando especial atención a aquellos tiempos de operación resaltados en color rojo. El método ayuda a hacer énfasis a aquellas operaciones que requieren atención, debido al alto tiempo que está tomando llevarlas a cabo, la eficiencia de diseño marca una pauta para determinar qué tan necesario es un rediseño en el ensamble, aquellas piezas susceptibles a eliminarse resaltadas por el análisis también deben tomarse en cuenta en la discusión del rediseño, y mediante las directrices y señalamientos del diseño para ensamble, se proponen en el equipo de trabajo propuestas de rediseño.

En la Práctica 3 del manual de prácticas de DFA, se tiene este ejemplo explicando paso a paso el llenado de la hoja de trabajo, y a cerca de los cálculos de tiempos y eficiencia de ensamble, así como un ejercicio extra para practicar la metodología.

Nombre pieza	alpha	betha	No. De pieza	No. De veces que la accion se repite	Dig Manipulaion	T manipulacion n	Dig. Insercion	T insercion	T Op	Num de piezas	Num minimo de piezas	Descripción	T				
													alpha	betha	gamma		
Subensamble 1	Tornillo A	360	0	1	3	8,3	5,6	0,0	1,5	21.3	3	3	Colocación para ensamble				
	Rondana	360	180	2	3	2,1	2,1	1,6	8	30.3	3	0	Insertar y mantener sujeto				
	Conductores macho con base	360	120	3	3	1,0	1,5	0,0	1,5	9	1	1	Colocación para ensamble				
Subensamble 2	Subensamble 1	360	0	-	3	-	0	4,8	8,5	25.5	-	-	Inserción y atornillado de tornillos				
	Tapa inferior	360	0	4	1	1,0	1,5	0,6	5,5	7	1	1	Colocación para ensamble				
	Abrazadera	360	360	5	2	3,0	1,95	0,0	1,5	6.9	2	0	Insertar				
Subensamble 3	Guía para cable	360	180	6	1	2,0	1,8	0,1	2,5	4.3	1	0	Insertar				
	Tornillo B	360	0	7	2	1,0	1,5	3,9	8	19	2	0	Inserción y atornillado de tornillos				
	Reorientación	-	-	-	1	-	0	9,8	9	9	-	-	Reorientación				
Totales										22.5	3	0	Inserción y atornillado				
Eficiencia de ensamble EF=										123.3	13	5					
Tiempo de campo =										112							
12.17%																	

Figura 12. Hoja de trabajo completa para el ensamble de la clavija

3.9. Análisis de otras clavijas con el método Boothroyd-Dewhurst.

En este apartado se presentan 4 clavijas, que se comparan en parejas, cada pareja tiene especificaciones similares entre sí, con diseños diferentes, a las cuales se les ha aplicado el análisis de la metodología de Boothroyd – Dewhurst, con el fin de determinar la eficiencia de ensamble, y ubicar aquellas operaciones que consumen un tiempo alto en el montaje del producto. Uno de los diseños es más eficiente que el otro, con la finalidad de que se pueda comparar los resultados obtenidos por el análisis, y deducir las directrices de DFA que se utilizaron para disminuir el tiempo de montaje en cada rediseño.

Se presenta un explosivo del diseño CAD de cada ensamble, así como una tabla que contiene los datos de la hoja de trabajo donde se realizó el análisis, esperando que el lector sea capaz de deducir los criterios utilizados para llenar la tabla, analizando el explosivo y la forma de montaje de cada clavija.

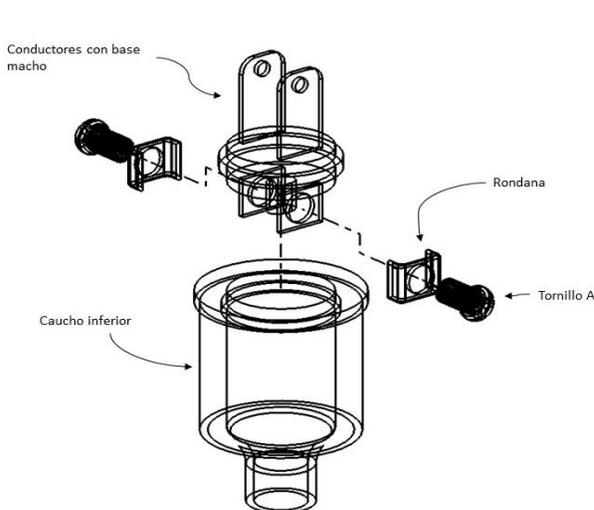


Figura 13. Clavija Codelca de caucho, 15A, 150V

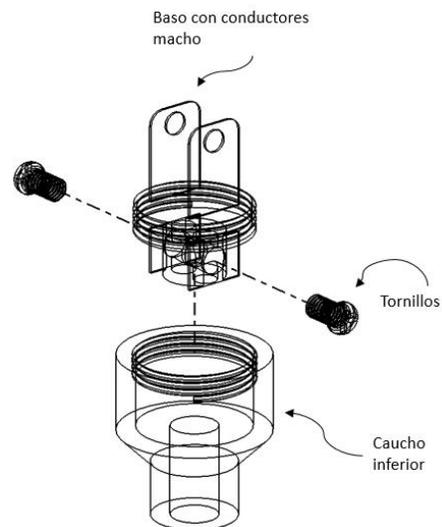


Figura 14. Diseño 2 con rosca

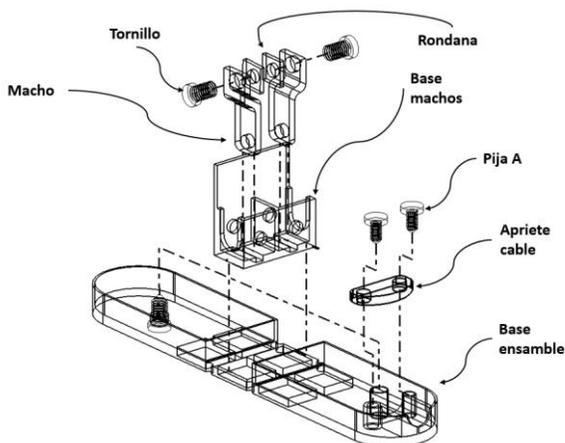


Figura 15. Diseño 3 clavija Bticino.

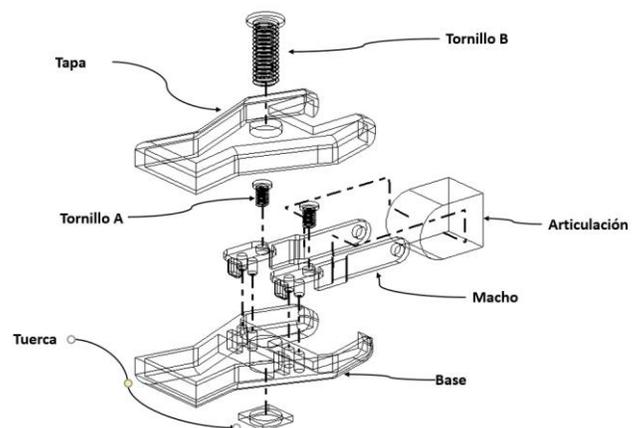


Figura 16. Diseño 4 industrias Royer

Nombre pieza	alpha	betha	No. De pieza	No. De veces Dig Manipul	T manipula	Dig. Inserción	T inserción	T Op	Num de piezas	Num mínimo de piezas	Descripción
Conductores macho con base	180	180	1	1	1,0	1,5	0,0	1,5	3	1	Colocación para ensamble
	360	180	2	2	2,1	2,1	0,0	1,5	7,2	0	Cocar y mantener sujeto
Tornillo A	360	0	3	2	1,0	1,5	4,9	10,5	24	2	Inserción con atronillado
	-	-	-	1	-	0	9,8	9	9	-	Reorientación
Cuacho inferior	360	0	4	1	1,0	1,5	0,0	1,5	3	1	Colocación para ensamble
Subensamble 1	360	0	-	1	1,0	1,5	4,4	8,5	10	-	Inserción mediante deformación plástica
Totales									56,2	6	
				21,35%					57		
				EF=							

Tabla 4. Análisis de la metodología Boothroyd – Dewhurst a Clavija Codelca de caucho, 15A, 150V

Nombre pieza	alpha	betha	No. De pieza	No. De veces Dig Manipul	T manipula	Dig. Inserción	T inserción	T Op	Num de piezas	Num mínimo de piezas	Descripción
Conductores macho con base	180	180	1	1	1,0	1,5	0,0	1,5	3	1	Colocación para ensamble
	360	180	2	2	1,1	1,8	3,9	8	19,6	2	Cocar y mantener sujeto
Tornillo A	360	0	3	1	1,0	1,5	3,8	6	7,5	1	Colocación para ensamble
Cuacho inferior	360	0	3	1	1,0	1,5	3,8	6	7,5	1	Colocación para ensamble
Totales									30,1	4	
				39,87%					26		
				EF=							

Tabla 5. Análisis de la metodología Boothroyd – Dewhurst a Clavija con rosca de caucho, 15A, 150V

En la primera comparación se tienen 2 clavijas muy parecidas, se puede observar que se eliminaron las rondanas, que eran piezas no indispensables, y se identificó la inserción del caucho inferior como una que consumía mucho tiempo, la cual requería el uso de herramienta aparte de las manos, por lo que se rediseño mediante un roscado tanto en la base de los conductores macho como en la tapa de caucho inferior, conllevando a un aumento considerable de la eficiencia de ensamble.

En la segunda comparación, se presentan 2 clavijas con una característica en común, los conductores macho pueden ser insertados de forma paralela a la orientación del cable, o perpendicular a 90° , la diferencia entre cada una radica en que el diseño Bticino es un ensamble fijo, es decir, se requiere desensamblar y ensamblar para cambiar la orientación de los conductores, en cambio, el modelo de Industrias Royer es un ensamble móvil, el cual permite movimiento relativo de sus piezas, incluyendo un grado de libertad que hace posible cambiar la orientación de los conectores en todo momento, sin necesidad de desensamblar el producto. A pesar de que esta diferencia no se toma en cuenta en la comparación por medio del análisis de la metodología, podemos considerarlo como una gran ventaja del segundo diseño respecto al primero, y, observando directamente los resultados en las hojas de trabajo, observamos que, en efecto, el segundo diseño tiene una mayor facilidad de ensamble, al contar con menos piezas, y con algunas características auto localizantes en sus piezas.

CAPÍTULO 4.

4. DFA EN LA INDUSTRIA

La metodología de Boothroyd del diseño para ensamble, ha sido utilizada por una gran cantidad de empresas, incorporándola a su línea de producción, obteniendo visibles resultados en cuanto a la disminución de costos, y aumento de la calidad del producto.

Una de las industrias que más lo implementa, es la automotriz, donde la presión para reducir costos está presente en todos los niveles del desarrollo de productos. Como ejemplo mencionaremos a Magna, un fabricante de componentes de interiores y exteriores para automóviles estableció un departamento exclusivo a la disminución de costos en todas las etapas del desarrollo del producto, reuniendo personal capacitado y con experiencia en cada una de las disciplinas requeridas. En esta empresa se implementó el uso del software DFA para ayudar a la reducción de costos, no solo en las partes metálicas, sino también en aquellas partes de interiores como lo son asientos y vestiduras que son cosidas o tejidas. Así como también, se procura la constante capacitación del equipo de diseño, acerca de las capacidades y alcances de manufactura de la fábrica, pues los diseños deben ser posibles de manufacturar y realizarse con los instrumentos con los que se cuenta en la planta. *[DFMA © Boothroyd (1), 1997]*

Usualmente los costos altos de un producto se detectan una vez que este ya fue manufacturado y ensamblado, la implementación de DFA intenta detectar estos costos en la etapa más temprana posible, lo ideal sería aplicar análisis de DFA tan pronto se cuenten con los primeros diseños conceptuales y bosquejos del producto. La pronta revisión en las etapas tempranas del diseño conceptual, podrán evidenciar la reducción de piezas y procesos mediante la combinación de partes, reduciendo el número de sujetadores, y eliminando la cantidad de componentes extras que re fuerzan innecesariamente las tensiones de ensamble. *[DFMA © Boothroyd (1), 1997]*

La eliminación de componentes también ha sido fundamental en el decremento de costos de Magna, sobre todo aquellas que son muy pequeñas, y presentan grandes dificultades de manipulación, por lo que se recomendó soldar o incorporar esas pequeñas partes a aquellas que son la base del ensamble o donde serán insertadas. Un ejemplo claro es el de los asientos replegables, donde se soldaban piezas separadas a los soportes, las cuales servían como guías para permitir el movimiento de otras piezas, sin embargo, esto puede llevarse a acabo con el ranurado de las guías sobre los mismos soportes, eliminando componentes y operaciones. Otro ejemplo claro son las piezas metálicas de la estructura de los asientos de los automóviles, que están cubiertas por tela, por muchos años los clientes le requerían a la empresa que las piezas fueran cubiertas de pintura para evitar la corrosión, sin embargo, la empresa detectó que, al ser piezas que se almacenan durante un corto tiempo antes de ser ensambladas, y una vez ensambladas, están cubiertas y no son expuestas a condiciones atmosféricas, no requieren ser pintadas, lo que ahorra una gran cantidad de costos *[DFMA © Boothroyd (1), 1997]*

Magna realizó un proyecto para un asiento de una pick up extendida en el cual se involucraron equipos de trabajo compuestos por muchos especialistas en todas las áreas del desarrollo del producto, y por líderes que determinen y evalúen las decisiones que entre todos acuerden.

El objetivo era minimizar los componentes y los costos de ensamble, en un tiempo de 8 meses, manteniendo la funcionalidad del producto. Se decidió aplicar el análisis DFA para poder detectar los problemas de ensamble y las oportunidades de mejora. El primer paso fue desmantelar el ensamble, y volverlo a ensamblar, se encontró con un ensamble de 105 piezas separadas hechas de 4 diferentes materiales, fabricados con diferentes procesos de manufactura, y ensamblados mediante diferentes procesos de unión, muchas de las piezas estaban ocultas a la vista, y fueron encontradas hasta desmontar el ensamble en su totalidad. El tiempo total de ensamble calculado fue de 1440 segundos, sin contar la aplicación de pintura, se realizaron 6 subensambles, muchas partes pequeñas requirieron soldadura manual, fueron necesarias más de 4 reorientaciones, y se encontraron bastantes operaciones con obstrucción de visión y alcance. *[DFMA © Boothroyd (1), 1997]*

En la fase 1 del análisis, se realizó un análisis superficial, a cerca de las piezas más evidentes que se podrían eliminar, manteniendo las funciones esenciales del producto, bastantes piezas y componentes fueron eliminados y/o combinados.

En la fase 2 del análisis, se analiza a detalle el mantener la funcionalidad del producto, cuidando y discutiendo la más mínima modificación propuesta, basada en los resultados obtenidos al aplicar la metodología del DFA. Se llegó a un ensamble con 9 partes, 2 reorientaciones y con un tiempo de ensamble de 100 segundos.

El análisis DFA remarca los puntos de mejora para el ensamble, y el equipo de trabajo generó sugerencias de mejora, posteriormente, durante las fases 1 y 2, se realizaron reuniones entre distintos especialistas de las distintas áreas, con el fin de crear y discutir la mayor cantidad de ideas posible.

El visible resultado de la disminución de tiempo en el desarrollo del producto, así como de la disminución de costos, ha demostrado a los líderes de la empresa, que la participación inclusiva de todas las personas que forman parte del equipo de trabajo genera excelentes resultados. La aplicación de la metodología DFA es crucial, ya que hay una gran diferencia en la cantidad de ideas generadas relacionadas con la minimización de costos empleando un análisis que permita evidenciar las oportunidades de mejora, que hacerlo sin estas herramientas.

Otra empresa que ha incorporado el análisis de DFA en sus líneas de producción es Whirlpool Sweden (Norrköping, Suecia), que es un centro de tecnología global para hornos de microondas. Fabrica más de un millón de hornos al año (1997). Whirlpool Sweden produce varias plataformas de hornos de microondas, con diferentes opciones en algunos de los modelos base. La planta produce 5000 hornos de microondas por día. El montaje es casi exclusivamente manual, debido a que el mercado europeo favorece el diseño de hornos delgados, con accesorios simples, lo cual hace que el ensamble sea sencillo de realizar. *[DFMA © Boothroyd (2), 1997]*

Para la aplicación del análisis, se inició un programa de capacitación de DFA con dos objetivos. El primero fue enseñar a dos equipos de ocho personas cada uno cómo realizar el análisis de DFA usando software especializado. El segundo objetivo fue reducir los costos en la planta y generar un diseño de horno delgado mediante el uso de un modelo de producción propuesto como parte del proceso de enseñanza de DFA. Se esperaba que la reducción de costos viniera de la reducción del número de piezas en el ensamble del horno y de la reducción del tiempo total de ensamble como resultado de la integración de piezas y la simplificación o eliminación de los procesos de ensamblaje. *[DFMA © Boothroyd (2), 1997]*

En la empresa se tomó un proyecto que presentaba una nueva alternativa de diseño y un punto de referencia para realizar el análisis y comprobar los resultados. Whirlpool Sweden estaba planeando la introducción de un nuevo horno, debido a que el nuevo horno sustituiría al horno de microondas actual fabricado por Whirlpool, el "VIP 20", se tomó la decisión de comparar este "VIP 20" con el que resultaría del diseño mejorado, resultando de utilizar el análisis DFA. La participación temprana de los ingenieros de producción fue nueva para la empresa y resultó ser muy valiosa. *[DFMA © Boothroyd (2), 1997]*

El VIP 20 es un microondas de 900 Watts, los controles son mecánicos mediante botones electromecánicos, Dentro del horno, se debe mantener la relación espacial de algunos componentes debido a que el magnetrón puede alcanzar los 200 ° C durante el funcionamiento, el aire de un ventilador debe fluir a través del magnetrón y del transformador que lo alimenta entre otras especificaciones del producto. *[DFMA © Boothroyd (2), 1997]*

Para cada estación de ensamble, el equipo especializado en DFA aplicaba una evaluación de la facilidad de los ensambles. ¿El ensamble toma ventaja de la gravedad? ¿El ensamble tiene un área restringida para llevarse a cabo? ¿Alguna operación requiere reorientar el ensamble? ¿Cuánto tiempo se invierte en mantener sujetas ciertas piezas y asegurarlas de manera fija en el ensamble? Este tipo de preguntas se realizaban a manera de prueba o examen. A partir de estos cuestionamientos, se generaron de manera sencilla, propuestas para mejorar el ensamble, por ejemplo, se detectó el ensamble del resorte torsional para la apertura de la puerta, el cual se ensamblaba en la parte baja de la puerta, pero la inserción se realizaba por debajo del chasis, por lo que era necesario re orientar el ensamble para realizar esa operación, y posteriormente regresar a la orientación anterior para continuar con la siguiente actividad. En el rediseño se inserta el resorte torsional desde la parte frontal, de manera que no se requiere re orientación. En esta y en otras instancias, la información arrojada por el análisis DFA apoyo al equipo para hacer decisiones de mejora en el ensamble.

Mientras que el VIP 20 tenía 150 piezas en su diseño original, el nuevo horno solo tuvo 106, una reducción de partes del 29 por ciento. Con esa mejora se reduciría el tiempo de montaje, pero debido a que muchas de las partes eliminadas eran sujetadores, las operaciones de ensamble se redujeron aún más. *[DFMA © Boothroyd (2), 1997]*

Se puede observar en ambos casos, que la aplicación del DFA en la industria, en las etapas de diseño y producción de un producto, no solo ayudan a mejorar la operación

básica de ensamble, que es donde se enfoca la metodología y el análisis, si no también ayuda a hacer una evaluación completa de la funcionalidad del producto al menor costo posible. Es una herramienta que, con resultados comprobados, da la información necesaria a los equipos de ingenieros y diseñadores, para poder partir hacia un rediseño, pues el análisis hace evidente las operaciones que están consumiendo mayor tiempo, sin agregar valor real al producto, y un análisis y debate en conjunto con todos los elementos que participan en el diseño y fabricación de este, lleva a la eliminación y/o combinación de piezas innecesarias, o de aquellas que dificultan el ensamble. La aplicación de estas herramientas también capacita a los distintos equipos de trabajo, para desarrollar proyectos de mejoras y re diseños, no solo en el área de ensamble, sino también en el área de manufactura, de control de producción, de compras, de ventas, de transporte etc. El aspecto sobresaliente de este enfoque es que no es posible ser realizado por una sola persona, por un grupo de especialistas, o un “todólogo”, más bien es una herramienta de ingeniería concurrente, ya que, para poder ser aplicada con éxito, y poder obtener resultados visibles, deben de involucrarse al menos un grupo especializado de cada área de trabajo.

CAPITULO 5.

5. ESTADO DEL ARTE.

La revisión bibliográfica se dividirá en 2 partes, la primera parte corresponde a casos de estudio donde se aplicó la metodología Boothroyd – Dewhurst a distintos productos, para observar el procedimiento de aplicación del análisis, y analizar los resultados obtenidos. En la segunda parte se muestran avances y mejoras acerca de la metodología Boothroyd – Dewhurst, atendiendo las limitantes que ésta tiene, para así evidenciar algunos de los desarrollos actuales a cerca del DFA.

5.1. Aplicaciones de la metodología Boothroyd – Dewhurst.

5.1.1. DFA aplicado a equipos de calibración.

El objetivo de esta aplicación fue aplicar la metodología Boothroyd - Dewhurst para optimizar el diseño de un producto calibrador de sensor de humedad, en el punto de rocío.

- **Resumen respecto a la medición de humedad.**

La humedad se puede medir de dos formas, exponiendo el sensor directamente al ambiente que se quiere medir, o mediante la toma de una muestra del gas a estudiar en una probeta. [Silva, A. P., & Suterio, R., 2015]

Silva, A. P., & Suterio, R. mencionan que, en los casos donde se debe tomar muestra del gas a estudiar, para hacer una correcta medición, se debe extraer la muestra y ser llevada al lente del sensor, con la misma presión de vapor con la que se contaba en la cámara de medición que arroja el valor de referencia para la revalidación.

Los sensores de humedad tienden a tener una baja resolución a bajas presiones, y esto se debe a las pérdidas de presión y masa en el transporte del gas del medio ambiente a los equipos de calibración. Cualquier tipo de contaminantes deben ser evitados, incluyendo fuentes externas de vapor de agua, por tales motivos, el ensamble de estos equipos debe hacerse con especial atención, se deben de minimizar el número de conectores y juntas. [Silva, A. P., & Suterio, R., 2015]

- **Caso de estudio.**

El Instituto Nacional para la Investigación Espacial (INPE) por sus siglas en inglés /Laboratorio de pruebas e integración (LIT) por sus siglas en inglés, cuenta con un sistema de calibración que consta de un generador de punto de rocío, un higrómetro (sensor de humedad) y un puerto para transportar la muestra de gas. El objetivo fue diseñar un dispositivo que lleve el gas de muestreo hasta el equipo a calibrar, con la mayor eficiencia, adaptación y facilidad de operación posible.

Se utilizaron en un principio 2 sensores que cuentan con diferente modo de operación, forma de medición y tamaños, se muestran a continuación en las Figuras 17 y 18. Para el

entendimiento del desarrollo del caso de estudio, es importante presentar las dimensiones de ambos sensores, así como su tipo de montaje y distancia de inmersión.



Figura 17. Sensor A. Sensor óptico de punto de rocío refrigerado de dos etapas, parte de un higrómetro de punto de rocío modelo Optidew Vision de Khan Instruments. [Silva, A. P., & Suterio, R., 2015]



Figura 18. Sensor B. Sensor capacitivo de humedad. Modelo HC2-IC105 de Rotronic. [Silva, A. P., & Suterio, R., 2015]

Característica	Sensor A	Sensor B
Largo	63 mm	100 mm
Diámetro	28 mm	15 mm
Conexión mecánica	Rosca: M36x1.5-6g	Ajuste a presión

Tabla 8. Características de los 2 sensores reportadas por [Silva, A. P., & Suterio, R., 2015].

Con base en las características que se anunciaron para el diseño del dispositivo, tomando en cuenta las características de los dos sensores a calibrar y el rango de muestras que se desean medir, Silva, A. P. y su colaborador, establecieron los siguientes requerimientos para el ensamble:

- ✓ El dispositivo debe tener solo uniones en la entrada y salida del gas, y en la conexión con el sensor a calibrar.
- ✓ El dispositivo debe permitir la entrada y salida de gas
- ✓ El dispositivo debe permitir una instalación de forma horizontal para un sensor de humedad
- ✓ El dispositivo debe tener una tubería desde la salida del generador de punto de rocío hasta que se encuentre dentro del sensor.
- ✓ El dispositivo debe permitir la instalación de sensores de hasta 28 mm de diámetro.

A continuación, se muestra la primera propuesta que se presentó en la Figura 19, con su respectiva configuración y respectivas partes.

- ✓ 1 cámara cúbica de medición con dos huecos roscados para la entrada y salida del gas, con una cara destapada para la instalación de tapas adaptables para los sensores.
- ✓ 1 tapa con un agujero donde ajuste el sensor A.

- ✓ 1 tapa con un agujero donde ajuste el sensor B.
- ✓ 1 tubo roscado de ambos extremos que conecta el generador de punto de rocío con la cámara de medición.
- ✓ 1 tubo roscado de un solo lado para la salida del gas y evitar realimentación.
- ✓ 4 tornillos para ensamblar las tapas de los sensores con la cámara de medición.

Evidentemente, el ensamble de los tornillos ocasiona muchos problemas, como el uso de herramientas extras, el aumento de tiempo de ensamble, y la dificultad de alinear las piezas, también puede producir pérdidas de masa y de presión.

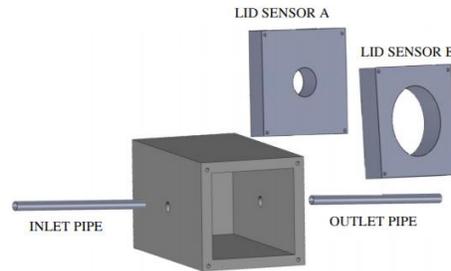


Figura 19. Diseño preliminar con 6 piezas y 4 tornillos. [Silva, A. P., & Suterio, R., 2015]

Se aplicó a este diseño preliminar el método de análisis de DFA desarrollado por Boothroyd-Dewhurst, el cual arroja 2 piezas susceptibles a eliminarse: la tapa para el sensor de menor diámetro, y la tubería de salida de la muestra. A continuación, se muestran las propuestas de rediseño generadas por los autores, después de aplicar el método, basándose en las directrices del DFA.

- a) Dado que el diámetro del sensor B es menor al del sensor A, se puede adaptar una tapa a la cámara de medición, que contenga un hueco roscado del diámetro del sensor A, para que este pueda encajar (note en la Figura 17 que el sensor A es roscado), y así la tapa y la cámara sean una sola pieza.
- b) El sensor B, al ser de menor diámetro, inevitablemente requerirá una tapa especial, pero esta puede ser circular, con el diámetro exterior igual al de la tapa de la cámara de medición y roscado, y con diámetro interior similar al del sensor B, para que este encaje en el mismo lugar donde encaja el sensor A.
- c) La tubería de entrada indudablemente tiene que ser una pieza separada, para que se pueda adaptar a cualquier generador de punto de rocío, utilizando diferentes tubos de entrada de distinto material, aumentando la flexibilidad del producto. El ducto de salida del gas puede ser una sola pieza con la cámara de medición, ya que siempre se requerirá drenar el gas sin que este se realimente, reduciendo un paso de ensamble más.

A continuación, se muestra en la Figura 20. el diseño final, y la lista de partes que quedaron después del análisis.

- ✓ 1 cámara de medición con un hueco roscado de entrada para tubo de gas, con un tubo soldado de salida, y un hueco para la adaptación de sensores de humedad.

- ✓ 1 tubo roscado de ambos extremos que conecta el generador de punto de rocío con la cámara de medición.
- ✓ 1 tapa circular con rosca externa y una perforación interna del diámetro del sensor B, donde este ajuste perfectamente.



Figura 20. Diseño final con solo 3 piezas. [Silva, A. P., & Suterio, R., 2015]

Conclusión.

La aplicación del método de Boothroyd-Dewhurst del DFA para este caso de estudio fue muy exitoso, ya que permitió reducir el número de piezas, y así facilitar el ensamble, pero, sobre todo, logro cubrir con los requerimientos de este, disminuyendo así efectivamente las pérdidas de presión y de masa de la muestra para la detección de humedad en los sensores.

5.1.2. Aplicación del método de DFA en el rediseño de una bomba axial acuícola.

En un país importador de tecnología, surge la necesidad de entenderla, ya sea para adaptarla a las condiciones locales, para darle mantenimiento, o para mejorarla, y en la mayoría de los casos se hace uso de la metodología empírica, que tiene como limitantes la funcionalidad limitada y el limitado número de personas que dominan su conocimiento, por lo cual, es recomendable hacer uso de metodologías inversas científicas, que puedan aplicarse a casos más generales y que sean de dominio científico. De este tipo son las metodologías de ensamble.

Caso de estudio.

En este desarrollo, [Olivas, P. P., y colaboradores] aplicaron el método de Boothroyd - Dewhurst a una bomba acuícola. Se realizó un prototipo experimental, que se muestra a continuación en la Figura 21.



Figura 21. Prototipo de la bomba. [Olivas, P. P., y colaboradores]

Este prototipo se dibujó en CAD, y su desensamble se realizó aplicando el criterio de eliminación de piezas no indispensables, se determinó que ninguna pieza era candidata a

ser eliminada, posteriormente se obtuvieron los tiempos de manipulación e inserción y la eficiencia de diseño para ensamble de la bomba.

El procedimiento fue el siguiente: se obtuvieron 3 eficiencias de ensamble con ayuda de 3 hojas de trabajo diferentes. La primera incluye el cálculo de la eficiencia obtenida del diseño de la bomba con valores para manipulación e inserción ajustada al valor máximo permitido en las tablas que contempla la metodología, es decir, con tiempos estándares de acuerdo a los dígitos de manipulación e inserción para cada componente. Esta tabla arrojó una eficiencia de **39.39%** de eficiencia, lo cual sugirió un rediseño en aquellas piezas que consumían mayor tiempo para manipular y/o insertar, las cuales también se pudieron identificar gracias a este primer análisis.

La segunda tabla correspondió a la aplicación de la metodología al prototipo, pero midiendo el tiempo con cronómetro de los tiempos de manipulación e inserción durante el ensamble real de la bomba hecho en campo. Esta tabla arrojó una eficiencia de **8.38%**. Esto se hizo para poder comparar el dato, con el que se obtendrá después del rediseño.

La tercera incluye los resultados obtenidos de la metodología aplicada una vez hechas las propuestas de rediseño al prototipo, con tiempos reales medidos con cronómetro, del ensamble hecho en campo, se obtuvo una mejora considerable llegando a una eficiencia de **18.68%**. Los rediseños que se hicieron, al mantenerse el mismo número de piezas, fueron la adecuación de características autoalineantes en juntas, abrazaderas y bridas, y la adaptación de manijas o agarraderas a las piezas más grandes en el punto donde se localiza el centro de gravedad de cada una, para facilitar su sujeción y manipulación.

Se demostró que, al aplicar el método, y las directrices del DFA, se aumentó considerablemente la eficiencia del ensamble, demostración que se llevó a cabo por medio de 3 hojas de trabajo, la primera, para guiar el rediseño y resaltar aquellos puntos de conflictos donde debía centrarse la atención del diseñador, la segunda para evaluar el ensamble como es con tiempos reales, y la tercera para evaluar el ensamble rediseñado y hacer la comparación de estos dos últimos.

Este caso de estudio muestra claramente un procedimiento para aplicar el método de Boothroyd – Dewhurst a un producto, mediante la realización de un prototipo, y un análisis tanto con tiempos de tablas, como con tiempos medidos experimentalmente, logrando una disminución importante en el tiempo de ensamble, y un aumento en la eficiencia de ensamble, sin necesidad de eliminar piezas.

5.2. Avances acerca del DFA; mejoras de los métodos existentes.

[Villanueva, M. P. P. (2007)] Argumenta en su tesis doctoral diversas limitaciones de la metodología de Boothroyd – Dewhurst, cuyo principal objetivo de su investigación es disminuir esas limitaciones, el cuál consistió en generar un sistema inteligente difuso – evolutivo que permitiera predecir tiempos de ensamble.

Villanueva M. menciona lo siguiente respecto al DFA y sus limitaciones: “Diseño para la Manufactura y Ensamble (DFMA) de Boothroyd y Dewhurst; esta metodología presenta

algunos carencias y áreas de oportunidad, como son, flexibilidad a diferentes aplicaciones, necesidad de consultar la información de tiempos de ensamble en tablas y carencia de tolerancia a fallas en los datos de entrada entre otros”. [Villanueva, M. P. P. 2007 (p. 4)]

Entre las limitaciones que tiene el método mencionadas por Villanueva M. P. P., se encuentra la falta de flexibilidad, pues es muy complicado adaptarlo totalmente a cualquier caso de estudio, ya que se utilizan valores establecidos de tablas, que en ocasiones no se aproximan aceptablemente a las operaciones donde se utilizan. Otro punto en contra del método es el amplio margen de error que se puede introducir desde los datos de entrada, puesto que, por mencionar un ejemplo, geometrías con variaciones de decenas de milímetros, son consideradas como la misma entrada. Una de las principales limitantes es que la metodología no ayuda a determinar la ruta más eficiente de ensamble.

5.2.1. Desarrollo de un sistema artificial para optimizar DFA

Villanueva M. P. P. desarrolló un sistema artificial basado en una red neuronal, para solventar tales deficiencias. El desarrollo de sistemas artificiales ayuda a la toma de decisiones durante el diseño del producto, debido a la capacidad de éstas para reconocer y auto – aprender patrones pasados, y generar alternativas de solución. Una red neuronal artificial (RNA) es un sistema de procesamiento de información, capaz de procesar gran cantidad de información mediante modelos matemáticos en forma paralela y distribuida.

A continuación, se presenta de forma resumida el proceso seguido por Villanueva M. para el diseño de una red neuronal, de un sistema difuso, y su optimización, para posteriormente argumentar las conclusiones reportadas en la tesis.

- Paso 1. Identificación de variables del proceso de ensamble. Las variables localizadas en el proceso de ensamble manual, de las cuales dependerá el desarrollo del sistema de inteligencia artificial, son las relacionadas a los dos procesos que se consideran en el método de Boothroyd para el análisis; la manipulación y la inserción. La única variable de salida que se tomó en cuenta es el tiempo pronosticado total de ensamble.

Parámetros de la manipulación	Parámetros de la inserción
<ul style="list-style-type: none"> • Peso de la pieza • Simetría de la pieza • Método de manejo (mano, ambas manos, herramientas, etc.) • Dificultades de manejo (flexibilidad de la pieza, tamaño, granel etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de acceso • Claridad de vista • Facilidad de alcance • Facilidad de alineación • Facilidad de sujeción

Tabla 9. Parámetros de manipulación e inserción propuestos por [Villanueva, M. P. P. 2007]

- Paso 2. Desarrollo de la red neuronal. Para el desarrollo de la investigación se empleó información de una empresa de tiempos de ensamble de 40 piezas que se consideraron las más representativas para desarrollar la metodología, los datos

fueron tomados de información de una planta ensambladora de componentes automotrices. Se procede a codificar la información, lo cual consiste en dividir las variables de entrada entre lógicas (0 y 1) y reales, dependiendo del tipo de variable, posteriormente se normalizan los datos en una escala de 0 a 1. Finalmente se entrena la red, y se valida mediante el uso de datos no proporcionados antes en la base de datos.

- Paso 3. Desarrollo del sistema difuso. En el sistema difuso se definieron 18 variables, con esta información se procedió a definir las clasificaciones y rangos para cada una de las variables. El primer paso es la definición de entradas y salidas del sistema difuso, las cuales se definieron de acuerdo a características de las piezas como peso, dimensiones, simetría, facilidad de acceso, montaje e inserción entre otras. Posteriormente se diseñan las reglas de decisiones, las cuales se basan en decisiones o combinaciones lógicas de las distintas entradas, y después se manipula el dato de salida para que pueda ser procesada como información numérica. El diseño y los resultados que se obtuvieron al aplicar el sistema difuso presentaban más ventajas que el sistema neuronal para cumplir el objetivo deseado.
- Paso 4. Optimización mediante estrategias evolutivas. Para lograr tiempos mínimos de ensamble, se requieren condiciones óptimas. Después de encontrar las condiciones que provocan un tiempo máximo o mínimo de ensamble, se determinó la variable que en mayor grado afecta el tiempo de ensamble, para ello se realizó una prueba de sensibilidad donde se variaba el valor de cada variable independiente de las demás, resultando ser la variable dimensión y la variable peso las que más contribuyen a que se incrementara el tiempo de ensamble.
- Paso 5. Caso con restricciones. En el caso de estudio se impusieron las siguientes restricciones; la dimensión de la pieza deberá estar en un rango entre 7 y 12 centímetros. El peso de la pieza deberá ser mínimo de 0.8 kilogramos y máximo de 1.2 Kilogramos, se obtuvieron 3 combinaciones donde el tiempo fue mínimo, con lo que se comprobó la efectividad del sistema aún con restricciones.

[Villanueva, M. P. P. 2007] concluyó su trabajo en que su metodología ayuda a reconocer en cualquier ensamble, las variables que más aportan al tiempo total predicho de ensamble, y con ello apoyar en las decisiones de diseño, respetando restricciones que normalmente se presentan en los diseños de un producto.

El desarrollo del método difuso de Villanueva M. en su tesis doctoral demuestra un sistema capaz de reducir el uso de tablas con una herramienta que aprende de acuerdo a su base de datos de diseños pasados, para proponer un análisis eficiente, además de que minimiza la entrada de datos para el desarrollo del método. Por otro lado, el sistema difuso y la red neuronal no fueron comparados con el software del DFMA el cual tampoco emplea el uso de tablas. Por lo tanto, se desconoce el beneficio de una herramienta sobre otra.

5.2.2. Diseño para ensamble de piezas grandes y pesadas.

Actualmente, los métodos de diseño para ensamble no están desarrollados para aplicarse en productos cuyas piezas sean de gran tamaño o peso, ya que las metodologías

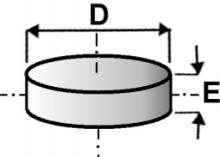
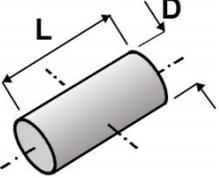
existentes no proporcionan un análisis sustentable y con resultados comprobados, de hecho, dentro de las directrices extraídas del estudio del DFA, se recomienda siempre evitar las piezas grandes y pesadas que necesitan herramientas especiales para su manipulación.

El ensamble de piezas grandes y pesadas consta, al igual que el de las piezas pequeñas y ligeras, de operaciones básicas de manipulación e inserción. Estas operaciones demandan mayor tiempo para este tipo de piezas, debido a que las distancias recorridas durante la manipulación son mayores y los movimientos necesarios para la orientación e inserción son más amplios y complejos. [Iturbe, I. 2010]

Iturbe, I. presenta en su tesis, un estudio realizado por alumnos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM en 2005, quienes desarrollaron una propuesta de metodología para el análisis de piezas de un ventilador industrial. Para la realización de este estudio, se realizó una clasificación de piezas grandes y pesadas. El primer paso de la metodología es clasificar las piezas de acuerdo con los siguientes atributos: geometría, peso y manipulación. [Chávez A. y colaboradores, 2005, citado por Iturbe, I., 2010]

1) Forma geométrica

La clasificación de las piezas se hace de la siguiente manera: cilindros, discos y prismas. En el caso de piezas irregulares, se les clasifica con el prisma de menor tamaño dentro del cual se puede contener la pieza.

Discos	 <p>Figura 16. Parámetros de clasificación de discos. Fuente [Iturbe, I. 2010 (p. 38)]</p>	Existen tres clasificaciones para este tipo de piezas; $D \leq 1$, $1 < D < 2$, $D \geq 2$, además se debe cumplir que $E < 10$ cm.
Cilindros	 <p>Figura 17. Parámetros de clasificación de cilindros. Fuente [Iturbe, I. 2010 (p. 38)]</p>	Existen dos clasificaciones para este tipo de piezas: Cilindros cortos: $L/D \leq 2$ Cilindros largos: $L/D > 2$

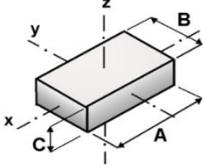
Prismas	 <p data-bbox="410 394 898 457">Figura 18. Parámetros de clasificación de prismas. Fuente [Iturbe, I. 2010 (p. 38).]</p>	<p data-bbox="1057 191 1321 254">Piezas planas: $A/B \leq 3$, $A/C > 4$</p> <p data-bbox="1057 275 1317 306">Piezas largas: $A/B > 3$</p> <p data-bbox="1057 327 1333 390">Piezas cúbicas: $A/B \leq 3$, $A/C \leq 4$</p>
---------	---	--

Tabla 10. Clasificación de piezas grandes y pesadas sintetizadas según [Chávez A. y colaboradores, 2005, citado por Iturbe, I., 2010]

2) Peso

Las piezas con peso menor a 5 Kg, pueden ser analizadas con la metodología de Boothroyd – Dewhurst.

Grupo	Peso (kilogramos)
1	5-30
2	31-100
Grupo	Peso (kilogramos)
3	101-500
4	501-1000
5	> 1001

Tabla 11. Clasificación respecto a pesos. Fuente [Iturbe, I. 2010 (p. 40)]

3) Manipulación.

La clasificación se realiza con base en las herramientas y maquinaria necesaria para manipular las piezas.

- ¿La pieza cuenta con aditamentos especiales para facilitar su sujeción? Por ejemplo: agarraderas, orejas, cavidades, moleteados.
- Número de operarios necesarios para la manipulación: 1 – 2, 3 – 5, 6 o más.

Después de realizarse esta clasificación, es posible agrupar las piezas entre aquellas que son fáciles de ensamblar y aquellas que presentan pequeñas o grandes dificultades, estas agrupaciones se adjuntan a una tabla, donde es posible evaluar la facilidad de ensamble.

Iturbe I. en su trabajo analizó el estudio del ensamble de la estructura del edificio de la delegación Xochimilco, reconstruido en 2009. Se analizan todas las actividades y métodos, las cuales se clasifican en operaciones de preparación, operaciones activas y operaciones de salida, todas las actividades de ensamble realizadas por los operarios se clasificaron y analizaron en un cursograma.

5.2.3. Diseño de una nueva herramienta de DFA y DFD basada en factores de puntuación.

Existen diversos intentos de desarrollar metodologías que enriquezcan aquellos aspectos en los que puede mejorar el método de Boothroyd – Dewhurst, tal como el que presentan [Shetty, D., & Ali, A., 2015]. En su publicación “Diseño de una nueva herramienta para DFA/DFD basada en factores de puntuación”, donde se desarrolla una metodología parecida a la de Boothroyd, la diferencia radica en la cantidad de parámetros que consideran para el puntaje y la obtención del tiempo total de ensamble

El objetivo de Shetty, D., & Ali, A., fue diseñar una herramienta para ensamble y desensamble. Un diseño que considere el desensamble además del ensamble, facilita el mantenimiento, además de que el DFD es una tendencia ampliamente utilizada en la industria actualmente, sobre todo en el sector automotriz, donde es necesario re utilizar componentes, y en general en toda la industria, donde es cada vez más indispensable que los fabricantes se hagan responsables de lo que suceda a sus componentes una vez terminado el ciclo de vida útil.

[Shetty, D., & Ali, A., 2015] desarrollaron un software consistente en una hoja de cálculo en MS Excel, para una rápida evaluación del ensamblado y desensamblado de un producto. Los autores mencionan algunos inconvenientes de los métodos existentes, entre los cuales destacan los siguientes:

- El costo de las paqueterías puede ser muy alto para las pequeñas empresas.
- Los resultados obtenidos son en ocasiones difíciles de interpretar.
- Los diseñadores pueden requerir un programa de capacitación para aprender el software, lo cual, a su vez, resulta ser costoso y requiere tiempo.
- DFA y DFD no se ofrecen en la misma paquetería.

La hoja de cálculo desarrollada utiliza una metodología sustentada en una combinación del método de Boothroyd-Dewhurst y el método de Lucas. A continuación, se describen brevemente los pasos para aplicarla.

1) DFA

- 1.1) *Eliminación de partes.* Mediante la aplicación de los criterios de eliminación de partes según el método de Boothroyd-Dewhurst, y de Lucas, se determinan las piezas candidatas a ser eliminadas.
- 1.2) *Puntuación de la manipulación.* Se toman en cuenta distintos parámetros para la manipulación, como la facilidad de tomar la pieza, las orientaciones en caso de ser necesarias, la viscosidad superficial, la flexibilidad del material, la posibilidad de atascamiento, la necesidad o no de herramientas auxiliares, o la necesidad de dos o más personas para manipularla. Dependiendo del número de factores que estén presentes en el componente, es el puntaje que se le asigna.
- 1.3) *Puntuación de inserción.* Se toman en cuenta distintos parámetros para la inserción, como la simetría, la facilidad de alineación, la utilización de herramientas y manos, acceso y visión restringidos etc. Dependiendo del

número de factores que estén presentes en el componente, es el puntaje que se le asigna.

- 1.4) Se cuestiona si la pieza es asegurada o no inmediatamente, y se puntúa con un valor numérico la respuesta.
- 1.5) *Operación*. Se puntúa según la operación de ensamble, algunos ejemplos son: posicionar, ajuste a presión, atornillado con manos, herramientas manuales o energizadas, remachado, soldado, etc.
- 1.6) *Evaluación de puntaje*. Se suman los puntajes que obtuvo la pieza-operación en la manipulación, inserción, seguridad de ensamble y operación, y se divide entre el puntaje máximo posible de obtener.
- 1.7) *Tiempo*. Se toma el tiempo con un cronómetro, que se toma en ensamblar la pieza y se introduce a la hoja de cálculo.
- 1.8) *Punteo del tiempo*. Se puntea el tiempo de acuerdo con un tiempo promedio establecido.
- 1.9) *Resultados*. Se toman en cuenta todos los datos ingresados en la hoja de trabajo de manipulación, inserción y operación, y se obtiene un tiempo estimado de ensamble, además de una “evaluación” numérica final del ensamble.

2) DFD.

- 2.1) *Puntuación de acceso*. Se califica cuantitativamente, la facilidad de acceder y retirar una pieza o parte del ensamble. De acuerdo con tablas que asignan valores al tipo de dificultad que se describa.
- 2.2) *Puntuación de herramientas*. Se califica cuantitativamente el requerimiento o no de herramientas para desensamblar.
- 2.3) *Puntuación del riesgo*. Se califica cuantitativamente los riesgos que existen de destruir los componentes al extraerlos del ensamble principal.
- 2.4) *Puntuación de re uso*. Se califica cuantitativamente la posibilidad de re usar el componente sin la necesidad de utilizar operaciones extras.
- 2.5) *Puntuación de facilidad de remover la pieza*. Se puntúa de acuerdo con la facilidad de extraer la pieza sin dañarla.
- 2.6) *Puntuación de reciclado*. Se califica cuantitativamente la posibilidad de reciclar el componente, tanto desde su facilidad de ser extraída, como también tomando en cuenta el material del que está constituido.
- 2.7) *Registro de tiempo*. Se registra el tiempo de desensamble con un cronómetro, de cada parte.
- 2.8) *Puntuación del tiempo*. Se puntea el tiempo de acuerdo con un tiempo promedio establecido.
- 2.9) *Resultados*. Se toman en cuenta todos los datos ingresados en la hoja de trabajo y se obtiene un tiempo estimado de desensamble, además de una “evaluación” numérica final del desensamble.

3) Validación del método mediante un caso de estudio.

Para la validación del método, Shetty, D. y su colaborador, analizaron el ensamble y desensamble de un teléfono Nokia modelo 252, y de un equipo Nokia 5120i, aplicando la hoja de cálculo, y aplicando el software de Boothroyd-Dewhurst, y el método de Lucas, para así comparar y validar la utilidad de este nuevo método. Los equipos se muestran en las Figuras 22 y 23.

4) Resultados del caso de estudio

El nuevo método fue comparado con los ya existentes, con dos teléfonos Nokia, resultando los siguientes puntos expuestos por Shetty, D. y su colaborador:

- Según el puntaje obtenido en el nuevo método, se concluye que los resultados muestran una tendencia parecida a los métodos de Boothroyd y Lucas, lo que prueba su validez.
- El modelo Nokia 5120i tiene el mejor diseño según la eficiencia de ensamble.
- Las propuestas de rediseño se remarcan con el símbolo “#”, y se advierte que la parte tiene una calificación baja en el área correspondiente.
- Es muy fácil hacer cambios en el diseño, al tratarse de una hoja de cálculo

Este desarrollo de Shetty, D., & Ali, A. tuvo éxito al ser probada en un par de teléfonos Nokia, y ser comparada con metodologías existentes, y arrojar resultados congruentes. Respecto a la aseveración de que se trata de un método más completo que los existentes, se puede argumentar que si bien está basado en realidad en el método de Boothroyd – Dewhurst, y tiene un procedimiento similar para obtener resultados que propongan rediseño, se trata realmente de una mejora de este. A diferencia del método existente, este considera muchos más parámetros y factores de entrada, sobre todo en la parte de diseño para desensamble, la cual no se considera en la metodología de Boothroyd. Otra ventaja notoria es la adaptación de todas las entradas a un carácter cuantitativo, todas las características tanto de los componentes como de las operaciones son calificadas inmediatamente, y cada una se diferencia de otra con una calificación diferente. Al tratarse de una hoja de trabajo, es modificable y adaptable a cualquier producto, además de que, está programada para resaltar los puntos de interés en el diseño.



Figura 22. Teléfono . Nokia 252. [Shetty, D., & Ali, A., 2015]



Figura 23. Teléfono . Nokia 5120i. [Shetty, D., & Ali, A., 2015]

5.2.4. Diseño para ensamble y desensamble para remanufactura.

La tendencia principal de este caso de estudio realizado por [Soh, S. L., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C., 2014] es el DFD (Diseño para desensamble por sus siglas en inglés), el cual, a diferencia del DFA, se enfoca en el proceso de desensamble de un producto, en la etapa final del ciclo de vida de este. El DFD indica que se deben tomar en cuenta diversas reglas para el diseño para desensamble, ya que al momento de desensamblar un producto para remanufactura, las piezas son más susceptibles a dañarse, quedar inservibles y terminaran en los ineficientes procesos de reciclado.

El DFD es un conjunto emergente de herramientas y estrategias, que surgen a partir de la necesidad de atender los requerimientos ambientales de la industria contemporánea, los cuales se enfocan principalmente en lo que ocurre en el ciclo de vida del producto, una vez terminada su vida útil, reutilizar o reciclar algunas o la totalidad de sus partes, o bien desecharlo de manera responsable. Remanufacturar y reutilizar partes de un producto, son procesos más económicos y menos contaminantes, que los procesos convencionales de reciclado de material, que consisten en regresar las partes a materia prima utilizable. El diseño para desensamble no solo ayuda a obtener partes de manera más eficaz para convertirlas en materia prima, si no también brinda la oportunidad de obtener piezas sin destruirlas para remanufacturar y reutilizar en diferentes productos.

Dado que el desensamble es un paso indispensable en el reciclado, las herramientas del diseño para desensamble, indican elementos cualitativos en la etapa de diseño de nuevas líneas de productos, y elementos cuantitativos en el rediseño de líneas de productos ya existentes, para hacer más fácil y práctico el desensamble de las partes y subensambles de un producto, tanto para reparaciones como para el final de su vida útil. Las diferentes partes de un producto requerirán diferentes métodos de desensamble, el reúso de partes, componentes y subensambles requiere procesos de desensamble no destructivos, mientras que los materiales para reciclado no lo requieren, el manejo de materiales tóxicos y/o de riesgoso manejo, también requieren de un desensamble especial. [SL Soh, S. K. Ong y A. Y. C, Nee, 2016 (p.17)]

Algunas directrices básicas del diseño para ensamble se enlistan a continuación. [SL Soh, S. K. Ong y A. Y. C, Nee, 2016 (p.17)]

- Entre menos piezas existan en el ensamble, menos piezas se requerirán desensamblar, y menos operaciones de desensamble se utilizarán.
- En la minimización de piezas, se debe cuidar que el núcleo que sustituya a las partes eliminadas, no complique más el desensamble, o haga que este se deba realizar de manera destructiva.
- Mientras menos sujetadores existan, mejor.
- Estandarizar los sujetadores al máximo, de tal suerte que requieran la menor cantidad de herramientas estándares para retirarlos.
- El uso de pijas en vez de tornillo con tuerca facilita y agiliza el ensamble.
- Los pegamentos deben ser evitados.
- Incluir anotaciones y señales de como las piezas deben ser retiradas del ensamble ayuda bastante.

Los procesos de unión que generalmente son eficientes en el ensamble son destructivos para el desensamble, como los adhesivos o la soldadura, la inserción es totalmente diferente a la operación equivalente en el DFD, que sería la extracción, los ajustes a presión pueden resultar diseños muy sencillos para ensamblar, pero no así para desensamblar. A continuación, se presenta la metodología propuesta en el caso de estudio dividida en 4 pasos. [Soh, S. L., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C., 2016]

1) Aplicación del DFA. (Boothroyd and Dewhurst).

El único punto que es indispensable tanto para el diseño para ensamble como desensamble, es el criterio de combinación o eliminación de partes, ya que este criterio minimiza el número de juntas en el ensamble

2) Determinación de la secuencia de desensamble.

El subensamble puede contar con diversas rutas, y es necesario escoger la que ocupe menos tiempo.

En resumen, se selecciona un sujetador que, al quitarlo, se obtenga un grado de libertad en la piza que sujeta, y después, se verifica la interferencia que exista para remover la pieza, para proceder a extraerla o, de lo contrario, seleccionar otra pieza que no conlleve a una interferencia. De este modo, se debe de probar distintas rutas de desensamble, hasta encontrar la que tenga menor interferencia y sea más rápida.

3) Evaluación métrica.

Para poder hacer una evaluación cuantitativa de la complejidad de desensamble se toman en cuenta parámetros como, la dificultad de alcanzar la pieza, la obstrucción de la vista, el tamaño y el peso de la parte o subensamble, así como también la dificultad de retirar los sujetadores. Las cuantificaciones de estas dificultades se dan mediante un indicador, llamado índice de complejidad de desensamble, I_{com} , se obtiene de una tabla de acuerdo al tipo de sujetador, y a las características de la pieza. La forma de calcularlo se muestra en (5.1)

$$I_{com} = \frac{C_h \sum_1^J C_{hf} + C_r \sum_1^K C_{rf}}{\sum_1^J C_{hf} + \sum_1^K C_{rf}} \quad (5.1)$$

Dónde:

C_h : es el promedio de los factores de los atributos de dificultad de manipulación de la ruta de desensamble

C_{hf} : es el factor de dificultad de manipulación que corresponde a cada atributo geométrico-físico de la pieza

C_r : es el promedio de los factores de dificultad de retirada de sujetadores de acuerdo al tipo de sujetador, de la ruta de desensamble.

C_{rf} : es el factor de los atributos de dificultad de retirada de sujetadores de acuerdo al tipo de sujetador de la ruta de desensamble

J: número de factores de manipulación para desensamblar

K: número de factores de retracción de sujetadores para desensamblar.

Los atributos como tamaño, espesor y peso también tienen rangos que tienen diferente peso en el valor del factor de dificultad de ensamblar, y en cuanto a la dificultad de las operaciones, se toman en cuenta atributos como el tipo de operación (atornillado estándar, atornillado especial, tornillo con tuerca etc.), y el tipo y número de herramientas necesarias para la extracción.

El otro factor importante para tomar en cuenta es el índice de accesibilidad, que se obtiene para cada componente, y representa la facilidad de tomar y acceder a este. En (5.2) se muestra la expresión para calcularlo.

$$I_{acc} = -\left(\log_2 \frac{\Delta X}{X} + \log_2 \frac{\Delta Y}{Y} + \log_2 \frac{\Delta Z}{Z}\right) \quad (5.2)$$

Donde:

ΔX : distancia disponible para sujetar la pieza respecto al eje X

ΔY : distancia disponible para sujetar la pieza respecto al eje Y

ΔZ : distancia disponible para sujetar la pieza respecto al eje Z

X: distancia más larga de la pieza respecto al eje X

Y: distancia más larga la pieza de la pieza respecto al eje Y

Z: distancia más larga la pieza de la pieza respecto al eje Z

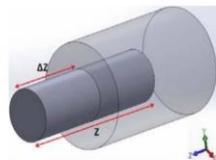


Figura 24. Ejemplo de la medición de ΔZ Y Z en un cilindro insertado. [SL Soh, S. K. Ong y A. Y. C. Nee, 2016 (p.17)]

Para combinar estos dos factores, se utiliza la expresión mostrada en (5.3)

$$F(R, P) = \frac{1}{\alpha \left(\frac{1}{R}\right) + (1 - \alpha) \left(\frac{1}{P}\right)} \quad (5.3)$$

Donde R y P se sustituyen con los parámetros I_{com} e I_{acc} , donde α es igual a 0.5, ya que el método considera con igualdad de jerarquía a ambos factores.

El caso de estudio que se utilizó en la investigación de SL Soh y sus colaboradores, fue un motor eléctrico de inducción de tipo jaula de ardilla. Aplicando los criterios de eliminación y /o combinación de partes de Boothroyd – Dewhurst, se determinó la combinación de dos piezas del motor, y debido a la gran cantidad de piezas que tiene movimiento relativo, solo se pudo eliminar el engrane de anillo, que era una pieza

separada a la unidad reductora del rotor, se combinaron esas 2 piezas y se dejó un ensamble de 13 piezas.

Para el análisis, se consideró el rotor de jaula de ardilla como el subensamble que se desea retirar para su re utilización, para ello, SL Soh y sus colaboradores identificaron 2 rutas posibles de desensamble, las cuales se analizaron y se obtuvo tanto su índice de complejidad como su índice de accesibilidad de cada una de ellas. Se calculó para ambas rutas el factor F, y se obtuvo la ruta A como la óptima, ya que fue con la que resultó un valor más grande del factor combinado, con $F = 3.347$, mientras que la ruta B arrojó $F = 3.3099$.

[Soh, S. L., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C., 2014] demuestran la aplicación de una metodología de DFD, similar a la metodología de DFA, y se comprueba haciendo los cálculos para dos rutas de desensamble de un componente de un motor, que sería re utilizado o re manufacturado, obteniendo resultados concisos que ayudan a la toma de decisiones, tanto en las etapas finales del producto, como en las primeras etapas del desarrollo del producto.

5.2.5. Otras contribuciones.

[Paz H., 2015] en su tesis doctoral, menciona investigaciones y avances a cerca de contribuciones a diversos enfoques del DFA, es importante su cita para entender el estado actual de las investigaciones y avances del DFA.

- Lebacqz, Brechet, Shrercliff, Jeggy y Salvo, en 2002 aportan una metodología para la selección de proceso de unión en el diseño. [Paz, H. 2015 (p. 47)]
- Stauffer y Smith en 2005 proponen una herramienta de análisis DFA, adaptada para las construcciones soldadas de gran escala, pero de bajo volumen, para identificar donde se concentran los principales costos en las soluciones constructivas electrosoldadas. [Paz, H. 2015 (p. 47)]
- Niebles en 2007 investiga una metodología de diseño y desarrollo de productos soldados con base en conocimientos de tecnologías de soldadura para la fabricación y ensamblaje de productos soldados. [Paz, H. 2015 (p. 47)]
- Bergerson, en 2010 realiza una implantación de la metodología DFMA para el rediseño de un conjunto estructural de construcción electro soldada. [Paz, H. 2015 (p. 47)]
- Tasalloti, Eskelinen, Kah y Martikainen, en 2015 investigan una metodología de diseño de estructuras soldadas, con el soporte de una aplicación integrada con datos de materiales y procedimientos de soldadura que asiste al diseñador para facilitar la toma de decisiones con un enfoque DFMA. [Paz, H. 2015 (p. 47)]

5.3. Argumento

Si observamos las contribuciones presentadas en el trabajo de Paz H., la mayoría se tratan de estructuras grandes y electro soldadas, dado que la metodología de Boothroyd no es aplicable para ensambles grandes y pesados, por lo que es donde se desconoce más acerca del DFA. Por lo general, estos avances se enfocan más en cuestiones como la ruta de ensamble, la optimización de operaciones, y la modificación de la geometría de

los componentes para facilitar su manipulación e inserción. El trabajo presentado en [Iturbe, I. 2010] presenta una clasificación de las piezas grandes y pesadas, para calificarlas como complejas o sencillas para su ensamble, así como un análisis en los movimientos y operaciones de los operarios, para eliminar aquellas que no sean necesarias. Tanto la hoja de cálculo de Shetty, D. y su colaborador, como la red neuronal – sistema difuso de Villanueva P. presentan una ligera mejora sobre la metodología Boothroyd – Dewhurst, en cuanto a considerar más factores de entrada, generan menos incertidumbre al eliminar el manejo de tablas, y en el caso del sistema difuso, se tiene una taza de aprendizaje que ayuda a localizar patrones repetitivos, sin embargo, no se comparó en ningún momento con el software desarrollado por Boothroyd, el cual también simplifica el uso manual de tablas, además de que muchas de las limitantes expresadas por dichos autores respecto a la metodología Boothroyd, no se encontraban correctamente justificadas y ejemplificadas.

A pesar de ser un enfoque distinto al que se maneja en la elaboración del material didáctico de este trabajo, la inclusión del diseño para desensamble se consideró imprescindible, ya que mediante este se muestra un enfoque que surge en la actualidad por la necesidad de atender el diseño de productos, mediante un enfoque que considere todas y cada una de las etapas del ciclo de vida de este, si bien el DFA es una herramienta de la ingeniería concurrente, que toma en cuenta no solo lo que sucede en la etapa de diseño del producto, sino más allá, como en las etapas de manufactura y transporte, el fin de la vida del producto lo descuida, y el DFD presta especial atención en la re manufactura y reutilización de las partes de un ensamble.

Cuando se trata de piezas pequeñas, el método de Boothroyd resulta ser suficiente para realizar un análisis aceptable y con resultados claros, por lo que se pueden observar tanto procedimiento como resultados ostensibles en las aplicaciones de los equipos de calibración, y en el rediseño de la bomba acuícola, mostrando claramente al lector aplicaciones reales del método, donde se mantuvieron o incluso se mejoró la calidad del producto respecto a las especificaciones establecidas del mismo.

No obstante, se debe reconocer que la metodología Boothroyd – Dewhurst tiene limitaciones fáciles de ubicar al aplicar el método a cualquier ensamble pequeño y sencillo, como lo son; El no considerar o evaluar la ruta seleccionada de ensamble, la discrepancia de criterios al utilizar las tablas, ya que distintas descripciones cualitativas como “fácil de ensamblar” o difícil de ensamblar”, dependen de la persona que esté realizando el análisis, por lo que puede llegar a ser un método donde se llegue a distintos resultados para un mismo ensamble, con una notable dificultad de decidir cuál es el correcto, también la entrada de datos en tablas como tamaño y espesor, tiene un margen de error bastante grande, pues son muy grandes los rangos de valores para los cuales una característica geométrica dimensional es calificada como la misma entrada.

CAPÍTULO 6.

6. CASO DE ESTUDIO.

6.1. Chapa de bola

La chapa de bola es un producto muy utilizado en exteriores de puerta de madera, donde la seguridad no es de alta especificación, ya que existe una gran variedad de opciones de cerraduras que brindan mucha más seguridad. Se utiliza principalmente en exteriores debido a que no es posible la apertura de la puerta desde el exterior, a menos que se utilice la llave, siendo la manija interior la única que tiene movimiento para permitir la apertura de la puerta.

Como el objetivo no es analizar el funcionamiento de la chapa, sino su ensamble, se dará solo una breve explicación acerca del principio de funcionamiento, que se mostrará mediante fotografías en la ruta de ensamble que se mostrará más adelante: el ensamble consta de cuatro mecanismos, el primero corresponde a aquel que no permite movimiento de la manija exterior, lo cual se logra con un pequeño seguro que obstruye el movimiento, este mecanismo lo componen las piezas 2, 14 y 21 (la numeración de las piezas en la Tabla 12). El segundo mecanismo corresponde al de la apertura de la puerta por medio de la llave, consistente en las piezas 1 y 3. El tercer mecanismo corresponde al de la apertura de la puerta por medio de la manija interior, consistente en las piezas 18 y 19. El cuarto mecanismo es el encargado del movimiento traslacional lineal del resbalón de la puerta, para permitir su apertura, que funciona por medio de resortes, consistente en las piezas 5, 8, 9, 10 y 11. El resto de las piezas son de soporte, sujeción y estéticos o ergonómicos.

Se seleccionó la chapa de bola, con este diseño en particular de la marca Scovill, debido a que es un ensamble de complejidad adecuada para presentar un caso de estudio con una factibilidad de proponer un rediseño considerable que aumentará la facilidad de ensamble, y disminuirá las dificultades y el tiempo del montaje. Este ensamble también se seleccionó debido a que es un montaje totalmente manual, que se puede realizar en un espacio de trabajo pequeño, y si bien algunas operaciones tienen bastante complejidad, todos pueden realizarse sin la ayuda de herramienta especial. En una primera inspección del desensamble y ensamble del producto, se identificaron rápidamente varias áreas de oportunidad de rediseño relativamente sencillas, para mejorar el ensamble, haciéndolo más sencillo y rápido, razones por las cuales es viable para presentar un caso de estudio de un material didáctico, con resultados visibles.

En la Tabla 12 se presenta la lista de componentes del ensamble, con fotografías, descripción del funcionamiento, así como el tamaño y espesor de cada una.

Número de pieza	Nombre de pieza	Fotografía descriptiva	Dimensiones (cm)	Descripción
1	Barril		D=1.59 L=3.57	Esta pieza de seguridad es la que permite el movimiento solo con la entrada de la llave
2	Cilindro fijo		L= 7.05 D= 2.08	Esta pieza sirve para ensamblar la manija exterior, y evita su movimiento.
3	Acople a barril		L=4.9 D=1.7	Esta pieza es la que se une al barril de seguridad, y transmite el mecanismo el movimiento de este
4	Cilindro Base		L= 3.53 D=3.4	Esta pieza es el soporte del subensamble que resguarda el mecanismo del resbalón que permite la apertura de la puerta

5	Base general		L= 4.98 A= 3.2	Esta pieza es el soporte del subensamble que resguarda el mecanismo del resbalón que permite la apertura de la puerta
6	Placa inferior		L= 4.35 A=0.26	Esta pieza ayuda a mantener fijo el mecanismo del resbalón, y auxilia el movimiento de la manija interior
7	Placa superior		L= 4.9 A= 0.26	Esta pieza localiza y mantiene sujeto al cilindro fijo que une a la manija exterior, y al seguro que imposibilita el movimiento de esta
8	Base de resortes		L=4.06 A=1.42	Esta pieza es la base de los resortes
9	V para resortes		L=2.46 A=1.72	Esta pieza es la base de los resortes
10	Resortes		L=3.1 D= 0.79	Resortes que permiten el movimiento de apertura del resbalón de la puerta

11	Resbalón de la cerradura de bola		<p>L= 4.9 A= 5.58</p>	<p>El resbalón es la pieza que permite la apertura de la puerta, así como la posibilidad de cerrarla en una dirección sin girar la manija interior</p>
12	Tapa interior		<p>D= 5.25 L= largo</p>	<p>Esta pieza ayuda a mantener fijo el mecanismo de movimiento del resbalón, además que sirve para ocultarlo</p>
13	Tapa roscada		<p>D= 6.5 A= 1.3</p>	<p>Esta pieza tiene fines estéticos</p>
14	Manija para llave		<p>D= 5.50 Dint= 2.2 A=4.7</p>	<p>Esta pieza es la manija para sujetar la puerta desde el exterior, y sirve también para colocar el barril donde se introduce la llave</p>
15	Tornillos		<p>D=0.85 L=3.19</p>	<p>Los tornillos sirven para ajustar y apretar la rondana al ancho de la puerta</p>

16	Rondana		Dext=6.3 Dint=2.7 A= 0.7	La rondana sirve para ejercer fuerza hacia la puerta para mantener fija toda la chapa a la puerta
17	Tapa sin Rosca		Dext= 6.45 Dint=2.7 A=1.3	Esta pieza tiene fines estéticos
18	Manija		D=5.5 Dint=2.2 A=4.7	Esta pieza es la manija para sujetar la puerta desde el interior, se gira para abrir la puerta
19	Cilindro movil		D=2.0 L=6.3	Esta pieza transmite el movimiento de la manija interior hacia el mecanismo de los resortes para permitir la apertura de la puerta
20	Alambre	-	No son determinantes	Esta pieza asegura el ensamble
21	Seguro		L=0.9 A=0.6	Esta pieza es fundamental para bloquear el movimiento de la manija exterior al girarla.

Tabla 12. Descripción de las piezas del ensamble.

La ruta de ensamble es un factor muy importante en la optimización de un producto, ya que una buena ruta de ensamble puede disminuir el tiempo de montaje considerablemente, sin necesidad de realizar ningún rediseño a los componentes, es por ello que se recomienda analizar la ruta de ensamble antes de aplicar la metodología de Boothroyd – Dewhurst. En este caso de estudio, se realizaron distintas pruebas entre el equipo de trabajo, para determinar una sola ruta de ensamble que disminuyera los problemas de inserción y de limitación de alcance y visión que presentan las piezas. En la

Tabla 13 se presenta la ruta de ensamble, explicada con la ayuda de fotografías, además de una breve descripción de los problemas de ensamble presentados en cada paso. En la Tabla 14 se muestra la hoja de trabajo del análisis del método Boothroyd – Dewhurst de la chapa de bola como es.

Ruta de ensamble explicada

Subensamble	Piezas	Imagen	Descripción
Subensamble1= 14, 1, 2, 3	14,1		<p>Se presenta la manija para llave, y se inserta el barril en ella, esta operación tiene grandes restricciones de visión, ya que el barril se debe dejar caer y atinar a la posición deseada en la manija, la cual es a 45° de la ranura que indica la correcta inserción del cilindro fijo, y posteriormente debe mantener sujeta para proceder con el ensamble y que esta no pierda su orientación</p>
	2		<p>Se inserta el cilindro fijo en la manija exterior, de modo que las ranuras del primero embonen con los seguros del barril, situación que ocurre cada 180°. Operación compleja y tardada debido al acceso restringido, a la limitación de visión, y a que se requiere sujetar el barril en todo momento</p>

	3		<p>Se inserta el cople de barril dentro del cilindro fijo, de modo que el vástago se inserte en el barril. Operación complicada debido a que el vástago es muy corto y se debe atinar a la posición correcta</p>
Subensamble2= 5, 4, 7, 17	5,4		<p>Se presenta la base general y se inserta el cilindro base</p>
	7,17		<p>Se insertan tanto la placa superior, como la tapa sin rosca</p>
Subensamble3= subensamble1 y subensamble2			<p>El subensamble 1 se vuelve a tomar, y se inserta por la parte de abajo del subensamble 2. Esta operación es compleja debido a que la interferencia entre el cilindro fijo y el cilindro base presenta resistencias a la inserción, y es necesario girarlo varias veces para poder insertarlo completamente.</p>

			
Subensamble4= 21	21	 	<p>Se inserta el seguro en la pequeña ranura que se forma en el subensamble. Operación relativamente compleja debido al pequeño tamaño del seguro que dificulta su inserción.</p>
Subensamble5= 8, 9, 10	8,9,10		<p>Este subensamble consiste en insertar la V para resortes y los resortes en la base para resortes, con operaciones de manipulación e inserción sencillas.</p>

Subensamble6= sub4 y sub5			Se inserta el subensamble 5 en 4, mediante la compresión de los resortes.
	6	 	La placa inferior se inserta sobre el subensamble 6. Para su inserción se requiere de la ayuda de un desarmador.
Subensamble7= 6, 19, 12, 20, 11, 16, 15, 17, 18	19	 	El cilindro móvil que se mueve junto con la manija interior se inserta en el ensamble, moviendo el mecanismo para lograr su inserción.

Subensamble7= 6, 19, 12, 20, 11, 16, 15, 17, 18	12		Se inserta la tapa interior para dar mayor sujeción y estética al ensamble, se inserta con facilidad debido a las características auto localizantes.
	20	-	Se inserta un pequeño alambre en una ranura de la tapa, para asegurar todo el ensamble
	11		Se inserta el resbalón en la ranura de la tapa y la base para resortes. Esta operación requiere una compleja alineación y orientación

Subensamble7= 6, 19, 12, 20, 11, 16, 15, 17, 18	16		Se inserta la rondana que ajusta al espesor de la puerta. Esta operación es muy sencilla.
	15		Se insertan los tornillos para asegurar todo el ensamble. Son indispensables para instalar la manija en la puerta.
	17		Se inserta la tapa sin rosca para fines estéticos

	18		Se finaliza el ensamble insertando la manija interior para mano.
--	----	--	--

Tabla 13. Ruta de ensamble con descripción de cada operación

En la tabla 14 se muestra el análisis utilizando la metodología Boothroyd – Dewhurst, donde se puede observar una eficiencia del 30.72%, lo cual sugiere un rediseño, con un total de 23 partes reales y 17 partes mínimas teóricas, las operaciones y componentes que utilizan más tiempo son la inserción y sujeción durante operaciones subsecuentes del barril de la chapa, la inserción del subensamble del cilindro fijo en el subensamble de la base general, el ensamble del seguro, la inserción de la placa superior por medio del desarmador, y la reorientación y atornillado de los tornillos que aseguran el mecanismo de los resortes

6.2. Propuestas de rediseño para la chapa de bola.

1. En la manija para llave, incluir chaflán para auto localización de barril, con dos pestañas a simetrías de 45 grados de la muesca de la manija donde atora el seguro del barril fijo, para asegurar su correcta orientación una vez insertado.

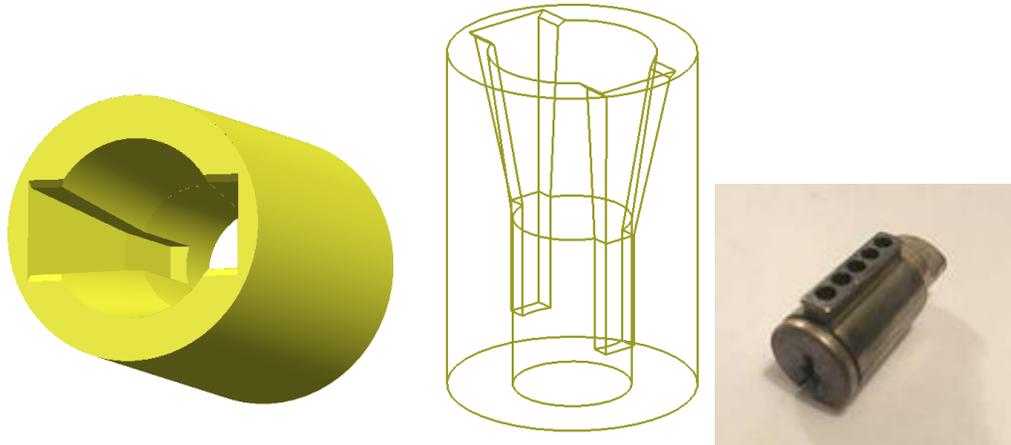


Figura 25. Diseño CAD de pieza autolocalizante incluida en la manija fija, para insertar, orientar y sujetar el barril en la manija.

2. Combinación de 3 piezas: base general, cilindro base, placa superior, en una sola pieza. Antes de hacer este cambio es recomendable considerar los cambios en las estaciones de manufactura para no incurrir en costos mayores a los que ya se tienen.

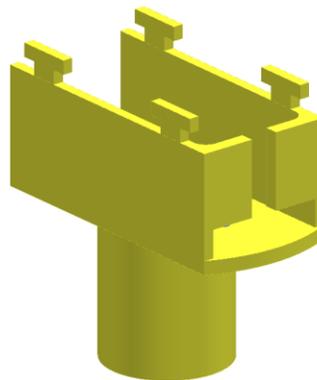


Figura 26. Diseño CAD de la combinación en una sola pieza de la base general, el cilindro base y la placa superior.

3. La tapa con rosca se eliminó ya que no es indispensable para el ensamble, solo es una pieza que mejora la apariencia del producto.
4. Modificar el seguro, aumentando su longitud aproximadamente 1.5 veces su dimensión original para manipularlo e insertarlo de forma más fácil. Otra forma de rediseñarlo es añadir una placa no funcional para la facilidad de manipulación.
5. Combinación de dos piezas: base para resortes y V para resortes, modificando la geometría de la base.

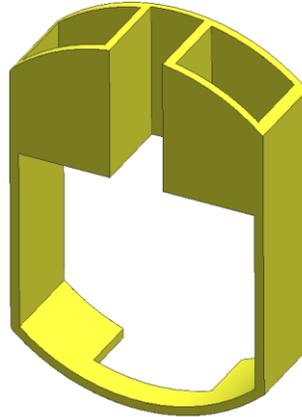


Figura 27. Diseño CAD de la combinación de piezas en una sola de la base para resortes.

6. Modificar los ajustes y tolerancias de la placa inferior, para que se elimine el uso de herramientas para su inserción.
7. Modificar ajustes y tolerancias de la tapa interior, para que sus muescas encajen en la base general, asegurando su posición inmediatamente, sin la necesidad del alambre que asegura el subensamble.
8. La tapa sin rosca se eliminó ya que no es indispensable para el ensamble, solo es una pieza que mejora la apariencia del producto.
9. Una recomendación que eliminaría las reorientaciones presentes en el ensamble actual es una base que sostenga y mantenga fija la manija para mano, que es la pieza a partir de la cual comienza el montaje, y con la aplicación de estas mejoras, el ensamble sería completamente piramidal, lo que reduciría aún más el tiempo de montaje.

En la tabla 15, se muestran los resultados del análisis teórico del método Boothroyd – Dewhurst, aplicado a la chapa rediseñada, se diseñaron en CAD las piezas rediseñadas, y por medio de percepción se aplicó el uso de tablas, suponiendo que se contaban con las piezas rediseñadas, se sustituyeron en la tabla aquellos componentes y operaciones que modificaron, y se eliminaron las piezas que se decidieron eliminar al no ser indispensables para el funcionamiento del ensamble. Se obtuvo un aumento considerable de la eficiencia, al llegar a un 55.27%, simplificando el ensamble a uno de 17 piezas, con una facilidad muy considerable de ensamble respecto al diseño original.

	Nombre pieza	Alfa	Beta	No. De pieza	No. De veces que la acción se repite	Dig Manipulación	T Manipulación	Dig. Inserción	T Operación	Num mínimo de piezas	Descripción
Subensamble 1	Manija para llave (Red)	360	0	22	1	1,0	1,5	0,0	3	1	colocar manija para ensamble
	Barril	360	180	1	1	2,0	1,8	2,0	7.3	1	inserción de barril en manija
	Cilindro Fijo	360	360	2	1	3,3	2,51	3,0	4.51	1	Inserción del cilindro en manija
Subensamble 1	Acople a Barril	360	180	3	1	2,0	1,8	1,0	5.8	1	inserción del acople en el cilindro y en el barril
	Combinación de piezas base general	360	0	23	1	1,0	1,5	1,7	10.5	1	Inserción de la pieza combinada en subensamble 1
Subensamble 2	Seguro (Red)	360	360	21	1	3,1	2,25	1,0	4	1	inserción
	Combinación de piezas base resortes	360	180	24	1	2,0	1,8	0,0	3.3	1	Colocar base para ensamble
	Resorte	180	0	10	2	0,0	1,13	0,0	5.26	2	inserción en base de resortes
	sub2	360	360	-	1	3,0	1,95	3,0	2	-	Inserción de sub 2 en sub 1
	placa inferior	180	360	6	1	2,0	1,8	0,0	3.3	1	Inserción en sub 2
	Cilindro móvil	360	360	19	1	3,0	1,95	3,1	5	1	Inserción en sub 2
	Tapa interior	360	360	12	1	3,0	1,95	0,0	3.45	1	Inserción en sub 6
subensamble 3	Resbalón	360	360	11	1	3,0	1,95	3,1	5	1	Inserción en sub 6
	Rondana	360	180	16	1	2,0	1,8	0,0	3.3	1	Inserción en sub 6
	Tornillo	360	0	15	2	1,0	1,5	3,8	6	2	Operación de atornillado
	Manija	360	360	18	1	3,0	1,95	0,0	3.45	1	Inserción en sub 7
Totales	Eficiencia de ensamble		EF=	55.27%					92.27	17	

Tabla 15. Análisis del rediseño de la chapa con el método Boothroyd – Dewhurs

7. CONCLUSIONES

El diseño para ensamble es una herramienta muy útil para simplificar un producto o ensamble y estimar costos desde las etapas tempranas del desarrollo del producto, además de que permite, la interacción de los diversos equipos de trabajo en las distintas etapas de producción, añadiendo conciencia a los diseñadores de la importancia de las decisiones tomadas y su influencia en las etapas posteriores. La principal desventaja de la implementación del DFA y DFMA, es el prejuicio erróneo que se tiene en pensar que su implementación resulta más costosa y tardada, comparada a los resultados redituables que se pudieran tener, o la idea de que los procesos de manufactura y ensamble siempre se han tomado en cuenta para el diseño inicial de un producto, sin la necesidad de utilizar un software como herramienta especializada en ello. Sin embargo, está demostrado que el ciclo de desarrollo de un producto se recorta considerablemente con la implementación de estas herramientas.

El material aquí presentado resultará de gran utilidad para los alumnos de las carreras de ingeniería mecánica, industrial, mecatrónica y en sistemas biomédicos, ya que no se cuenta con un material de apoyo tan detallado para el estudio del diseño para ensamble en los acervos de la Facultad de Ingeniería, el cual es un tema que puede resultar de gran trascendencia en el desarrollo de productos, desde la toma de decisiones en proyectos académicos, hasta en el desarrollo profesional dentro del campo laboral. Es por ello que el material didáctico aquí presentado motiva a comprender ideas claras, concisas y generales, que pudieran servir al alumno en algún momento de su desempeño profesional.

El sustento teórico recopilado y sintetizado de este trabajo, explica qué es el análisis del DFMA y DFA, cuál es su importancia, donde y cuando se utiliza, y diversos ejemplos y casos de estudio donde este concluyo en una mejor y simplificación del producto. También se realizó una explicación paso a paso de cómo aplicar la metodología Boothroyd – Dewhurst para ensambles manuales, con el fin de que el lector obtenga una noción a cerca de los factores y operaciones que se toman en cuenta en la metodología, y la forma en que estos afectan en la penalización de tiempo de ensamble. Se presentan varios ejemplos de la aplicación del método en ensambles sencillos, para procurar que el alumno, una vez entendiendo el procedimiento para aplicarlo a cualquier ensamble, pueda observar mediante los ejemplos la selección de los dígitos de manipulación e inserción. Se presenta un caso de estudio donde se muestra un rediseño basado en los resultados del análisis DFA, y se explica el análisis y evaluación después de las propuestas de rediseño.

La técnica del diseño para ensamble desarrollada por Boothroyd – Dewhurst se ha tratado de mejorar como lo observamos en el estudio del estado del arte, estos estudios se basan principalmente en el método original de Boothroyd – Dewhurst, algunos tratan de complementar el proceso con un análisis sobre piezas grandes y pesadas ya que el método original no contempla estas piezas y es un área de oportunidad para complementar esta valiosa herramienta, mientras que otros estudios lo complementan

con un análisis sobre diseño para desensamblable, se puede apreciar que la técnica sigue teniendo avances y realimentación.

La guía de mejores prácticas es un recurso que resulta ser de gran ayuda para que el lector obtenga la información acerca de las directrices del diseño para ensamble que ayudan a la toma de decisiones en el diseño de componentes y ensambles, nos ayuda a comprender de forma clara, sencilla y rápida estos conceptos para aplicarlos exitosamente en el rediseño de productos y en proyectos incluyentes.

Al presentar un catálogo de subensambles que muestra las principales implicaciones que se tienen en el montaje (manipulación e inserción de componentes), y sus respectivas soluciones, obtuvimos material didáctico visual y material didáctico tridimensional que nos ayuda a adquirir soluciones de diseño por medio del diseño para ensamble facilitando la captación de estos conceptos y reteniendo estos conocimientos, por lo cual cumplen su objetivo.

Con el desarrollo de todo el material didáctico presentado “Guía de mejores prácticas sobre DFA”, “Catalogo de piezas y subensambles”, “Piezas en 3D” y “prácticas académicas sobre DFA”, se mostró material que nos permite conocer, analizar y aplicar la herramienta del diseño para ensamble para afrontar proyectos ingenieriles que se presenten en el futuro.

Queda como trabajo a futuro realizar prácticas acerca del software desarrollado por Boothroyd – Dewhurst, para hacer una actividad comparativa a cerca de los resultados obtenidos con el método manual realizado con la hoja de cálculo. Por otra parte, el trabajo a futuro más indispensable sería validar el material didáctico con grupos más extensos de alumnos de la Facultad de Ingeniería, en cursos de diseño, para corroborar que el objetivo del material didáctico cumple su objetivo, al ser utilizado por grupos completos de las carreras afines.

El trabajo aquí presentado, en colaboración con el equipo, además de buscar los objetivos planteados en un principio, contemplaba por requisito la obtención del título de ingeniero mecánico mediante la elaboración de material didáctico y trabajo profesional, el cual también se cumplió ostensiblemente. Un trabajo profesional como el que se muestra aquí, es el resultado de un reporte de actividades realizado y presentado con la experiencia académica que se obtuvo a lo largo de la instancia universitaria en la licenciatura, utilizando algunas de las herramientas aprendidas durante el trayecto, diseñando ingeniosamente la canalización de la información del diseño para ensamble, de tal forma que esta se pudiera convertir en material didáctico, y profundizando los conocimientos en diseño e innovación de productos, diseño para ensamble y manufactura, así como la mejora de habilidades y aptitudes en el rediseño, y generación de alternativas de solución a problemas y áreas de oportunidades concretas. Por último, pero no menos importante, es el hecho de que la elaboración de un trabajo profesional implica disciplina, y abusando de redundancia, profesionalismo, lo cuál nos abala no solo como ingenieros, si no aún más importante, como profesionales.

8. REFERENCIAS

--. (--). DISEÑO PARA MANUFACTURA Y ENSAMBLE (DFM/A). 11-08-2017, de UMSS – Facultad de Ciencias y Tecnología Sitio web: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecnologia/PDF/cap-14.pdf>

--. (--). Metodología para DFA. 12-08-2017, de CIATEC, Tecnologías de manufactura avanzada Sitio web: <https://tecnologiasmanufacturaavanzada.wikispaces.com/file/view/DFA+-+Arturo+Calderon.pdf>

Autodesk, Sustainability Workshop, ProductDesign, Improvingproductlifetime, “Disassembly and recycling”. Recuperado de: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/products/disassembly-and-recycling>

Agencia Andaluza de Evaluación Educativa. (2012). Guía de Buenas Prácticas Docentes. 12-07-2017, de Junta de Andalucía Sitio web: <http://www.juntadeandalucia.es/educacion/agaeeve/docs/GuiaBuenasPracticasDocentes.pdf>

Artílez C., Mazara H., Adón D.(2015). Recuperado de: <https://es.slideshare.net/CarlosArtlezPMP/herramientas-para-optimizar-productos-y-procesos>

Blanco, I. (2012). Recursos didácticos para fortalecer la enseñanza-aprendizaje de la economía.. 27-07-2017, de Universidad de Valladolid Sitio web: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/1391/1/TFM-E%201.pdf>

Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. (2011) “Product design for manufacture and assembly”, United States of América, CCR Press, Tercera edición.

Carbonell, D (2015). Desing for X- Diseño para la manufactura. 11-08-2017, de -- Sitio web: <https://es.slideshare.net/dfcarbonell/design-for-x-diseo-para-la-manufactura>

Caridad, O. F., Kui, P. J., Cohén, E., (2012) Manual de sistemas de unión y ensambles de materiales. México: Trillas.

Casabón, A. I. S., de la Peña, E. V., Molins, P. G., Orera, L. O., Oliván, J. A. S., & Saz, J. T. CÓDIGO DE BUENAS PRÁCTICAS DOCENTES EN EL TÍTULO DE GRADO EN INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN.

Departamento de Titulación y Exámenes Profesionales. (--). Titulación por actividad de apoyo a la docencia. 27-07-2017, de UNAM Sitio web: <http://www.trabajosocial.unam.mx/dirs/Titula/tesis/Lineamientos/lineamientosdocencia.pdf>

DFMA © Boothroyd Dewhurst, Case Studies, “Using DFA to enhance value engineering/value analysis workshop outcomes”. Richard F. Johnson, Manufacturing Engineering, VE/VA Group, MAGNA INTERIOR SYSTEMS -SEATING GROUP, 19700 Haggerty Road, Livonia, MI 48152, Presented at the 12th Annual International Forum on DFMA, June 1997, Newport, RI. Sitio web: <http://www.dfma.com/resources/johnson.asp>

DFMA © Boothroyd Dewhurst, Case Studies,"LEAN CUISINE: Whirlpool Sweden puts DFA to work to cut parts by 29 percent and assembly time by 26 percent", 1997. Consulta el 01/10/2017. Sitio web: <http://www.dfma.com/resources/whirlpool.asp>

ECURED. (--). Material Didáctico. 27-07-2017, de EcuRed Sitio web: https://www.ecured.cu/Material_did%C3%A1ctico

Fernández J., López V., Sánchez R., Antuña R. (--). Guía metodológica dfma. Centro Tecnológico para el Diseño y la Producción Industrial de Asturias.

Flores H. D. A. (2012) "Diseño para la manufactura y ensamble DFMA", recuperado el 08/09/2017 de: <http://d-flores.wdfiles.com/local--files/mecatronica-viii/DFMA-2012.pdf>

Iturbe Arellano, I., (2010) Análisis del ensamble de una estructura metálica para proponer alternativas mediante DFA. Tesis de Licenciatura.

Morales, L. (--). Conceptos DFM y Metodología DFA. 12-08-2017, de CIATEQ AC Sitio web: <https://tecnologiasmanufacturaavanzada.wikispaces.com/file/view/DFM+y+DFA.pdf>

Robert, M. (1972). Material Didáctico. 27-07-2017, de -- Sitio web: http://biblio3.url.edu.gt/Libros/didactica_general/11.pdf

Observatorio de Logística y Sustentabilidad (OLS). (2016). Guía de buenas prácticas para la logística y la sustentabilidad. 12-07-2017, de OLS, ITBA Sitio web: <https://www.itba.edu.ar/intranet/ols/wp-content/uploads/sites/4/2016/10/Gu%C3%ADa-de-Buenas-Pr%C3%A1cticas-para-la-Log%C3%ADstica-y-la-Sustentabilidad.pdf>

Olivas, P. P., López, E. J., Gómez, E. A., Mora, H. P., Moroyoqui, S. R. O., Valencia, J. H. M., & Sandoval, G. L. APLICACIONES DE PROGRAMAS DE LA INGENIERÍA INVERSA AL ANÁLISIS DE UNA BOMBA PARA CULTIVO DE CAMARÓN.

Paz Bernales, H. (2016). Metodología DFMA de rediseño del conjunto estructural electrosoldado de una máquina.

Paz P., Espinosa, F., Martínez, I., Gutiérrez, P. (--). Producción de material didáctico: los objetos de aprendizaje. 27-07-2017, de Universidad de Murcia (España) Sitio web: <http://www.redalyc.org/html/3314/331427208004/>

Silva, A. P., & Suterio, R. (2015). DFA concepts applied in development of accessories for calibration. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 648, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.

Shetty, D., & Ali, A. (2015). A new design tool for DFA/DFD based on rating factors. *Assembly Automation*, 35(4), 348-357.

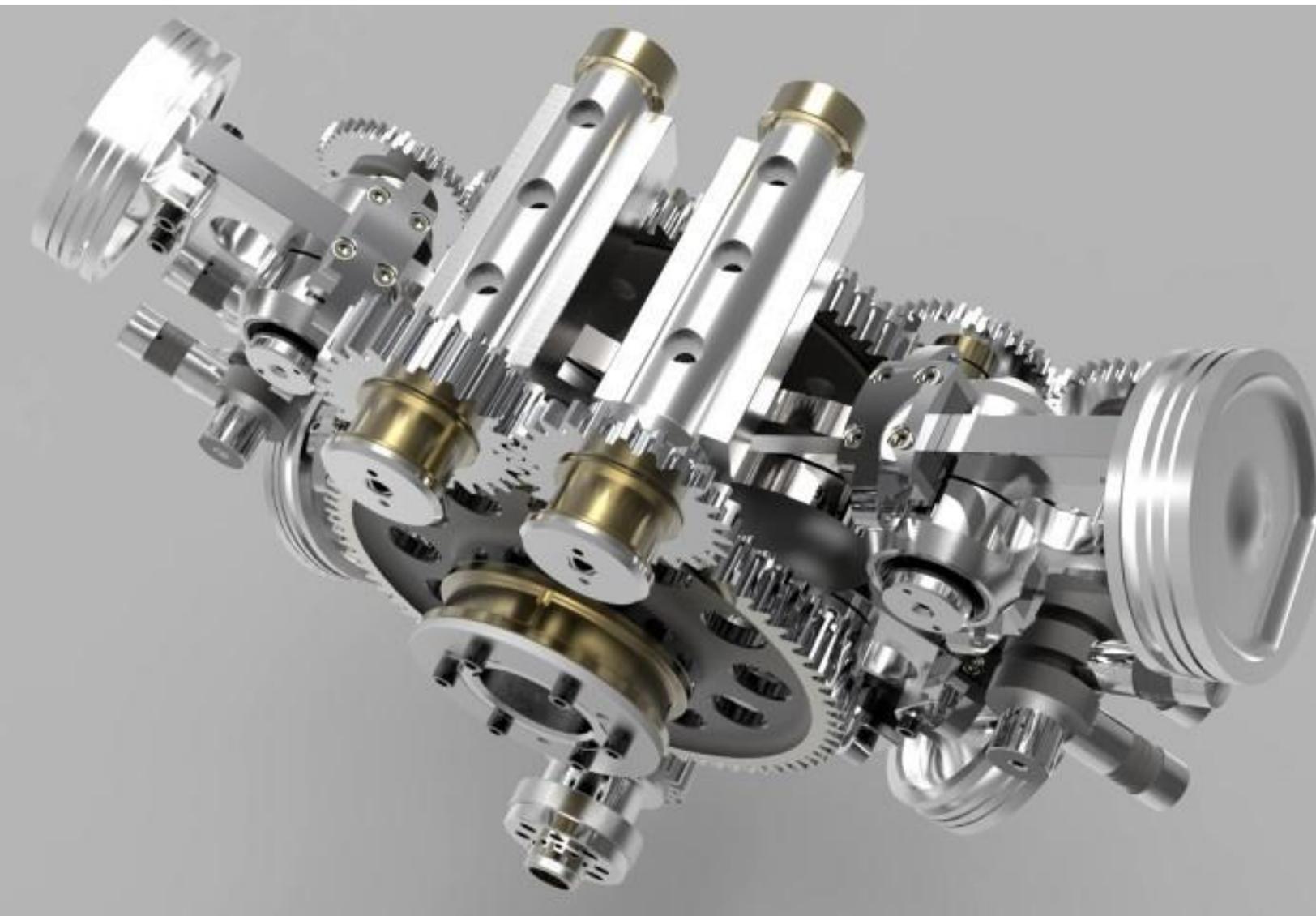
SL Soh, S. K. Ong, A. C. Nee , (2016)," Design for assembly and disassembly for remanufacturing ", *Assembly Automation*, Vol. 36 Iss 1 pp. 12 – 24

Soh, S. L., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2014). Design for disassembly for remanufacturing: methodology and technology. *Procedia CIRP*, 15, 407-412.

Villanueva, M. P. P. (2007). Integración de Sistemas inteligentes a la metodología Diseño para el Ensamble, en el desarrollo e innovación de productos.

Anexos:

- 9. Anexo I. Guía de mejores prácticas sobre el diseño para ensamble**
- 10. Anexo II. Catálogo de piezas didácticas para la enseñanza del diseño para ensamble**
- 11. Anexo III. Manual de prácticas sobre diseño para ensamble**



GUÍA DE MEJORES PRÁCTICAS SOBRE DISEÑO PARA ENSAMBLE

Índice

I.	INTRODUCCIÓN A LAS DIRECTRICES DEL DFA.....	2
II.	DIRECTRICES DEL DISEÑO PARA ENSAMBLE	3
A.	ESTANDARIZACIÓN.....	4
B.	MINIMIZAR LA CANTIDAD DE COMPONENTES.	5
C.	SIMETRÍA – ASIMETRÍA EN PIEZAS.	7
D.	PIEZAS AUTO-ALINEANTES Y AUTO-LOCALIZANTES.	8
E.	DISEÑO DE PIEZAS QUE NO SE PUEDAN INSTALAR INCORRECTAMENTE.	9
F.	ASEGURAR FACILIDAD DE UNIÓN DE PIEZAS Y NO LIMITAR VISIÓN DEL OPERARIO.	11
G.	REDISEÑO DE PIEZAS SUSCEPTIBLES A ATASCARSE.	14
H.	ASEGURAR LA FACILIDAD DE SUJECIÓN.	16
I.	ENSAMBLE PIRAMIDAL SOBRE LA PIEZA BASE.	17
J.	ENSAMBLES UNIDIRECCIONALES.	18
III.	MÉTODO AUTOMATIZADO.....	20
IV.	CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA EL ENSAMBLE ROBOTIZADO.	22
V.	RECOMENDACIONES EN JUNTAS.	23
	REFERENCIAS.....	25



I. INTRODUCCIÓN A LAS DIRECTRICES DEL DFA.

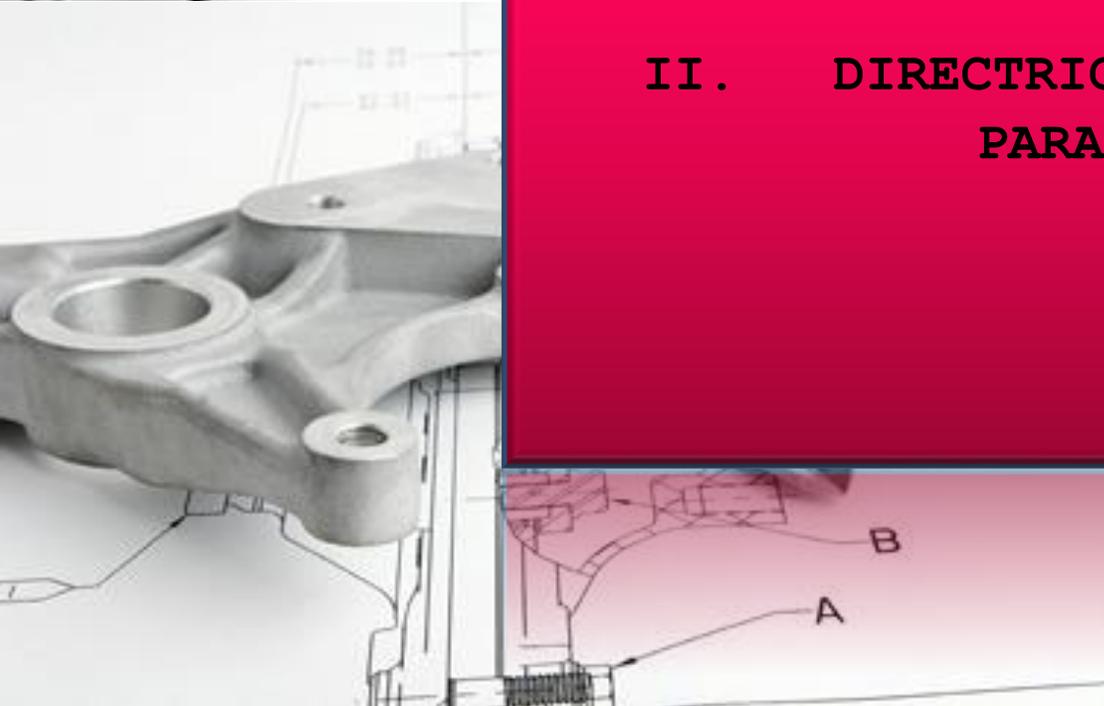
Existen reglas generales para facilitar el ensamble, y hay varios métodos de diseño, basados en ingeniería inversa, así como también para disminuir costos de operación en los procesos de ensamble, estos incluyen el método Boothroyd-Dewhurst, el método Lucas desarrollado por K.G. Swift, el método Hitachi, método de Winter, y el método de Poli. Las reglas generales son principios de diseño que se recomienda tomar en cuenta al diseñar un producto. Los métodos de diseño para ensamble evalúan las piezas a ensamblar mediante penalizaciones por medio de la detección de características que dificultan el ensamble y de esta manera, proveen a los diseñadores de una herramienta que genera áreas de mejora para asegurar la facilidad de ensamble desde las primeras etapas del desarrollo de un producto. Con base en las penalizaciones de estos métodos, se realizaron los lineamientos aquí presentados [Iturbe I., 2010, p. 9].

En este manual de buenas prácticas mencionaremos las principales directrices del DFA, orientado a todas las personas de la industria, especialmente en el área de diseño y rediseño, que requieren de opciones de rediseño en sus piezas y estructuras de manufactura y ensamble, con el fin de obtener las ventajas del DFA, o algunas distintas que tenga planteadas el equipo de trabajo.

El manual también puede ser empleado como material didáctico, ya que es un resumen práctico, directo y sencillo, sobre los principales lineamientos del diseño para ensamble, para que el alumno obtenga una síntesis fácil y entendible de reglas básicas, para la ayuda de toma de decisiones en el diseño de un producto.



II. DIRECTRICES DEL DISEÑO PARA ENSAMBLE



A. ESTANDARIZACIÓN.

Estandarizar utilizando partes, procesos y métodos comunes a través de todos los modelos, e incluso de ser posible a través de líneas de productos, para permitir el uso de procesos de mayor volumen.

La estandarización de partes del ensamble no solo reduce las operaciones de ensamble, sino el tamaño del inventario, ya que no se desperdicia tiempo en ordenar, agrupar y posteriormente manipular piezas con características diferentes, si estas pueden cumplir su función siendo iguales. La estandarización de piezas y partes además facilita la adaptación de un ensamble robotizado.

Como resultado obtenemos:

- Menores tiempos de diseño.
- Evita el diseño de componentes personalizados.
- Permite el desarrollo de celdas de manufactura.

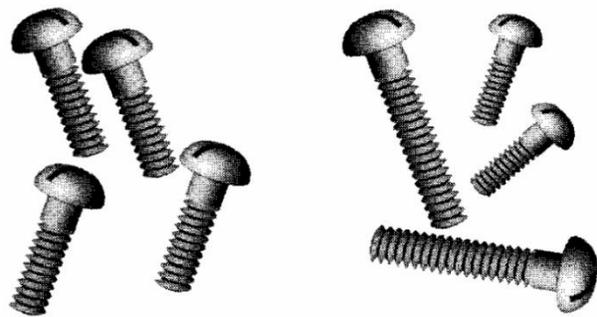


Figura 1. Estandarización de sujetadores.

Diseñar partes comunes y/o piezas multifuncionales.

Emplear métodos y procesos de manufactura comunes.

No realizar diseños personalizados si no es necesario.

La estandarización permite unificar los procesos de manufactura.



B. MINIMIZAR LA CANTIDAD DE COMPONENTES .

- Diseñar piezas con características de unión inmediata para eliminar los sujetadores.
- Procurar la eliminación de piezas que actúan como conductores en conexiones (cables, tuberías, uniones de extensión, etc.).
- Eliminar piezas flexibles que comúnmente se instalan incorrectamente.
- Determinar si los empalmes son temporales o definitivos para determinar el tipo de sujeción.
- Minimizar la cantidad de sujetadores distintos.
- Evitar sujeciones de tornillo y tuerca siempre que sea posible.

El ensamble menos costoso es aquel que tiene la mínima cantidad de componentes posibles. Probar la necesidad de la existencia individual de cada pieza utilizando los tres criterios de piezas indispensables. Una pieza no es susceptible de eliminarse si:

- ◆ La pieza se mueve relativamente a las de más piezas previamente ensambladas
- ◆ La pieza debe ser de diferente material.
- ◆ La pieza debe estar separada para permitir el ensamble o desensamble de otras piezas.

Como resultado obtenemos:

- ◆ Se reduce el costo del producto
- ◆ Se simplifica el ensamble
- ◆ Incremento de la calidad del producto
- ◆ Elimina la necesidad de herramental de ensamble
- ◆ Desensamble más fácil en el mantenimiento y el servicio de campo.

Con frecuencia es más fácil la automatización con una cuenta de partes reducida.

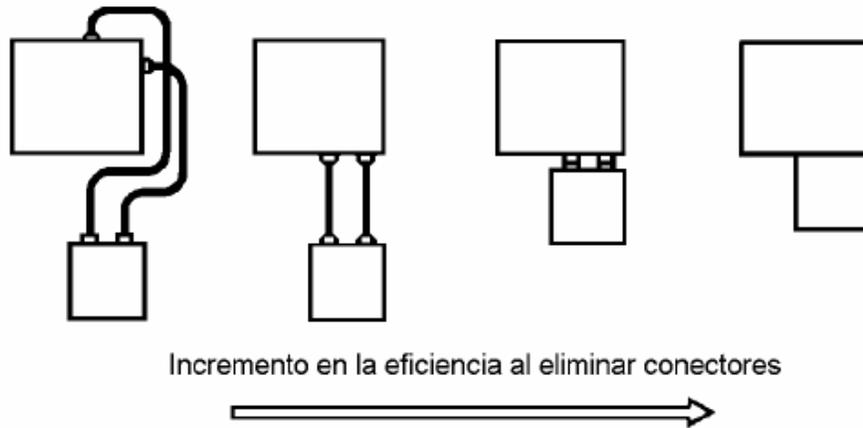


Figura 2. Minimización de conectores

Procurar eliminar sujetadores, conectores, piezas flexibles.

Probar la existencia individual de cada pieza utilizando los tres criterios de piezas indispensables.

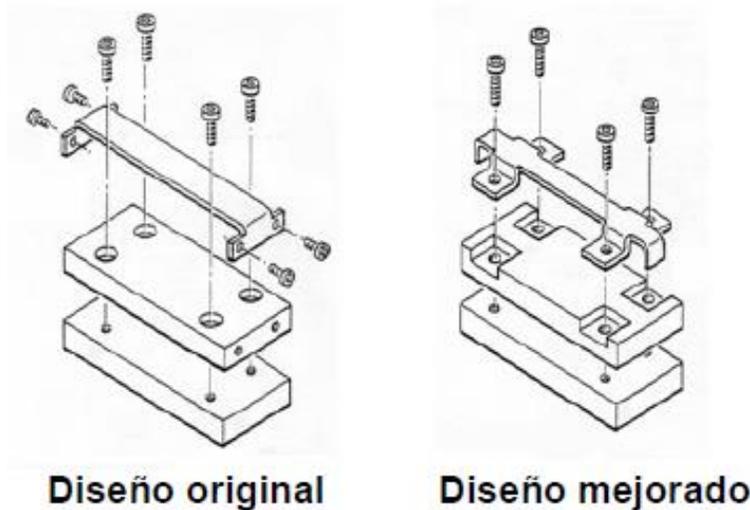


Figura 3. Minimización de sujetadores

Evitar sujeciones de tornillo y tuerca.

C. SIMETRÍA – ASIMETRÍA EN PIEZAS.

El establecimiento de características simétricas y asimétricas son recursos que facilitan la manipulación al momento de la orientación de las piezas. La simetría influye en gran medida ya que afecta el tiempo para sujetar y orientar una pieza. Una pieza es más fácil de orientar e insertar en tanto sea lo más simétrica posible.

En general, para facilitar la manipulación de piezas, un diseñador debe:

- Diseñar piezas completamente simétricas, que tengan una simetría de extremo a extremo, que guarden simetría en por lo menos un eje de inserción. Esto hace que sea posible montar las piezas en varias orientaciones.
- Si la simetría completa no es posible, entonces se debe de diseñar las piezas exagerando asimetría con la finalidad de evitar ensambles incorrectos.
- Hacer las características de ensamble asimétricas.
- Si dos piezas pueden ser ensambladas incorrectamente, entonces hay que asegurar que el ensamble de las piezas subsecuentes sea imposible.

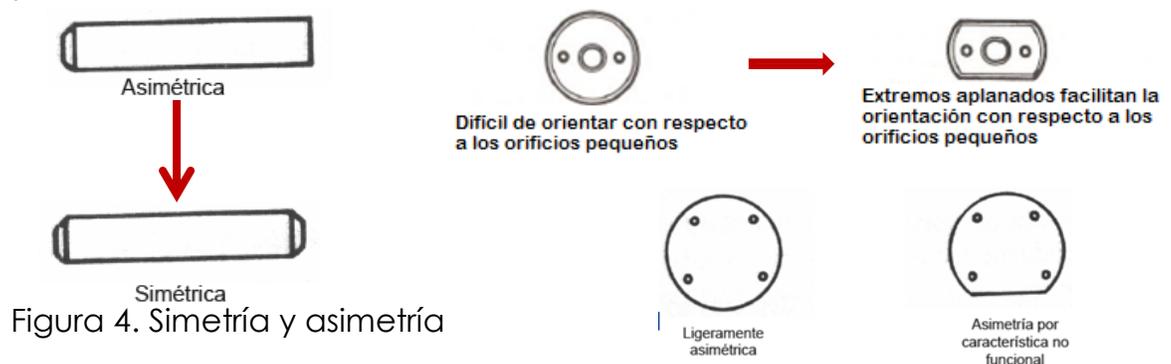


Figura 4. Simetría y asimetría

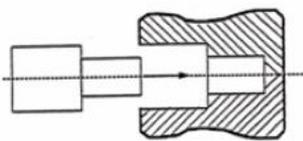
Maximizar la simetría de piezas si es posible, o bien hacerlas muy asimétricas, con características no funcionales.

D. PIEZAS AUTO-ALINEANTES Y AUTO-LOCALIZANTES.

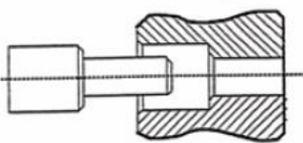
Se debe diseñar de modo que exista poca o ninguna resistencia a la inserción e incluir chaflanes que ayuden a guiar o alinear la inserción de dos partes de acoplamiento. Diseñar piezas que sean fáciles de manipular e insertar.

En ocasiones las piezas a ensamblar deben sufrir modificaciones para un mejor ensamble, siempre y cuando este no afecte el funcionamiento del prototipo. Se debe de tener cuidado para evitar espacios libres que dan lugar a un atascamiento de piezas.

Las ventajas de esta correcta aplicación son:



Diseño original

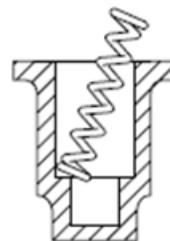


Diseño mejorado

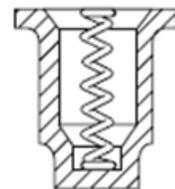
Figura 5. Diseño de chaflanes

Diseñar las piezas para que sean auto-alineantes y auto-localizantes

- Favorecer la alineación de piezas, lo que reduce el tiempo y costo de ensamble.
- Reduce tiempo y esfuerzo en la inserción de piezas, ayudando a localizar y a mantener fija una pieza, reduciendo la necesidad de utilizar manos o herramientas de sujeción para mantener una orientación de ensamble
- Mejora de calidad de ensamble.
- Minimizar el tiempo de orientación de una pieza



La pieza se puede atorar



La pieza cae en su lugar

Implementación de chaflanes para facilitar la inserción

Figura 6. Autolocalización por medio de chaflanes

E. DISEÑO DE PIEZAS QUE NO SE PUEDAN INSTALAR INCORRECTAMENTE.

Se deben diseñar piezas, de forma que sea imposible ensamblarlas de forma incorrecta; esto se logra añadiendo obstrucciones que impidan un ensamble incorrecto, es decir incluir alguna característica que no afecte el funcionamiento del ensamble para definir su orientación.

- Proveer obstrucciones que no permitan el ensamble incorrecto.
- Si dos piezas pueden ser ensambladas incorrectamente, entonces hay que asegurar que el ensamble de las piezas subsecuentes sea imposible.
- Si la recomendación anterior no se puede lograr, entonces hay que marcar las piezas con indicaciones para su correcta instalación, tales como "arriba", "primero", flechas o colores.
- Procurar la eliminación de piezas flexibles que comúnmente se instalan incorrectamente.
- Si no se puede proveer a la pieza de una marcada asimetría, entonces es conveniente incluir alguna característica asimétrica no funcional a la pieza para definir su orientación.

Marcar piezas con indicaciones para su correcta instalación.

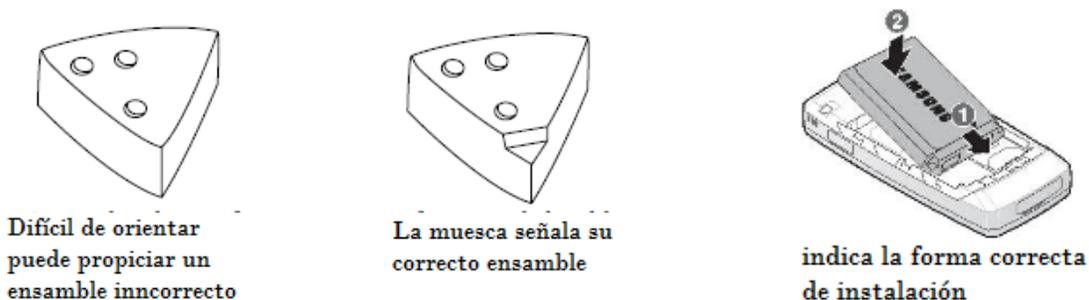


Figura 7. Ejemplos de indicación de la forma correcta de tomar e insertar componentes

Poner obstrucciones que impidan un ensamble incorrecto.

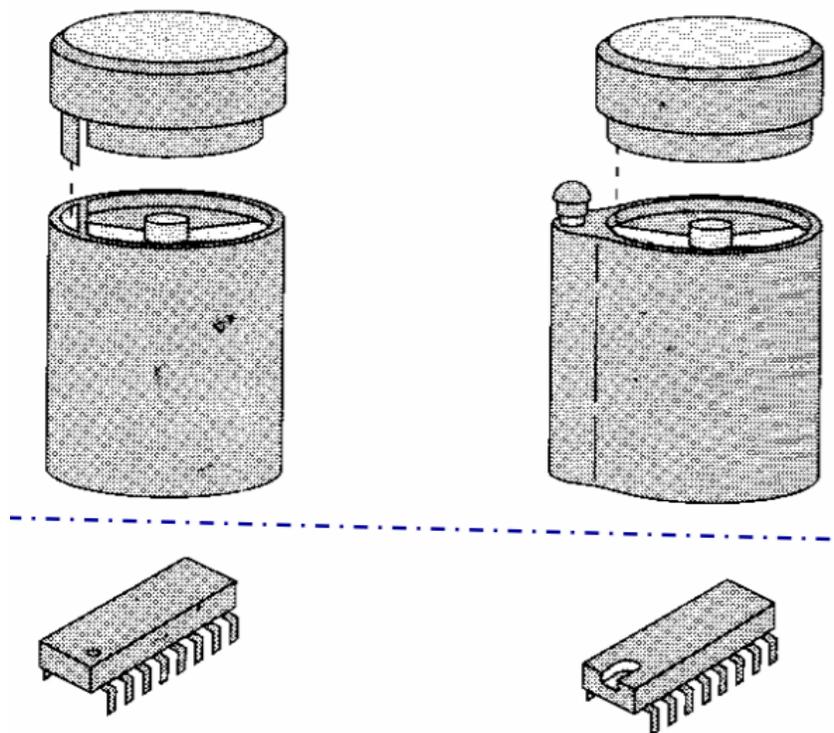


Figura 8. Piezas que no se pueden instalar incorrectamente

F. ASEGURAR FACILIDAD DE UNION DE PIEZAS Y NO LIMITAR VISIÓN DEL OPERARIO.

- Minimizar el número de sujetadores (tornillos, tuercas, pernos, remaches) diseñando piezas con características de unión, el uso de sujetadores aumenta considerablemente el costo de ensamble
- Se recomienda el diseño de ajustes rápidos en las mismas piezas.
- En caso de ser necesario su uso, estandarícelos al máximo a un solo tipo y tamaño, evite tamaños demasiado pequeños o grandes que dificulten su manipulación, también evite que tengan posibilidad de herir o lastimar a los trabajadores o usuarios.

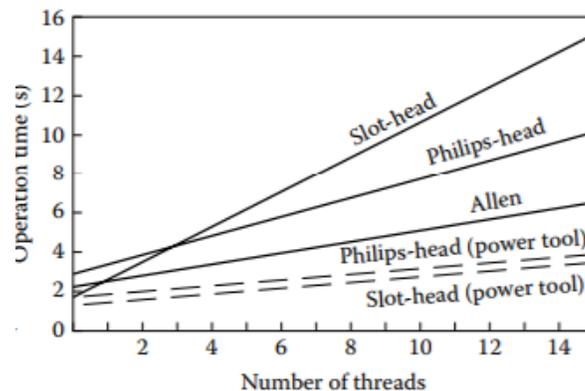


Figura 9. Esta gráfica muestra el incremento del tiempo de operación para insertar tornillos de rosca, contempla la manipulación de la herramienta, la manipulación del tornillo con la misma, y el desalojo de la herramienta. Cabeza plana (Slot head), Cabeza de cruz(Phillips-head), Cabeza Allen(Allen).

El uso de sujetadores separados incrementa el costo de ensambles, y la necesidad de usar herramientas para su colocación.

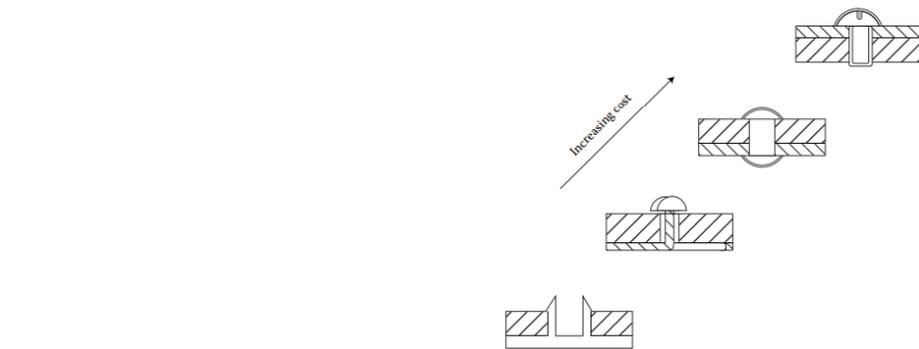


Figura 10. Relación de costo con el tipo de sujetador.

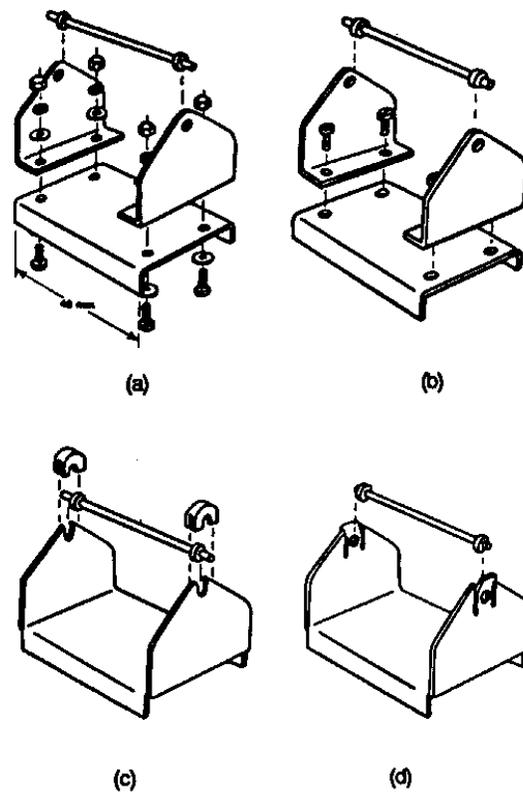


Figura 11. Reducción de sujetadores utilizando DFA.

- Recuerde siempre diseñar las partes que se asegurarán inmediatamente después de su inserción, para evitar el uso de tornillos y tuercas, así como aquellas que se insertarán con chaflanes y redondeos para facilitar su inserción.

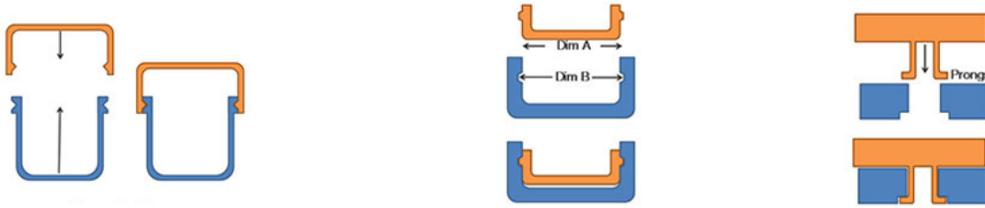


Figura 12. Ejemplo de piezas que se aseguran inmediatamente.

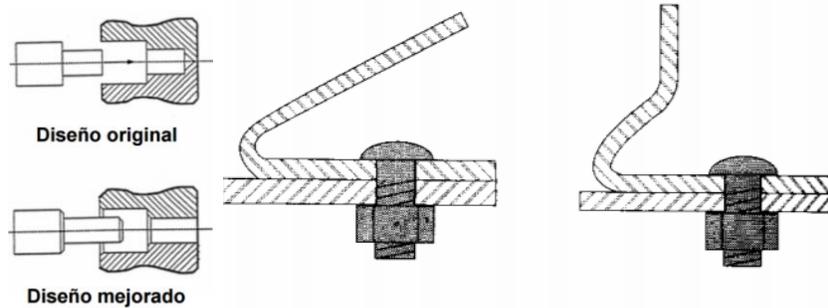


Figura 13. Diseño de fácil inserción y de no obstrucción.

- Asegúrese que la pieza no limite la visibilidad o el alcance con las manos y/o herramientas del operario al momento de la manipulación y la inserción de la pieza, ya que esto aumenta la dificultad y el tiempo de ensamble, si es el caso, se recomienda rediseñar el subensamblé.

No dificultar visión del operario.

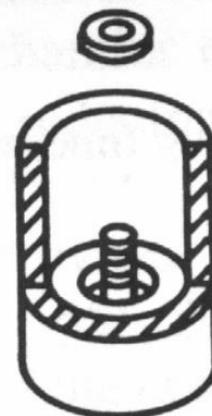
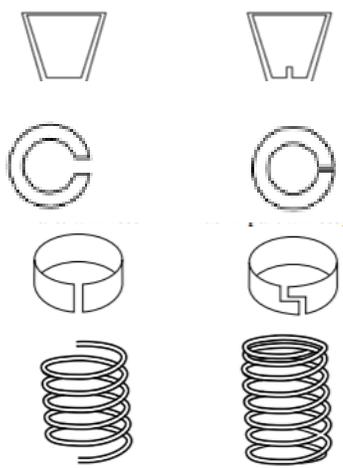


Figura 14. Ejemplo de dificultad de acceso y visión del operario.

G. REDISEÑO DE PIEZAS SUSCEPTIBLES A ATASCARSE.

- Es importante proveer de características geométricas a las piezas de tal forma que evitemos el atascamiento, atoramiento o amontonamiento de estas, cuando son transportadas y/o manipuladas estando a granel. Esto facilita enormemente la manipulación de las piezas para su ensamble, e incluso, se evita el desperdicio de algunas que, al atorarse, quedan inservibles.
- Se debe proporcionar espacios generosos, pero se debe tener cuidado para evitar holguras que puedan llegar a atascarse o colgarse durante la inserción.



Se puede observar que, en las piezas del lado izquierdo, es probable el atascamiento entre piezas cuando una se inserta dentro de otra, con el rediseño del lado derecho se evitará esto gracias a una protuberancia que sale del mismo material en el fondo del recipiente, y a la disminución de la distancia de separación.

Figura 15. Ejemplos de diseños que no se pueden atascar

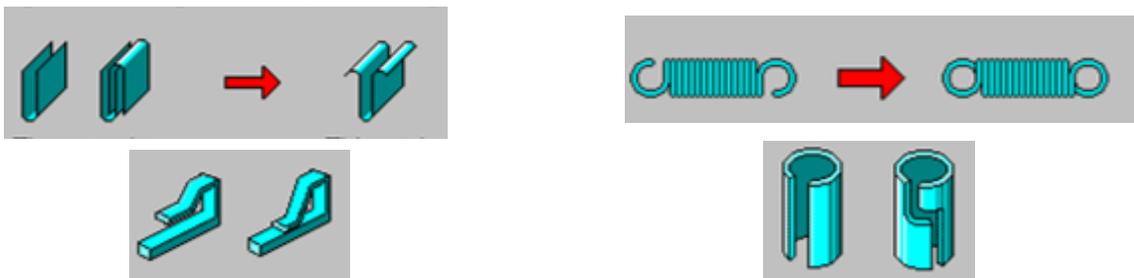


Figura 16. El rediseño de piezas se hace con la finalidad de evitar posibles atascamientos cuando se amontonan a granel

- Se recomienda que no se diseñen partes o piezas flexibles, cuando sea posible, ya que el correcto posicionamiento de estas piezas para su inserción en ensamblajes o subensamblajes toma mucho tiempo, además de que son más susceptibles a atorarse entre sí cuando son manejadas a granel. Ejemplos de este tipo de partes son cinturones, arneses de cables etc. Asegúrese también, en la medida de lo posible, evitar el uso de piezas muy grandes o muy pequeñas que dificulten su manipulación.

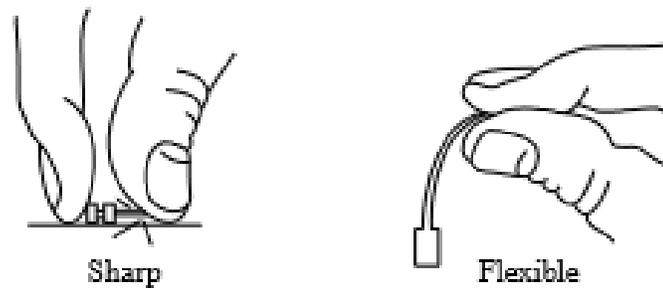


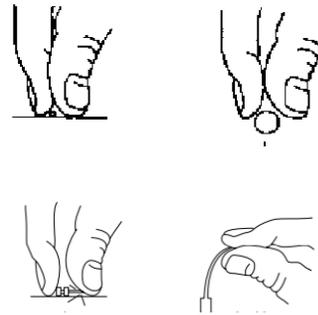
Figura 17. Evitar el uso de piezas flexibles o muy pequeñas.

Asegurar la facilidad de sujeción de las piezas a partir del granel.

H. ASEGURAR LA FACILIDAD DE SUJECCIÓN.

Los problemas típicos de manipulación se deben a:

- Dimensión.
- Peso.
- Flexibilidad.
- Fragilidad.
- Superficies resbalosas.
- Piezas pegajosas.



Este tipo de superficies provocan la necesidad de usar:

- 2 manos.
- Aumento óptico.
- C) Auxilio mecánico.

Figura 18. Evite piezas pequeñas, puntiagudas o flexibles

- Evitar que se mantenga sujeta una pieza. Una vez que se inserta una pieza, se debe procurar que esta quede fija, o parcialmente fija al subensamble, de modo que no sea necesario mantenerla sujeta con las manos o alguna herramienta para proseguir con la inserción de piezas en el subensamble. Si es necesaria la sujeción con manos o herramientas para mantener la orientación, se recomienda rediseñar piezas, para que la pieza insertada quede localizada en su posición tan pronto como sea posible después de su inserción.

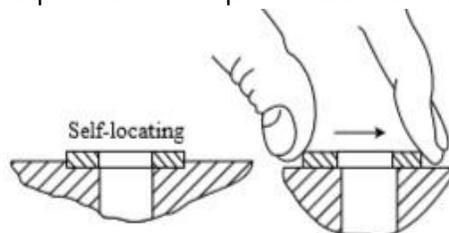


Figura 19. Rediseño de piezas que quedan parcialmente fijas.

Evite el uso de piezas pequeñas, flexibles, resbalosas, o puntiagudas que dificulten su manipulación.

I. ENSAMBLE PIRAMIDAL SOBRE LA PIEZA BASE.

- Se recomienda el ensamble piramidal de piezas, es decir, empezar el ensamble de abajo hacia arriba, respecto a un mismo eje de referencia, de preferencia, eje vertical paralelo a la fuerza de gravedad, para que los efectos de la gravedad ayuden a la facilidad del ensamble. De esta forma, fijar una pieza base en la cual se montarán el resto de las piezas y subensambles, todo ello sin cambiar de posición la pieza base, cuando sea estrictamente necesario cambiarla, se recomienda usar un soporte al igual que en la primera posición, y aprovechar al máximo la reorientación de la pieza base, es decir, ensamblar el mayor número de piezas y subensambles que estén asociadas a este reacomodo de la base.
- Se recomienda seleccionar una base de ensamble que sea de tamaño relativamente mayor a las demás, y que, una vez insertando las demás partes utilizando ensamble piramidal, se mantenga un bajo centro de gravedad, apoyándonos en la fuerza de gravedad para el ensamble.

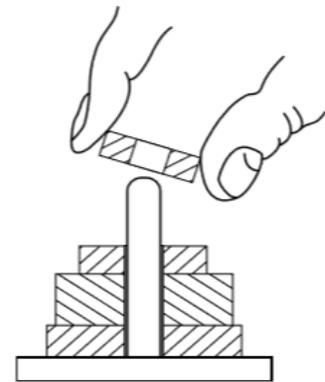


Figura 20. Ensamble piramidal

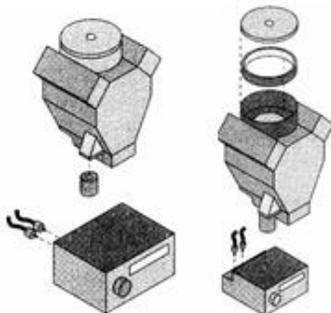


Figura 21. Diseñe la pieza base de dimensiones grandes, después, inserte las piezas pequeñas subsecuentes con ensamble piramidal sobre un solo eje.

Utilice ensamble piramidal, subsecuente en un mismo eje, (vector paralelo a la fuerza de gravedad).

J. ENSAMBLES UNIDIRECCIONALES.

Procure escoger las piezas más grandes de cada subensamble como las piezas bases, y aplicar el ensamble piramidal de tal suerte que las piezas más pequeñas se inserten sobre la más grande sin necesidad de reorientar la posición de esta.

Si no es posible mantener una sola dirección de ensamble, procure minimizar al máximo el número de reorientaciones. Observe las siguientes figuras.

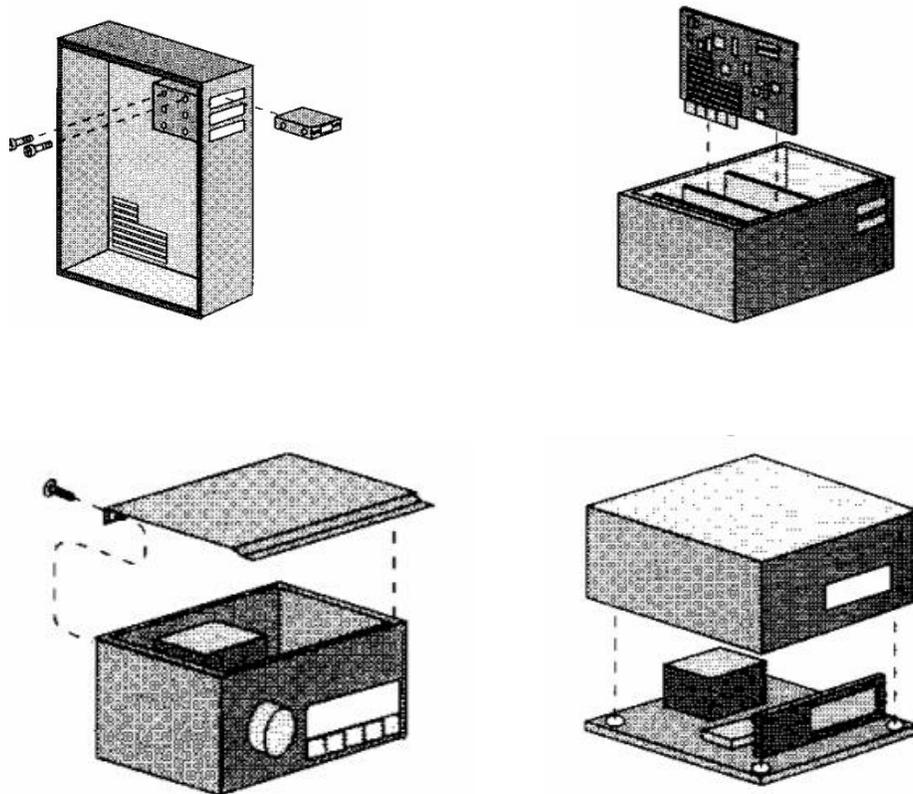
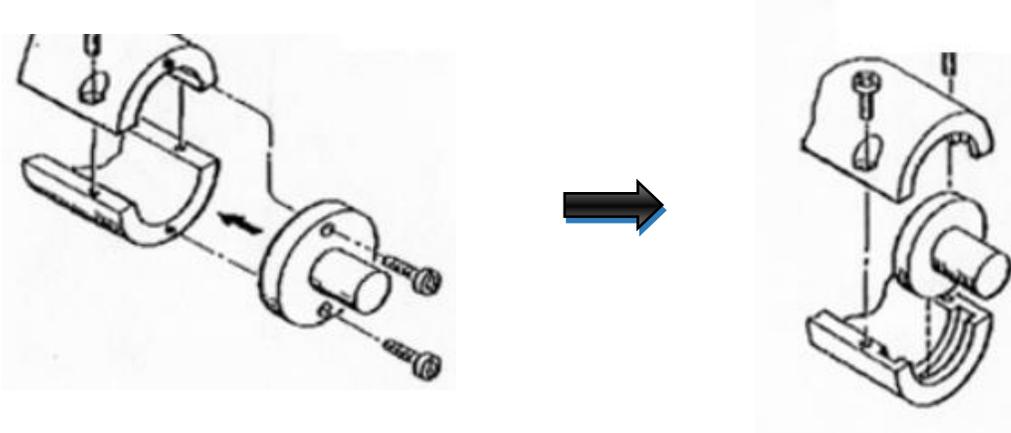
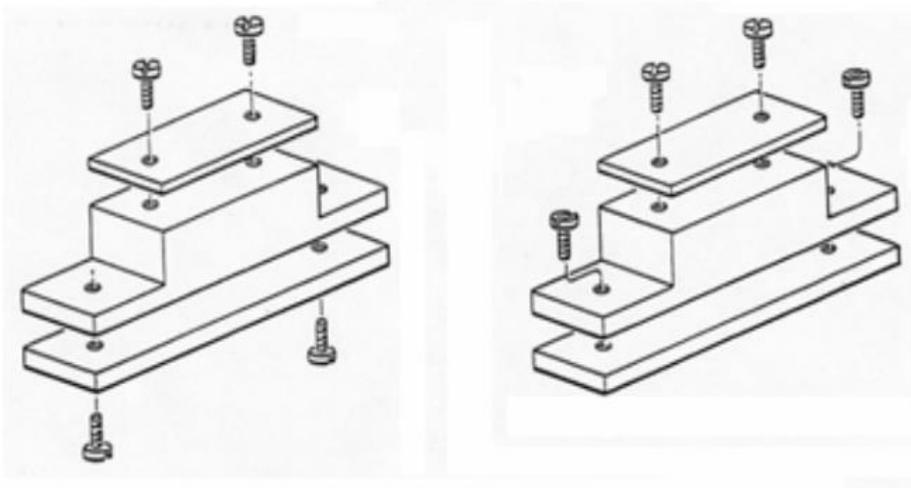


Figura 22. Rediseño de ensambles para que la inserción se realice sobre un mismo eje

- Trate siempre de rediseñar para obtener una sola dirección de ensamble.



Minimizar el número de reorientaciones de un ensamble.



Diseño original

Diseño mejorado

Figura 23. Ejemplos de ensambles unidireccionales.



III. MÉTODO AUTOMATIZADO.

Reglas para el diseño del producto.

- Las partes del ensamble requieren ser: uniformes, de alta calidad y especificación, tener tolerancias geométricas muy pequeñas, con el fin de evitar la manipulación incorrecta de piezas y los defectos de manufactura.
- Aplicar el método de Boothroyd-Dewhurst para minimizar el número de partes del ensamble. Por ejemplo, la eliminación de una parte conllevaría la eliminación completa de una estación de ensamble, incluyendo la máquina de ensamblaje, el sistema de alimentación y la disminución de la ruta de ensamble.
- Haga uso de las características autolineables y autolocalizantes que dan los chaflanes y redondeos, guías y huecos autolocalizantes, para facilitar el proceso de ensamble.
- Evite, cuando sea posible, la fijación mediante tuercas y tornillos, ya que dificultan la programación de ensamble, son costosos y consumen más tiempo.
- Se recomienda el diseño de partes que contengan características geométricas que les permitan ajustarse con otras mediante presión.
- Escoger la pieza más grande como pieza base, de tal modo que las demás piezas se inserten de forma vertical, con miras a tomar ventaja de la gravedad.
- Evite partes flexibles, frágiles o abrasivas, asegúrese que el material resista los esfuerzos ocasionados por el robot.
- Evite a toda costa la reorientación del ensamble, cada reorientación por lo general implica una subestación automatizada de ensamble totalmente diferente.
- Si es posible, diseñe el producto de manera que se pueda ensamblar por capas, de modo que cada parte pueda ser localizada en su posición, y no tienda a moverse al aplicarse fuerzas horizontales en el accionar de la máquina.

- Diseñar partes de tal forma que se ocupe el menor tiempo posible en la manipulación, es importante recordar que, en el método automatizado o robotizado, las partes que no llegan a la subestación en la posición correcta para su inserción son expulsadas, también en este tipo de ensambles son más fáciles de manipular las piezas con una geometría simétrica, o considerablemente asimétrica.
- En caso de resultar muy costosa la simetría, se recomienda añadir material a las partes para así facilitar su identificación y manipulación.

Reglas para el diseño de piezas.

- Al igual que en el ensamble manual, evite piezas que su geometría permita que se atasquen o atoren entre sí, cuando sean manejadas a granel
- Intente diseñar las partes con la mayor simetría posible, para evitar el uso de dispositivos extras de orientación.
- Si la simetría es imposible, proporcione características asimétricas que faciliten la manipulación de estas.



IV. CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA EL ENSAMBLE ROBOTIZADO.

- Incluir características a las piezas tales como, cabezales, bordes o chanfles, que aseguren al autoajuste de ensambles, tomando en cuenta que los robots manipuladores necesitan esta ayuda para evitar los fallos en la colocación de partes.
- En este tipo de ensambles, el ensamble parcial de piezas autoajustables adquiere mayor importancia. En un sistema de un solo brazo robótico, es imposible sujetar una pieza que no esté segura, para realizar el siguiente paso de la secuencia de ensamble, en un sistema de dos brazos robóticos, se podría realizar, pero bajaría demasiado la eficiencia de ensamble.
- Diseñe todas las partes, de tal forma que puedan ser tomadas e insertadas con el mismo brazo robótico, evitar el uso de pinzas o herramientas especiales para cada pieza, y procure utilizar la misma herramienta para sujeción y para inserción.
- Diseñe productos que se ensambren en una sola dirección (eje z), esto asegura que se puedan ensamblar con los manipuladores más sencillos y económicos que existen (4 grados de libertad)
- Evite reorientar en el ensamble, en la mayoría de los casos esto recae en el uso de más estaciones de trabajo, o en la necesidad de un manipulador de al menos 6 grados de libertad.
- Evite el diseño de piezas que se puedan atascar o atorar al manejarles en el granel, o aquellas piezas que puedan presentar inconvenientes en la línea de alimentación, al momento de ser tomadas por el manipulador.
- Para poder utilizar un manipulador simple, asegure que la pieza llegue del sistema de alimentación con la orientación correcta, y no sea necesario desperdiciar grados de libertad en una orientación diferente a la de inserción.



V. RECOMENDACIONES EN JUNTAS.

Recomendaciones para uniones fijas.

Las uniones fijas son aquellas que no permiten el movimiento relativo entre las partes unidas

- Se recomienda usar la unión por encaje libre o con juego cuando se desea una unión simple de bajo costo, siempre que no sea necesario sujetar las piezas entre sí.
- Se recomienda usar la unión por encaje forzado o apriete cuando se desea una unión desmontable, con piezas bien referenciadas y fuerzas de sujeción medias o elevadas.
- Los snap - fit son muy económicos, pero pueden presentar dificultades debido a una fuerza de retención débil o por roturas en los desmontajes.
- Se recomienda usar la unión por deformación plástica cuando se desea una unión no desmontable de elevada resistencia y bajo costo.
- Se recomienda usar uniones roscadas cuando se desea una unión desmontable de elevada resistencia mecánica y facilidad de desensamble.
- Es importante tener en mente que las uniones atornilladas clásicas son las de costo más elevado, tanto por su manufactura como por su ensamble.
- Se recomienda usar uniones soldadas cuando se desea una unión permanente de elevada resistencia.
- Se recomienda usar adhesivos cuando se desea una unión no desmontable, se disponen de grandes superficies y deben evitarse concentraciones de esfuerzos.

Recomendaciones uniones móviles.

Las uniones móviles son aquellas que permiten la conexión entre dos componentes, que permite el movimiento relativo entre ellas. Las uniones móviles son de diferentes tipos y se utilizan en los productos como cojinetes, rodamientos, guías lineales de contacto deslizante o contacto por rodadura.

- Se recomienda usar cojinetes de fricción en aplicaciones con cargas moderadas o velocidades de rotación pequeñas, ya que pueden resultar menos costosos que los rodamientos.
- Se recomienda usar cojinetes lubricados por capa gruesa en aplicaciones con grandes diámetros o velocidades. En este caso se lubrican con base en sistemas hidrodinámicos (cuando las velocidades relativas son elevadas), o hidrostáticos (cuando las velocidades relativas son bajas).
- Teniendo en cuenta la capacidad de carga y el precio, se recomienda usar rodamientos de bolas para pequeñas dimensiones, mientras que para grandes dimensiones se recomienda de rodillos.
- Si se busca aumentar la rigidez de una unión se recomienda usar rodamientos de rodillos frente a los de bolas.

REFERENCIAS

Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W., 2011. *Product Design for manufacture and Assembly. Third Edition*, --: CRC Press.

Dorador, J., "Diseño para ensamble", Centro de diseño y manufactura, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Fernández J., López V., Sánchez R., Antuña R. (--). *Guía metodológica dfma. Centro Tecnológico para el Diseño y la Producción Industrial de Asturias.*

Flores, D. (--). *Diseño para la manufactura y ensamble DFMA. 1-05-2017, de UPIITA Sitio web: <http://d-flores.wdfiles.com/local--files/mecatronica-viii/DFMA-2012.pdf>*

Iturbe Arellano, I., (2010) *Análisis del ensamble de una estructura metálica para proponer alternativas mediante DFA. Tesis de Licenciatura.*

Seth Bates. Tech14x, (2017), "Design for Manufacturing Design for Manufacturing and Assembly I: and Assembly I: General Principles General Principles", Manufacturing and Product Design Manufacturing and Product Design San Jos San Jos é State University.

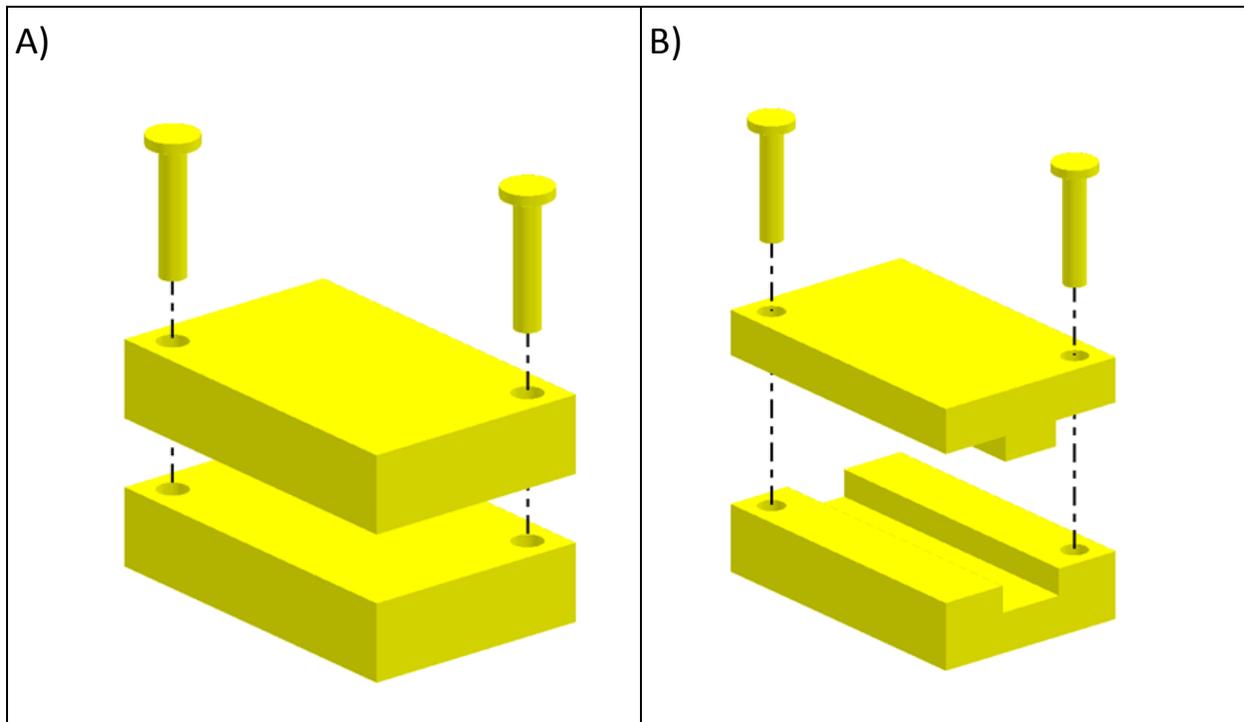
Stienstra, D. "Introduction to Design for (Cost Effective) Assembly and Manufacturing", Rose-Hulman Institute of Technology, 5500 Wabash Avenue Terre Haute, IN 47803-3999.

UMSS . (--). *DISEÑO PARA MANUFACTURA Y ENSAMBLE (DFM/A). 31-04-2017, de UMSS - Facultad de Ciencias y Tecnología Sitio web: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-14.pdf>*

Vijay P., Kumar V.(2017), "Basic snap fit Desings".[Figura]. Recuperado de: <http://www.dsourc.in/course/designing-plastic-products-injection-moulding/assembly-techniques-plastics/snap-fits>

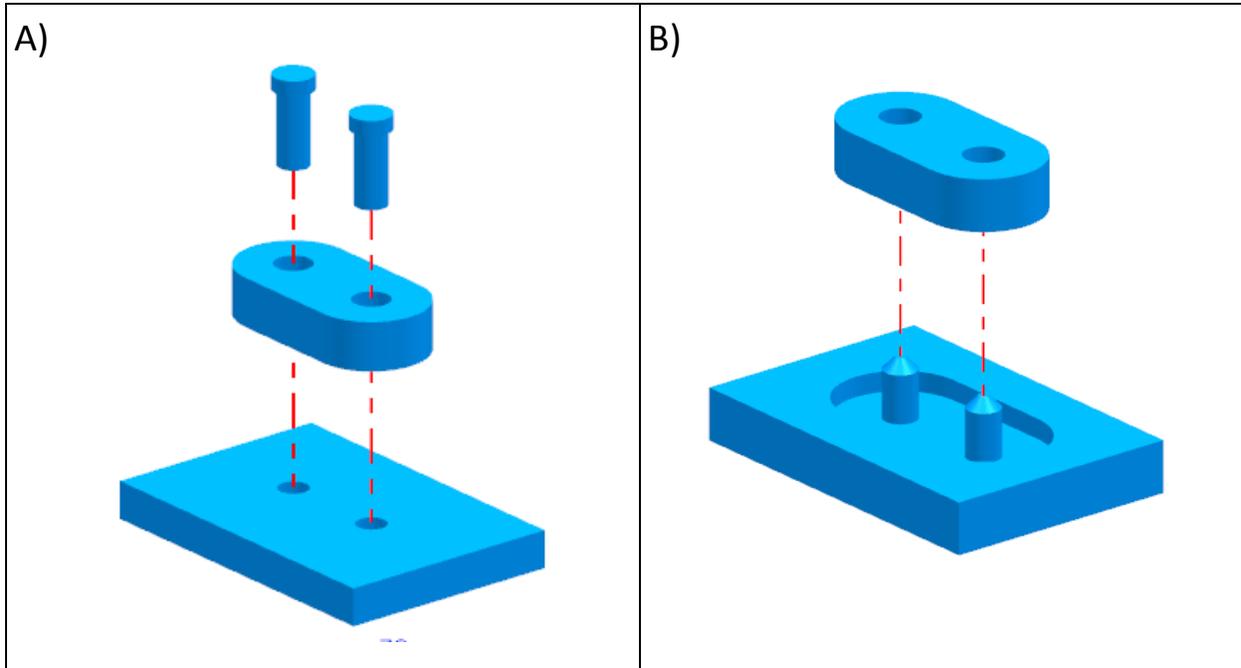
ANEXO II

CATÁLOGO DE PIEZAS DIDÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA DEL DISEÑO PARA ENSAMBLE



Directriz: Diseño de piezas auto – alineantes y auto – localizantes.

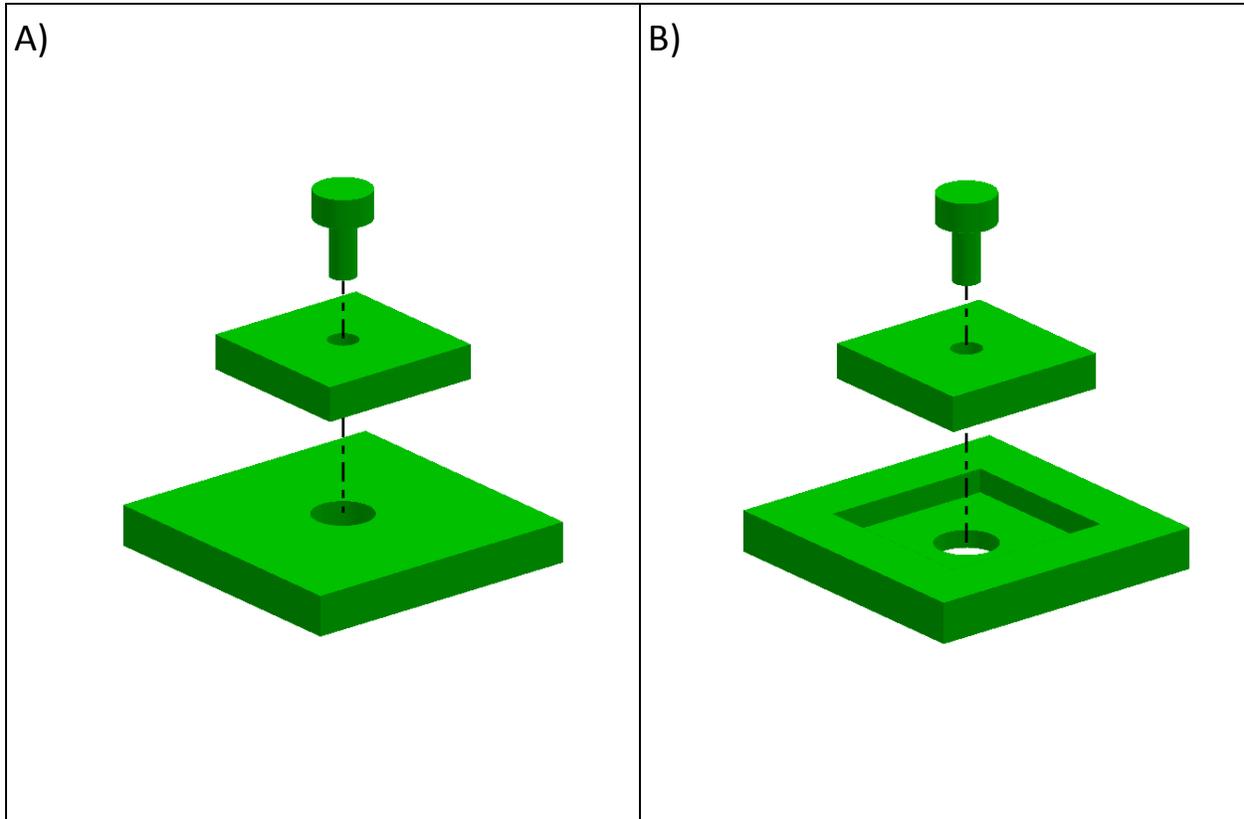
Descripción: Como se puede observar en (A), se tiene un ensamble con 2 tapas y un par de pernos, que podrían representar pernos, tornillos apretados por rosca o tornillos con tuerca, el ensamble queda en su posición correcta al insertar los dos pernos y sujetar ambas piezas. En (B) se observa una ranura en la tapa inferior, y la geometría de la tapa superior fue modificada para que se adapte a la ranura, de esta forma se restringe el movimiento en un eje, y se facilita la alineación de ambas piezas para la inserción de los pernos.



Directriz: Diseño de piezas auto – alineantes y auto – localizantes.

Descripción: En la figura (A) la pieza con forma de elipse tiene que ir sujeta a la base por medio de pernos, los cuales pueden representar tornillos con rosca, tornillos con tuerca o pernos. Se presenta un pequeño inconveniente al ensamblarlos, pues se tiene que sujetar las dos piezas con una mano y tratar de insertar el perno con la otra, limitando la visión del operario.

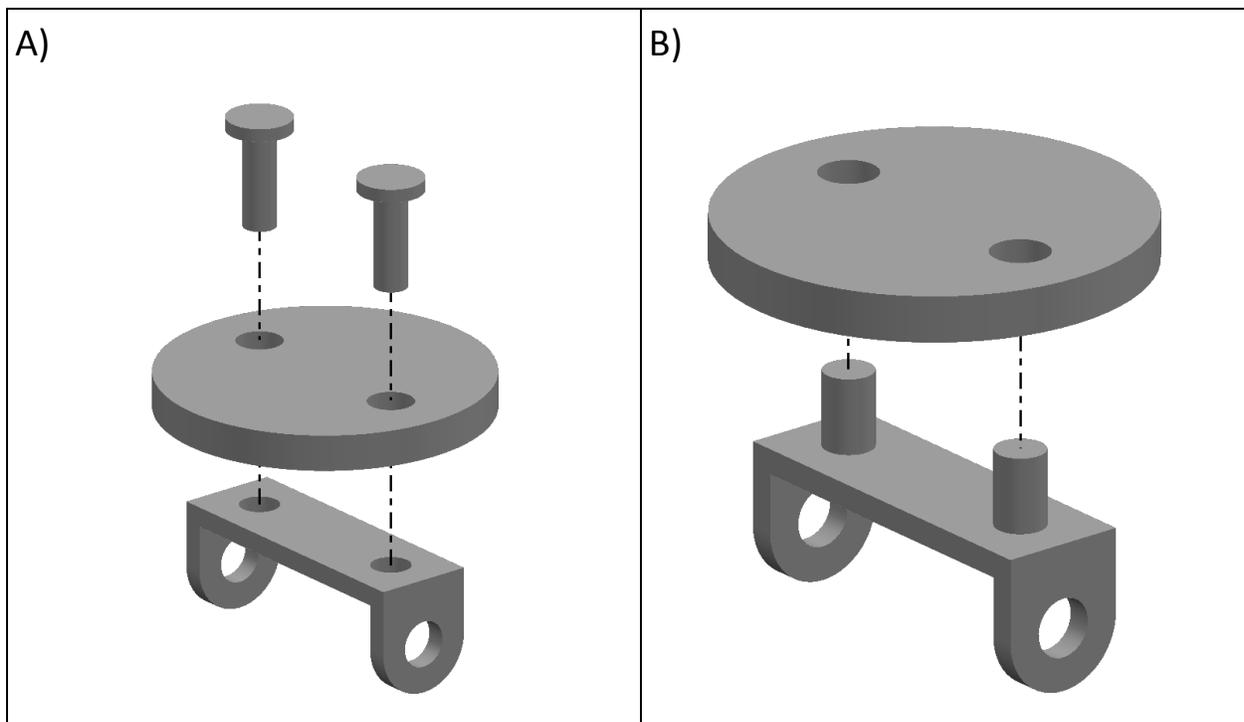
En la figura (B) se observa que la base tiene un pequeño desnivel con la forma de la pieza a ensamblar, con esta mejora se logra posicionar la pieza más fácilmente, la base es simétrica por lo que la pieza en forma de elipse puede ser ensamblada por cualquiera de sus caras, se eliminan los dos pernos que ya están incluidos en la base, facilitando el ensamble, otra mejora es el uso de chaflanes en los pernos que tiene la base, permitiendo un ensamble más rápido y fácil.



Directriz: Diseño de piezas auto - alineantes y auto - localizantes.

Descripción: Se presenta en (A) un ensamble de dos placas mediante un sujetador, el problema de ensamble aquí es posicionar ambas placas concéntricamente al hueco, y en la orientación adecuada, para insertar el sujetador y fijar el ensamble. En (B) se facilita esta tarea añadiendo una superficie auto localizante en la placa inferior, que inmediatamente posiciona de forma correcta la placa superior, asegura la concetricidad de los huecos, y evita la necesidad de mantener la sujeción para no perder la orientación.

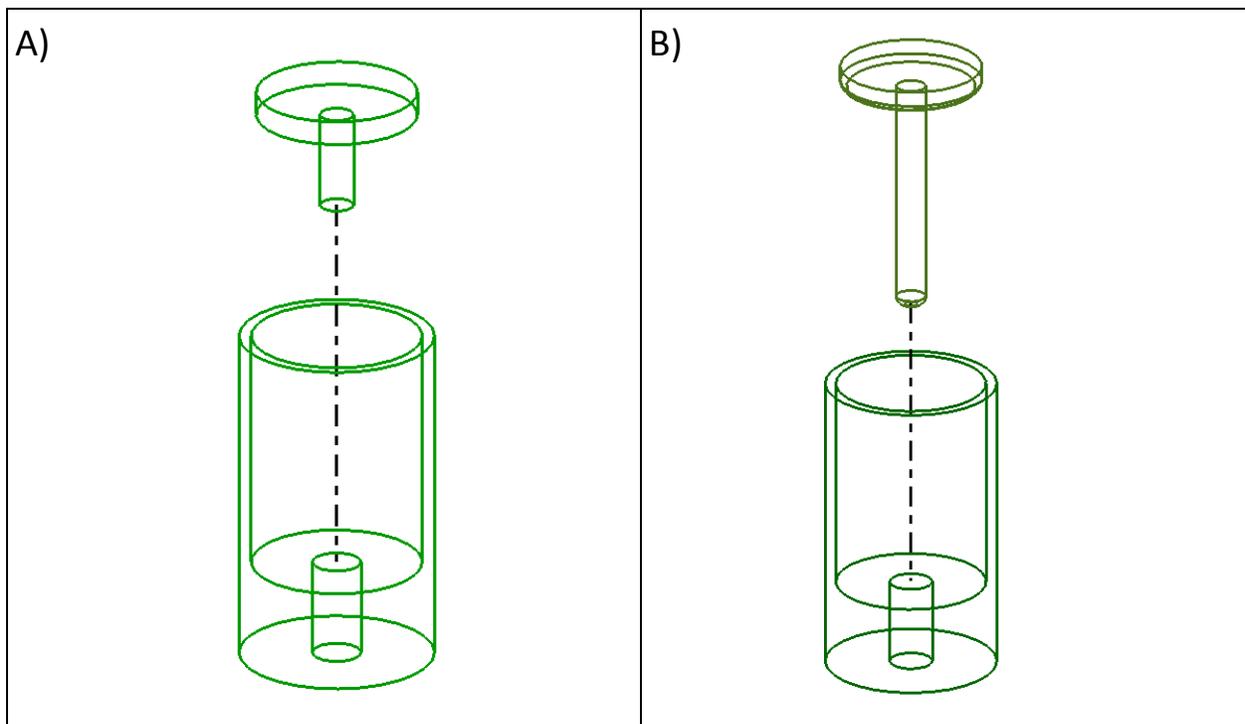
ENSAMBLE 4



Directriz: Diseño de piezas auto – alineantes y auto – localizantes .

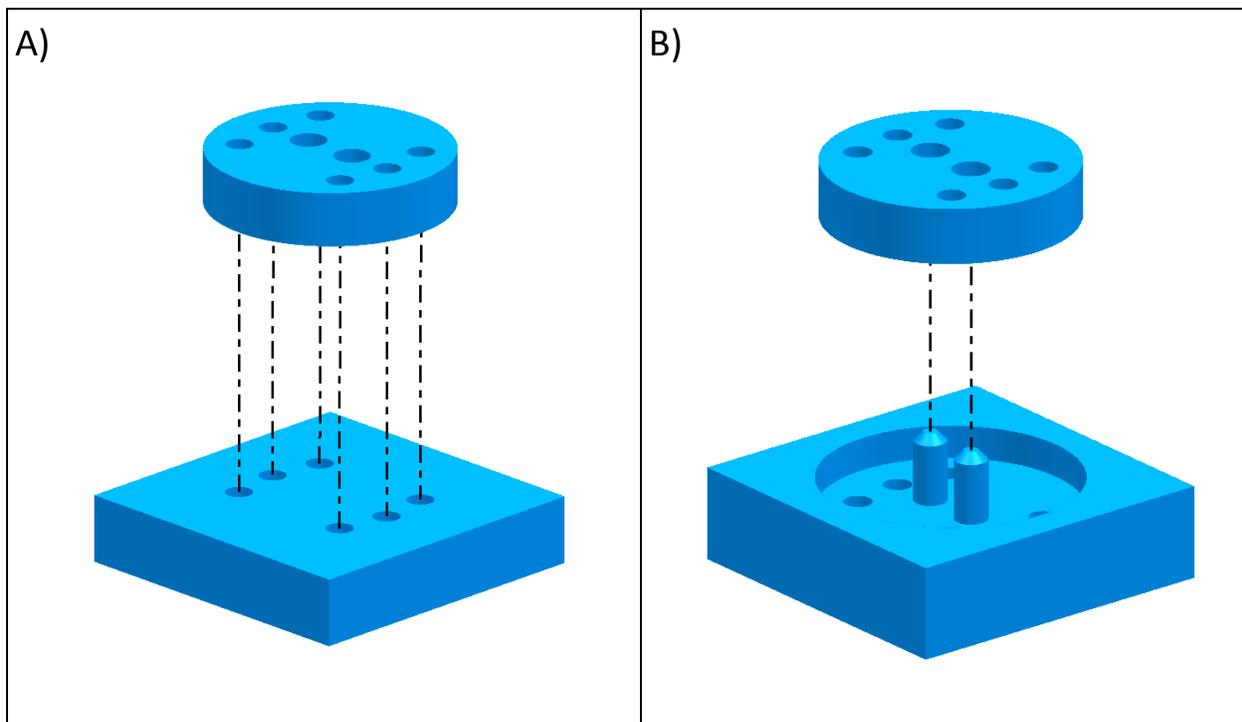
Descripción: (A) se trata de un diseño similar al de la placa de diafragma en rodamientos, se trata de una placa unida a una base a través de tornillos con rondana y tuerca, representados por pernos en este ensamble, nótese que para insertar los pernos se tienen que alinear y mantener sujetas tanto la base como la placa. En (B) se muestra el diseño mejorado incluyendo los pernos en la geometría de la pieza base, lo cual facilita la orientación e inserción del ensamble, además de que se eliminan piezas del mismo.

ENSAMBLE 5



Directriz: Diseño de piezas auto – alineantes y auto – localizantes .

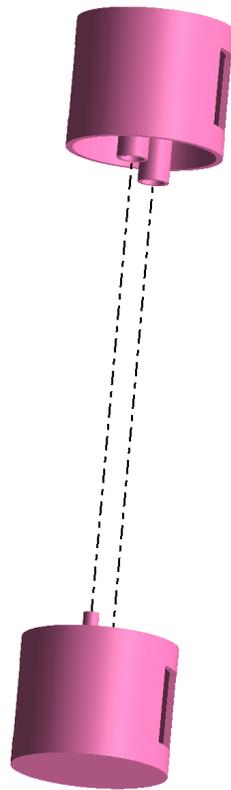
Descripción: Este ensamble ejemplifica un problema típico de ensamble en la industria, en (A) el vástago es muy corto, lo cual hace muy complicado introducirlo en el agujero interior de la pieza base, tanto por acceso restringido como la limitante de visión, la única forma de inserción es dejarlo caer y atinar al agujero. En (B) se hizo mas largo el vástago , para que primero pueda ser localizado en la posición adecuada, y después insertado simplemente dejándolo caer con ayuda de la fuerza de la gravedad.



Directriz: Diseño de piezas auto – alineantes y auto – localizantes.

Descripción: En (A) se observa una base y una placa con 6 orificios cada una, cuya concentricidad determina la correcta orientación del ensamble, es claro que en este caso, se deben manipular las piezas hasta obtener la orientación correcta, y de ser necesario mantener sujeta la placa para mantener dicha orientación. En (B) se le añadieron dos vástagos no funcionales a la base, que facilitan la simetría y el alcance rápido y correcto de la posición deseada, además de que se elimina la necesidad de mantener sujetas las piezas para mantener la orientación, este ejemplo es muy útil en el ensamble robotizado, ya que el manipulador puede encontrar fácilmente la posición correcta con ayuda de los vástagos.

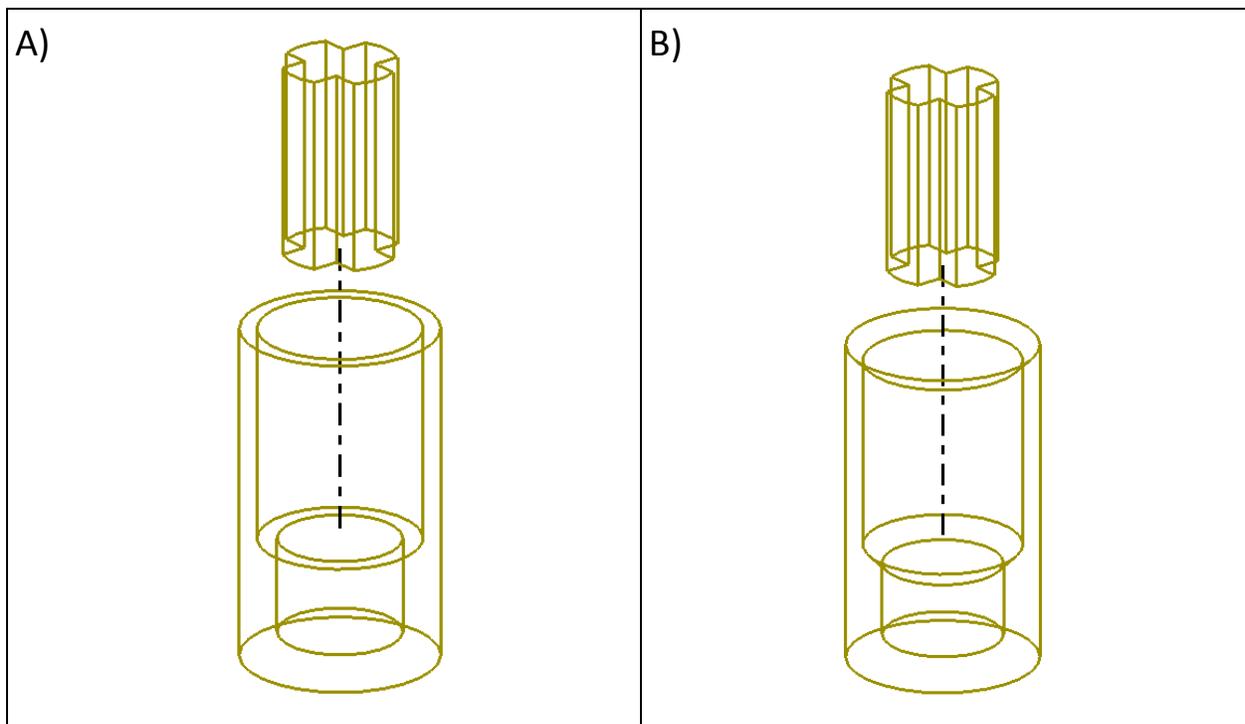
A)



Directriz: Diseño de piezas auto - alineantes y auto - localizantes.

Descripción: Este ensamble didáctico ejemplifica las directrices auto lineantes y de simetría y asimetría, ya que el ensamble de las piezas facilita la orientación e inserción de una pieza sobre otra de forma correcta, evitando que se inserten de manera incorrecta, y por el diseño utilizado las piezas se insertan de manera sencilla y son aseguradas inmediatamente después de la inserción.

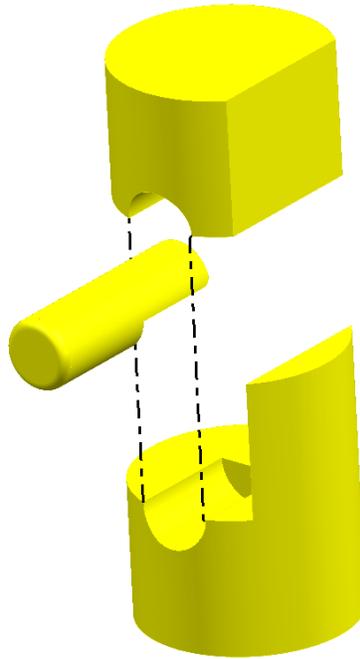
ENSAMBLE 8



Directriz: Diseño de piezas auto – alineantes y auto – localizantes .

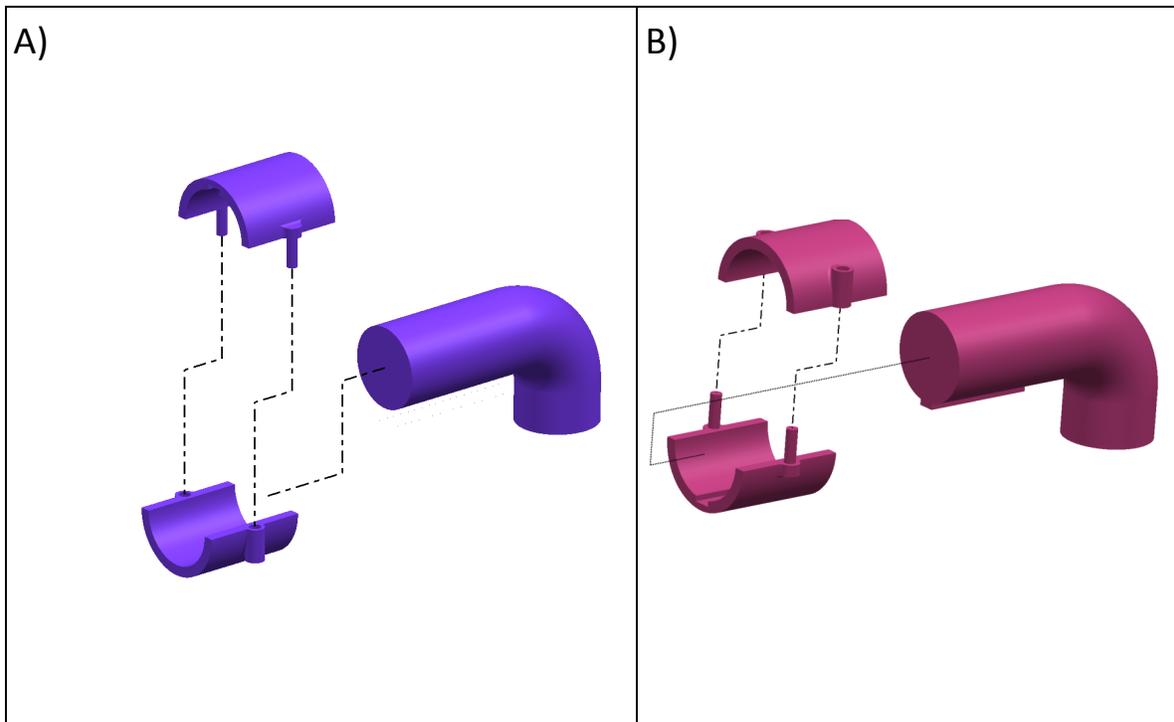
Descripción: Se tiene un ensamble donde un vástago se inserta en un agujero que a su vez se encuentra dentro de otro agujero mas grande, y la longitud del vástago es igual a la de la profundidad del agujero con diámetro mayor, lo que dificulta en (A) la inserción del vástago. Una solución diferente a aumentar la longitud del vástago, es auxiliarse de chaflanes que permitan la auto localización del vástago al ser soltado de la sujeción, tal como se muestra en (B), y alcanzar la inserción correcta de una forma más sencilla.

A)



Directriz: Diseño de piezas auto – alineantes y auto – localizantes.

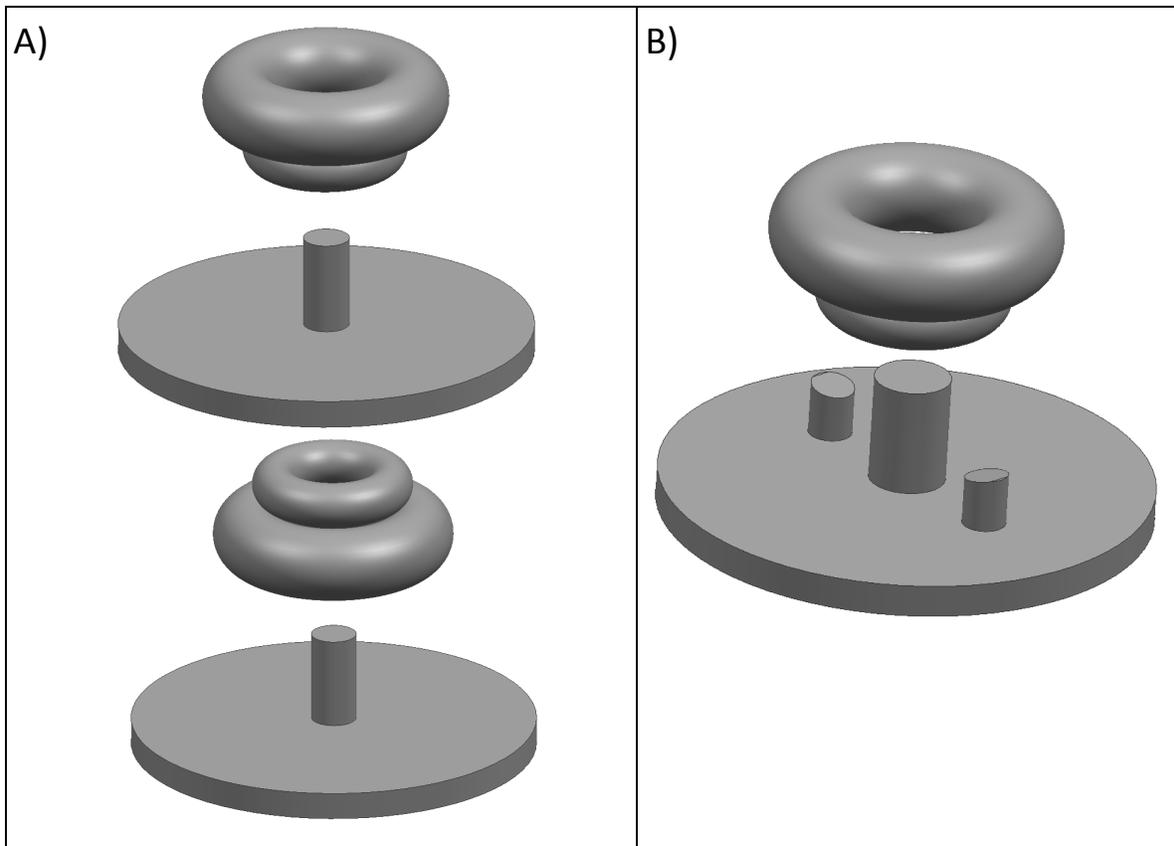
Descripción: Se puede observar en (A) el ensamble de una pieza totalmente didáctica, donde se ejemplifica claramente el diseño de piezas auto localizantes dentro de un ensamble.



Directriz: Diseño de piezas que no se puedan instalar incorrectamente .

Descripción: Se puede observar en (A) un cilindro curvado que se inserta en un tubo formado por 2 piezas, en este caso, no se encuentra especificada la orientación final del cilindro una vez asegurado el ensamble, además de que se requiere la sujeción de las piezas mientras se esta ensamblando. En (B) se añadió una geometría parecida a una chaveta en el cilindro, que se acopla a una ranura en la tapa inferior del tubo, la cual además de ayudar a la inserción de la pieza, especifica fácilmente la correcta orientación que debe tener el cilindro, y evita de alguna manera la sujeción de las piezas mientras se realizan las operaciones de ensamble.

ENSAMBLE II

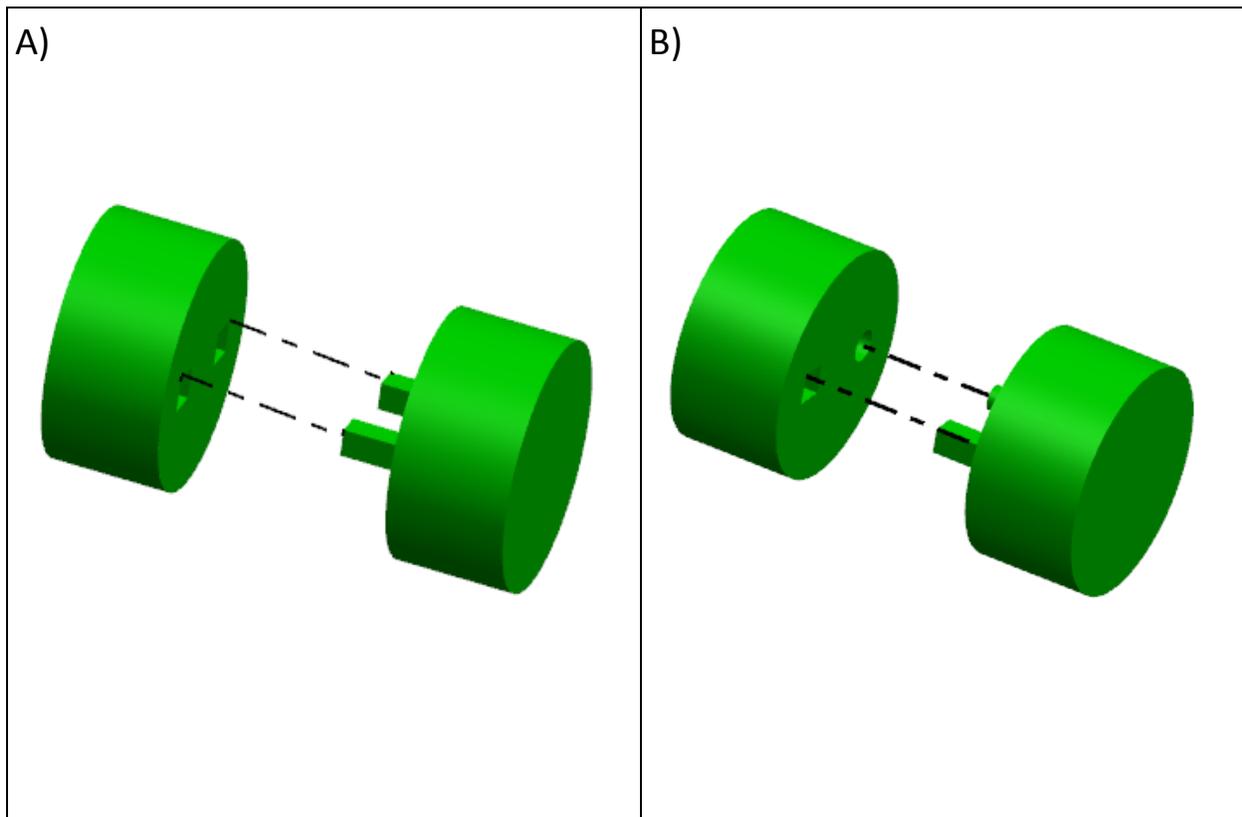


Directriz: Diseño de piezas que no se puedan instalar incorrectamente.

Descripción:

En la figura (A) se muestran dos formas distintas de insertar la pieza con apariencia de toroide, aunque no se conoce la forma correcta de ensamble.

En la figura (B) se observa que se adicionaron dos pequeños vástagos que impiden que se ejecute el ensamble de forma incorrecta.

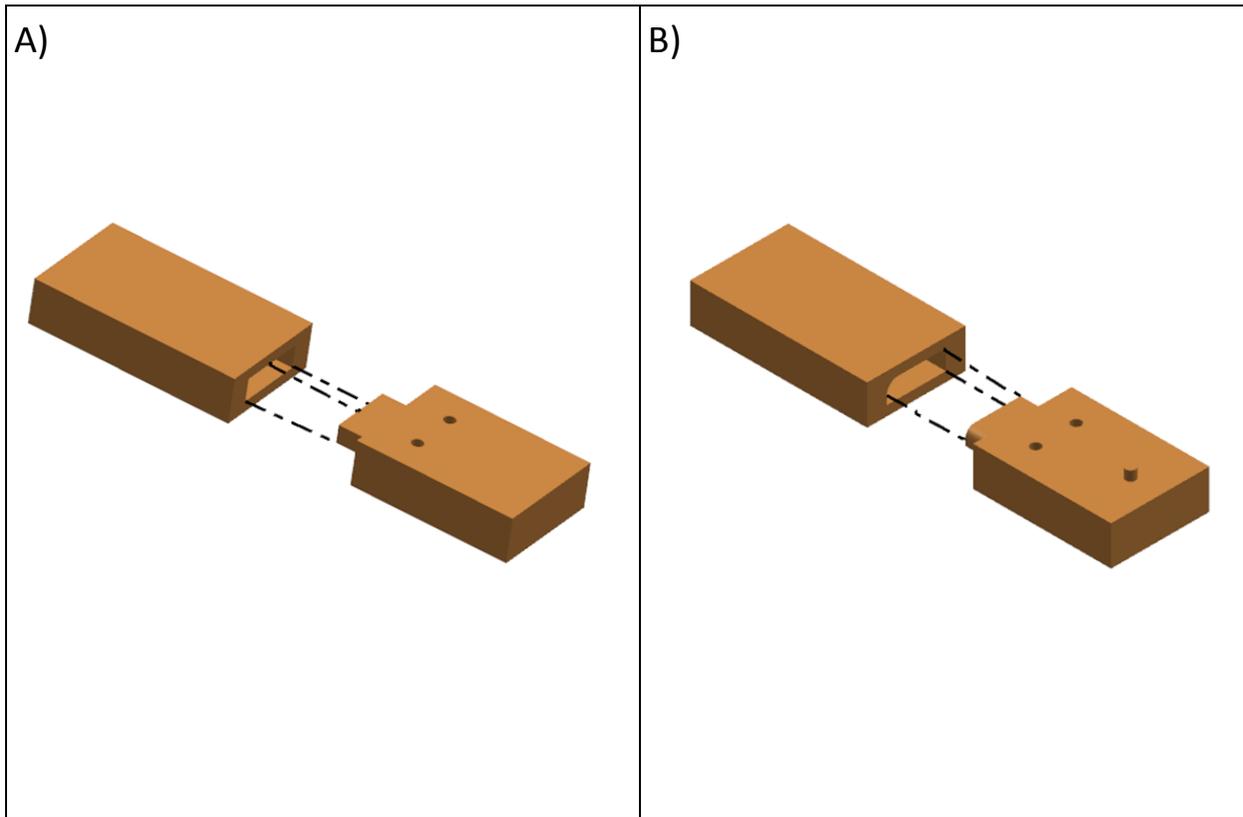


Directriz: Diseño de piezas que no se puedan instalar incorrectamente .

Descripción: Este tipo de ensamble es uno de los problemas más comunes en conexiones eléctricas y enchufes.

En la figura (A) se muestra la placa base con dos perforaciones cuadradas, y la otra pieza tiene dos vástagos idénticos, aunque la geometría de ambas piezas permiten el ensamble, no se sabe cual es su correcta inserción.

En la figura (B) se ha modificado la geometría de uno de los orificios de la pieza base y uno de los vástagos de la otra pieza así se conoce por inferencia el correcto ensamble de las piezas.

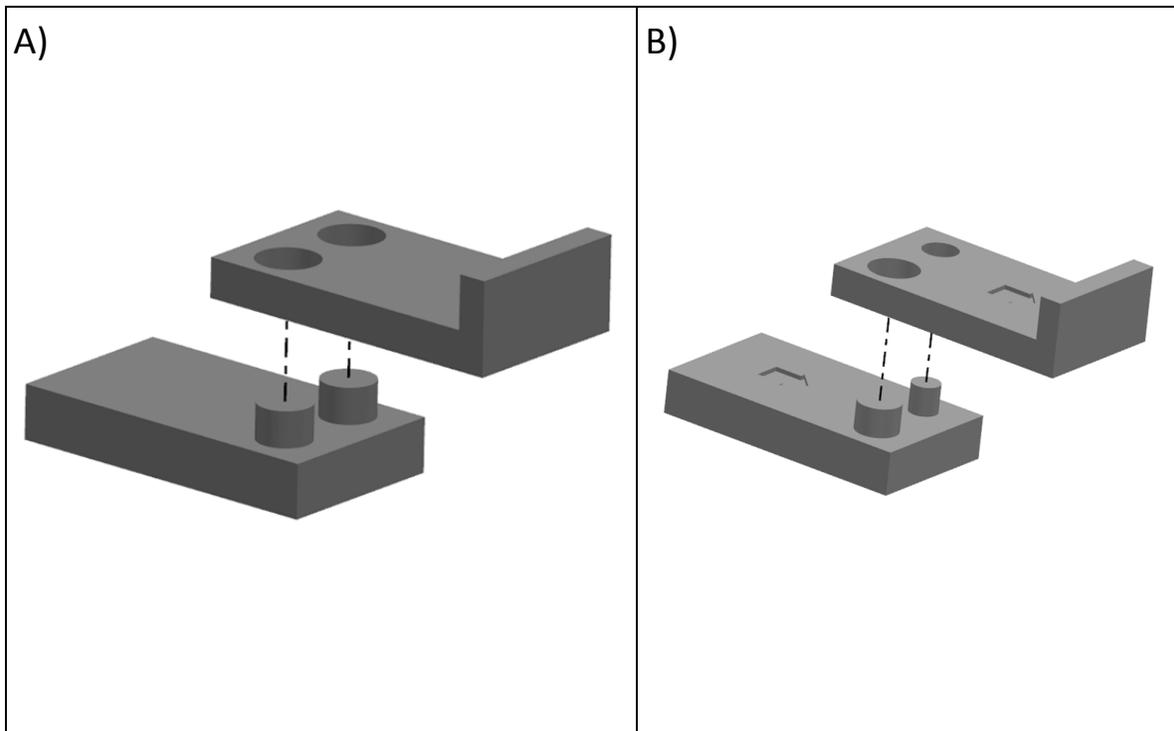


Directriz: Diseño de piezas que no se puedan instalar incorrectamente .

Descripción:

En la figura (A) podemos observar que hay dos formas de insertar la pieza con dos pequeños orificios en la pieza base, aunque no hay indicación alguna de la orientación correcta de los orificios.

La pieza base de la figura (B) muestra una ranura asimétrica, y la pieza subsecuente tiene de igual forma una entrada asimétrica las cuales permiten la inserción solo de una forma.

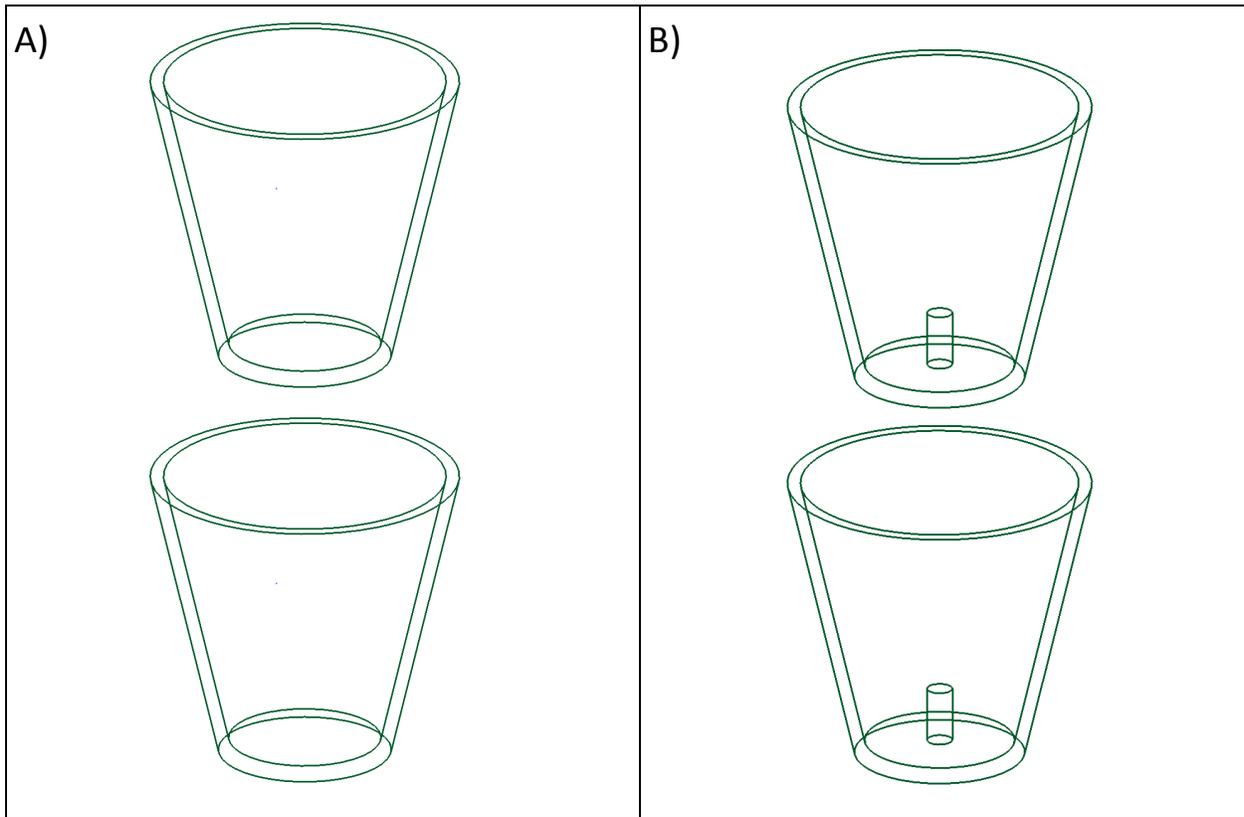


Directriz: Diseño de piezas que no se puedan instalar incorrectamente .

Descripción:

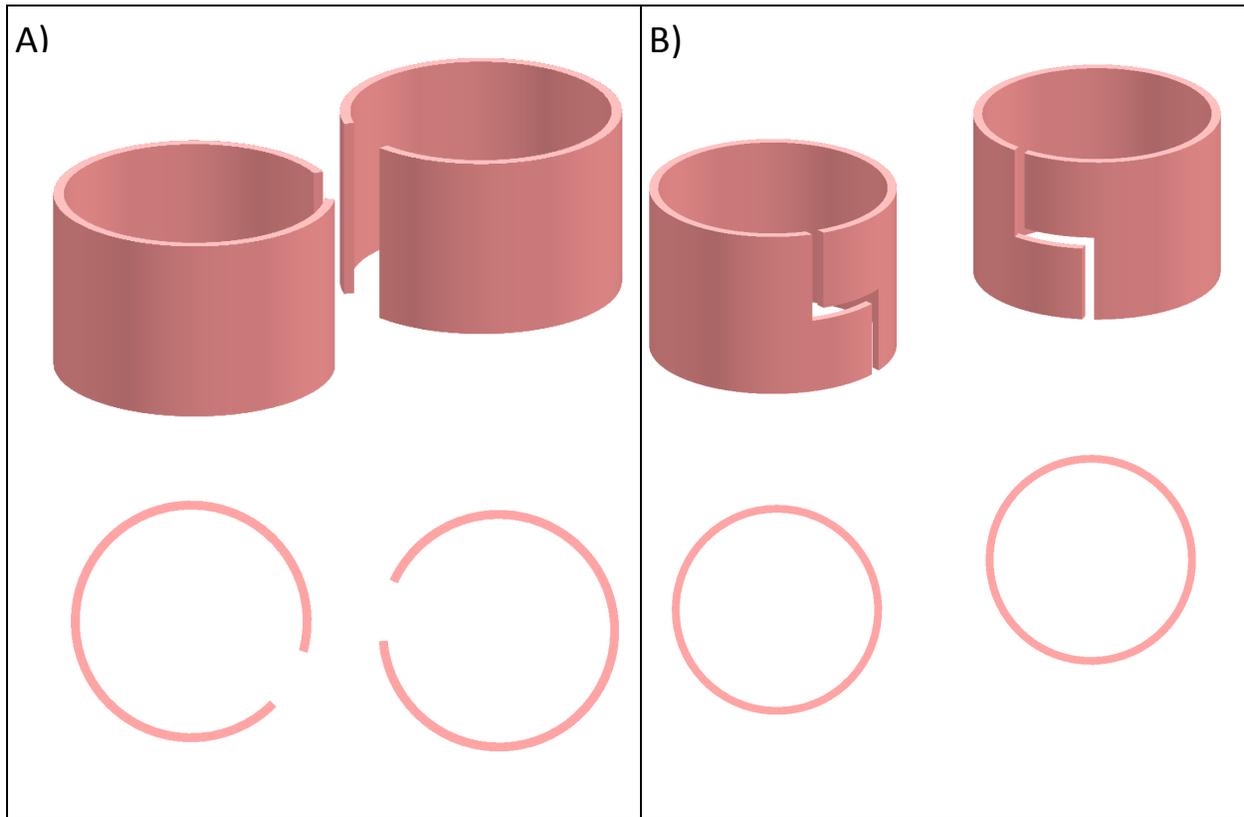
En la figura (A) se muestra la pieza base y una placa que bien puede ser insertada de 4 formas distintas, y no muestra ninguna indicación para su correcto ensamble.

En (B) se observan varias mejoras en el diseño. La primera mejora es que tanto a la pieza base como a la placa se reduce uno de los vástagos y orificios para que no pueda ser insertada de forma incorrecta. La segunda mejora es que se añadieron un par de flechas que indican la continuidad y modo de ensamble, así este conjunto se ensambla solo de una forma.



Directriz: Rediseño de piezas susceptibles a atascarse.

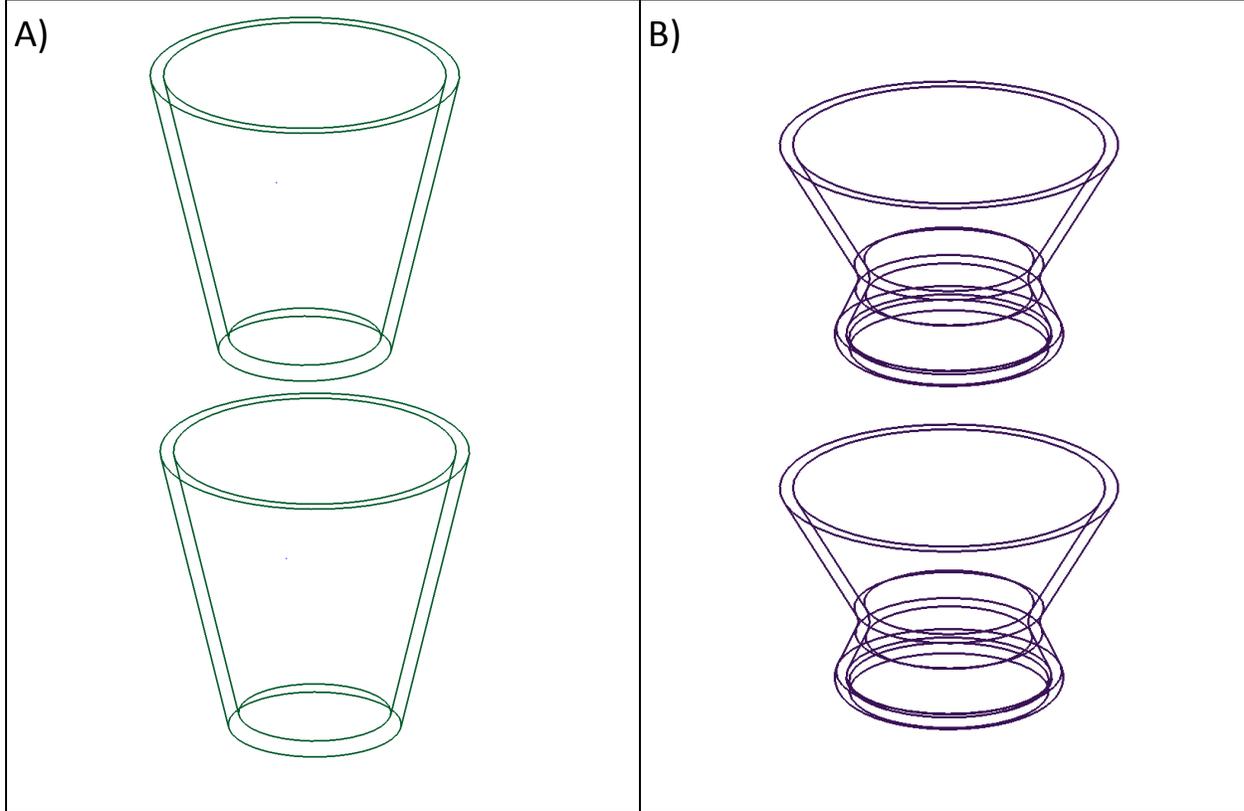
Descripción: Considerando la manipulación a granel de las piezas, en (A) se muestra un recipiente que al apiñarse con otras piezas iguales, corre el riesgo de atorarse, y dificultar su separación a tal grado de quedar inservibles al momento de utilizarlas. En (B) se da solución a este problema añadiendo un vástago no funcional en el fondo del recipiente, que evita que se atoren las piezas entre si.



Directriz: Rediseño de piezas susceptibles a atascarse.

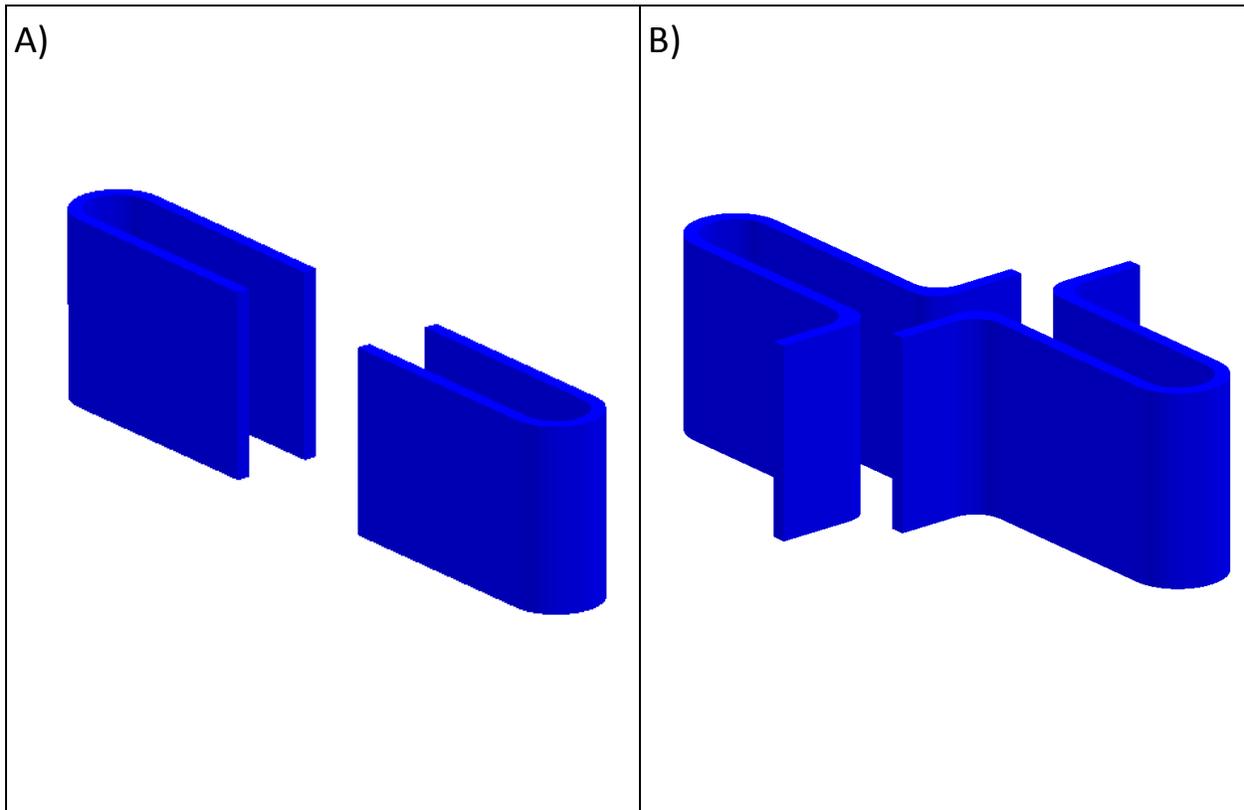
Descripción: Considerando la manipulación a granel de las piezas, en (A) se tienen 2 anillos con una geometría parecida a la de las rondanas de presión, la ranura en sus extremos permea la posibilidad de empalmarse, atascarse, haciendo muy complicada su manipulación individual. En (B) se modifico la geometría de la ranura, de tal forma que no hay posibilidad de que una pieza se inserte en otra cuando sean manejadas en el granel.

ENSAMBLE 17



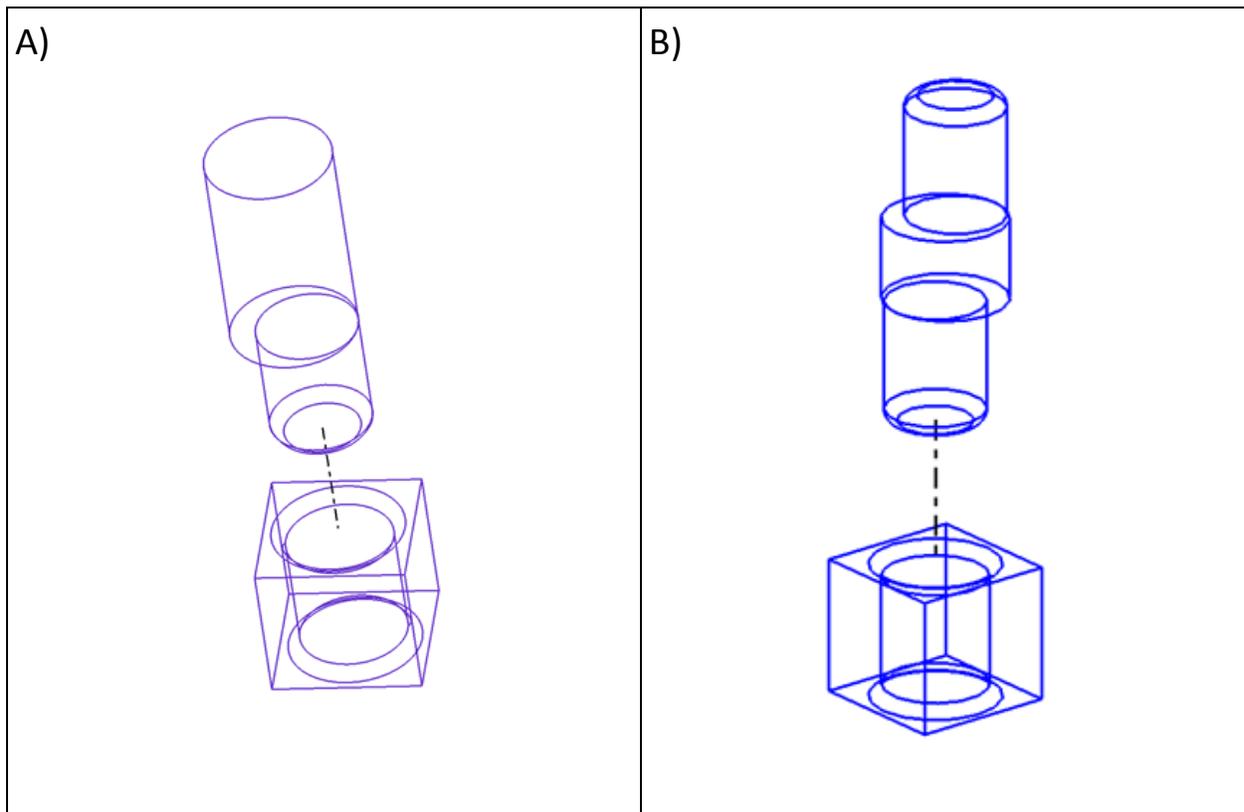
Directriz: Rediseño de piezas susceptibles a atascarse.

Descripción: Considerando la manipulación a granel de las piezas, en (A) se muestra un recipiente que al apiñarse con otras piezas iguales, corre el riesgo de atorarse, y dificultar su separación a tal grado de quedar inservibles al momento de utilizarlas. En (B) se soluciona el problema mediante un rediseño del recipiente, haciendo una disminución pronunciada del diámetro interior del recipiente, para que las partes inferiores de estos no se empalmen y resulten dañados.



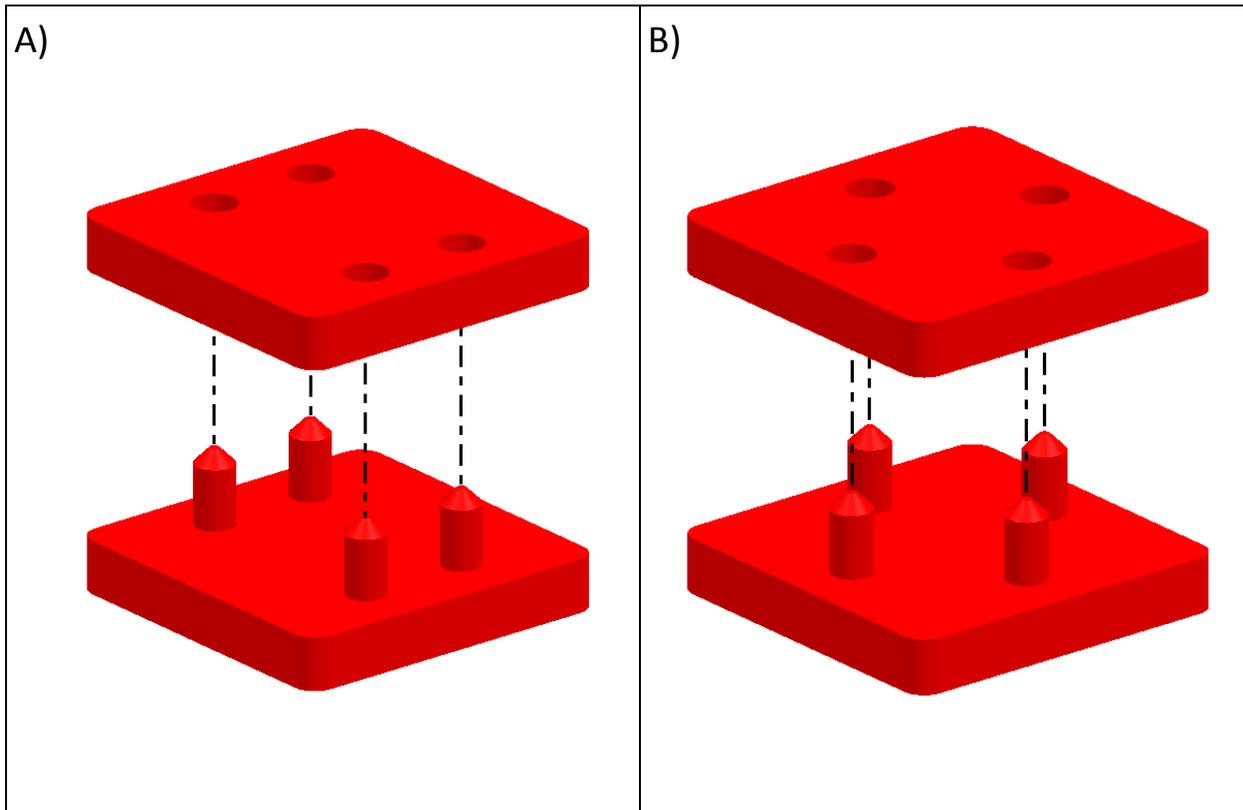
Directriz: Rediseño de piezas susceptibles a atascarse.

Descripción: Considerando la manipulación a granel de las piezas, en (A) se muestran un par de piezas que cuentan con altas posibilidades de atascarse entre si, para evitarlo, en (B) se muestra un rediseño donde los extremos de la pieza se prolongan y se doblan de manera no funcional, con la finalidad de que no se atoren.



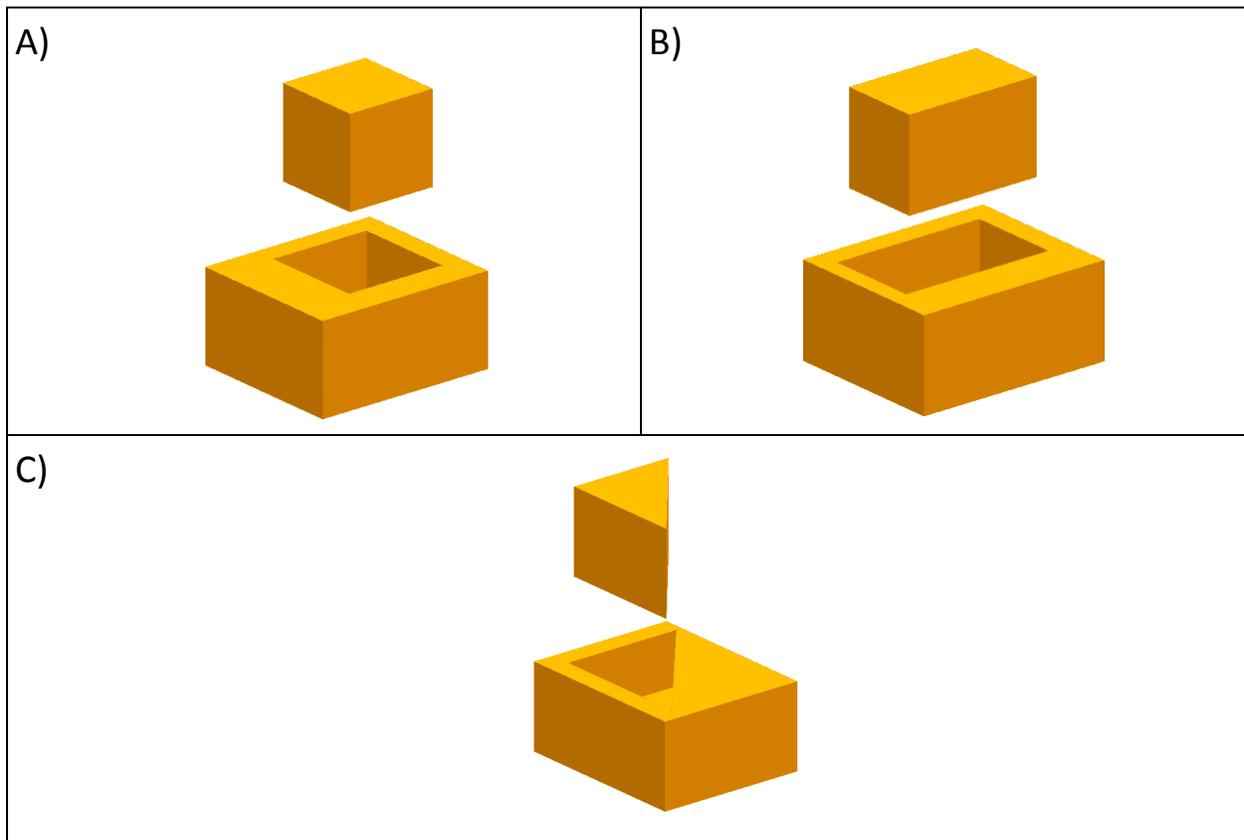
Directriz: Simetría - asimetría de piezas .

Descripción: Se tiene en (A) un vástago que en uno de sus extremos se inserta en un agujero, considerando una simetría axial perpendicular al eje de inserción, la pieza debe rotarse 360° para encontrar la posición correcta. En (B) se muestra un ejemplo de rediseño, donde la pieza, con el supuesto de que su funcionalidad lo permita, fue modificada para ser totalmente simétrica, y reducir el giro a 180° para poder encontrar la posición correcta de inserción, como se puede observar, en (B) es posible insertar el vástago por ambos lados, lo que disminuye el tiempo de manipulación.



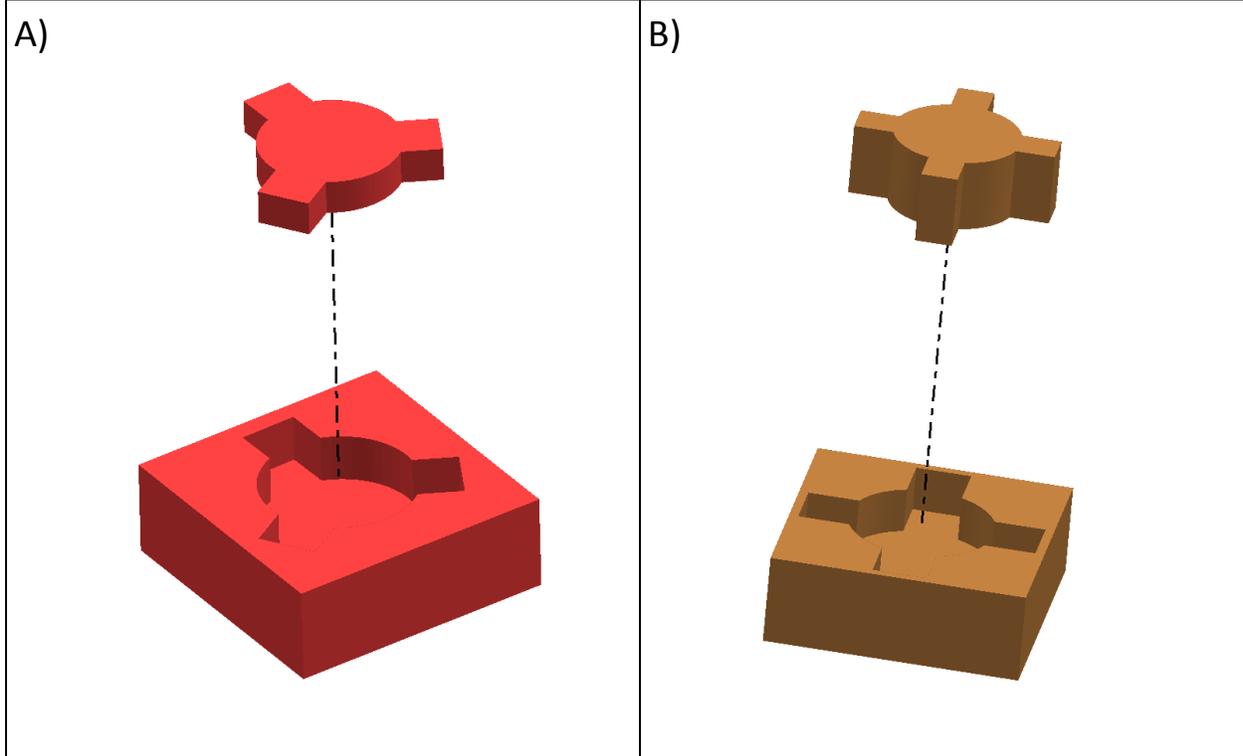
Directriz: Simetría - asimetría de piezas .

Descripción: Se muestra en (A) un ensamble de placas muy común en ensambles robotizados, donde se cuenta con vástagos que ayudan a la correcta inserción y ajuste del ensamble, sin embargo, para poder ser insertadas la simetría respecto al eje de inserción es de 180° . Una forma de facilitar al manipulador encontrar la posición correcta de inserción, es aumentando la simetría de los vástagos tal como se muestra en (B), donde se debe girar la pieza 90° para encontrar la orientación acertada.



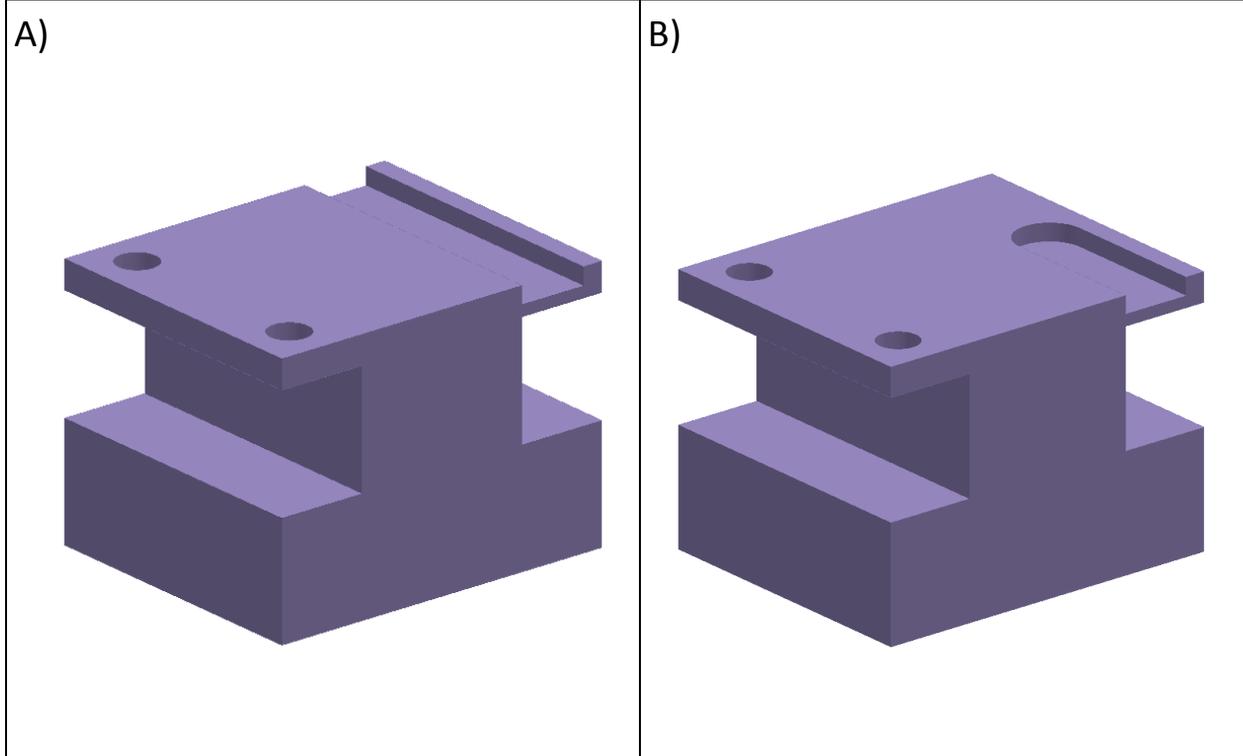
Directriz: Simetría - asimetría de piezas .

Descripción: Podemos observar que en el ensamble en (A) el cubo puede girar no importando la cara, se puede acoplar en cualquier forma en la que se desee, en el caso del rectángulo (B) podemos observar que por la simetría, solo se puede ensamblar cuando las caras son las adecuadas, pero podemos rotarlo y ensamblarlo cada 180° , de igual manera , de cualquier otra forma será incorrecto y no podrá acoplarse , en el triángulo (C) podemos observar que no es posible rotarlo y por su geometría que presenta solo puede ensamblarse de una forma.



Directriz: Simetría - asimetría de piezas .

Descripción: Se puede observar que la geometría es muy parecida en ambos ensambles, lo que cambia es la simetría, es decir los bordes que tiene alrededor . En (A) podemos rotar 120° la pieza y se ensamblará de manera correcta , mientras que en (B) la simetría permite que cada 90° grados se pueda ensamblar.



Directriz: Simetría - asimetría de piezas .

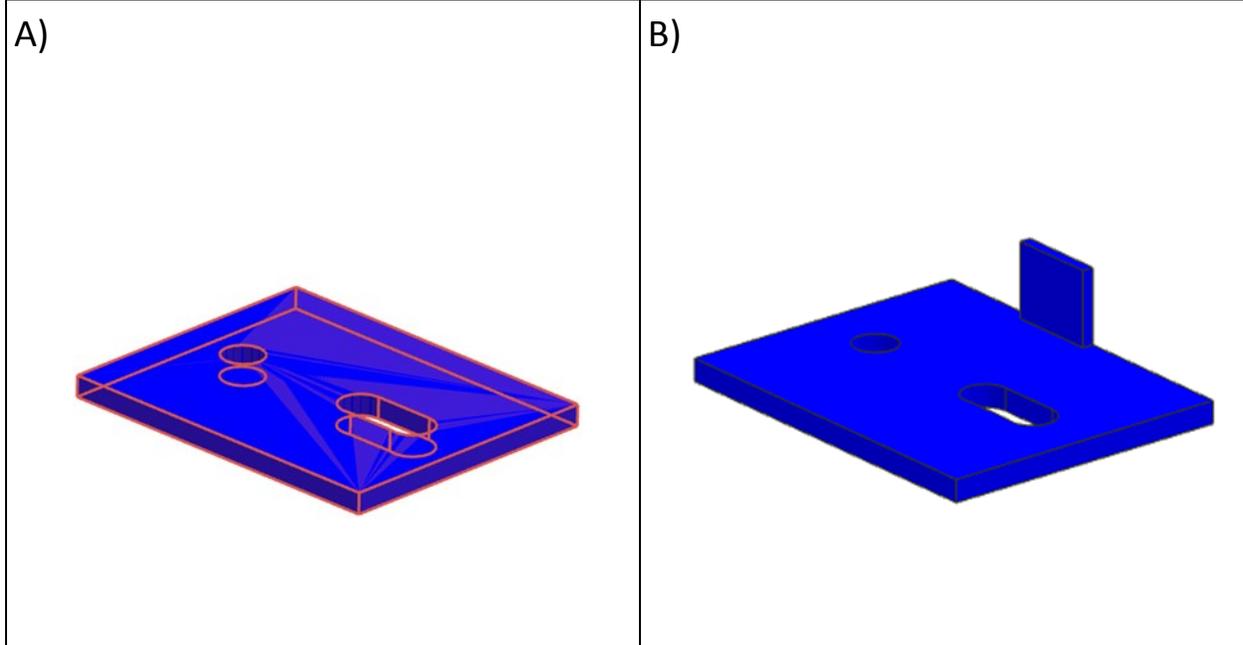
Descripción: Aquí se muestra una pieza asimétrica en (B) , lo cual dificulta la orientación correcta de la pieza, y si se trata de ensamble robotizado, la pieza debe de llegar desde el sistema de alimentación en la orientación correcta para facilitar la sujeción del manipulador. En (A) se ha hecho la pieza totalmente simétrica para facilitar la alimentación de la pieza a la estación de trabajo, y la correcta manipulación de esta por el manipulador.

A)



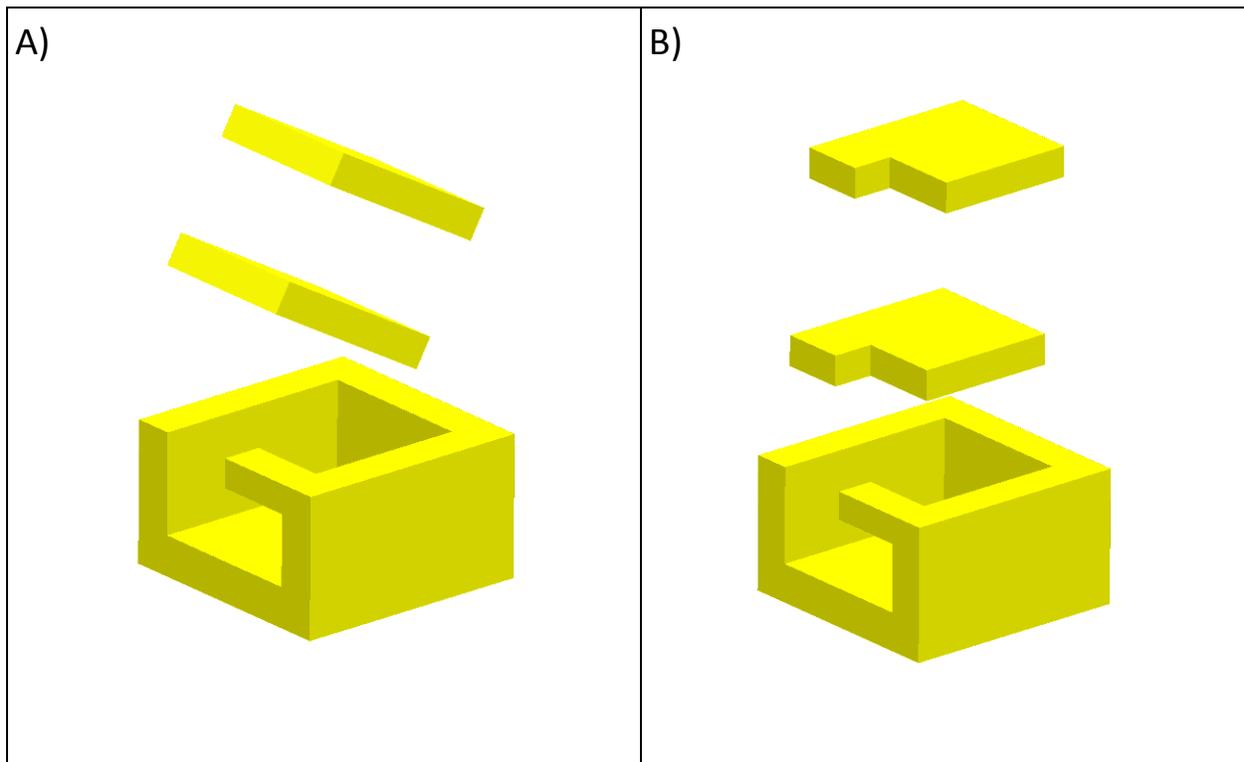
Directriz: Estandarización .

Descripción: La estandarización en las partes mecánicas es muy común. En (A) se observa un ejemplo básico de la estandarización de sujetadores, la estandarización, además de que reduce el número de componentes en un ensamble, disminuye los inventarios tanto de materiales como de herramienta.



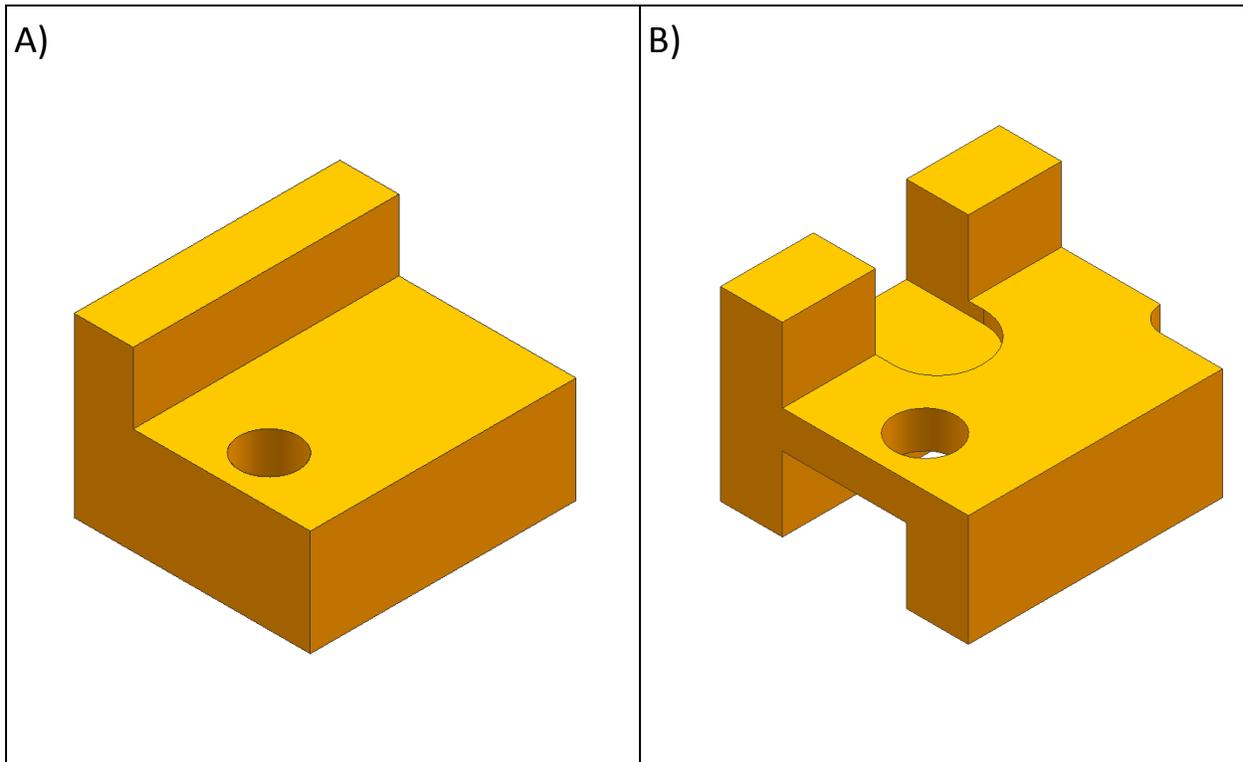
Directriz: Estandarización .

Descripción: En (A) se muestra una pieza pequeña y difícil de tomar y sujetar , pero en (B) se agregó una pestaña no funcional, para poder sujetarla ya sea con la mano o con un manipulador , lo que facilita su manipulación, siempre y cuando las especificaciones permitan la añadidura de geometrías no funcionales al producto.



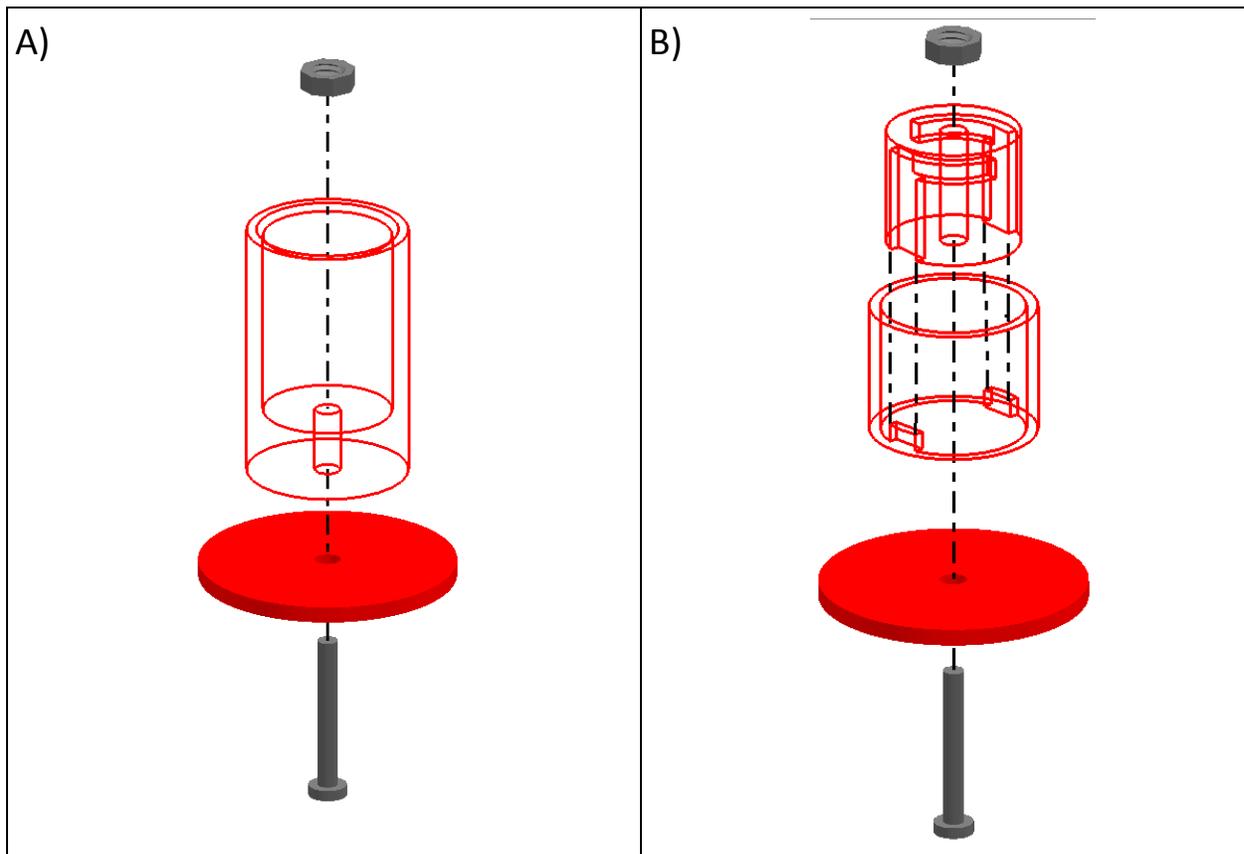
Directriz: Asegurar facilidad de sujeción.

Descripción: Este ensamble muestra una mejora en el diseño para ensamble robotizado. En (A) las placas que serán insertadas en la base son rectangulares, lo que implica una maniobra mas compleja de manipulación, como sería ladear la placa para que pueda entrar, o insertarla por otro eje distinto al vertical. En (B) se cambió la geometría de la placa, de modo que pueda ser insertada desde arriba, pensando en facilitar las operaciones del robot, dejando solo caer la pieza, sin el uso de comandos extras innecesarios que deberían llevar a cabo el manipulador en (A).



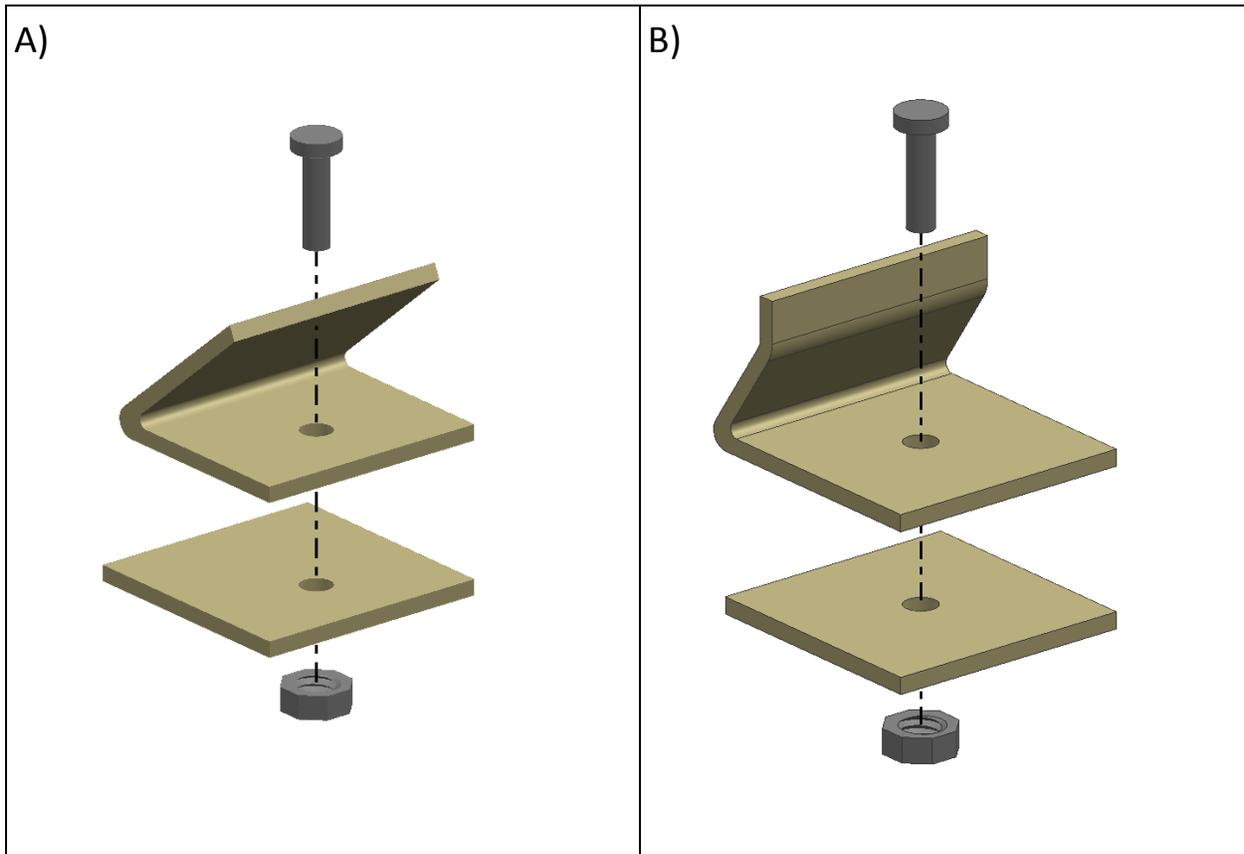
Directriz: Asegurar facilidad de sujeción.

Descripción: La simetría influye en el costo de alimentación de piezas en un ensamble automatizado, para ello es importante suministrar a la pieza atributos geométricos que permitan la detección sencilla de la posición y orientación correctas. En (B) se puede apreciar que la pieza cuenta con diversas muescas en las vistas de los tres ejes de referencia, lo que permite encontrar mas fácilmente su orientación, y conlleva un costo menor de alimentación en una estación de ensamble automático.



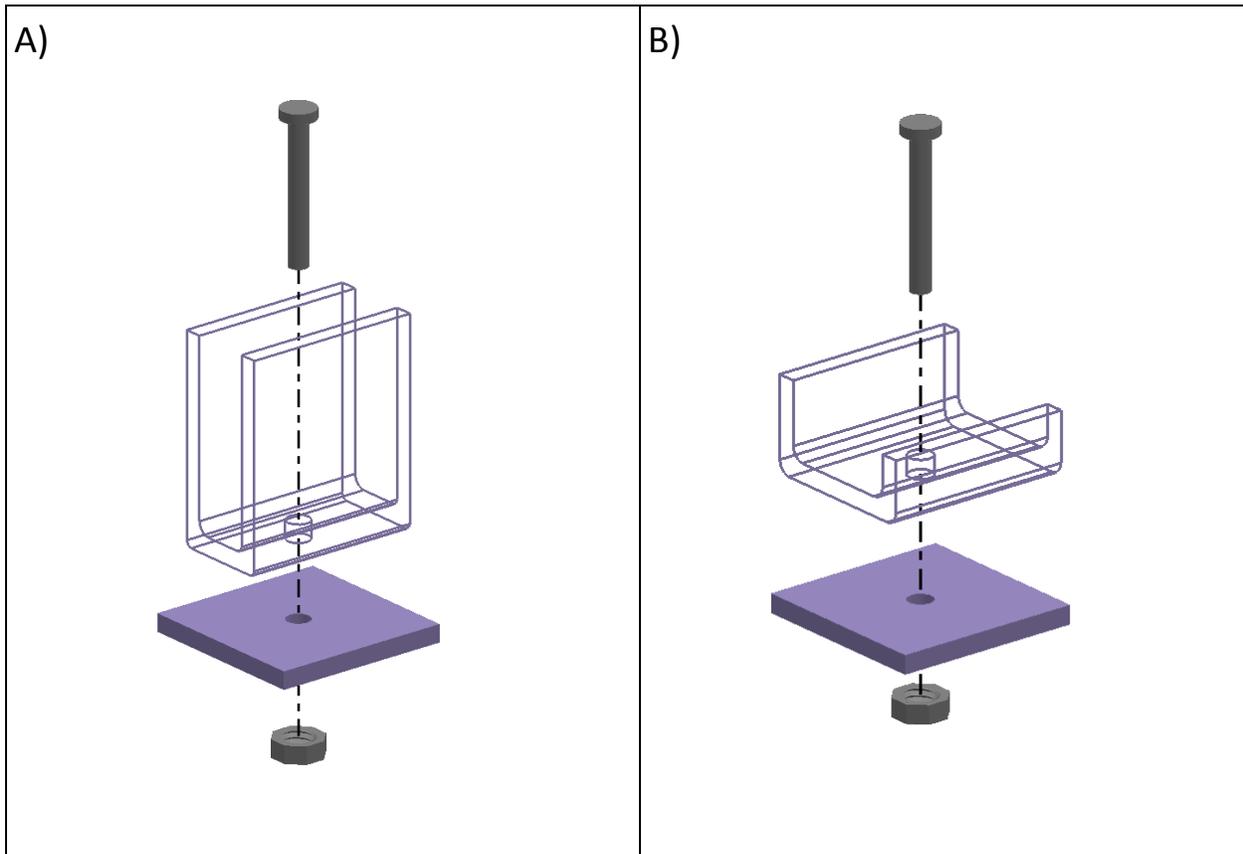
Directriz: No limitar visión y alcance del operario.

Descripción: En (A) se muestra un ensamble de dos piezas por medio de un tornillo con tuerca, por el diseño de la pieza, es muy complicado apretar ambas piezas por medio de la tuerca, ya que la profundidad del vástago no permite sujetar la tuerca. Para no cambiar el tamaño de los sujetadores, en (B) se muestra un rediseño, dividiendo la pieza superior en 2 piezas, lo cual permite que exista movimiento relativo entre ellas, a su vez permite tener acceso a la tuerca cuando se está asegurando, y posteriormente ubicarlas en una posición similar a (A).



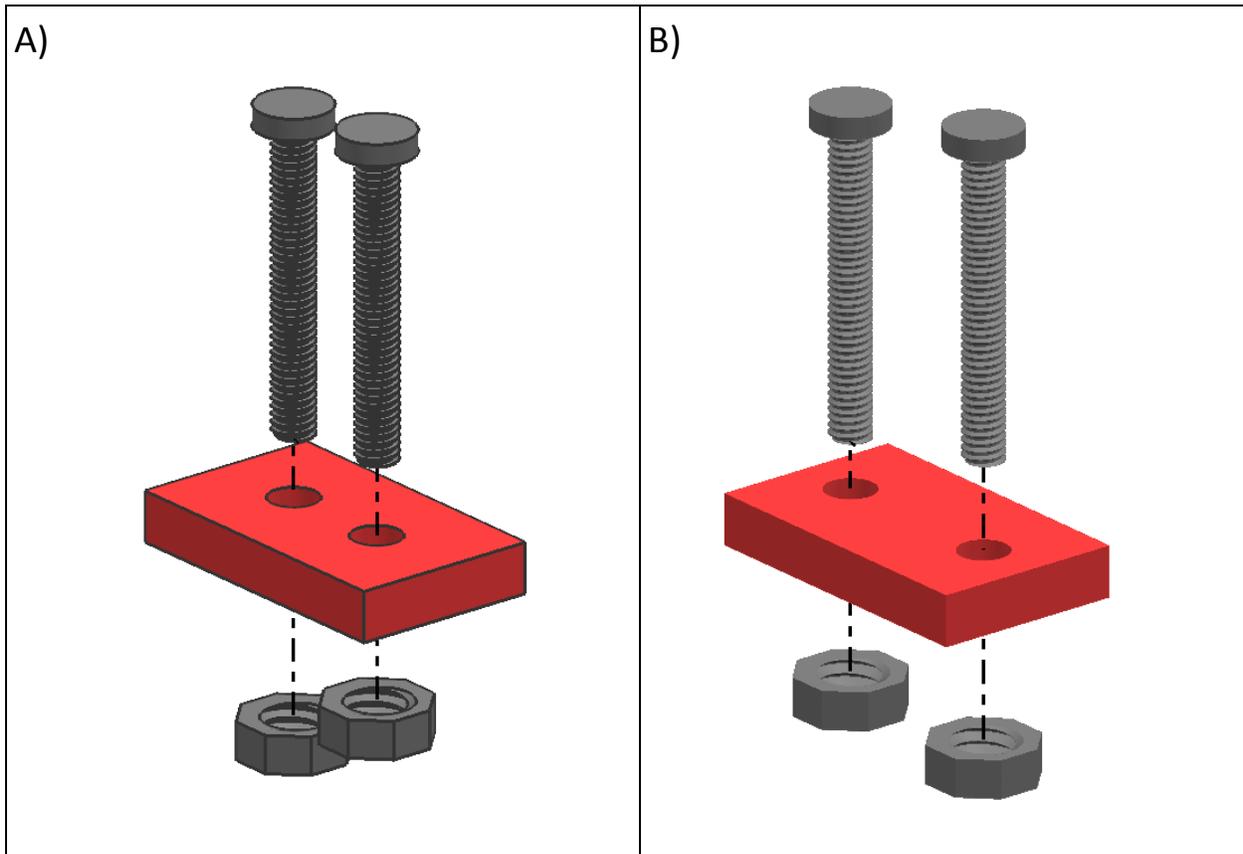
Directriz: No limitar visión y alcance del operario.

Descripción: Observe en (A) que el tornillo para sujetar ambas piezas no puede entrar de forma vertical, es necesario ladearlo para que pueda entrar con dificultades. En (B) se rediseñó la pieza superior, para que el tornillo pueda entrar libremente de forma vertical, y eliminar las dificultades de inserción.



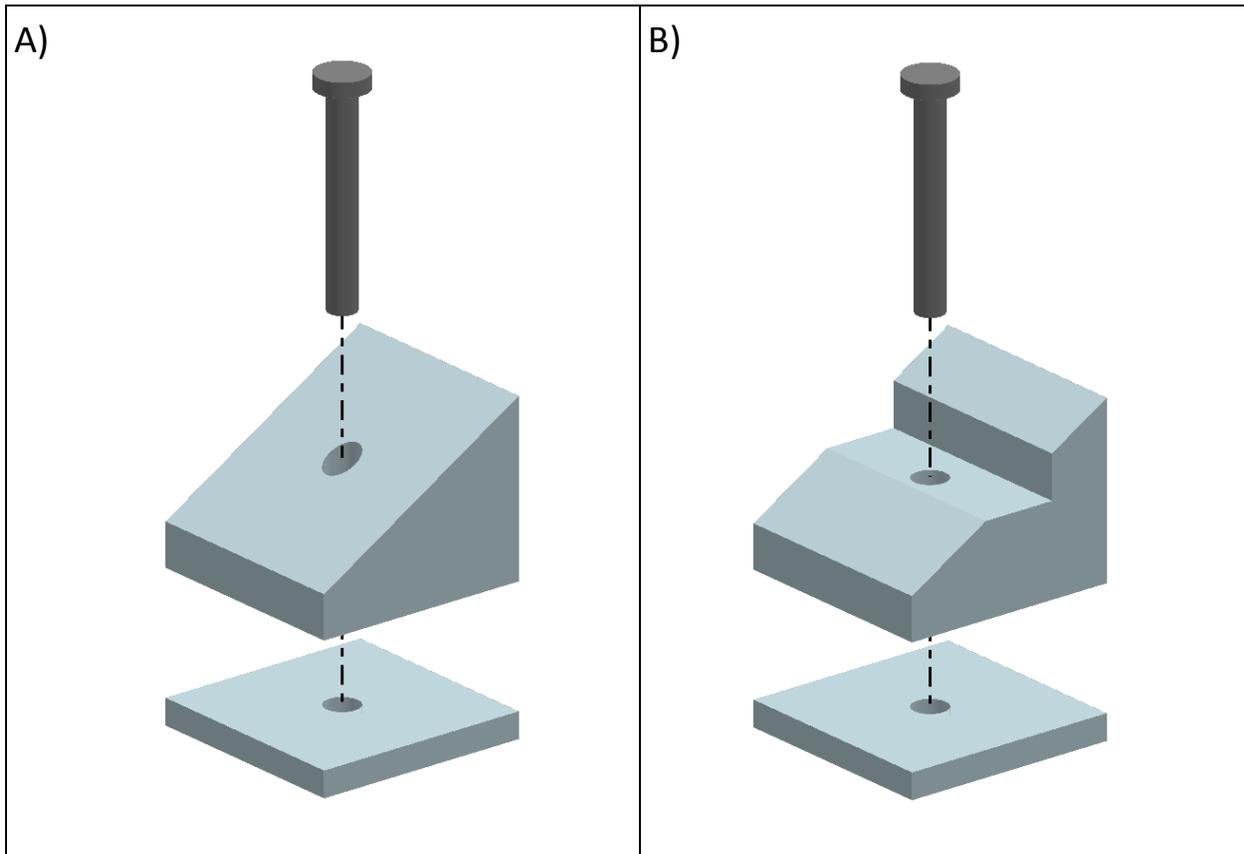
Directriz: No limitar visión y alcance del operario.

Descripción: En (B) se observa una placa rediseñada para la facilidad de manejo y apriete de sujetadores, fue modificada la placa superior para poder mover libremente las manos y herramientas de atornillado, a diferencia de (A), donde se muestra claramente una gran limitación a la visión del operario, y para el alcance de las manos y las herramientas.



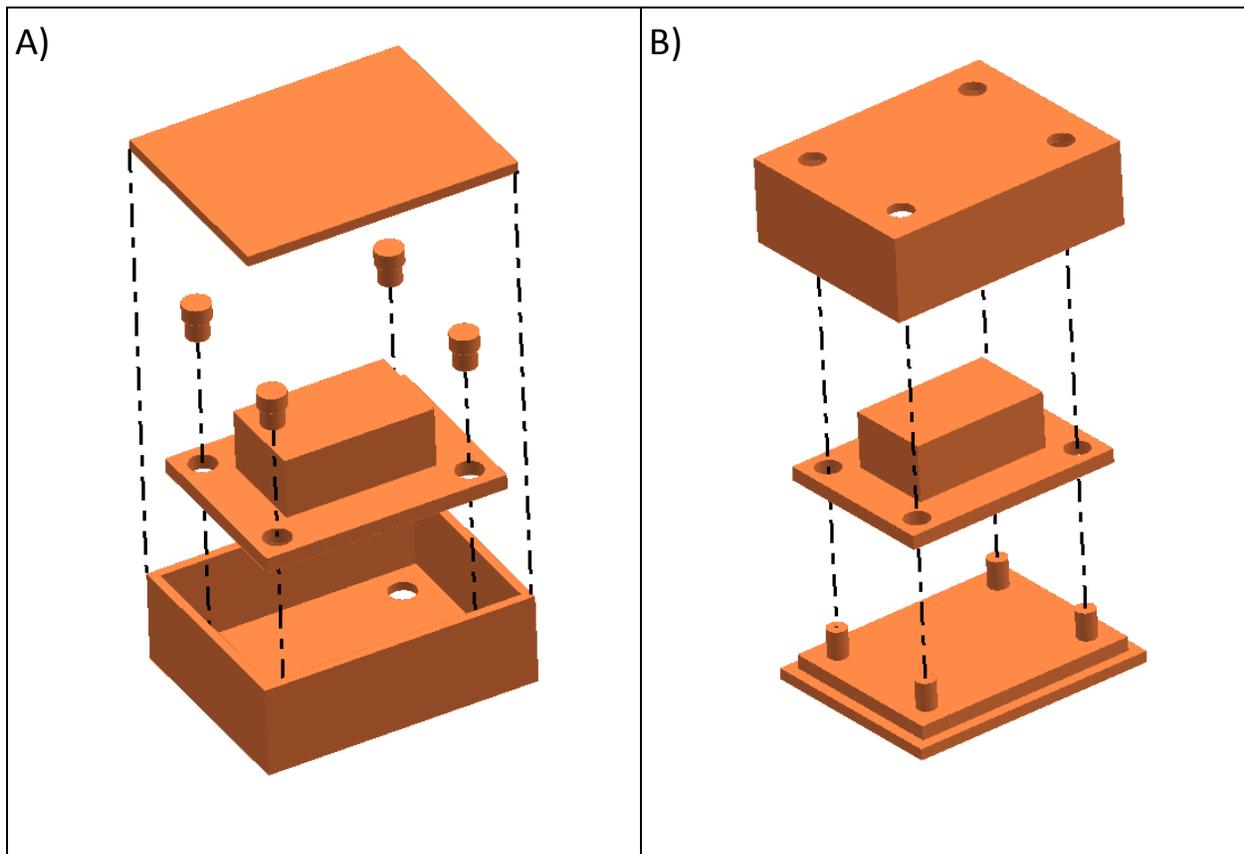
Directriz: No limitar visión y alcance del operario.

Descripción: La pieza mostrada en (A) ejemplifica una incorrecta posición en los agujeros de la placa, ya que no se tomó en cuenta el tamaño de los sujetadores, así como el manejo del operario para insertarlos. En (B) se corrige este error aumentando la distancia entre los centros de los agujeros de la placa, para facilitar la inserción y ajuste de los sujetadores por el operario.



Directriz: No limitar visión y alcance del operario.

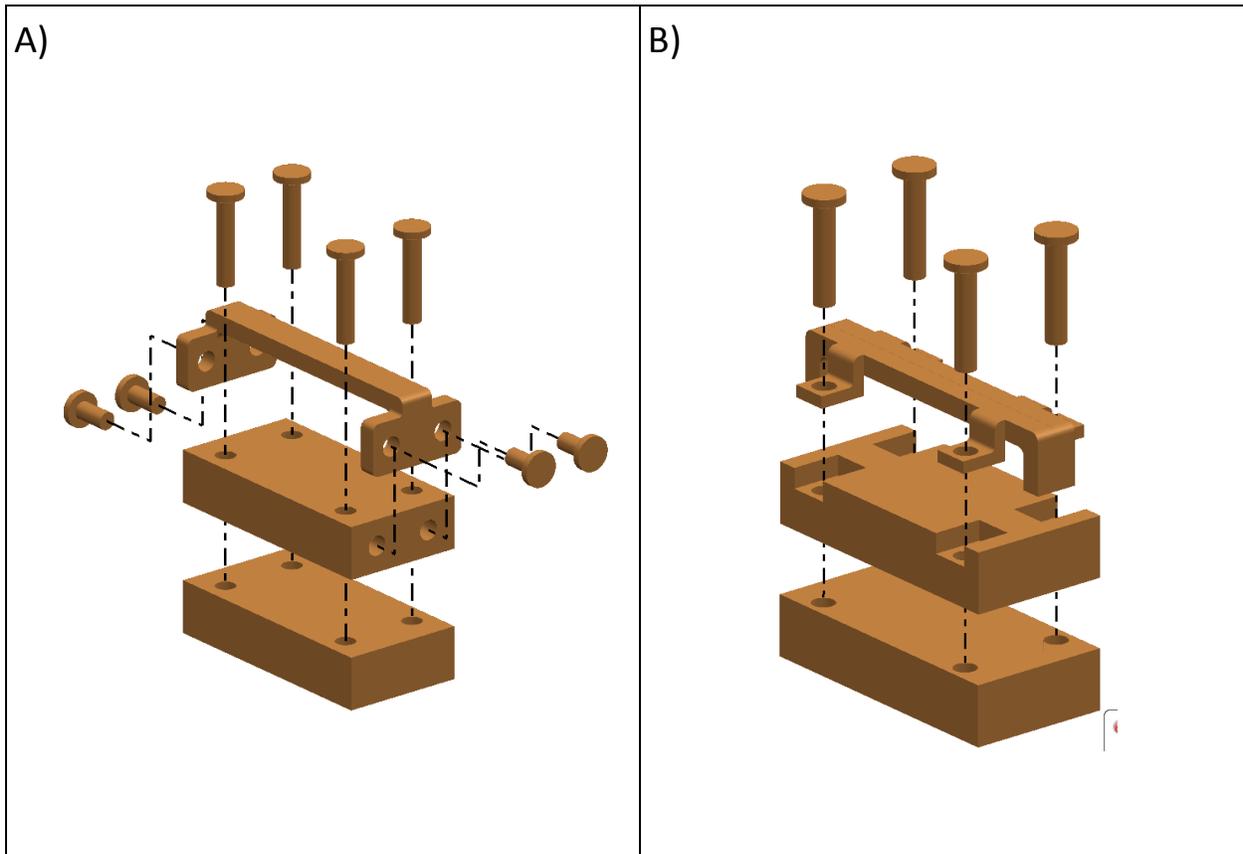
Descripción: En (B) se muestra una pieza cuya geometría fue modificada especialmente para el correcto manejo de los sujetadores, el plano inclinado que se observa en (A), fue modificado a un plano horizontal, lo que permite que en (B) el cabezal del tornillo se acopla mas fácilmente, evitando incluso el daño de la pieza.



Directriz: No limitar visión y alcance del operario.

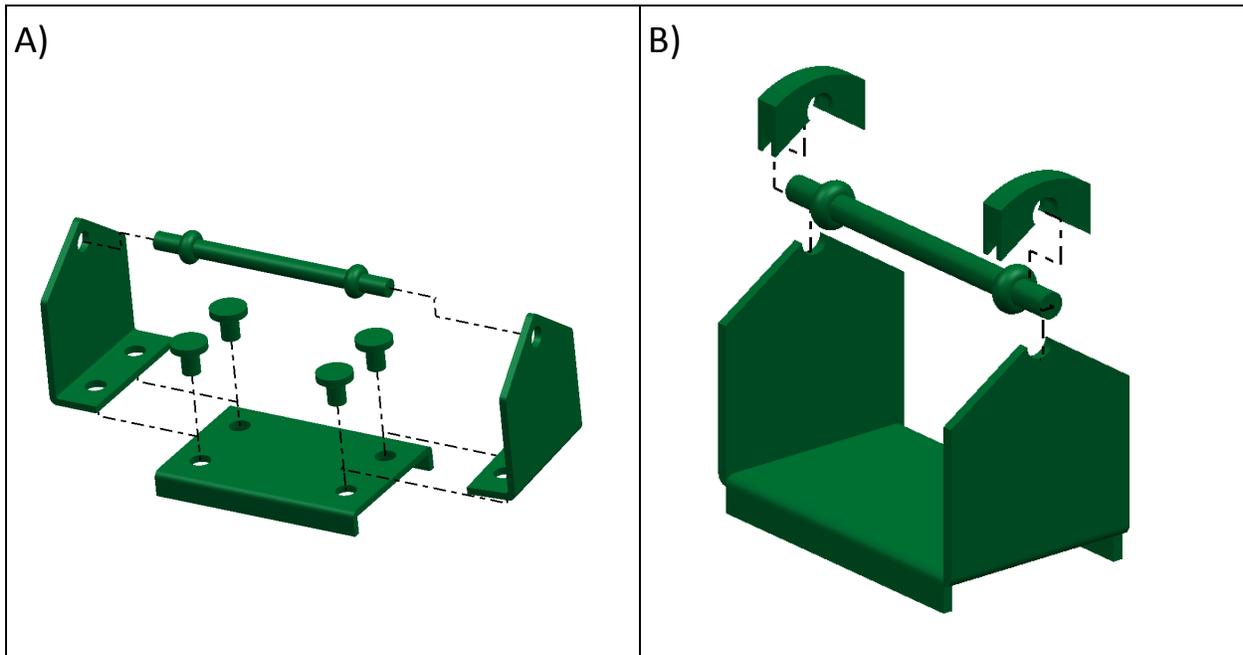
Descripción: En el ensamble de la figura (A) se restringe la visión y espacio que tiene el operario para asegurar la siguiente pieza a la caja base por medio de tornillos roscados, lo cual conlleva un mayor tiempo de ensamble y mayor costo.

En la figura (B) la pieza caja fue sustituida por otra que será la nueva pieza base, a la cual se le han agregado vástagos, para asegurar inmediatamente la siguiente pieza, eliminando de esta forma el uso de tornillos roscados y facilitando el montaje.



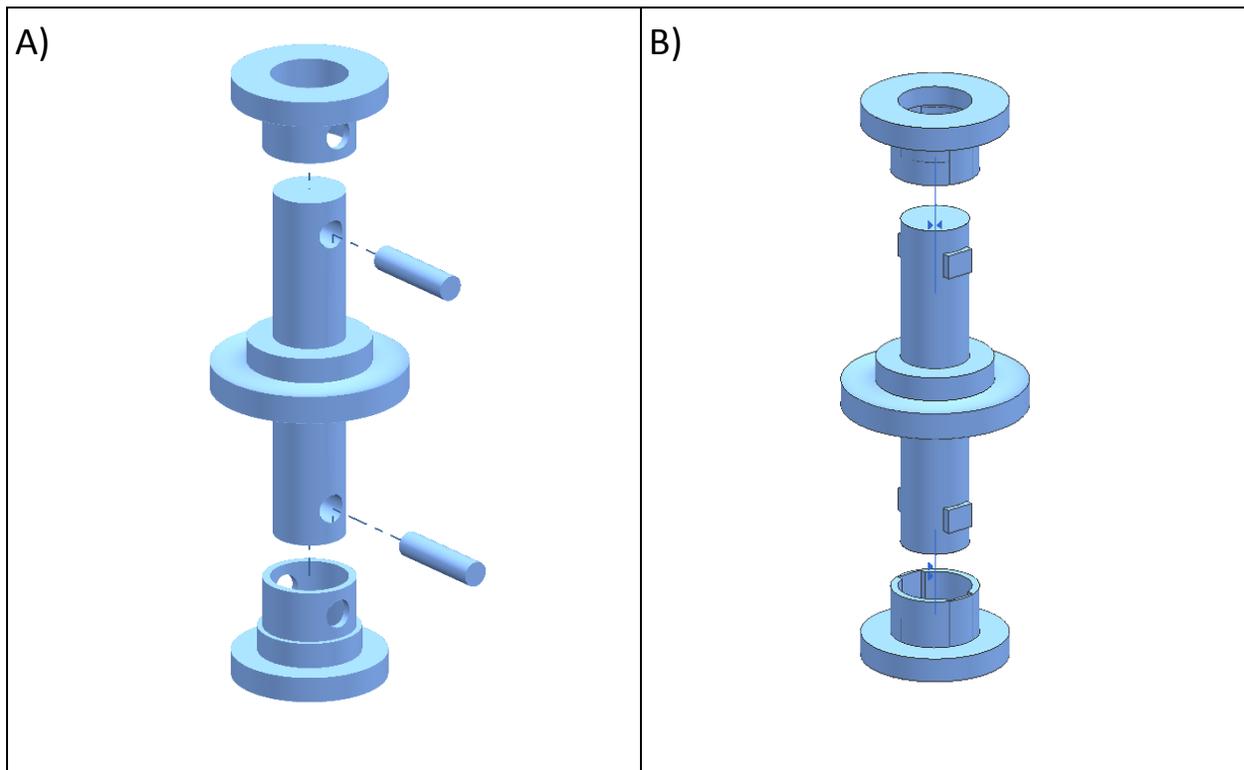
Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción: El ensamble en (A) cuenta con 11 piezas, de las cuales 8 son sujetadores, los cuales además, se insertan en diferentes direcciones. En (B) se mejoraron entre otras cosas: la auto localización del ensamble de forma piramidal, gracias al rediseño, se eliminaron 4 sujetadores, y los sujetadores que permanecen se insertan de forma vertical y en una sola dirección sujetando todas las piezas, quedando el ensamble con 7 piezas.



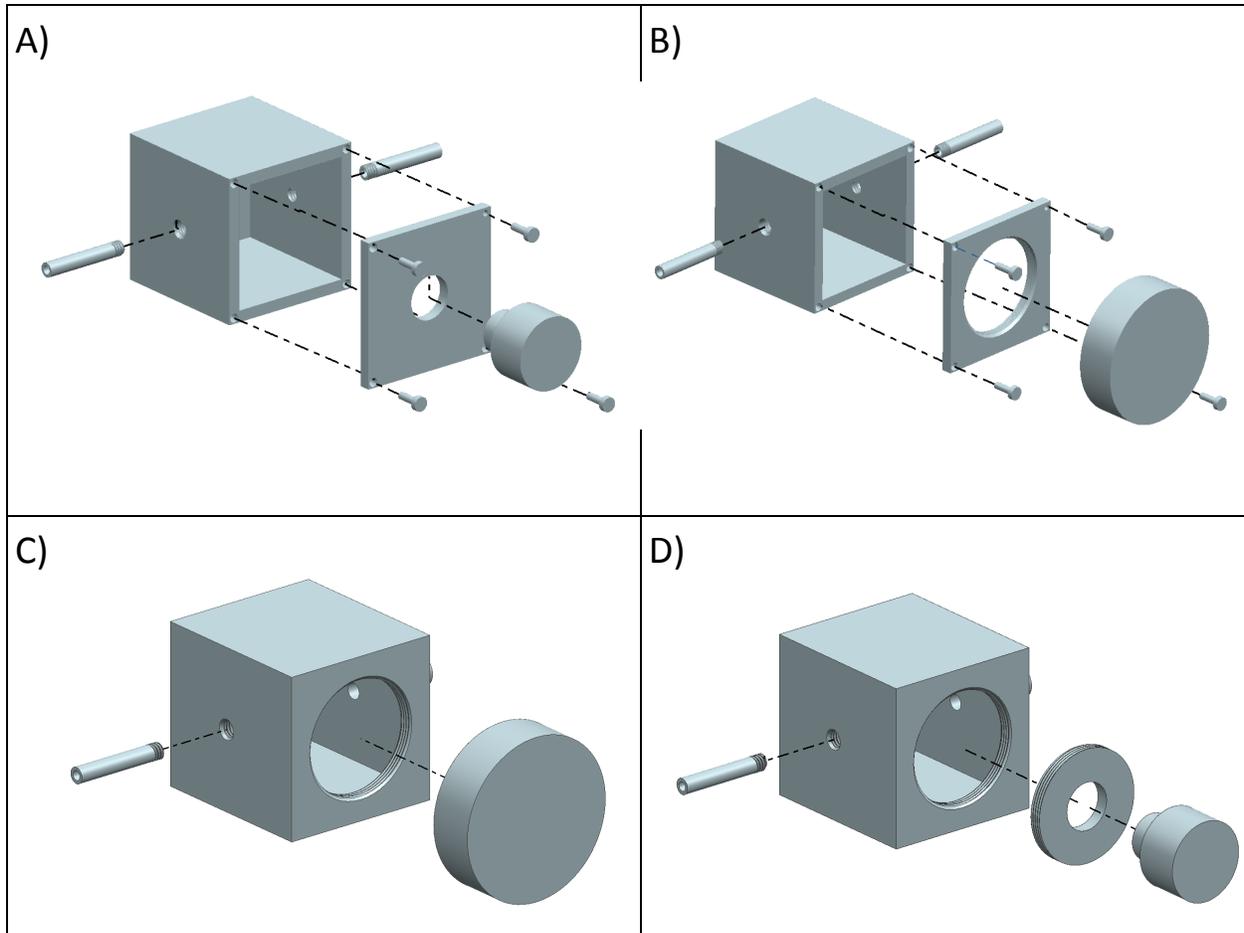
Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción: El ensamble en (A) consta de 3 placas que se sujetan mediante pernos, y un eje sujetado por esta estructura. En (B) se eliminaron las dos placas paralelas, haciéndolas una sola pieza con la base, con lo que se eliminaron los 4 pernos, y se añadieron un par de piezas de ajuste a presión para sujetar el eje de la estructura.



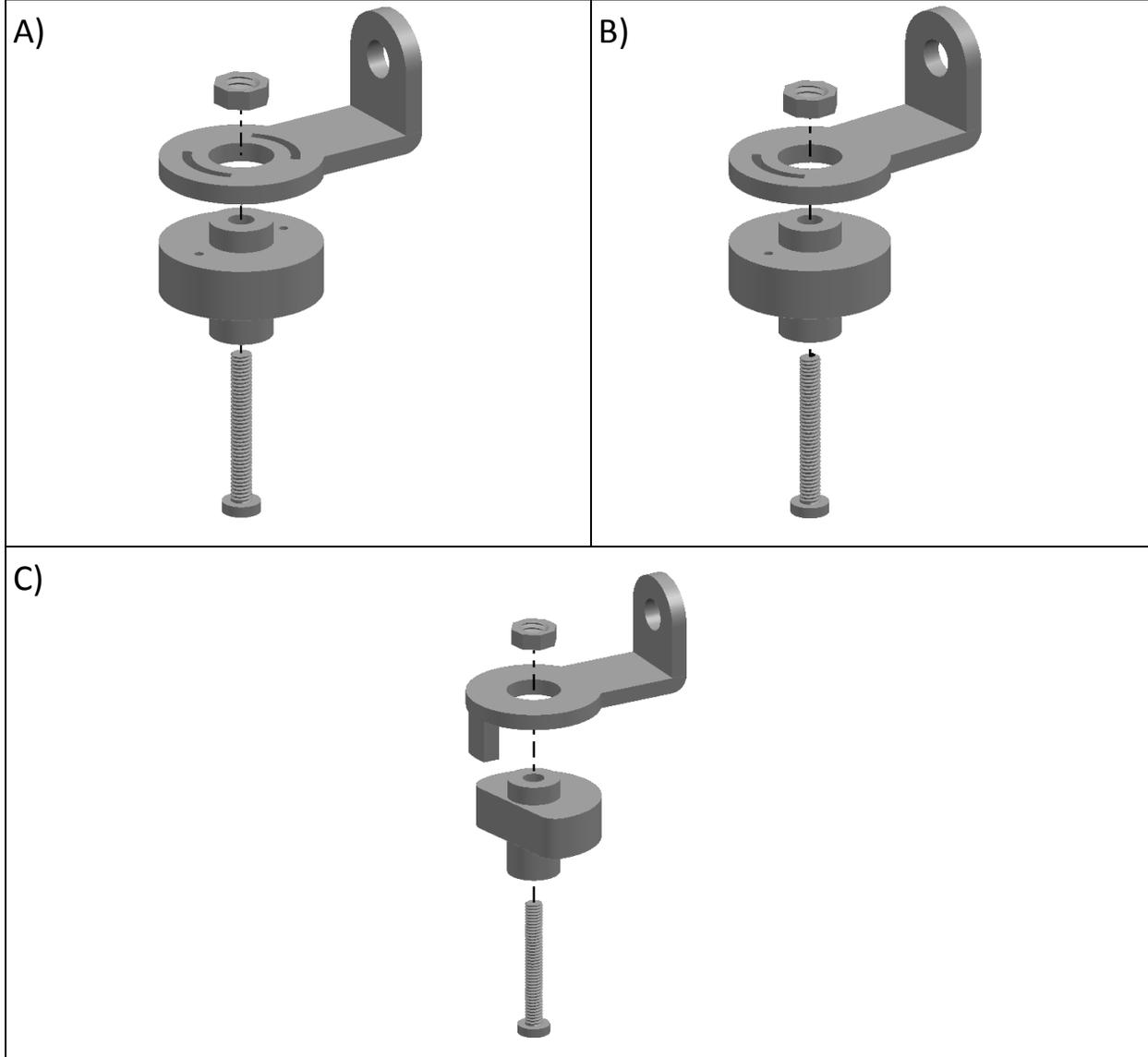
Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción: En (A) se muestra un eje con dos coples iguales en ambos extremos, los cuales se aprietan al mismo mediante un opresor en cada lado, lo que forma un ensamble de 5 piezas. En (B), se rediseñaron los coples y el eje, mediante ranurados internos en los coples, y geometrías similares a chavetas en el eje, para que pudieran acoplarse a presión, sin la necesidad del uso de opresores, quedando el ensamble en 3 piezas.



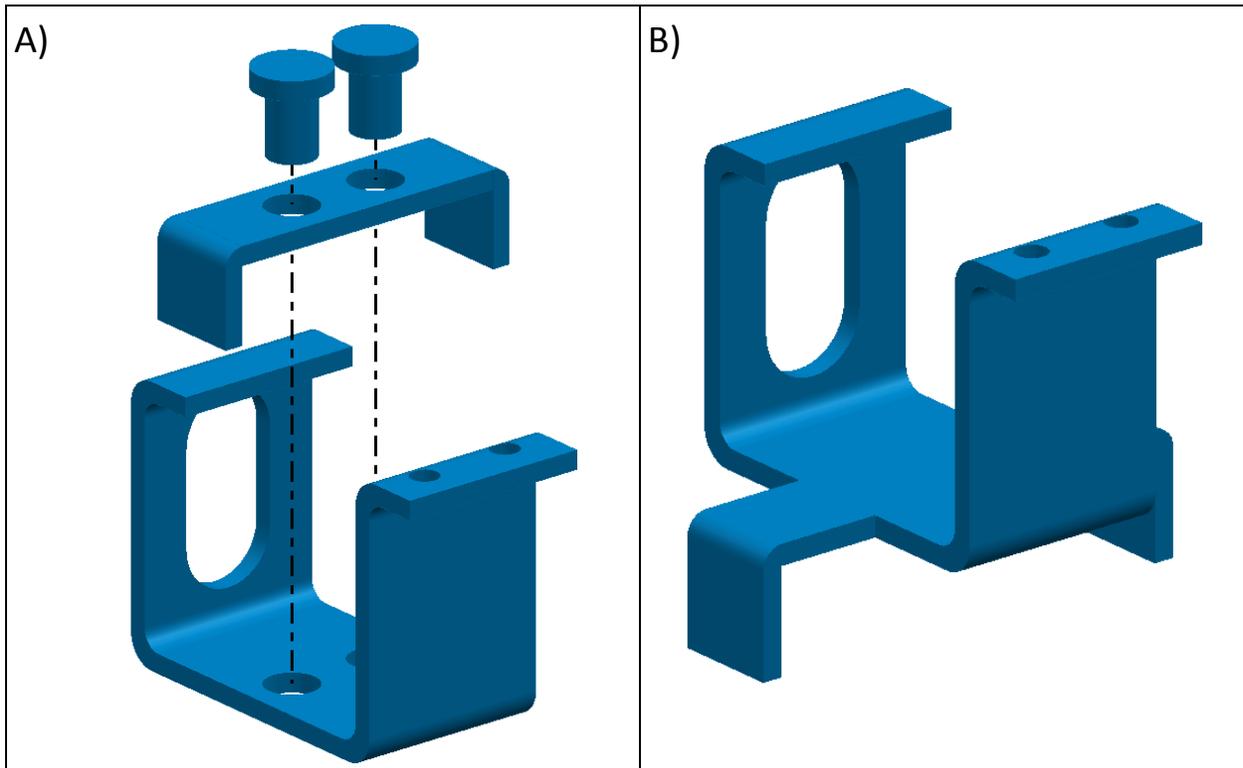
Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción: Estos ensambles asemejan el diseño de una cámara de calibración de sensores de humedad. En (A) se observa el ensamble con 9 piezas para un sensor de tamaño A. En (B) se observa el ensamble con 9 piezas para el sensor de tamaño B. En (C) se muestra el rediseño para el sensor de tamaño B, incluyendo la tapa, la caja y la manguera de salida en una sola pieza. En (D) se muestra el rediseño para el sensor de tamaño A, con una tapa ajustable al diámetro del sensor B, que permite acoplar en el mismo ensamble el sensor A sin la necesidad de ocupar tapas diferentes y sujetadores.



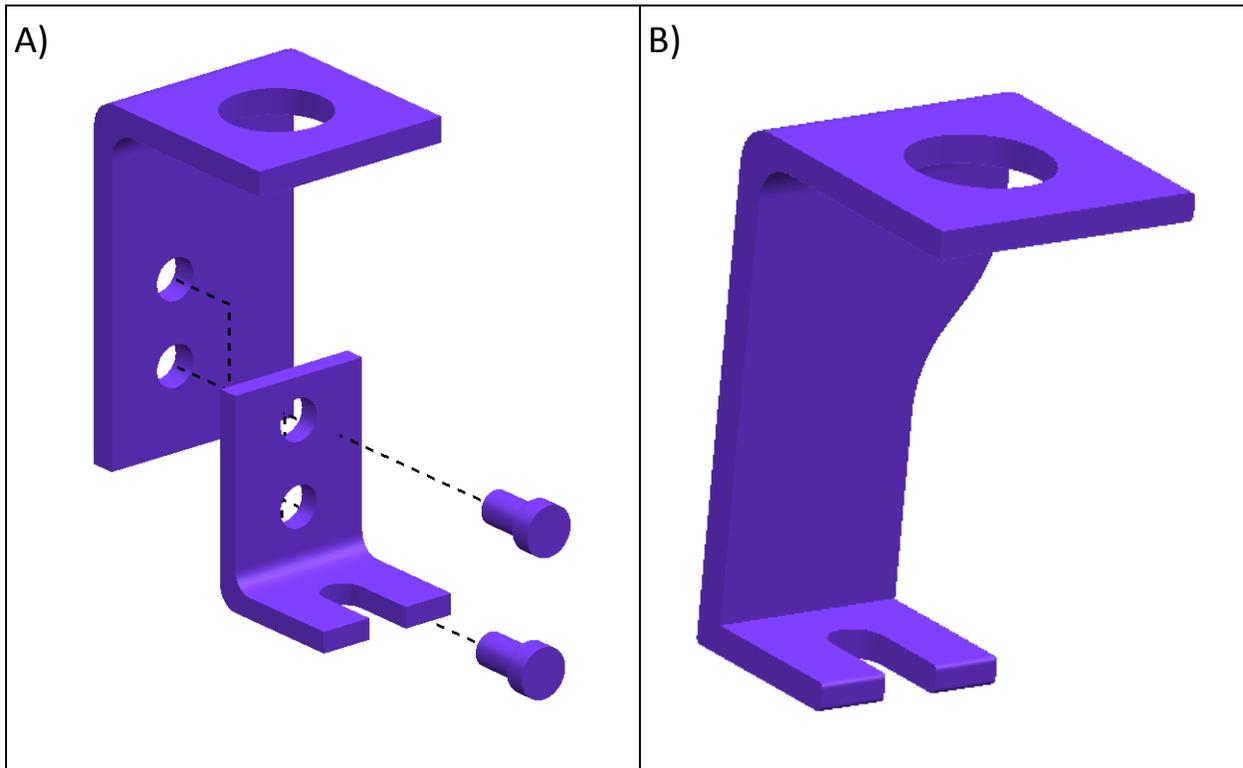
Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción: En (A) se tiene un ensamble que permite un giro de un cierto ángulo. En (B) se elimino un hueco junto con su perno, ya que aun con su eliminación, se permite el mismo movimiento. En (C) se eliminaron ambos pernos y se modifiko el diseño de ambas piezas, de modo que se pueda realizar el mismo movimiento relativo entre ellas, y así tener un ensamble de menos partes.



Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción: En (A) se tiene un ensamble de dos placas mediante pernos, tornillos o pijas, al aplicar los criterios de Boothroyd para la eliminación de piezas en un ensamble, resultó ser innecesario que el ensamble consistiera en 2 piezas separadas, por lo que en (B) se muestra todo el ensamble como una sola pieza, reduciendo de 4 a 1 pieza.

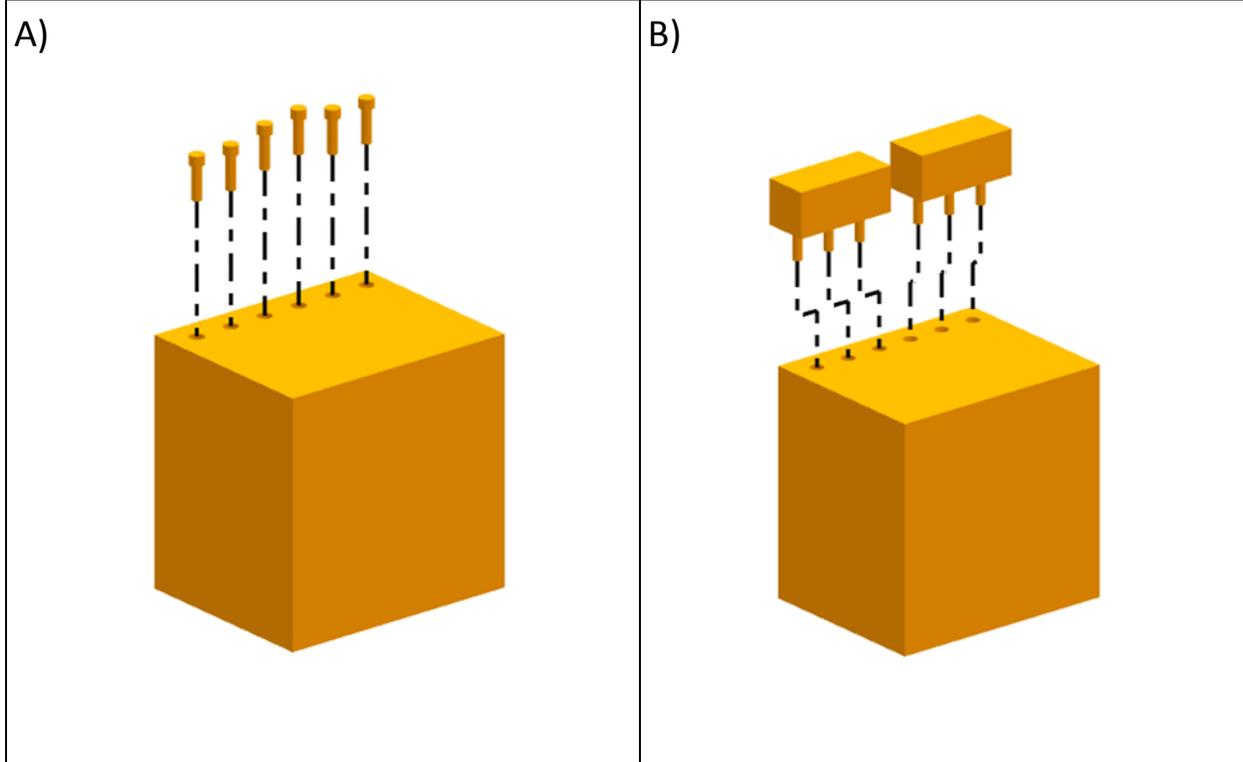


Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción:

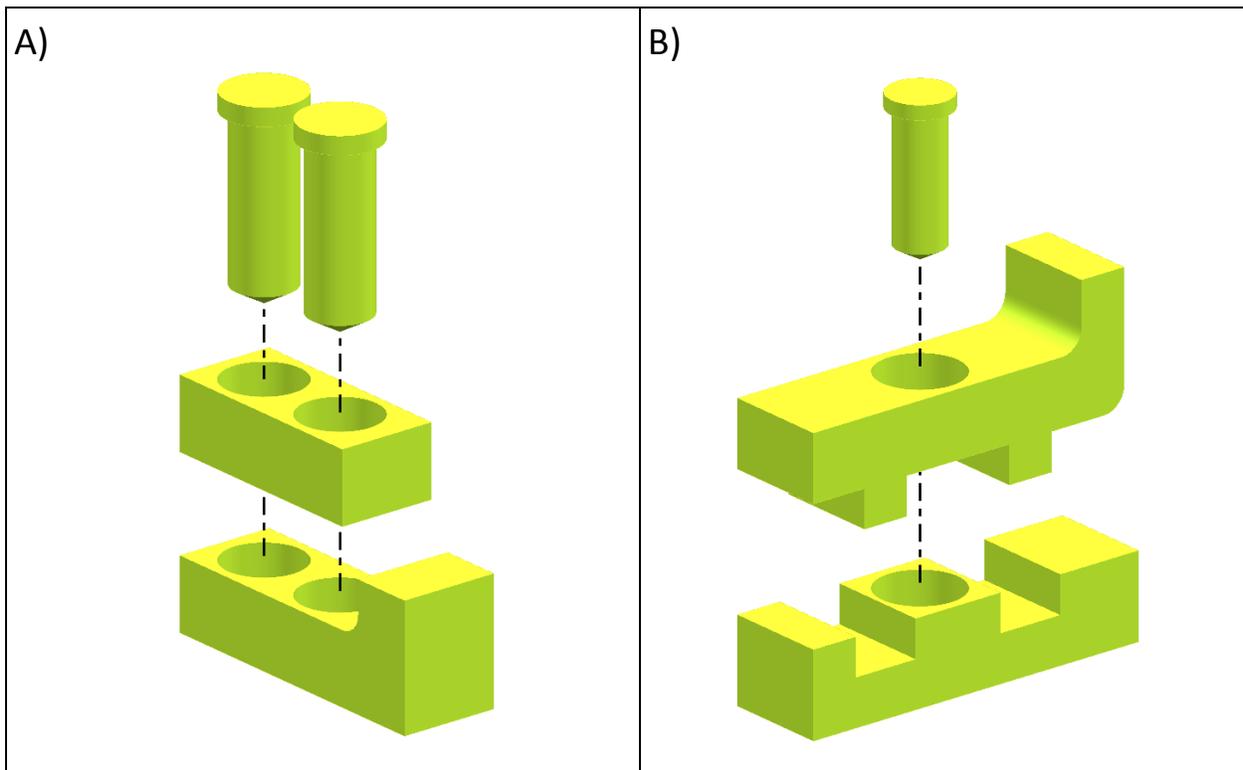
En la figura (A) se muestra un ensamble piramidal, con dos pernos que representan dos tornillos roscados, tornillos con rosca o pernos.

En la figura (B) se han eliminado 3 piezas que no son necesarias, simplificándolo a una sola pieza que tiene las características deseadas, lo cual permite un ahorro de tiempo y costo de montaje.



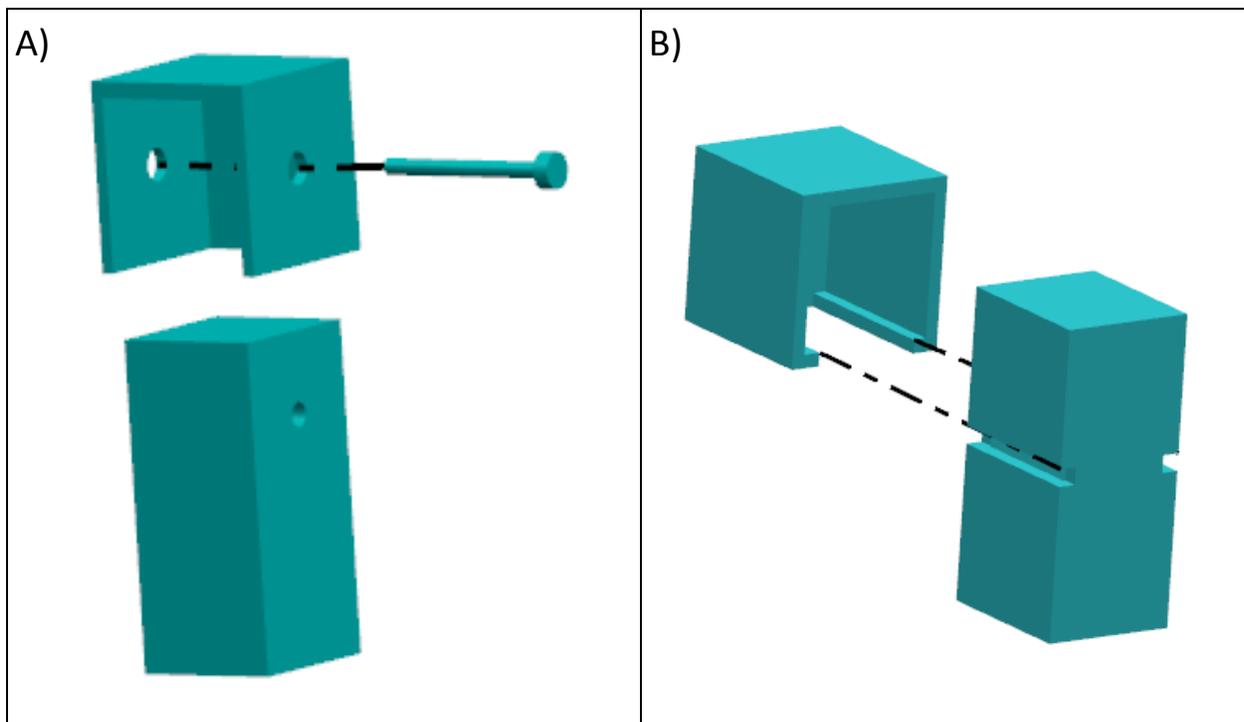
Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción: Podemos observar en (B) un ensamble consistente en 3 piezas , por lo que se facilitan y reducen el número de operaciones, así como también se reducen los tiempos de manipulación e inserción , por lo contrario en (A) observamos que son 7 piezas , de los cuales 6 son pernos que se insertan en los orificios de la pieza , haciendo más difícil y tardado el ensamble .



Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción: Podemos observar el ensamble en (B) que cuenta con 3 piezas, así como también se agregaron características auto lineantes a las piezas para facilitar su inserción , por lo contrario en (A) observamos que al faltar las características de auto localización, además de que se dificulta la tarea de colocación, es necesario agregar un sujetador más para asegurar la fijación completa del ensamble.

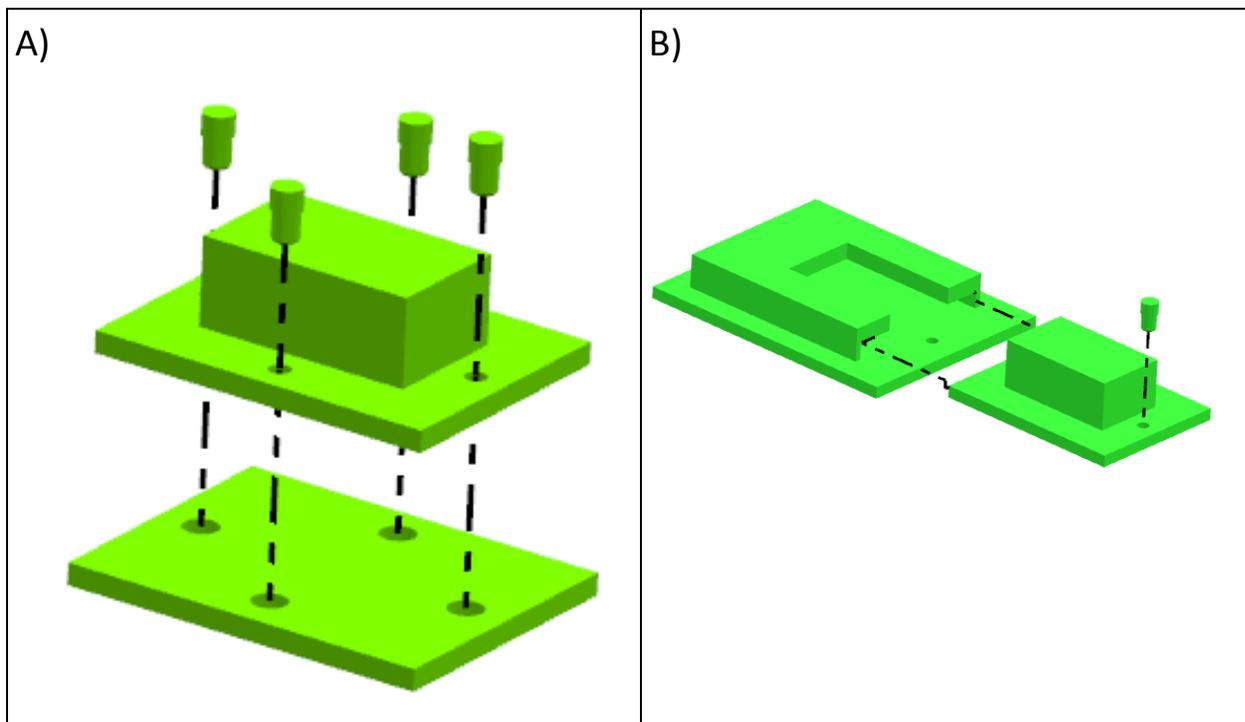


Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción:

En la figura (A) se muestra un ensamble con tres piezas, el perno representa un tornillo roscado, tornillo con tuerca, el empleo de este medio de sujeción conlleva muchas operaciones y tiempo de ensamble.

En la figura (B) se puede observar que se ha modificado la pieza base adicionando un par de aperturas en sus costados para que la tapa se inserte sin ningún problema, eliminando el perno y facilitando el ensamble.

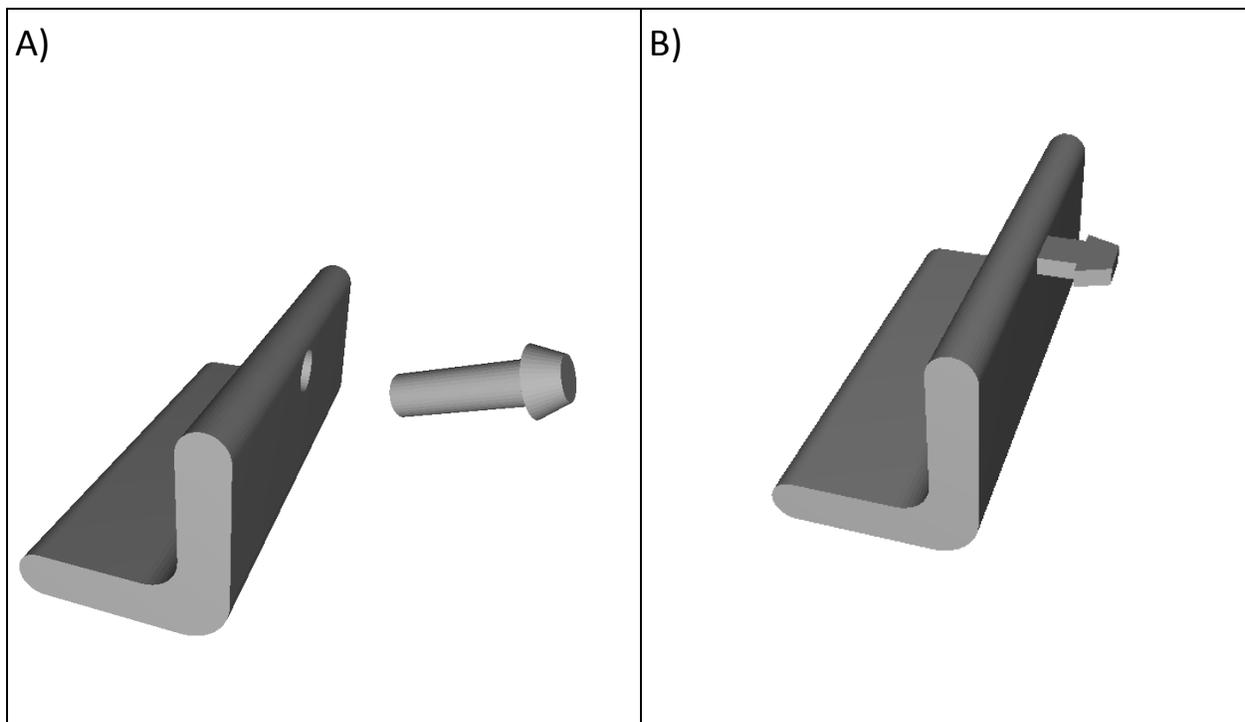


Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción:

En la figura (A) se muestra un ensamble que tiene 4 tornillos roscados para asegurar la pieza con su base.

En la figura (B) se ha modificado la pieza base de forma no funcional, para que la pieza a asegurar quede inmediatamente sujeta y emplee solo uno de los tornillos roscados, aunque no es muy necesario el uso de este.

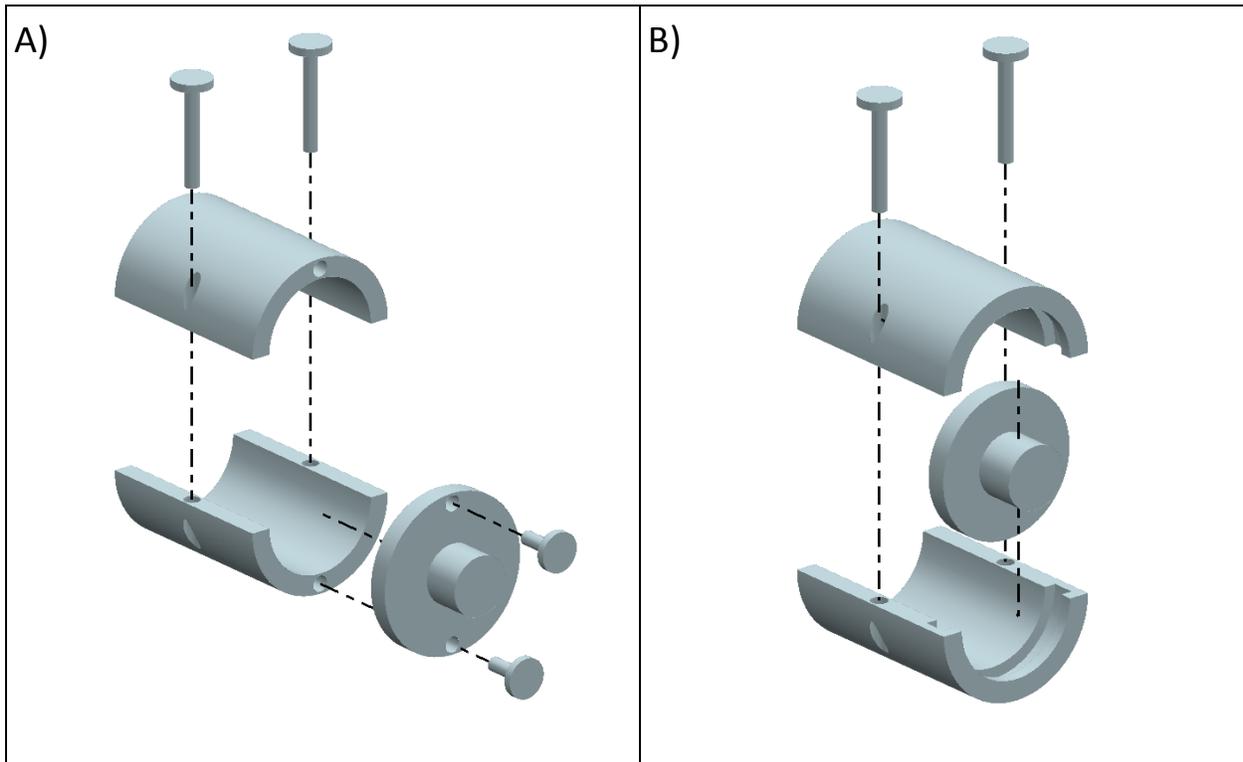


Directriz: Minimizar el numero de partes de un ensamble.

Descripción:

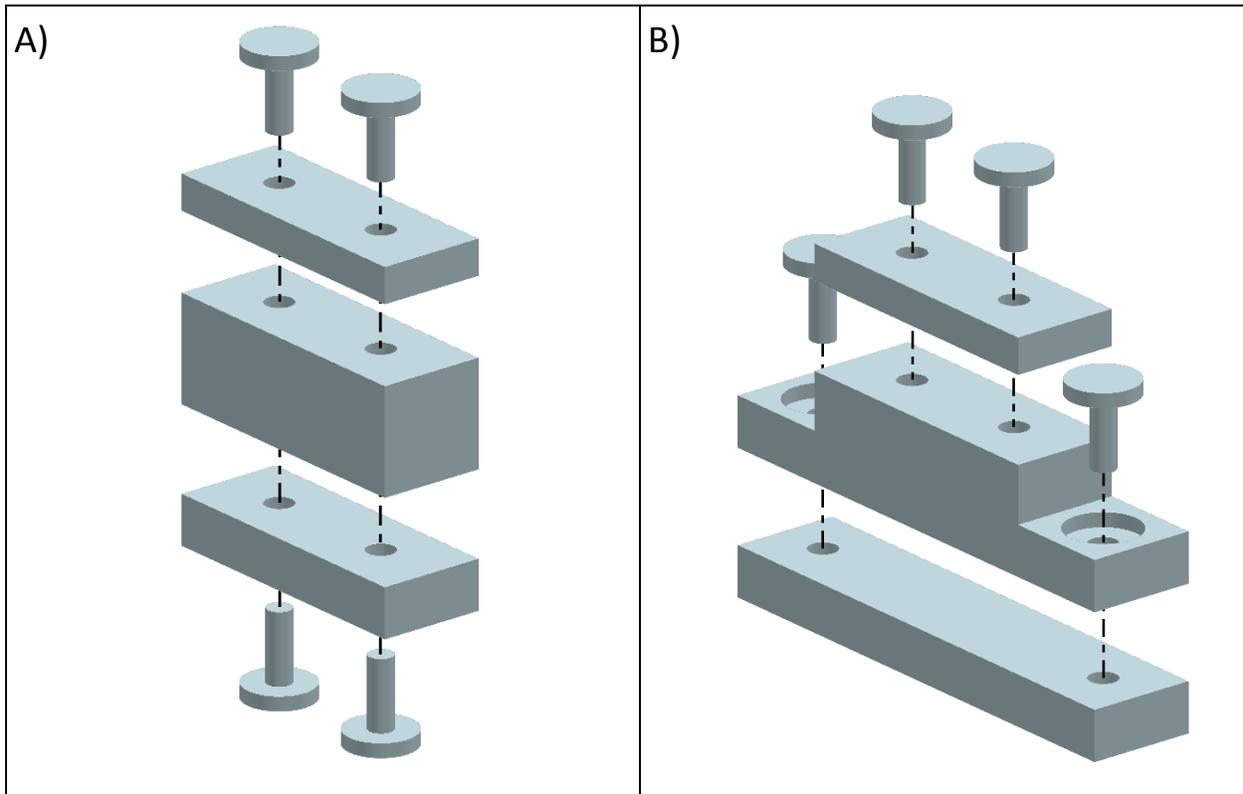
En la figura (A) se muestra un ensamble que tiene 1 placa y 1 perno

En la figura (B) se ha aplicado la minimización de piezas, incluyendo el perno en la placa, obteniendo un solo componente



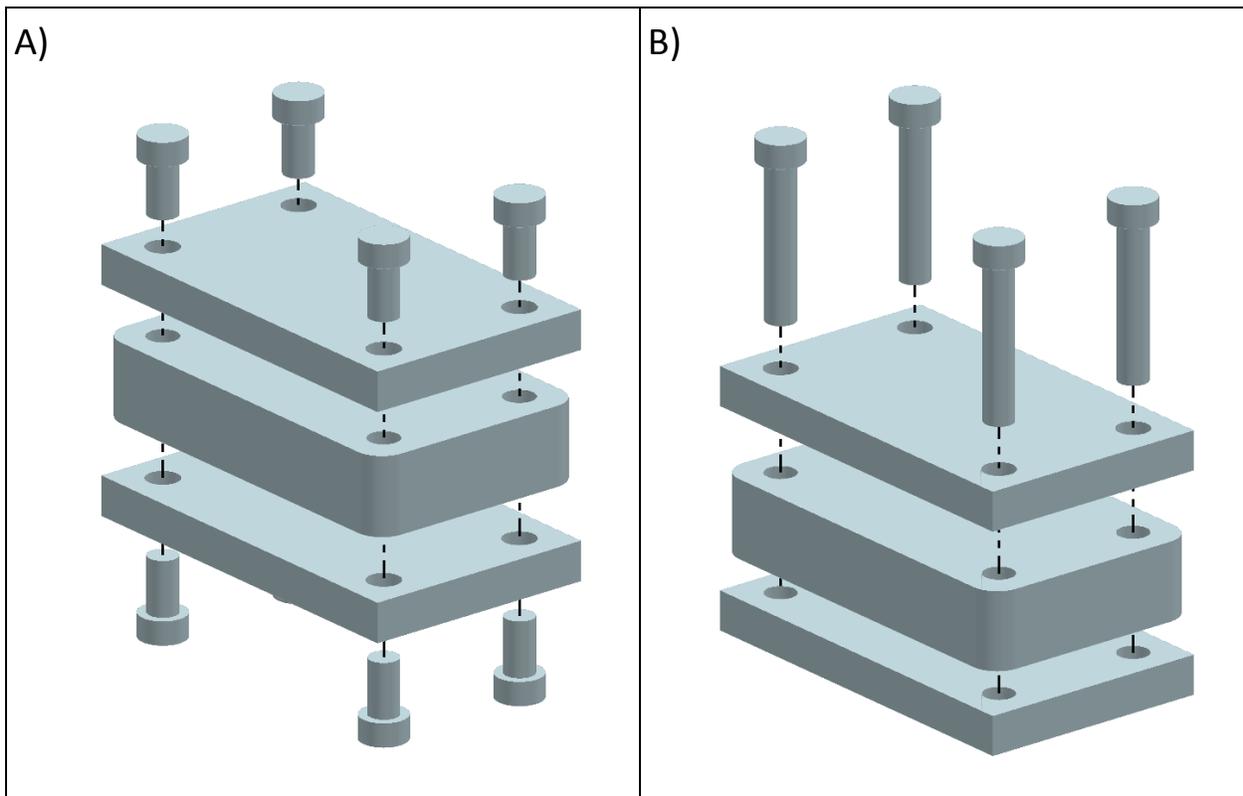
Directriz: Ensamblajes unidireccionales .

Descripción: Se tiene en (A) un ensamble con 3 piezas y 4 sujetadores, dos de los cuales sujetan la tapa, los cuales se insertan en un eje perpendicular al de los otros 2 sujetadores. En (B) se muestra un rediseño donde, además de eliminar los sujetadores, gracias a la añadidura de una ranura en las tapas que ayudan a localizar y asegurar la tapa, también evitan la necesidad del ensamble en otra dirección, haciendo el ensamble unidireccional y de forma vertical paralela a la fuerza de la gravedad.



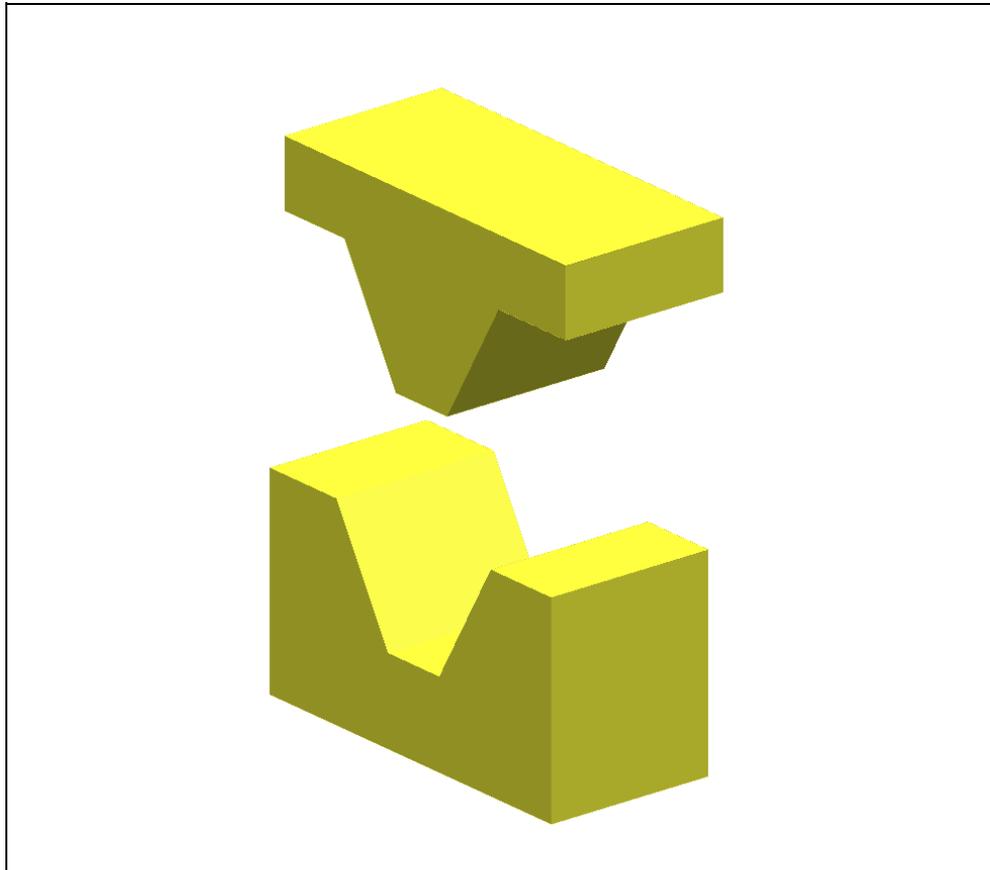
Directriz: Ensamblajes unidireccionales .

Descripción: En (A) se muestran 3 placas que se sujetan con 4 pernos, dos por la parte superior, y dos por la parte inferior, lo que demanda reorientar el ensamble al menos una vez para insertar todos los pernos. En (B) se muestra un rediseño donde se modificaron las geometrías de dos de las placas,, para poder insertar los pernos en una misma dirección de forma vertical, eliminando así la re orientación.



Directriz: Ensamblajes unidireccionales .

Descripción: En (A) se muestran 3 placas que se sujetan con 4 pernos, cuatro por la parte superior, y cuatro por la parte inferior, lo que demanda reorientar el ensamble al menos una vez para insertar todos los pernos. En (B) en vez de modificar la geometría de las piezas, se modificó el tamaño de los pernos, de modo que con 4 pernos insertados en la misma dirección sean sujetadas las 3 placas, sin necesidad de re orientar. Es importante recomendar prestar especial atención si se trata de tornillos y huecos roscados.

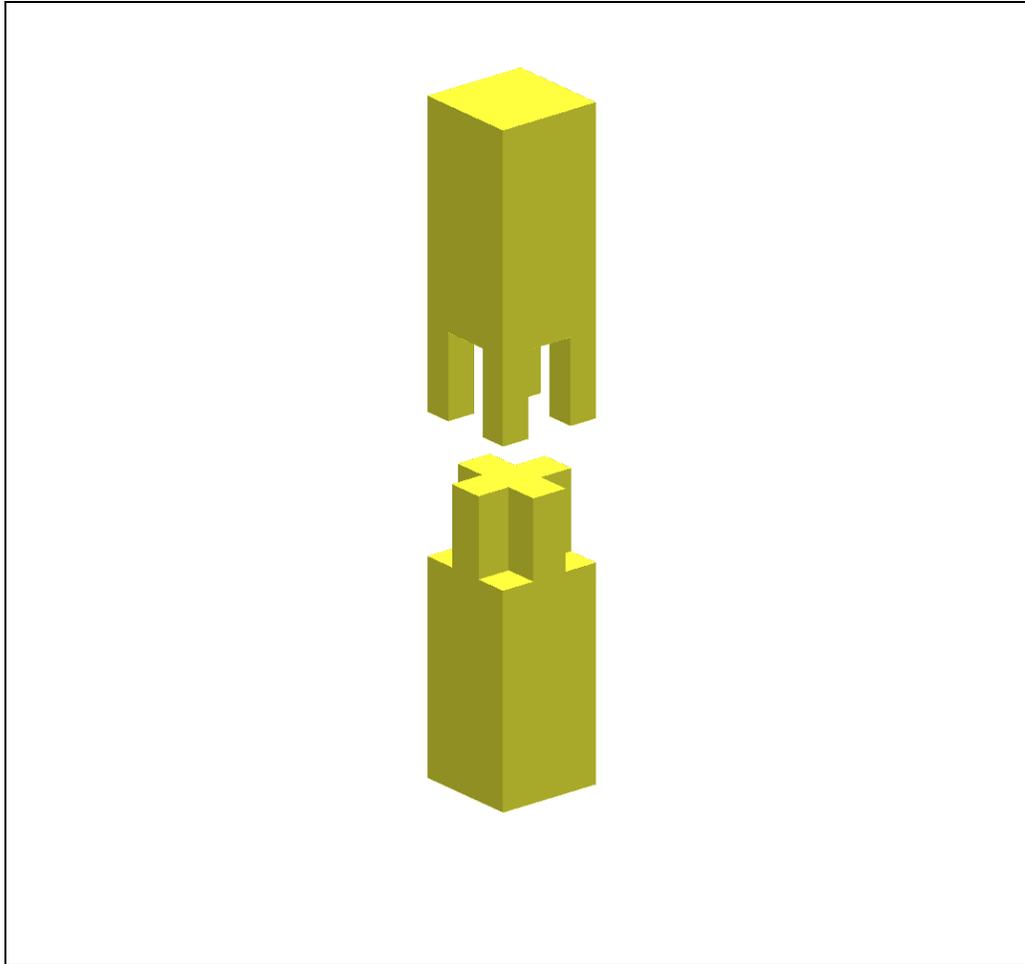


Juntas de madera

Junta tipo corte falso

Aplicación: en extensiones de madera.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

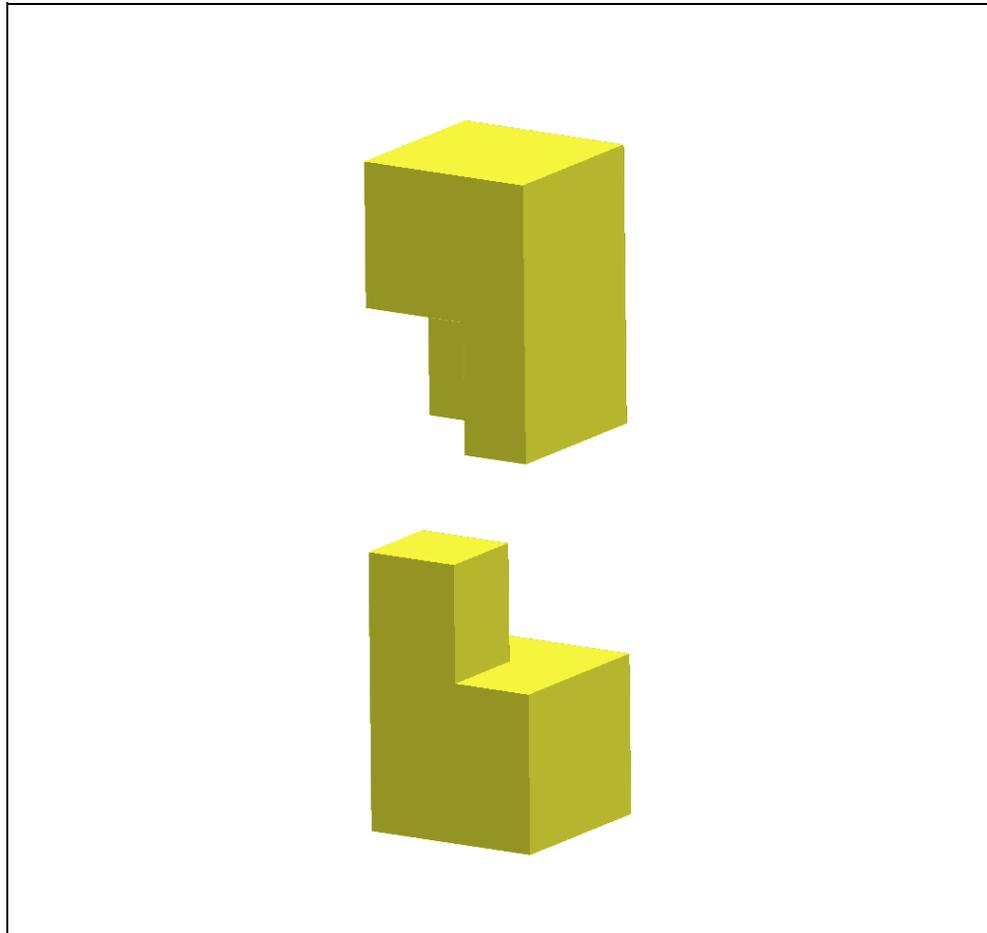


Juntas de madera

Junta tipo dientes en cruz

Aplicación: en extensiones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

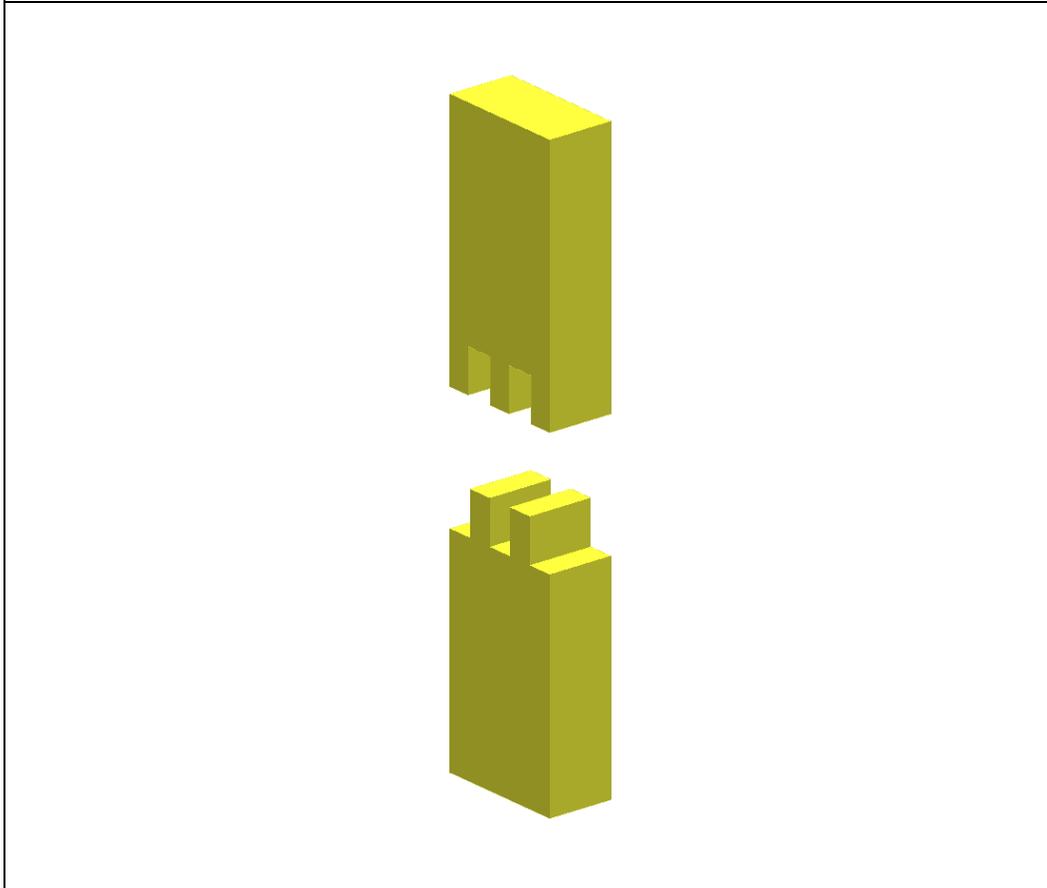


Juntas de madera

Junta tipo cola de pato

Aplicación: en extensiones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

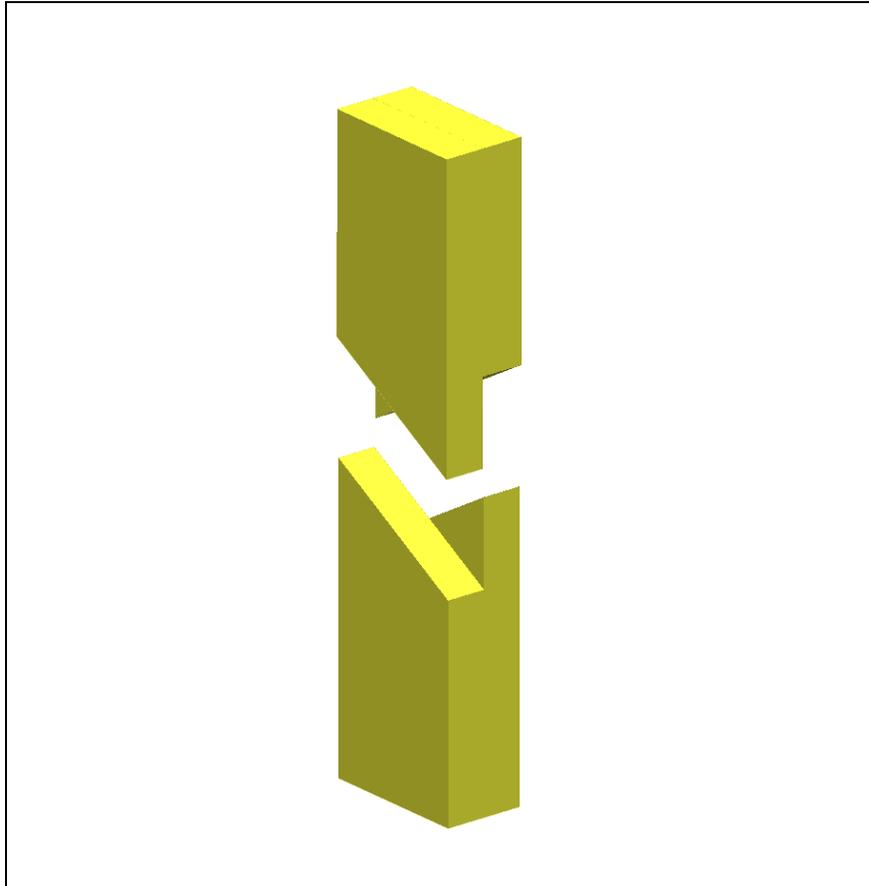


Juntas de madera

Junta tipo doble espiga

Aplicación: en extensiones, ángulos de estructuras y cajones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

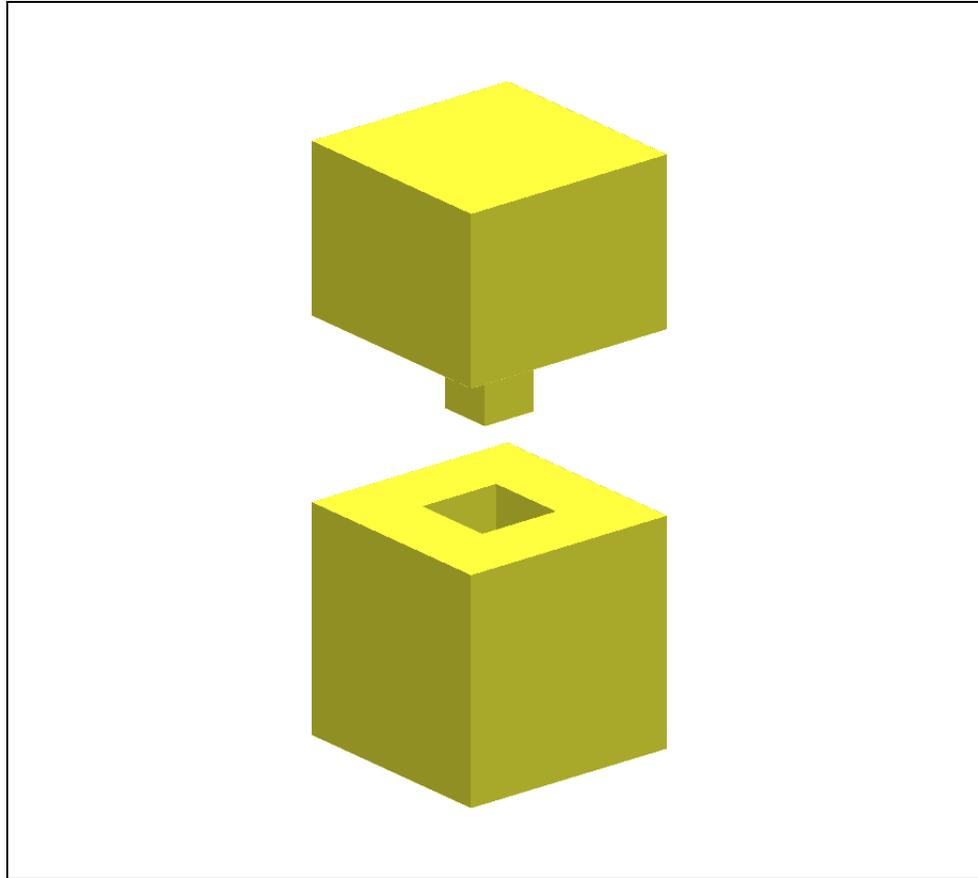


Juntas de madera

Junta tipo espiga combinada.

Aplicación: en extensiones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

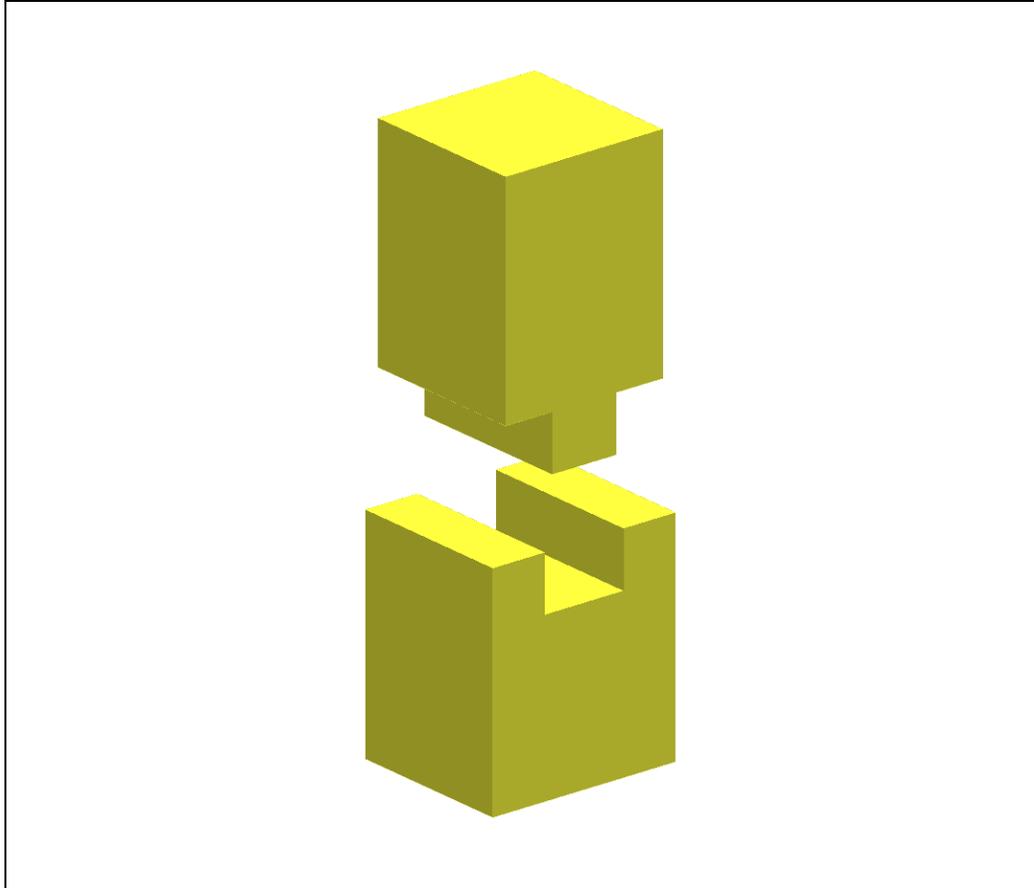


Juntas de madera

Junta de bastón, espiga simple o tarugo

Aplicación: en extensiones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

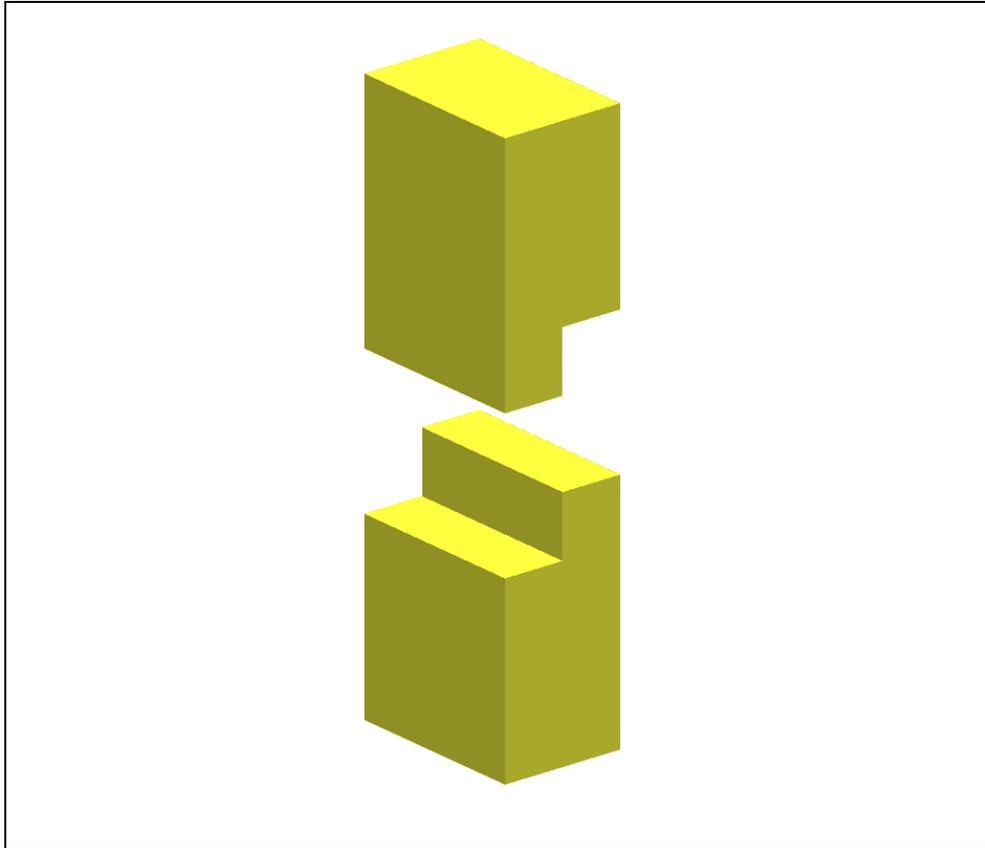


Juntas de madera

Junta tipo corte falso

Aplicación: en extensiones, puertas y marcos.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

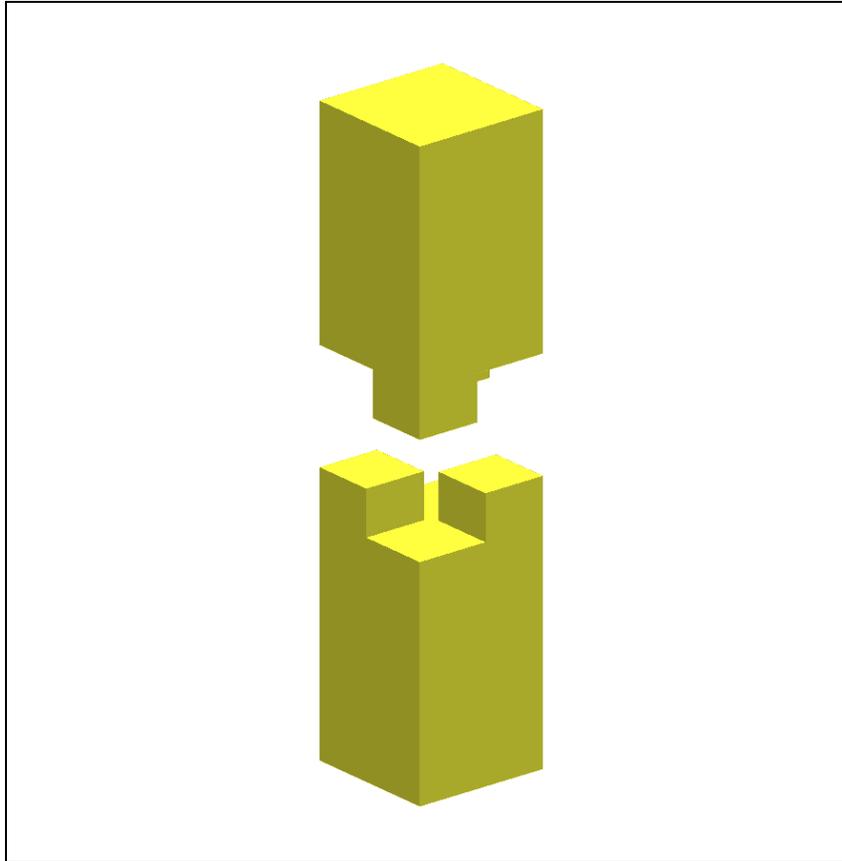


Juntas de madera

Junta tipo ensamble rebajado

Aplicación: en extensiones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

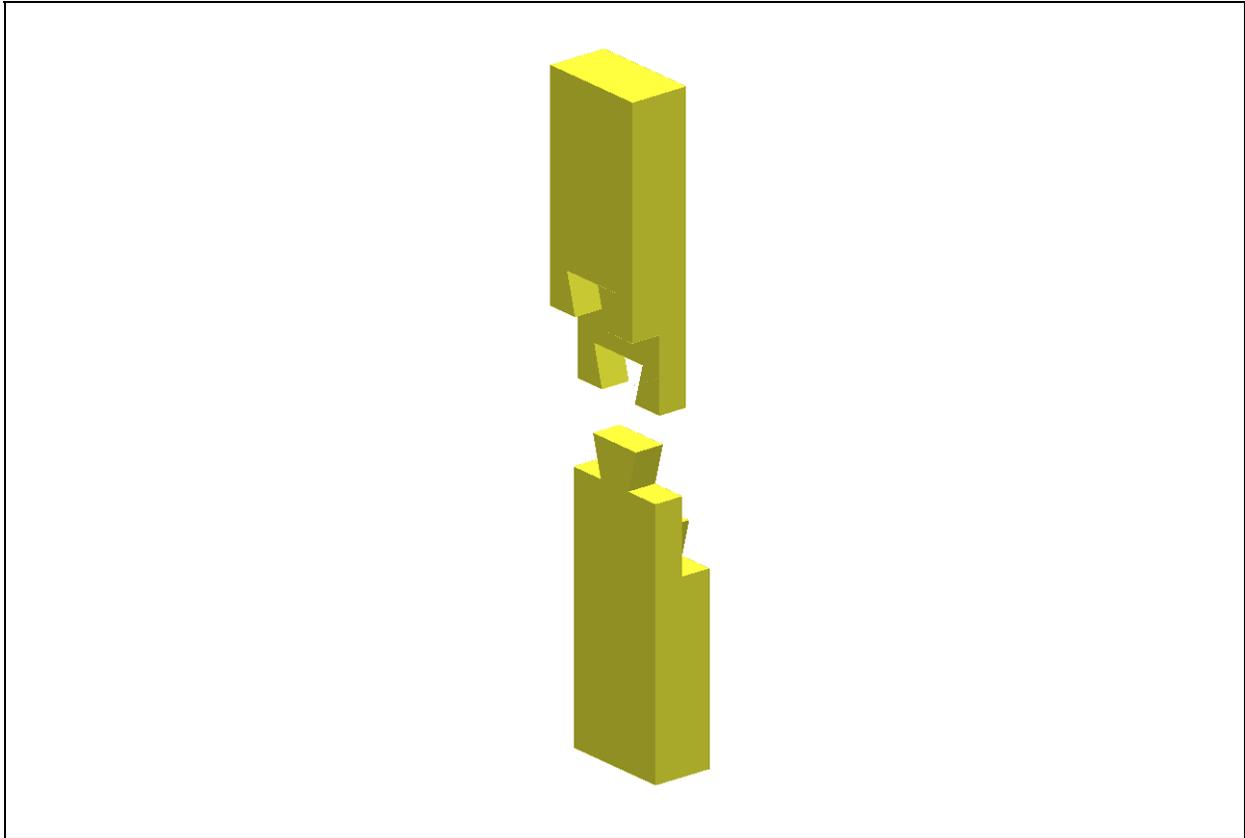


Juntas de madera

Junta de media madera en cuarteles

Aplicación: en extensiones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

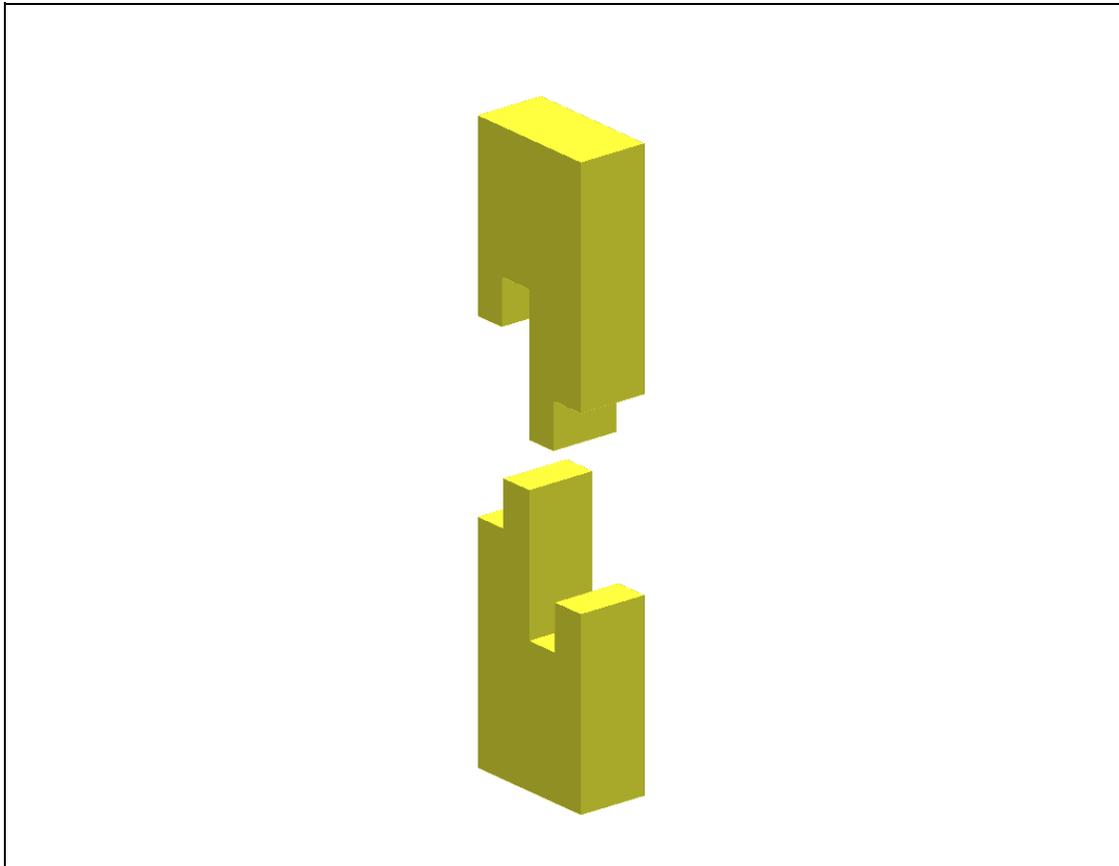


Juntas de madera

Junta de colas de milano

Aplicación: extensiones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

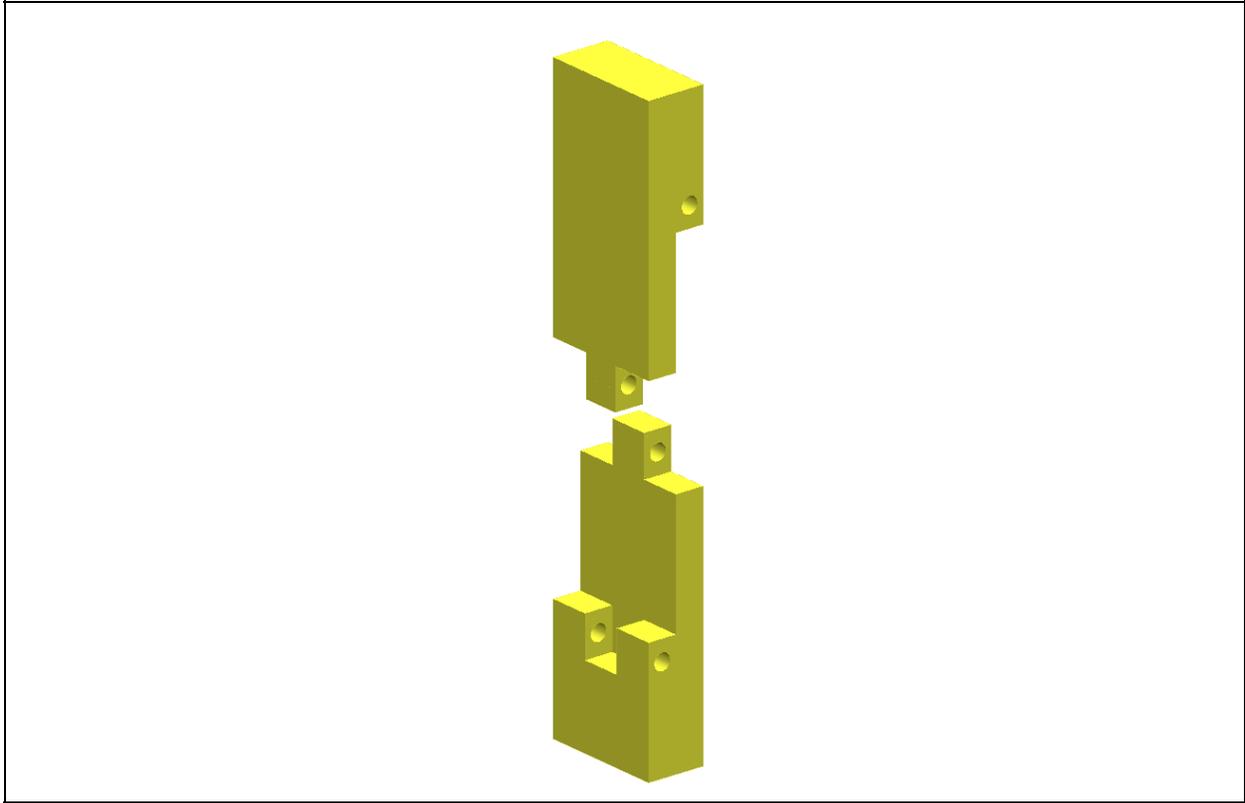


Juntas de madera

Junta de dientes alternos

Aplicación: extensiones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

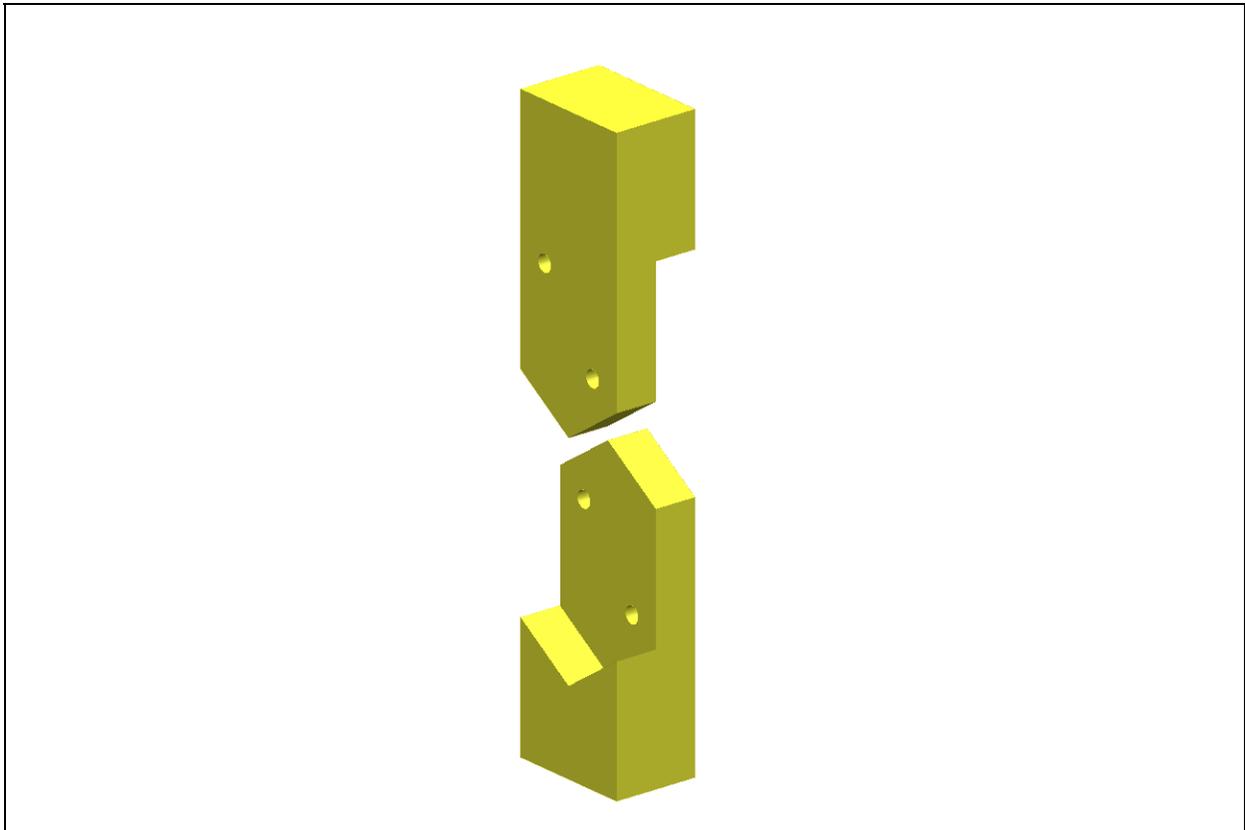


Juntas de madera

Junta: nombre no conocido

Aplicación: extensiones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.



Juntas de madera

Junta: nombre no conocido

Aplicación: extensiones.

Tipo de piezas por unir: tabla con tabla, triplay con triplay, aglomerado con aglomerado.

Anexo III.

Manual de prácticas del diseño para ensamble.



Introducción a las directrices del DFA



Alumnos

Grupo	Brigada	Fecha de realización

1. Objetivos de aprendizaje

Objetivo general: El alumno distinguirá los conceptos básicos en el diseño para ensamble, los cuales podrá ilustrar a través de ejemplos didácticos y reales. Adquiriendo un criterio básico de diseño basado en las directrices de la metodología del diseño para ensamble.

Objetivos particulares: Localizar e identificar los siguientes lineamientos y directrices del diseño para ensamble.

- Simetría y asimetría en piezas
- Diseño de piezas auto-alineantes y auto-localizantes.
- Diseño de piezas que no se puedan instalar incorrectamente.
- Rediseño de piezas susceptibles de atascarse.

2. Introducción

Existen reglas generales para facilitar el ensamble, las cuales son principios de diseño que se recomienda tomar en cuenta al diseñar un producto. A continuación, se mencionarán las características de algunas directrices, las cuales serán ocupadas en la práctica.

2.1. Simetría y asimetría en piezas.

Las simetrías influyen en gran medida ya que afectan el tiempo para sujetar y orientar una pieza, ya que una pieza simétrica es fácil de orientar

y posicionar para ser insertada, o en el caso opuesto, características notoriamente asimétricas para establecer fácilmente su orientación adecuada.

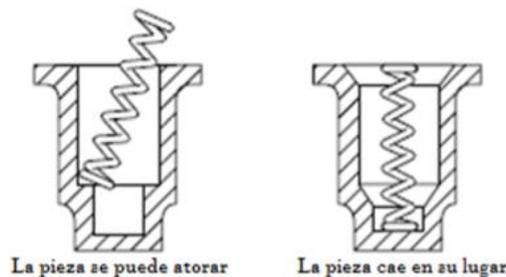


En general, para facilitar la manipulación de piezas, un diseñador debe:

- 1.-Diseñar piezas completamente simétricas, que tienen una simetría de extremo a extremo, que guardan simetría en por lo menos un eje de inserción. Esto hace que sea posible montar las piezas de varias orientaciones.
- 2.-Si la simetría completa no es posible, entonces se debe de diseñar las piezas exagerando asimetría con la finalidad de evitar montajes incorrectos.
- 3.-Hacer las características de ensamble asimétricas.
- 4.-Si dos piezas pueden ser ensambladas incorrectamente, entonces hay que asegurar que el ensamble de las piezas subsecuentes sea imposible.

2.2. **Diseño de piezas auto-alineantes y auto-localizantes.**

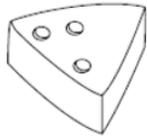
Se debe diseñar de modo que exista poca o ninguna resistencia a la inserción y proporcionar chaflanes que ayuden a guiar o alinear la inserción de dos partes de acoplamiento. El diseño de estos puede ser lineal u ovalado. También se pueden añadir características autoaliméntes no funcionales, que, sin alterar la funcionabilidad del ensamble, ayuden a posicionar y asegurar la pieza al ser insertada.



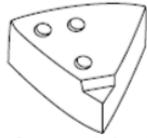
2.3. **Diseño de piezas que no se puedan instalar incorrectamente.**

El diseñador debe diseñar piezas, de forma que sea imposible ensamblarlas de forma incorrecta; esto se logra poniendo obstrucciones que impidan un ensamble incorrecto, es decir incluir alguna característica que no afecte el funcionamiento de la pieza para definir su orientación.

- 1.-Proveer obstrucciones que no permitan el ensamble incorrecto.
- 2.-Si dos piezas pueden ser ensambladas incorrectamente, entonces hay que asegurar que el ensamble de las piezas subsecuentes sea imposible.



Difícil de orientar
puede propiciar un
ensamble incorrecto



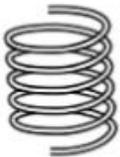
La muesca señala su
correcto ensamble

3.-Si la recomendación anterior no se puede lograr, entonces hay que marcar las piezas con indicaciones para su correcta instalación, tales como “arriba”, “primero”, flechas o colores.

4.-Procurar la eliminación de piezas flexibles que comúnmente se instalan incorrectamente.

5.-Si no se puede proveer a la pieza de una marcada asimetría, entonces es conveniente incluir alguna característica asimétrica no funcional a la pieza para definir su orientación.

2.4. Rediseño de piezas susceptibles de atascarse.



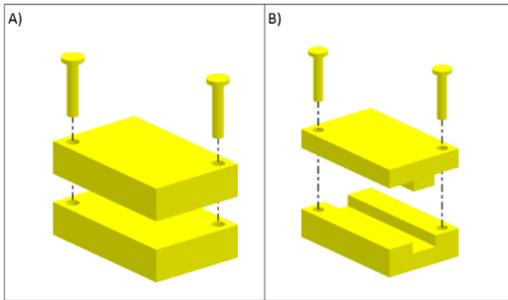
Es importante proveer de características geométricas a las piezas de tal forma que evitemos el atascamiento, atoramiento o amontonamiento de las mismas, cuando son transportadas y/o manipuladas estando a granel. Esto facilita enormemente la manipulación de las piezas para su ensamble, e incluso se evita el desperdicio de algunas que, al atorarse, quedan inservibles.

Se debe proporcionar espacios generosos, pero se debe tener cuidado para evitar holguras que puedan llegar a atascarse o colgarse durante la inserción.

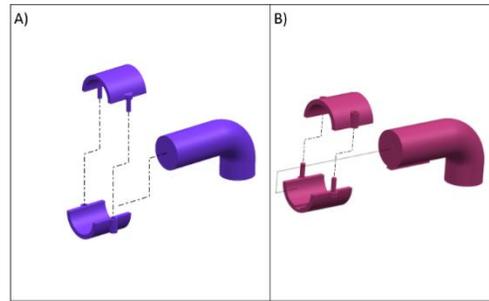
Se puede observar que, en las piezas del lado izquierdo, es probable el atascamiento entre piezas cuando una se inserta dentro de otra, con el rediseño del lado derecho se evitará esto gracias a un rediseño.

3. Material

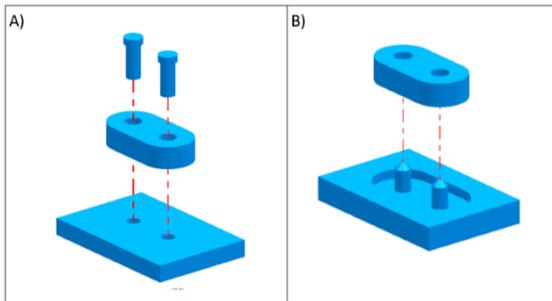
Ensamble 1



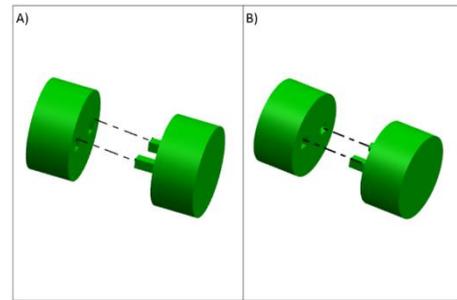
Ensamble 10



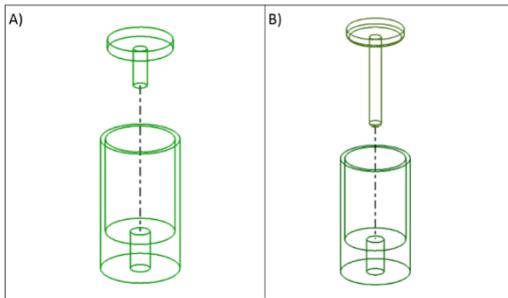
Ensamble 2



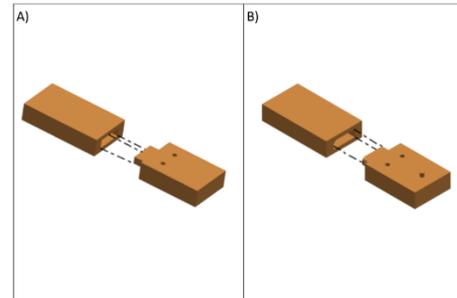
Ensamble 12



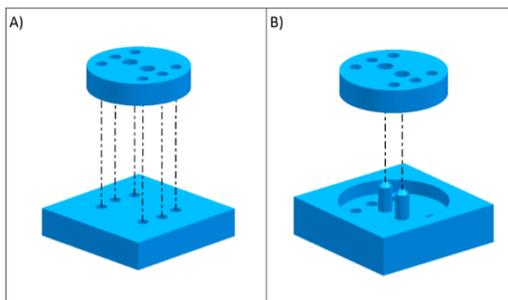
Ensamble 5



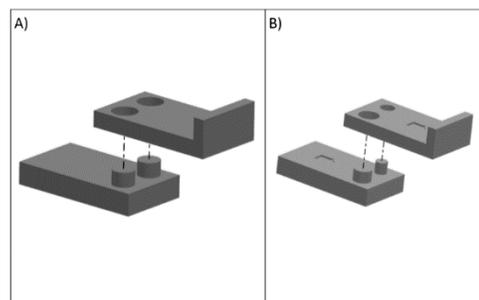
Ensamble 13



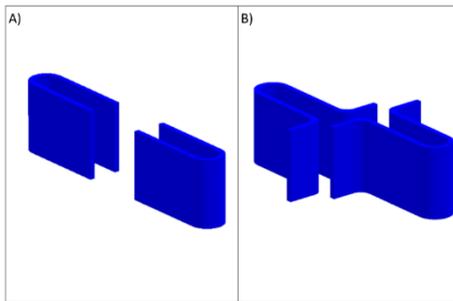
Ensamble 6



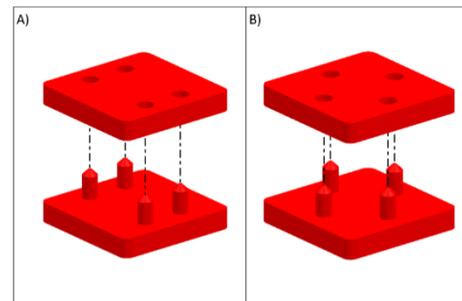
Ensamble 14



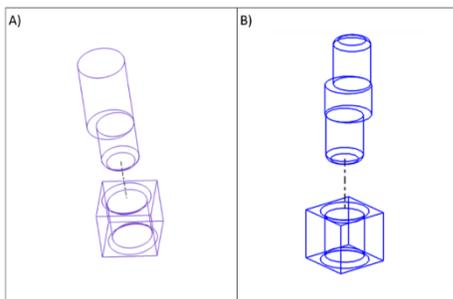
Ensamble 18



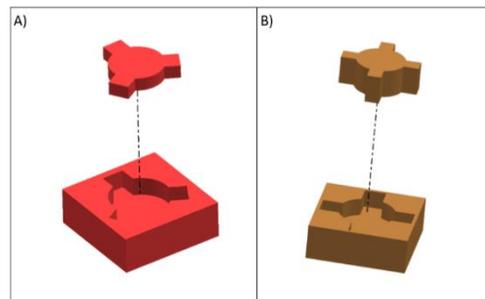
Ensamble 20



Ensamble 19



Ensamble 22

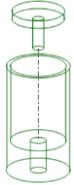
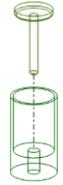
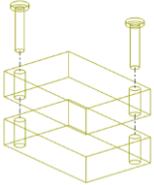
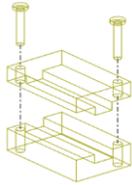
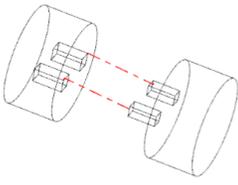
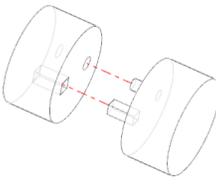
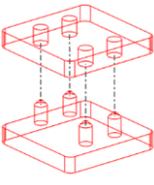
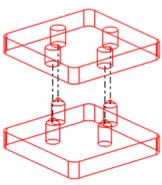


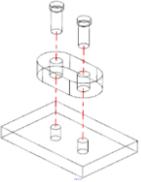
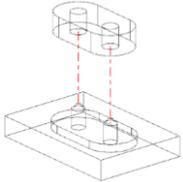
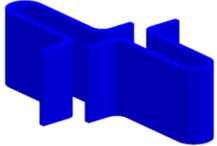
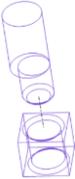
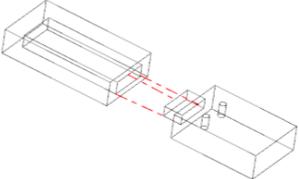
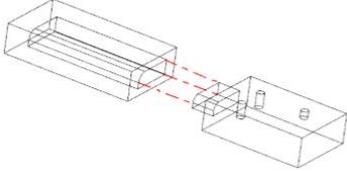
3. Desarrollo

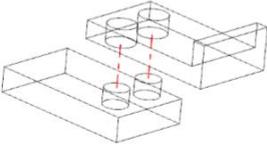
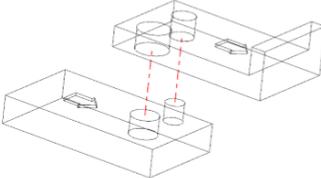
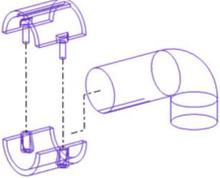
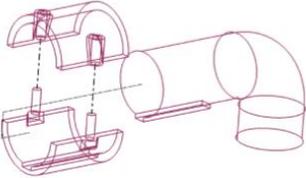
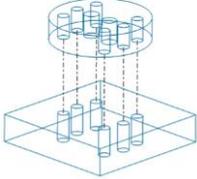
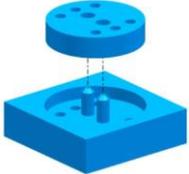
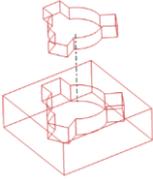
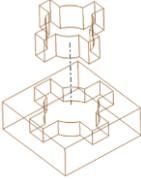
Actividad 1 Identificación de ensambles de acuerdo con su directriz

Con el material propuesto:

- 1.-Ubique los ensambles de acuerdo con su directriz correspondiente.
- 2.-Identifique en la columna 2 las dificultades de ensamble que percibe.
- 3.-Dibujar mediante un bosquejo en la columna 3 una propuesta de rediseño, en caso de encontrar dificultades en el punto anterior. Explicar ¿Por qué?
- 4.-Observe las propuestas de rediseño que se le proporcionaron en el material y se muestran en la columna 4.
- 5.-Escriba en la columna 5 de la tabla. ¿Cuál de las directrices se aplicó en el rediseño? Anote las diferencias que percibes de acuerdo con el ensamble original.

No. de ensamble	Ensamble	Anota tus resultados	Ensamble rediseño	Anota tus resultados
5				
1				
12				
20	 <p data-bbox="552 1235 863 1263">*Considerar ángulos de simetría</p>			

No. de ensamble	Ensamble	Anota tus resultados	Ensamble rediseño	Anota tus resultados
2				
18	 <p data-bbox="590 737 789 753">*Nota: Considerar el manejo a granel</p>		 <p data-bbox="1268 699 1509 716">*Nota: Considerar el manejo a granel</p>	
19				
13				

No. de ensamble	Ensamble	Anota tus resultados	Ensamble rediseño	Anota tus resultados
14				
10				
6				
22				

Conclusiones de la actividad 1

4.-Anexos

Ejemplos reales

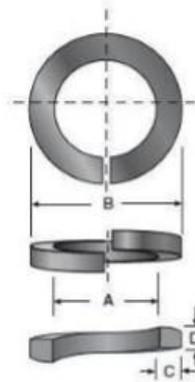


Figura 1. Arandelas elásticas de seguridad o rondanas de presión tipo Grower.

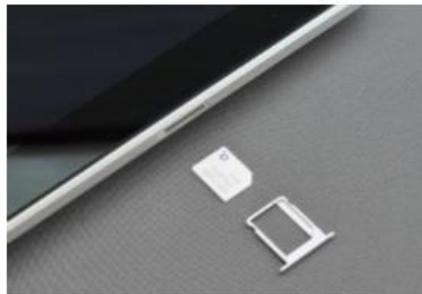


Figura 2. Inserción correcta de SIM.



Figura 3. Tipos de conectores para monitor de PC.



Figura 4. Resortes de Extensión.

5.-Conclusiones

Responda las siguientes preguntas.

- I. ¿Crees que las directrices ayuden a la industria, en el área de diseño?
- II. ¿Qué diferencias encuentras entre los ejemplos reales y el material didáctico?
- III. ¿En qué asignaturas crees que podrían resultar útiles las directrices del DFA?
- IV. ¿Conoces alguna herramienta de apoyo de diseño similar?

6.-Bibliografía y material de apoyo.

Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. (2011) "Product design for manufacture and assembly", United States of América, CCR Press, Tercera edición.

Anexo I. Guía de mejores prácticas sobre el diseño para ensamble

Anexo II. Catálogo de piezas didácticas para la enseñanza del diseño para ensamble



Introducción a las directrices del DFA 2



Alumnos

Grupo	Brigada	Fecha de realización

1. Objetivos de aprendizaje

Objetivo general: El alumno distinguirá los conceptos básicos en el diseño para ensamble, los cuales podrá ilustrar a través de ejemplos didácticos y reales. Adquiriendo un criterio básico de diseño basado en las directrices de la metodología del diseño para ensamble.

Objetivos particulares: Localizar e identificar los siguientes lineamientos y directrices del diseño para ensamble.

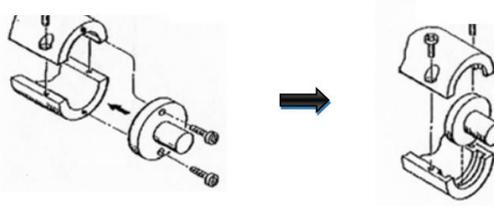
- Estandarización.
- Minimización del número de partes en un ensamble.
- Asegurar unión de piezas adecuadamente y no limitar visión de operario.
- Asegurar facilidad de sujeción y manipulación.

2. Introducción

Existen reglas generales para facilitar el ensamble, las cuales son principios de diseño que se recomienda tomar en cuenta al diseñar un producto. A continuación, se mencionarán las características de algunas directrices, las cuales serán ocupadas en la práctica.

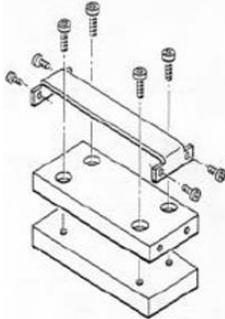
2.1. Ensamblajes unidireccionales

Procure escoger las piezas más grandes de cada subensamble como las piezas bases, y aplicar el ensamble piramidal de tal suerte que las piezas más pequeñas se inserten sobre la más grande sin necesidad de reorientar la posición de esta.

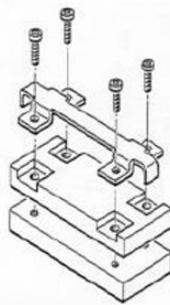


2.2. Minimización del número de partes en un ensamble.

Probar la necesidad de la existencia individual de cada pieza utilizando los tres criterios de piezas indispensables. Una pieza no es susceptible de eliminarse si:



Diseño original



Diseño mejorado

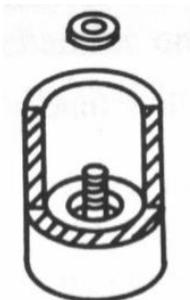
- 1.-La pieza se mueve relativamente a las de más piezas previamente ensambladas
- 2.-La pieza debe ser de diferente material.
- 3.-La pieza debe estar separada para permitir el ensamble o desensamble de otras piezas.

Como resultado obtenemos:

- 1.- Se reduce el costo del producto
- 2.-Se simplifica el ensamble
- 3.-Incremento de la calidad del producto
- 4.- Elimina la necesidad de herramental de ensamble
- 5.-Desensamble más fácil en el mantenimiento y el servicio de campo.

2.3. Asegurar unión de piezas adecuadamente y no limitar visión de operario

Asegúrese que la pieza no limite la visibilidad del operario al momento de su manipulación e inserción, ya que esto aumenta la dificultad y el tiempo de ensamble, si es el caso, se recomienda rediseñar el subensamble. Recuerde siempre diseñar las partes que se asegurarán inmediatamente después de su inserción, para evitar el uso de tornillos y tuercas. El uso de sujetadores por separados incrementa el costo de ensambles, y también el uso de herramientas para su colocación.



Recomendaciones:

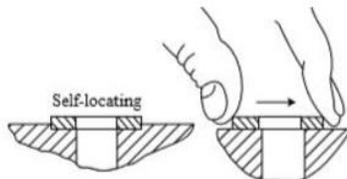
- Minimizar el número de sujetadores (tornillos, tuercas, pernos, remaches) diseñando piezas con características de unión, el uso de sujetadores aumenta considerablemente el costo de ensamble

- Se recomienda el diseño de ajustes rápidos en las mismas piezas.
- En caso de ser necesario su uso, estandarícelos al máximo a un solo tipo y tamaño, evite tamaños demasiado pequeños o grandes que dificulten su manipulación, también evite que tengan posibilidad de herir o lastimar a los trabajadores u operarios.

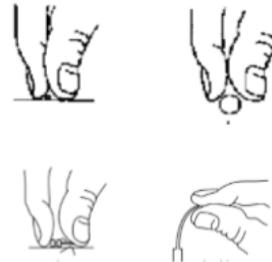
2.3. **Asegurar facilidad de sujeción y manipulación**

Los problemas típicos de manipulación se deben a:

Evite utilizar piezas muy pequeñas, pesadas, flexibles, frágiles, pegajosas, resbalosas, o aquellas que dificulten su manipulación, así como aquellas que puedan lastimar o herir al operario



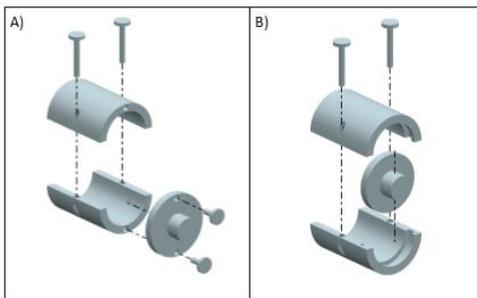
Rediseño de piezas que quedan parcialmente fijadas.



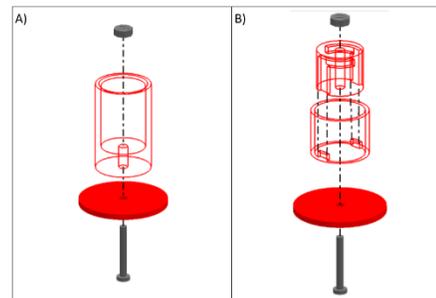
Evitar que se mantenga sujeta una pieza. Una vez que se inserta una pieza, se debe procurar que esta quede fija, o parcialmente fija al subensamble, de modo que no sea necesario mantenerla sujeta con las manos o alguna herramienta para proseguir con la inserción de piezas en el subensamble.

3.-Material

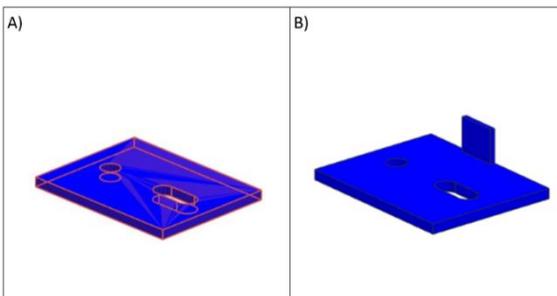
Ensamble 46



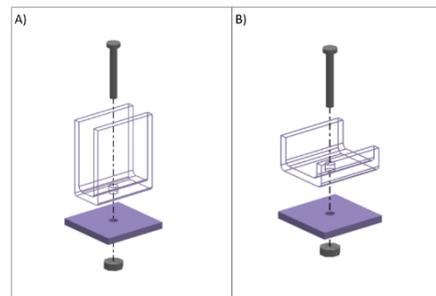
Ensamble 28



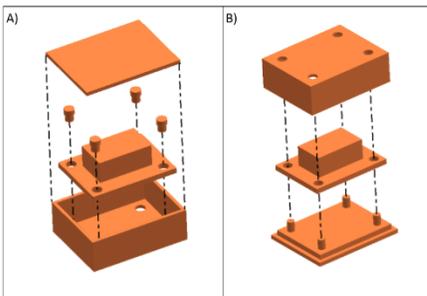
Ensamble 27



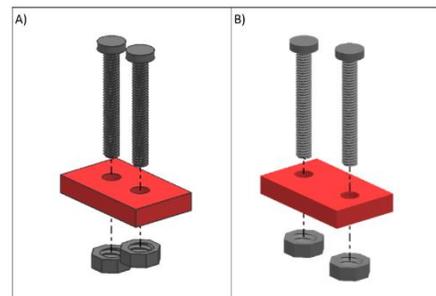
Ensamble 30



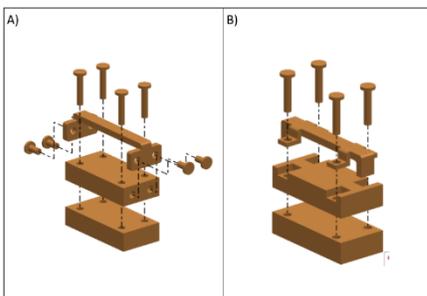
Ensamble 33



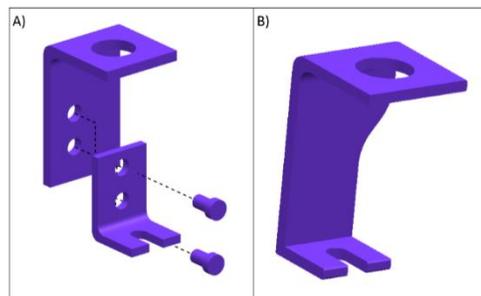
Ensamble 31



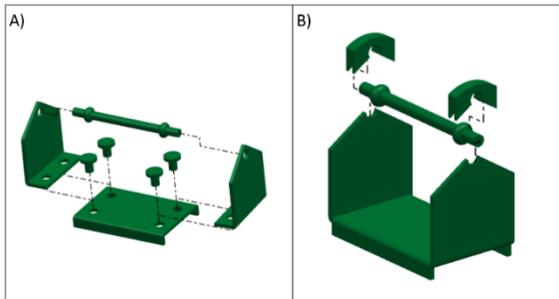
Ensamble 34



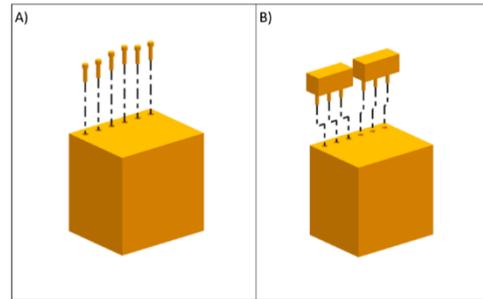
Ensamble 40



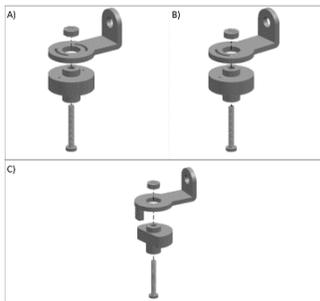
Ensamble 35



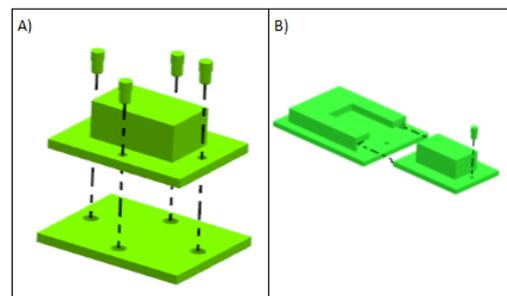
Ensamble 41



Ensamble 38



Ensamble 44

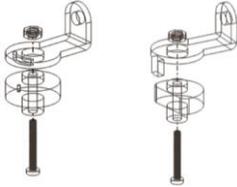
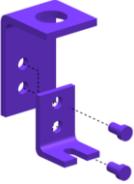
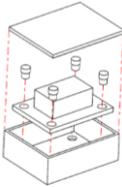
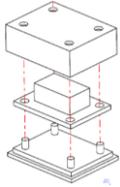


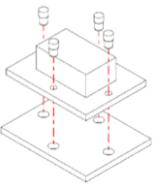
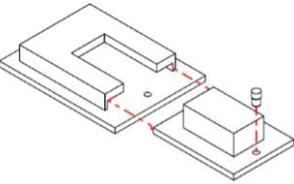
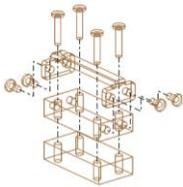
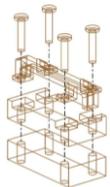
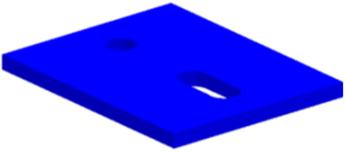
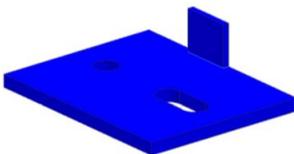
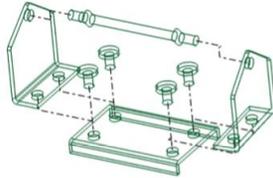
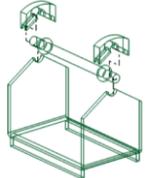
3. Desarrollo

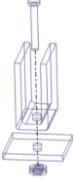
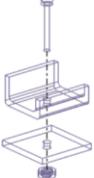
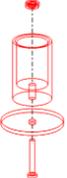
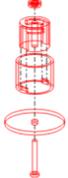
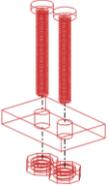
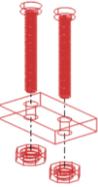
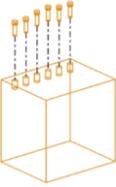
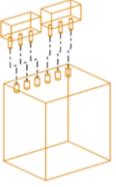
Actividad 1 Identificación de ensambles de acuerdo con su directriz

Con el material propuesto:

- 1.-Ubique los ensambles de acuerdo con su directriz correspondiente.
- 2.-Identifique en la columna 2 las dificultades de ensamble que percibe.
- 3.-Dibujar mediante un bosquejo en la columna 3 una propuesta de rediseño, en caso de encontrar dificultades en el punto anterior. Explicar ¿Por qué?
- 4.-Observe las propuestas de rediseño que se le proporcionaron en el material y se muestran en la columna 4.
- 5.-Escriba en la columna 5 de la tabla. ¿Cuál de las directrices se aplicó en el rediseño? Anote las diferencias que percibes de acuerdo con el ensamble original.

No. de ensamble	Ensamble	Anota tus resultados	Ensamble rediseño	Anota tus resultados
46				
38				
40				
33				

No. de ensamble	Ensamble	Anota tus resultados	Ensamble rediseño	Anota tus resultados
44				
34				
27	 <p data-bbox="535 990 861 1015">*Nota: considerar manipulación solamente</p>		 <p data-bbox="1249 958 1533 982">*Nota: considerar manipulación solamente</p>	
35				

No. de ensamble	Ensamble	Anota tus resultados	Ensamble rediseño	Anota tus resultados
30				
28				
31				
41				

Conclusiones de la actividad 1

4.-Anexos

Ejemplos reales



Figura 1. Estandarización de sujetadores.



Figura 2. Estandarización en tapón de aceite para vehículos y motos.



Figura 3. Es común en la industria automotriz, la estandarización de la plataforma modular transversal, se utiliza la misma plataforma para distintos modelos de vehículos de la misma o similar categoría, por ejemplo, en Volkswagen, el modelo Vento y Jetta tienen plataformas iguales con detalles superficiales diferentes, y así sucede con modelos de categorías similares, pero de diferente marca aparentemente, pero pertenecientes a grupo Volkswagen, por ejemplo: categorías

similares entre las marcas Volkswagen, Skoda, Seat, Porsche, Audi, Bugatti y Lamborghini, todas pertenecientes a grupo Volkswagen.

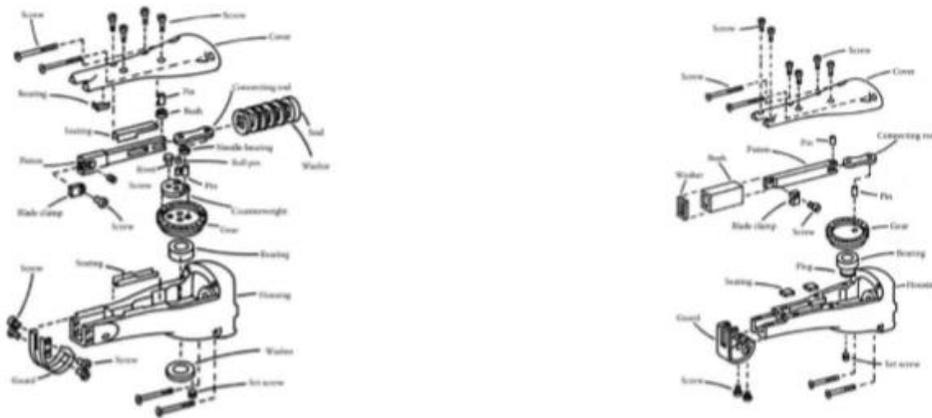


Figura 4. Aplicación de la metodología del diseño para ensamble, para una sierra mecánica. (Diseño inicial-41 partes, 6.37 min tiempo de ensamble. Diseño final-29 partes, 2.58 tiempo de ensamble).

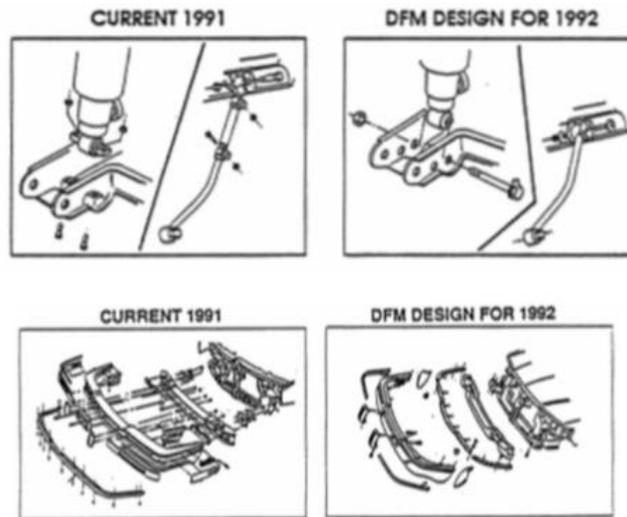


Figura 5. Cadillac rediseñó la suspensión trasera de su modelo Seville Seville / El Dorado para un proyecto principal durante 1992. Diseños 1992 y 1991.

5.-Conclusiones

Responda las siguientes preguntas.

- I. ¿Crees que las directrices ayuden a la industria, en el área de diseño?
- II. ¿Qué diferencias encuentras entre los ejemplos reales y el material didáctico?
- III. ¿En qué asignaturas crees que podrían resultar útiles las directrices del DFA?
- IV. ¿Conoces alguna herramienta de apoyo de diseño similar?

6.-Bibliografía y material de apoyo

Figura 1. Fuente: [Figura]. (--). Recuperado de: <http://www.vexrobotics.com.mx/vexedr/descripcion.php?id=all-screws>

Figura 2. Fuente: [Figura]. (--). Recuperado de: <https://www.motorpasion.com/otros/especialmantenimiento-aceites-parte-2>

Figura 3. Fuente: [Figura]. (--). Recuperado de: <http://www.vw.com.mx/es/vw-blog/innovacion-ytecnologia/-que-es-la-plataforma-modular-transversal--mqb--.html>

Figura 4. Fuente: (1980). Ellison, B. and Boothroyd, G. "Applying Design for Assembly Handbook to Reciprocating Power Saw and Impact Wrench" [Figura].

Figura 5. Fuente: (--). Dorador, J., "Curso de DFA". [Figura].

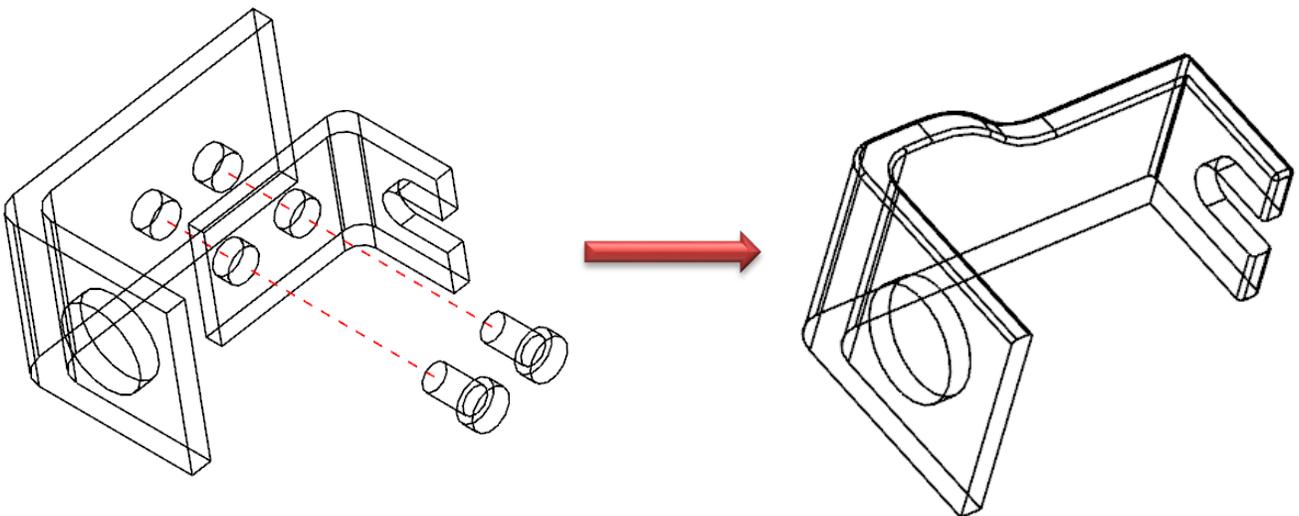
Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W., 2011. Product Design for manufacture and Assembly. Third Edition, --: CRC Press.

Anexo I. Guía de mejores prácticas sobre el diseño para ensamble

Anexo II. Catálogo de piezas didácticas para la enseñanza del diseño para ensamble

Práctica 3

Aplicación del método de Boothroyd – Dewhurst



I. Objetivos.

- ♦ Aplicar el método de ensamble manual de Boothroyd-Dewhurst a un producto convencional (par de clavijas sencillas).
- ♦ Determinar la eficiencia de ensamble de 2 o más prototipos.
- ♦ Interpretar y analizar los resultados del método de ensamble manual de Boothroyd-Dewhurst, hacer una comparación de los dos diseños, tanto en sus componentes, como en sus operaciones de ensamble.

II. Introducción.

En la década de los 70's Boothroyd en conjunto con su equipo de trabajo desarrolló el método de diseño para ensamble el cual nos permite analizar de forma sistemática la facilidad de ensamble o subensamble de un producto, a partir de este análisis podemos calcular la calidad de ensamble y manufactura de un producto y proponer modificaciones al diseño actual para reducir el tiempo de ensamble, el costo del producto y mejorar su calidad.

Se aplican tres criterios básicos para determinar teóricamente si alguna pieza en el producto puede eliminarse o combinarse con otras piezas, estos criterios junto con las tablas de tiempos de manipulación e inserción manual se emplean para estimar el tiempo total de ensamble y evaluar la calidad de un diseño de producto, mediante la identificación de partes y operaciones claves, para apoyar al equipo de diseño a proponer ideas en un rediseño.

III. Marco teórico.

- ♦ **Criterios para determinar teóricamente si alguna pieza es susceptible de eliminarse o combinarse.**

Una pieza no es susceptible de eliminarse, es decir, es esencial, si cumple con al menos uno de los siguientes criterios:

→ Durante el funcionamiento normal del producto, el componente se desplaza (movimiento relativo) en relación con otros componentes ya ensamblados.

- La pieza debe ser de un material diferente, o estar aislada de los demás componentes ya ensamblados (para aislamiento, aislamiento eléctrico, amortiguación de vibraciones, etc.).
- La pieza debe estar separada de todas las demás piezas ensambladas, debido a que de otra forma el ensamble o desensamble no podría realizarse.

- ♦ Tabla de tiempos de manipulación manual, para el método de Boothroyd – Dewhurst.

		LAS PIEZAS SON FÁCILES DE TOMAR Y MANIPULAR					LAS PIEZAS TIENEN DIFICULTADES DE MANIPULACIÓN						
		ESPESOR > 2mm		ESPESOR ≤ 2mm			ESPESOR > 2mm		ESPESOR ≤ 2mm				
		TAMAÑO > 15 mm	6 mm ≤ TAMAÑO ≤ 15 mm	TAMAÑO > 6 mm	TAMAÑO > 6 mm	TAMAÑO ≤ 6 mm	TAMAÑO > 15 mm	6 mm ≤ TAMAÑO ≤ 15 mm	TAMAÑO < 6 mm	TAMAÑO > 6 mm	TAMAÑO ≤ 6 mm		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></div> UNA MANO LAS PIEZAS PUEDEN SER SUJETADAS Y MANIPULADAS CON UNA SOLA MANO SIN LA AYUDA DE HERRAMIENTAS	$(\alpha + \beta) < 360$	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98	
	$360 \leq (\alpha + \beta) < 540$	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38	
	$540 \leq (\alpha + \beta) < 720$	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7	
	$(\alpha + \beta) = 720$	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4	
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></div> UNA MANO CON AYUDAS PARA SUJECCIÓN LAS PIEZAS PUEDEN SER SUJETADAS Y MANIPULADAS CON UNA SOLA MANO PERO SÓLO CON LA AYUDA DE HERRAMIENTAS	$\alpha \leq 180$	$0 \leq \beta < 180$	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7
		$\beta = 360$	5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8
	$\alpha = 360$	$0 \leq \beta < 180$	6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9
		$\beta = 360$	7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10
	<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></div> DOS MANOS PARA MANIPULACIÓN LAS PIEZAS SE ATORAN SEVERAMENTE O SE ENGANCHAN O SON FLEXIBLES PERO PUEDEN SER SUJETADAS Y LEVANTADAS CON UNA SOLA MANO (CON EL USO DE HERRAMIENTAS SI FUERA NECESARIO)	LAS PIEZAS NO PRESENTAN PROBLEMAS ADICIONALES DE MANIPULACIÓN					LAS PIEZAS NO PRESENTAN PROBLEMAS ADICIONALES DE MANIPULACIÓN (Ej. rebabas, pegajosos, delicadas, etc.)						
		$\alpha \leq 180$		$\alpha = 360$			$\alpha \leq 180$		$\alpha = 360$				
		TAMAÑO > 15 mm	6 mm ≤ TAMAÑO ≤ 15 mm	TAMAÑO < 6 mm	TAMAÑO > 6 mm	TAMAÑO ≤ 6 mm	TAMAÑO > 15 mm	6 mm ≤ TAMAÑO ≤ 15 mm	TAMAÑO < 6 mm	TAMAÑO > 6 mm	TAMAÑO ≤ 6 mm		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7			
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></div> SE REQUIEREN DOS MANOS DEBIDO AL GRAN TAMAÑO SE REQUIEREN DOS MANOS PARA SUJETAR Y TRANSPORTAR LAS PIEZAS	LAS PIEZAS PUEDEN SER MANIPULADAS POR UNA PERSONA SIN AYUDA MECÁNICA												
	LAS PIEZAS NO SE ENGANCHAN NI SE ANIDAN NI SON FLEXIBLES												
	LAS PIEZAS PESAN MENOS DE 10 lb					LAS PIEZAS SON PESADAS (>10 lb)							
	LAS PIEZAS SON FÁCILES DE TOMAR Y MANIPULAR		LAS PIEZAS PRESENTAN OTRAS DIFICULTADES DE MANIPULACIÓN			LAS PIEZAS SON FÁCILES DE TOMAR Y MANIPULAR		LAS PIEZAS PRESENTAN OTRAS DIFICULTADES DE MANIPULACIÓN					
	$\alpha \leq 180$	$\alpha = 360$	$\alpha \leq 180$	$\alpha = 360$	$\alpha \leq 180$	$\alpha = 360$	$\alpha \leq 180$	$\alpha = 360$	$\alpha \leq 180$	$\alpha = 360$	LAS PIEZAS SE ANIDAN SEVERAMENTE O SE ENGANCHAN O SON FLEXIBLES LAS PIEZAS NECESITAN HERRAMIENTAL ESPECIAL PARA SUJETARLAS Y MANIPULARLAS		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9			

♦ **Tabla de tiempos de inserción manual, para el método de Boothroyd – Dewhurst.**

		DESPUÉS DEL ENSAMBLE NO SE REQUIERE SUJETAR LA PIEZA PARA MANTENER SU ORIENTACIÓN Y LOCALIZACIÓN				DESPUÉS DEL ENSAMBLE SE REQUIERE SUJETAR LA PIEZA PARA MANTENER SU ORIENTACIÓN Y LOCALIZACIÓN									
		FÁCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE		DIFÍCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE		FÁCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE		DIFÍCIL DE ALINEAR Y POSICIONAR DURANTE EL ENSAMBLE							
		NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	NO HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN	HAY RESISTENCIA A LA INSERCIÓN						
		0	1	2	3	6	7	8	9						
PIEZA AÑADIDA PERO NO ASEGURADA 	ADICIÓN DE CUALQUIER PIEZA EN DONDE NI LA PROPIA PIEZA NI LAS DEMÁS SE ASEGURAN INMEDIATAMENTE	0	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5					
	LA PIEZA Y EL HERRAMIENTAL ASOCIADO (INCLUYENDO LAS MANOS) PUEDE ALCANZAR FÁCILMENTE LA POSICIÓN DESEADA	1	4	5	5	6	8	9	9	10					
	DEBIDO A UN ACCESO RESTRINGIDO O A UNA RESTRICCIÓN EN LA VISIÓN	2	5.5	6.5	6	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5					
PIEZA ASEGURADA INMEDIATAMENTE 	ADICIÓN DE OTRAS PIEZAS EN DONDE LA PROPIA PIEZA Y LAS DEMÁS SE ASEGURAN INMEDIATAMENTE	3	2	5	4	5	6	7	8	6	8				
	LA PIEZA Y EL HERRAMIENTAL ASOCIADO (INCLUYENDO LAS MANOS) PUEDE ALCANZAR FÁCILMENTE LA POSICIÓN DESEADA Y EL HERRAMIENTAL SE PUEDE OPERAR FÁCILMENTE	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5			
	DEBIDO A UN ACCESO RESTRINGIDO O A UNA RESTRICCIÓN EN LA VISIÓN	5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12			
OPERACIÓN SEPARADA 	PROCESOS DE UNIÓN MECÁNICOS (LAS PIEZAS YA ESTÁN EN SU LUGAR PERO NO FUERON SUJETADAS INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA INSERCIÓN)	NO HAY DEFORMACIÓN PLÁSTICA O ESTA MUY LOCALIZADA		PRESILLA DE PINZA CONEXIÓN RÁPIDA UNIÓN POR PRESIÓN		PROCESOS METALÚRGICOS		PROCESOS QUÍMICOS (e.g. unión por pegamento)		MANIPULACIÓN DE PIEZAS O SUBENSAMBLES (e.g. orientación, ajustes, etc.)		OTROS PROCESOS (e.g. inserción de líquidos, etc.)			
	DOBLADO O PROCESOS SIMILARES	RIVETEADO O PROCESOS SIMILARES		APRIETE POR ROSCA U OTROS PROCESOS		NO SE REQUIERE MATERIAL ADICIONAL (e.g. soldadura por fricción, por resistencia)		SE REQUIERE MATERIAL ADICIONAL		PROCESOS QUÍMICOS (e.g. unión por pegamento)		MANIPULACIÓN DE PIEZAS O SUBENSAMBLES (e.g. orientación, ajustes, etc.)		OTROS PROCESOS (e.g. inserción de líquidos, etc.)	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	12	12	9	12		
PROCESOS DE ENSAMBLE DONDE TODAS LAS PIEZAS SÓLIDAS ESTÁN EN SU LUGAR		9	4	7	5	3.5	7	8	12	12	9	12			

♦ **Aplicación del método de Boothroyd – Dewhurst en un producto.**

Se presenta un ejemplo explicado de la aplicación del método de Boothroyd – Dewhurst al ensamble manual de una clavija blindada de 2 polos y tierra. El ensamble de este producto requiere operaciones de alineación, sujeción de piezas pequeñas y atornillados. Seguir los pasos para aplicar el método.

1. Identificar todos los componentes o piezas del producto, en la siguiente imagen se muestra un explosivo con todos los componentes de esta clavija.

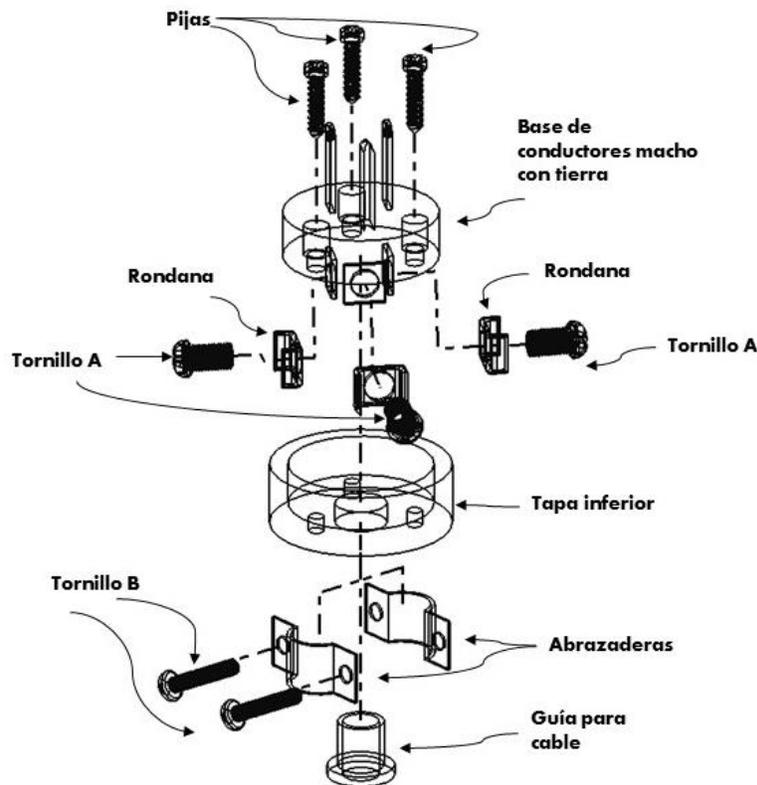


Figura 1. Ensamble de la clavija blindada de 2 polos y tierra.

2. Definir la ruta de ensamble que se va a seguir para el análisis, ya que el método supone que ya está definida. La forma correcta de encontrar la ruta de ensamble es visualizar directamente la que sigue el operario en el área de trabajo de ensamble del producto, si

no es posible, como es este caso, se recomienda desensamblar el producto y buscar mediante el ensayo de varias posibilidades la mejor ruta de ensamble.

A continuación, en la Tabla 1 se muestra la ruta de ensamble que se consideró como la más óptima, con base en esta ruta se realizó la aplicación del método, en los ejemplos siguientes usted como diseñador podrá escoger la ruta de ensamble. Se recomienda hacer agrupaciones simples de dos o más piezas para formar subensambles cada vez más grandes hasta llegar al ensamble final

No.	Piezas y/o operación	Fotografía descriptiva	Descripción	No de veces que se repite la operación
1	Tornillo A y rondana		Esta operación contempla sujetar el tornillo e insertar la rondana en él.	Estas dos operaciones se realizan 3 veces, una por cada tornillo con rondana.
2	Atornillado a la base de conectores macho con tierra		Esta operación contempla el atornillado del tornillo con rondana en la pieza base de los conectores macho con tierra	

3	Subensamble 2		Resultado de los pasos anteriores, se tiene este subensamble, el cual una vez armado, se coloca sobre el espacio de trabajo para proceder con la siguiente operación.	Solo una vez
4	Abrazaderas y base inferior		Se coloca la base inferior en una posición óptima, y se insertan las abrazaderas.	Se insertan 2 abrazaderas en la base
5	Guía para el cable		Se inserta la guía de hule para el cable en medio de las 2 abrazaderas	Solo una vez
6	Tornillo B		Se insertan los tornillos para fijar las abrazaderas y apretar la guía del cable	2 tornillos
7	Subensamble 3		Con estas operaciones se tiene el subensamble 3, se procede a unir el subensamble 2 con el 3, colocando uno encima de otro	Solo una vez

8	Pija		Se atornillan las pijas que sujetan ambos subensambles, y finaliza el ensamble del producto.	3 pijas
---	------	---	--	---------

Tabla 1. Explicación de la ruta de ensamble seleccionada para aplicar la metodología de Boothroyd-Dewhurst.

3. Crear una tabla como la que se muestra en la figura 3, para realizar el método de Boothroyd Dewhurst.
4. Comenzamos a llenar la tabla, con la ruta de ensamble se llenan las columnas 1 y 2. Identifique el orden en que se van ensamblando las piezas, como se muestra en la columna 2, y se recomienda, con el fin de no perderse en el orden de ensamble, utilizar subensambles para clasificar las partes, como se observa en la columna 1.
5. Las siguientes columnas 3 y 4 se llenan determinando las simetrías alfa y beta. Alpha se determina girando la pieza alrededor de un eje perpendicular al eje de inserción, para repetir su correcta orientación de inserción.

Beta se determina girando una pieza alrededor del eje de inserción, para repetir su correcta orientación.

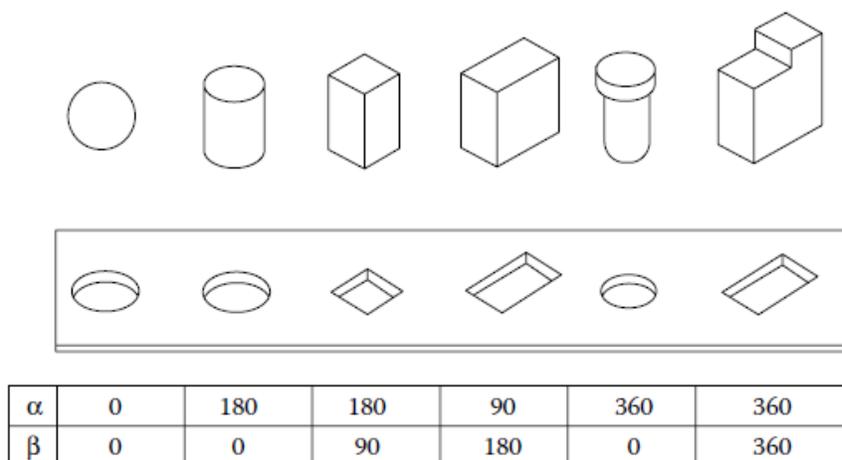


Figura 2. Ejemplos de valores para ángulos alfa y beta.

6. La columna 5 se llena enumerando las piezas, se hace para tener un mejor control.
7. La columna 6 se llena contando el número de veces que esa acción se repite en el ensamble, esta información ya fue arrojada por la ruta de ensamble.
8. El siguiente paso es determinar para cada pieza si puede ser manipulada con una sola mano, una mano y ayuda para sujeción o dos manos.
9. El siguiente paso es seleccionar en la tabla de manipulación manual el código correspondiente de dos dígitos, el primer dígito es correspondiente al ángulo de simetría y el siguiente dígito correspondiente al tamaño y forma de la pieza, se debe de seleccionar la operación de acuerdo con la geometría de esta, para posteriormente determinar el tiempo estimado de manipulación de acuerdo con la tabla. Recuerde que, para determinar el tamaño y el espesor de cada pieza, se considera la dimensión más grande y más pequeña respectivamente de la misma, considerando las 3 dimensiones cartesianas del prisma de menor tamaño que contenga la pieza, sin importar si es cilíndrica o no cilíndrica.
 - ✓ Ejemplo para el Tornillo A. Dig. manipulación 8,3: se notó que se requieren ambas manos para poder insertar el tornillo en la punta del desarmador.
 - ✓ Ejemplo para la Rondana. Dig. manipulación 2,1: Según los ángulos y las dimensiones de la pieza. Se consideró una fácil manipulación.
 - ✓ Ejemplo para el subensamble 1. Dig. manipulación -: No se considera manipulación ya que ambas piezas ya están sujetas, y el tiempo fue considerado en el Tornillo A y en la Rondana.
 - ✓ Ejemplo para el re orientación. Se tomó en cuenta una operación separada de reorientación una vez terminado el subensamble de la tapa inferior. Por el tiempo tan grande de penalización de esta operación, no se tomó en cuenta una operación de inserción entre el subensamble de la base superior de los conductores con la tapa inferior. Al ser una operación separada, no cuenta con dígitos para manipulación.
10. La columna 8 se llena localizando los tiempos en la tabla de manipulación que corresponden a los dígitos seleccionados.
 - ✓ Ejemplo para el Tornillo A: Para 8,3 corresponde 5.6 (s).

✓ Ejemplo para la Rondana: Para los dígitos 2,1 corresponde 2.1 (s)

11. Para estimar el tiempo y código de inserción, se debe de seleccionar de la tabla de inserción manual, las características del subensamble entre dos piezas o más, para determinar el primer dígito, se debe de especificar si en el ensamble la pieza está añadida pero no asegurada, si la pieza está asegurada inmediatamente, o cuenta como una operación separada (reorientaciones, adhesivos, soldaduras, atornillados etc.); el segundo dígito se determina observando las características del ensamble y seleccionando la opción más adecuada, para posteriormente determinar el tiempo estimado de inserción.

✓ Ejemplo para el Tornillo A: Dig. inserción 0,0: se considera el tiempo mínimo de inserción, ya que el tornillo en esta operación no se inserta en ninguna otra pieza o subensamble, solo se posiciona de una forma correcta para las operaciones subsecuentes.

✓ Ejemplo para Rondana: Dig. inserción 1,6: Se considera una ligera dificultad debido al acceso restringido, y el tiempo aumenta al considerar que se requiere sujetar la pieza junto con el tornillo y el desarmador, aunque sin dificultades para insertar.

✓ Ejemplo para el subensamble 1. Dig. inserción 4,8: Se considera una inserción asegurada inmediatamente debido a un atornillado inmediato, pero con restricciones de acceso.

✓ Ejemplo para el re orientación. Dig. inserción 9,8: Penalización de tiempo ya establecida para este tipo de operación separada.

12. La columna 10 se llena localizando los tiempos en la tabla de inserción manual que corresponden a los dígitos seleccionados.

✓ Ejemplo para el Tornillo A: Para los dígitos de inserción 0,0 corresponde 1.5 (s).

✓ Ejemplo para la Rondana: Para los dígitos de inserción 1,6 corresponde 8 (s).

✓ Ejemplo para el subensamble 1. Para los dígitos de inserción 4,8 corresponde 8.5 (s).

- ✓ Ejemplo para el re orientación. Para los dígitos de inserción 9,8 corresponde 9 (s).
13. La columna 11 se llena calculando el tiempo total de operación, se suman los tiempos de manipulación e inserción, multiplicados por el número de veces que se repite cada operación, de cada una de las piezas o subensambles.
- ✓ Ejemplo para el Tornillo A. $Top = 3(5.6 + 1.5) = 21.3$ (s).
 - ✓ Ejemplo para la Rondana. $Top = 3(2.1 + 8) = 30.3$ (s).
 - ✓ Ejemplo para el subensamble 1. $Top = 3(0 + 8.5) = 25.5$ (s).
 - ✓ Ejemplo para la re orientación. $Top = 1(0 + 9) = 9$ (s)
14. La columna 12 cuenta solo el número de piezas reales del ensamble, descartando subensambles, y operaciones separadas, se suman.
15. La columna 13 del número mínimo de piezas, se aplican a cada componente los tres criterios para la eliminación o combinación de piezas, si no cumple con ningún criterio se coloca un cero en esa columna y se suman.
- ✓ Ejemplo Tornillo A: Aplicando los 3 criterios para determinar si la pieza es candidata o no, a ser eliminada, se llegó la conclusión de que son indispensables para permitir el ensamble y desensamble de los cables cuando se requiera instalar
 - ✓ Ejemplo Rondana: Aplicando los 3 criterios para determinar si la pieza es candidata o no a ser eliminada, se determinó que las tuercas no son indispensables para el ensamble.
 - ✓ Ejemplo subensamble 1: No se aplican los criterios, al no tratarse de un componente independiente.
 - ✓ Ejemplo re orientación: No se aplican los criterios, ya que se trata de una operación separada, y no de un componente del ensamble.
16. La última columna es la descripción del subensamble u operación.

	Nombre pieza	alpha	betha	No. De pieza	No. De veces que la acción se repite	Dig Manipulación	T manipulación			T Op	Num de piezas	Num mínimo de piezas	Descripción
							Dig	Inserción	T inserción				
Subensamble 1	Tornillo A	360	0	1	3	8,3	5,6	0,0	1,5	21.3	3	Colocación para ensamble	
	Rondana	360	180	2	3	2,1	2,1	1,6	8	30.3	3	Insertar y mantener sujeto	
	Conductores macho con base	360	120	3	3	1,0	1,5	0,0	1,5	9	1	Colocación para ensamble	
Subensamble 2	Subensamble 1	360	0	-	3	-	0	4,8	8,5	25.5	-	Inserción y atornillado de tornillos	
	Tapa inferior	360	0	4	1	1,0	1,5	0,6	5,5	7	1	Colocación para ensamble	
	Abrazadera	360	360	5	2	3,0	1,95	0,0	1,5	6.9	2	Insertar	
Subensamble 3	Guía para cable	360	180	6	1	2,0	1,8	0,1	2,5	4.3	1	Insertar	
	Tornillo B	360	0	7	2	1,0	1,5	3,9	8	19	2	Inserción y atornillado de tornillos	
	Reorientación	-	-	-	1	-	0	9,8	9	9	-	Reorientación	
Totales	Pijas	360	0	8	3	1,0	1,5	3,8	6	22.5	3	Inserción y atornillado	
	Eficiencia de ensamble EF=										123.3	13	5
Tiempo de campo =										112			

Figura 3. Hoja de trabajo completa para el ensamble de la clavija

17. En los totales Se hace la suma de los tiempos de operación de cada pieza y cada operación, y se obtiene el tiempo total de ensamble. El ensamble cuenta con 13 piezas tal como es, y el número teórico mínimo de piezas al aplicar el criterio de minimización de piezas resulto ser de 5.

18. **Eficiencia de ensamble:** La eficiencia de ensamble es el índice del DFA que indica la necesidad o no de un rediseño, la cual se obtiene de la siguiente manera:

$$EF = \frac{3 \cdot (\text{Num minimo piezas})}{\text{Top total}} \times 100\%$$

Se multiplica el número mínimo teórico de piezas por un tiempo promedio para cada pieza que se toma como 3 segundos, y se divide entre el tiempo total de operación obtenido por las tablas de penalización del método de Boothroyd – Dewhurst. Si este índice resulta menor a 60%, se debe prestar atención a aquellas operaciones que consumen más tiempo, y a las piezas candidatas a eliminarse, para proponer un rediseño. Si el índice resulta mayor a 60%, se considera que se tiene un ensamble óptimo que aparentemente, no requiere atención para un rediseño.

Eficiencia de ensamble	EF=	12.17%		Tiempo de campo =	112
------------------------	-----	--------	--	-------------------	------------

Este producto requiere de rediseño ya que su eficiencia de ensamble es menor al 60%. El tiempo de campo es un tiempo tomado con cronometro al realizarse manualmente el ensamble, se toma para el análisis comparativo una vez que se realiza un rediseño.

IV. **Material y equipo.**

- 1 clavija Quick – Wire Plug. 125V~ 15^a.
- 1 clavija blindada 2 polos + tierra CLI-A, 127V ~ 15 A, 60 Hz.
- Desarmador plano.
- Desarmador cruz.
- Tablas de manipulación e inserción de Boothroyd-Dewhurst.

V. **Desarrollo.**

Actividad 1. Observe la tabla de la hoja de trabajo de la Figura 3, prestando especial atención a aquellos tiempos de operación resaltados con sombreado. Responda las siguientes preguntas:

- I. ¿La eficiencia de ensamble influye en el rediseño del producto?
- II. ¿A qué piezas y/u operaciones corresponden los tiempos subrayados?
- III. ¿Cómo son esos tiempos en comparación a aquellos que no se encuentran resaltados?
- IV. ¿Cómo podrían disminuir esos tiempos de ensamble? Examine opciones para reemplazar o combinar esas piezas u operaciones.

Actividad 2. Analice las piezas candidatas a ser combinadas o eliminadas (aquellas con índice cero en la columna de número mínimo de piezas). Debata a cerca de propuestas para combinar o eliminar esas piezas sin alterar la funcionalidad del producto.

Actividad 3. Aplique el análisis del método Boothroyd – Dewhurst a clavijas similares a las de las Figuras 3 y 4. Se recomienda utilizar una hoja de cálculo como la mostrada en la Figura 2. Recuerde que, para el diseño de su hoja de trabajo, primero debe localizar todas las piezas del ensamble, así como su ruta de ensamble.

3.1. Utilice sus propios criterios de diseño para el uso de las tablas de manipulación e inserción, basándose en el ejemplo mostrado. Lleve a cabo la obtención del tiempo de operación para cada pieza, así como el tiempo total, también obtenga el número teórico mínimo de piezas según los criterios del diseño para ensamble y, la eficiencia de ensamble.

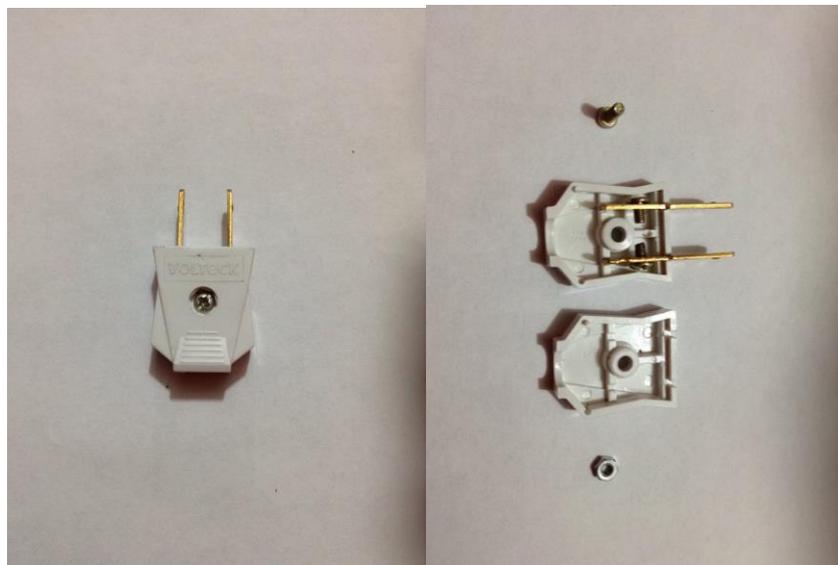


Figura 3. Fotografías de la clavija plana de ABS, sin tierra, 127V ~ 10 A CL-PL. Se puede observar que el ensamble cuenta con 8 piezas.

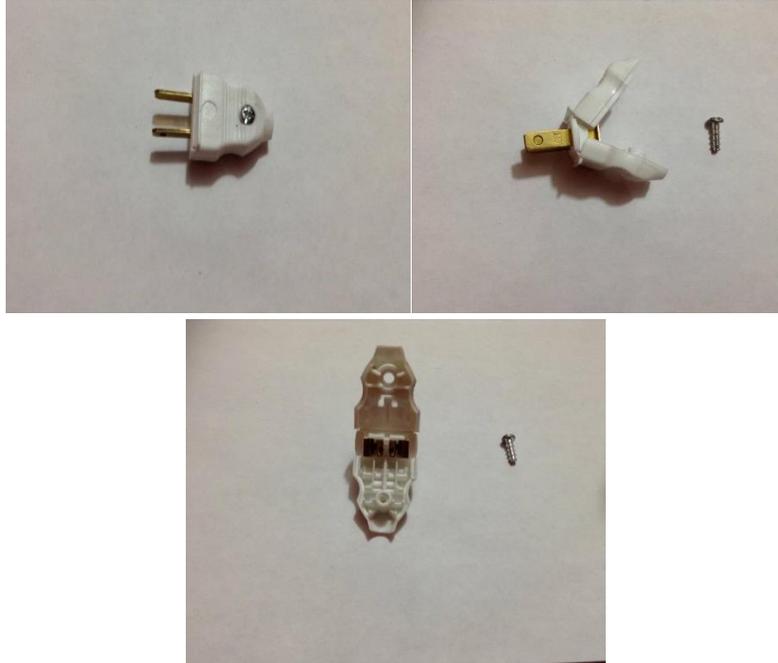


Figura 4. Fotografías de la clavija Quick – Wire Plug. 125V~ 15 A. Se puede observar que el ensamble cuenta con 4 piezas.

Actividad 4. Compare los resultados obtenidos en ambos diseños, note que las especificaciones y el diseño son similares en ambos productos. Examine las siguientes preguntas.

- I. ¿Cuál tiene mayor eficiencia de diseño? ¿Cuál requiere un rediseño según la interpretación de los resultados?
- II. ¿Qué piezas y operaciones demandan más tiempo en el primer diseño?
- III. Vea las piezas y operaciones susceptibles a eliminarse del primer análisis. ¿Fueron modificados o eliminados en el segundo diseño? ¿Existen otras operaciones y/o piezas no consideradas en su análisis, que fueron modificadas?
- IV. ¿Cuál de los dos diseños presenta una mayor facilidad de ensamble?
- V. ¿Cuál de los dos diseños cree que tenga un menor costo de fabricación? ¿Por qué?