



**DISEÑO PARA EL ENSAMBLE CON  
PROTOTIPADO RÁPIDO; REDISEÑO DE  
ACTUADOR ELECTROMECAÁNICO**

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN  
MANUFACTURA AVANZADA**

PRESENTA

**ING. OMAR SOLÍS NIETO  
ASESOR: M.C. FELIPE BARRIGA RAMÍREZ**

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, JULIO 2018.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por darme la vida, a mi esposa por amarme tanto y a mis hijas por la motivación a superar mis propias metas.



28 de Julio de 2017

Mtro. Geovany González Carlos  
Coordinador Académico

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno Ingeniero OMAR SOLIS NIETO, una vez revisada la Tesis o tesina titulada: ""DISEÑO PARA EL ENSAMBLE CON PROTOTIPADO RAPIDO"; REDISEÑO DE ACTUADOR ELECTROMECAÁNICO", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de MAESTRO EN CIENCIAS durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 28 días del mes de Julio del año 2017.

M. en C. FELIPE BARRIGA RAMIREZ  
Asesor Académico

M. en C. FELIPE BARRIGA RAMIREZ  
Asesor en Planta



Santiago de Querétaro, Qro.  
19 de junio del 2018

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero  
Directora  
Posgrado CIATEQ  
PRESENTE.

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del Ing. Omar Solís Nieto, del trabajo titulado:

**"DISEÑO PARA EL ENSAMBLE CON PROTOTIPADO RÁPIDO"; REDISEÑO  
DE ACTUADOR ELECTROMECAÁNICO"**

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el estudiante antes mencionado, el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de ésta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

ATENTAMENTE

M.C. Pedro Mauricio Salazar Beltrán

## RESUMEN

Esta investigación presenta los resultados obtenidos al estudiar la aplicación de la metodología de Diseño para Ensamble (DPE) integrando el Prototipado Rápido (PR) como parte de la validación del rediseño de un actuador electromecánico utilizado en la industria aeronáutica. Con el objetivo de reducir el tiempo de ciclo del diseño y validación, teniendo también una reducción del costo del producto.

Como parte de la investigación se describen las características principales de estos métodos y la relación que existe entre ellos. Para poder realizar el desarrollo del rediseño se creó un diagrama de flujo que sirve de guía para el diseñador.

El componente seleccionado es el de mayor volumen de venta del departamento. El rediseño fue modelado usando herramientas CAD y se creó un prototipo en impresión 3D con el que se validó el cambio y se implementó el rediseño del nuevo componente obteniendo también una reducción en el costo.

Como resultado de la investigación e implementación de ambas metodologías en conjunto, se observa lo siguiente:

- El DPE es de utilidad para reducir el número de piezas y optimizar el proceso de fabricación del producto. Como resultado, se fabrican o compran menos piezas y se obtiene un producto con menor costo.
- El DPE ayuda a identificar operaciones de manufactura que incrementan el tiempo de ensamble y elevan el costo del producto.
- La obtención de un prototipo con medidas reales permite visualizar problemas de Diseño detallado, así como otros problemas de ensamble e integración. Es posible visualizar detalles que no serían posibles usando planos y/o modelos CAD. Se obtienen resultados previos antes de liberar un diseño final.

Con lo anterior mencionado podemos recomendar el uso de dichas técnicas para ahorrar tiempo y dinero en el proceso de diseño general, resultando en un diseño óptimo para su función y con un precio optimizado.

Palabras clave: Diseño para Ensamble (DPE), Prototipado Rápido (PR), Ingeniería y Tecnología, Tecnología e ingeniería mecánica, Maquinaria industrial especializada.

## **ABSTRACT**

This investigation presents the results obtained from the study of the application of the Design For Assembly methodology integrating the Rapid Prototyping method as part of the validation of one aeronautic electro-mechanical lineal actuator redesign. The objective was to reduce the design and validation cycle time, as well as the cost reduction.

The main characteristics of Design For Assembly and Rapid Prototyping methodologies as well as the relation between them are described in this research. A flow chart was created to be used as guideline to the Designers to apply these methodologies in their work.

The selected component is the best sold part number in the department. The redesign was modeled using a CAD tool and a prototype was made using a 3D printer, the prototype was used to validate the change and the proposals were implemented obtaining cost reductions.

As results of this investigation, the following is observed:

- The Design For Assembly works to reduce the amount of pieces and optimize the fabrication process of the products. Less fabricated or purchased parts represents a cost reduction of the assembly.
- Design For Assembly identifies the manufacturing operations that increase the assembly time and raise the cost of the products.
- A prototype with the real final dimensions allows the engineers to visualize fit issues in the detailed design phase. Those problems are not able to be checked on the drawings and CAD models. And it is important to identify those before the final release of the drawings.

It is recommended to use the mentioned techniques in the general design process to generate time and cost savings. As a result, the affected parts will have an optimized design and price.

Keywords: Design For Assembly (DFA), Rapid Prototyping (RP), Engineering and technology, Technology and Mechanical Engineering, Specialized industrial machinery.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Página
Resumen.....	IV
Glosario.....	VIII
1 Introducción .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Definición del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.5 Hipótesis .....	4
2 Marco teórico.....	5
2.1 Procedimiento de desarrollo de nuevos productos.....	5
2.2 Diseño Para Ensamble (DPE) .....	6
2.3 Prototipado Rápido (PR).....	7
2.3.1 Método de selección de tipo de tecnología de manufactura .....	8
3 Procedimiento de investigación.....	12
3.1 Desarrollo detallado de la metodología "diseño para ensamble" .....	12
3.2 Uso de la metodología desarrollada – ejercicio de DPE.....	18
3.2.1 Selección del componente a Rediseñar.....	18
3.2.2 Desarrollo del taller DPE.....	19
3.2.3 Creación de concepto .....	22
3.2.4 Validación de diseño .....	23
3.2.4.1 Calificación de tecnologías de fabricación .....	23
3.2.4.2 Creación del prototipo .....	25
4 Resultados .....	28
5 Conclusiones.....	29
6 Aportaciones de la tesis.....	30
7 Recomendaciones .....	31
Referencias bibliográficas .....	32

Figuras	Página
Figura 1 Diagrama de actuador electromecánico .....	1
Figura 2 - Ciclo tradicional de desarrollo de productos .....	5
Figura 3- Ciclo de diseño considerando DPE y PR .....	5
Figura 4 - Secuencia de DPE y PR .....	7
Figura 5 – Diseño Para Ensamble - paso a paso.....	12
Figura 6 – Principios de Diseño Para Ensamble.....	13
Figura 7 – Proceso para Diseño Para Ensamble. ....	13
Figura 8 – Propuesta de tabla para taller de Diseño Para Ensamble .....	14
Figura 9 – Paso 1.1 Criterio de partes mínimas teórica.....	14
Figura 10 – Paso 1.2 Piezas a estandarizar y Paso 1.3 Costo relativo de piezas .....	15
Figura 11 – Clasificación de ideas y beneficio de componentes eliminados .....	15
Figura 12 – Paso 2 – Ensamble a prueba de Errores.....	16
Figura 13 – Paso 3 – Mejora de manejo y maniobra de componentes.....	16
Figura 14 – Paso 4 – Mejora de inserción de componentes .....	17
Figura 15 – Identificación y reducción de procesos secundarios .....	17
Figura 16 – Modelo 3D actuador electromecánico .....	18
Figura 17 – Componentes básicos de actuador electromecánico.....	19
Figura 18 – Esquema y ubicación de componentes rediseñados .....	21
Figura 19 – Modelo 3D de las propuestas de rediseño .....	23
Figura 20 – Validación y ensamble de prototipo de plástico .....	25
Figura 21 – Validación y ensamble de prototipo de plástico, guía cables .....	26
Figura 22 – Comparación de la sección transversal mejorada.....	27

Tablas	Página
Tabla 1 – Atributos de Acabados Superficiales .....	10
Tabla 2 – Escala de tiempo relativa .....	10
Tabla 3 – Escala de rangos de costos.....	10
Tabla 4 – Análisis del Actuador usando Diseño para Ensamble .....	20
Tabla 5 – Calificación de Alternativas y requerimientos a cumplir .....	24

## GLOSARIO

En la siguiente sección se encuentran los términos y definiciones utilizados dentro de este documento, así como las abreviaturas que se utilizaron en el desarrollo de la investigación.

**DPE:** Diseño Para Ensamble, es una metodología que se basa en estudiar el proceso de ensamble de un componente e identifica oportunidades de mejora en el diseño.

**PR:** Prototipado Rápido. Es una metodología de creación de prototipos físicos obtenidos directamente del modelo 3D.

**MA:** Manufactura Aditiva. Tecnología más utilizada para creación de prototipos rápidos.

**DMF:** Deposición de Material Fundido. Tecnología de MA que consiste en fundir un material, comúnmente plástico, sobre una superficie base con la geometría deseada, posteriormente se van creando capas sobrepuestas para obtener una figura en 3D.

**Actuador Electromecánico:** dispositivo de movimiento lineal que se obtiene a través de aplicación de corriente eléctrica a un motor rotativo, y mediante una caja de engranes y una cuerda tipo ACME. Dicho movimiento rotativo, se traduce a movimiento mecánico del tipo lineal. Comúnmente este tipo de actuadores tiene sensores para definir su posicionamiento.

**CAD:** Computer-Aided Design (CAD): Diseño Asistido por Computadora (DAC)

**CAM:** Computer-Aided Manufacturing (CAM): Fabricación Asistida por Computadora (FAC)

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

El diseño y fabricación de un actuador electromecánico surge para resolver la necesidad de la empresa en controlar la posición de una compuerta en la industria aeronáutica. El actuador electromecánico es un componente que transforma el movimiento rotativo de un motor eléctrico en movimiento lineal, a través de una caja de engranes y una cuerda del tipo ACME, como se puede observar en la Figura 1. Este es un sistema con retroalimentación que, mediante un sensor rotativo, mide la posición de la carrera en todo momento y se detiene en la posición requerida.

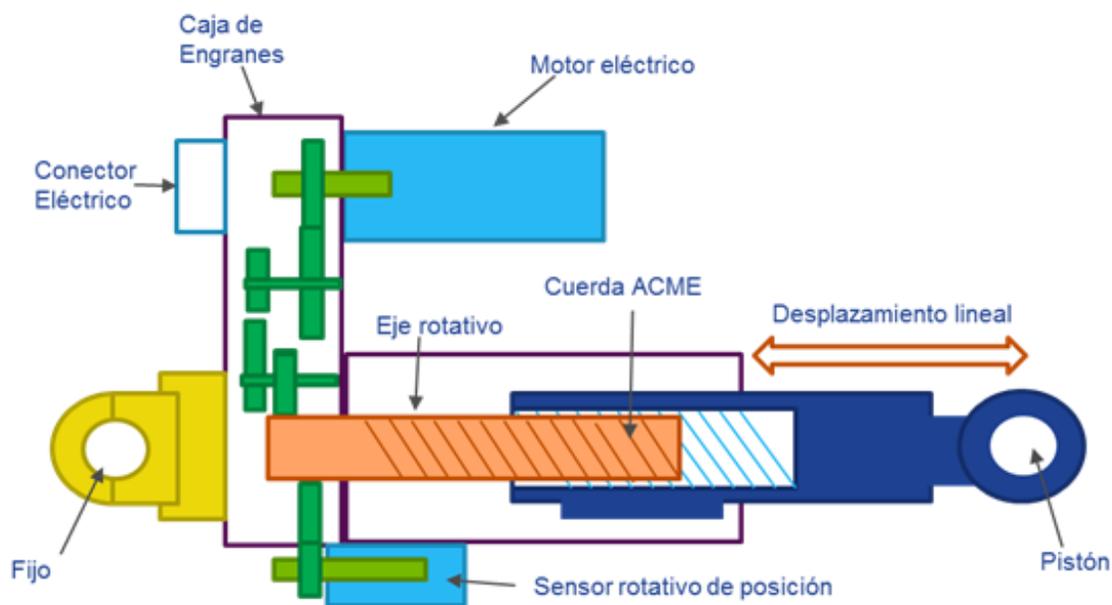


Figura 1 Diagrama de actuador electromecánico

Como parte de los procesos de mejora continua que la empresa sostiene, se debe de identificar áreas de oportunidad donde se puedan obtener ahorros en los procesos de Ingeniería y en los procesos de fabricación de los componentes existentes.

Para obtener un producto existe dos procesos necesarios, el de Diseño y el de Producción. En esta investigación se evalúa el uso de la metodología de Diseño Para el Ensamble (DPE) junto con las técnicas de Prototipado Rápido (PR) para reducir el tiempo

ciclo del diseño y obtener un diseño más efectivo del actuador electromecánico, reduciendo el costo del producto y obteniendo una mejor integración entre los componentes del mismo. El diseño para el ensamble toma como referencia la metodología de Boothroyd y Dewhurst de su publicación "Product design for manufacturing and assembly" [1].

La elaboración de prototipos juega un rol importante en la obtención de un producto de calidad, además, permite obtener resultados preliminares antes de las etapas de producción [2]. Con estos resultados es posible hacer ajustes a la geometría del prototipo y reducir los riesgos para su producción.

Con la manufactura aditiva nace el concepto de prototipado rápido, esta herramienta se une a las herramientas existentes de CAD/CAM para facilitar el desarrollo de nuevos productos [3] en la industria.

El objetivo final de implementar la metodología de DPE y PR es servir como base al sector industrial y aeronáutico, facilitando el diseño y simplificando el proceso de ensamble, logrando así, una mayor eficiencia y menores costos.

Esta metodología puede ser transportada a otros escenarios y a cualquier tipo de industria, teniendo en cuenta las particularidades de sus procesos y del producto seleccionado.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Como se mencionó antes, una de las necesidades del negocio es la mejora continua, teniendo como objetivo la reducción de costos en sus productos más representativos. Si a esto se le agrega la complejidad de pasar por un proceso largo de diseño y validación de los productos, la posibilidad de implementar cambios se reduce, limitando las oportunidades de mejoras en los productos ya existentes.

Uno de los principales problemas al realizar un diseño, es tomar una buena decisión con respecto a los procesos de manufactura y ensamble del producto a fabricar, debido a que en ocasiones no se toma en cuenta si el diseño es fácil o difícil de manufacturar y se

le resta importancia al proceso con el que se va a ensamblar. Los tipos de uniones también son un factor importante que debe ser incluido desde el diseño.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Debido a la problemática que presenta desarrollar un proyecto de rediseño de un componente actual y que tome en cuenta el proceso de manufactura y ensamble, es necesario aplicar una metodología que ayude al diseñador a optimizar el diseño mediante la integración de un equipo multidisciplinario. Con ayuda de ese equipo se pueden solucionar también diferentes problemas de manufactura y ensamble una vez empezada la producción, evitando mayores gastos y pérdidas de tiempo.

El Diseño Para el Ensamble (DPE) se refiere a un conjunto de técnicas empleadas para minimizar los costos de ensamble mediante la reducción del número de componentes y la simplificación del diseño en general.

Bajo la premisa de que la combinación de dos partes en una puede eliminar una operación completa del proceso, e inclusive pueden eliminar una estación de trabajo o rutina de ensamble automático, la simplificación del diseño, aunque difícil, se observa como una necesidad para cualquier empresa.

Proponer e implementar un diseño modular intercambiable, que tiene como resultado un proceso de ensamble e integración no sólo más rápido, sino que más susceptible a identificar y aislar las fallas tanto de diseño como de operación.

El uso de las técnicas de Prototipado Rápido, incluidas en el proceso de diseño propuesto, permite verificar cómo los requisitos de ensamble y las interfaces entre componentes son cumplidas. Esto reducirá el tiempo ciclo de diseño hasta obtener una solución detallada que tome en cuenta la prueba de ensamble. Ser capaz de proponer, y validar nuevos diseños en un tiempo ciclo reducido ayuda a la empresa a sobresalir ante sus competidores en los procesos de innovación.

Con la aplicación de la metodología de diseño para el ensamble en conjunto con las de Prototipado rápido se obtendrán diseños más eficientes y reducciones económicas considerables, ya que contribuirá a reducir el rediseño una vez empezada la producción.

#### **1.4 OBJETIVOS**

El objetivo general del proyecto es llevar a cabo el rediseño del Actuador Electromecánico haciendo uso de las herramientas de diseño que satisfagan la relación costo-beneficio. Como resultado de este planteamiento se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollo metodológico del Diseño para el Ensamble y Prototipado Rápido.
- Disminuir el costo del componente utilizando la metodología DPE.
- Apoyarse de un programa CAD y CAM para simular el comportamiento del rediseño dentro del ensamble.
- Creación física del prototipo utilizando Prototipado Rápido con técnicas de manufactura aditiva.
- Validación de la propuesta de rediseño mediante pruebas de ensamble.

#### **1.5 HIPÓTESIS**

- a) El uso de la metodología de Diseño para Ensamble durante el proceso de rediseño creará una solución más óptima con menor costo.
- b) El uso del Prototipado Rápido en conjunto con DPE servirá para visualizar posibles problemas de ensamble e integración y obtener resultados preliminares para validar el diseño o crear una nueva iteración de manera rápida y efectiva.
- c) El uso de la metodología creada de DPE y PR reducirá el tiempo de ciclo del rediseño de un producto.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 PROCEDIMIENTO DE DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS

El ciclo de desarrollo de nuevos productos asegura que el producto cumplirá con los requisitos de trabajo, operación y de seguridad para el usuario final.

La Figura 2 muestra el ciclo tradicional y general del desarrollo de productos utilizado por la mayoría de las industrias, mientras que la Figura 3 muestra la incorporación de los conceptos de DPE y PR.

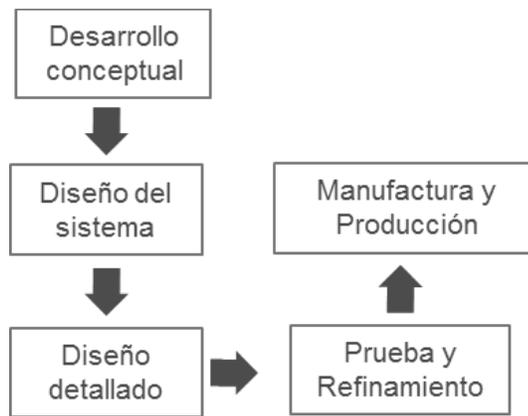


Figura 2 - Ciclo tradicional de desarrollo de productos

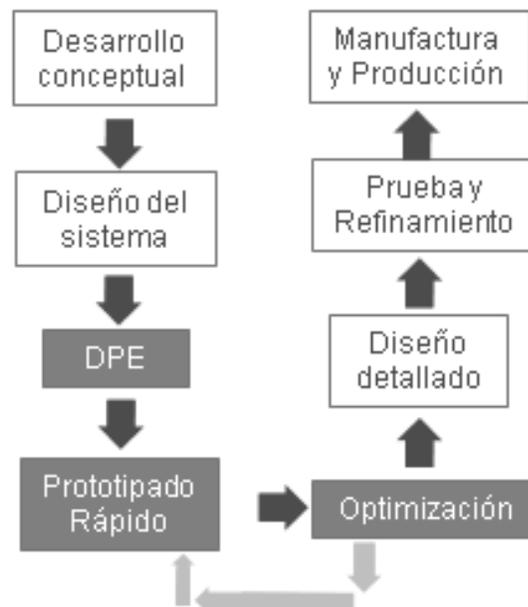


Figura 3- Ciclo de diseño considerando DPE y PR

La interacción entre Prototipado Rápido y la Optimización permite obtener un diseño óptimo realizando las iteraciones necesarias en una etapa temprana del diseño antes de invertir tiempo y esfuerzo en el detalle de la solución.

## **2.2 DISEÑO PARA ENSAMBLE (DPE)**

Diseño para el Ensamble (**DPE**) no introduce conceptos nuevos al diseñador, sólo refuerza la necesidad del diseñador a considerar el ensamble y también la manufacturabilidad de sus diseños. Boothroyd y Dewhurst (1988) [1] aconsejan a los diseñadores a utilizar los conceptos de DPE desde la etapa temprana del desarrollo de prototipos.

Es recomendable que el diseñador tenga conocimiento en la estimación de costos, materia prima y costo de los procesos, para ello se pueden apoyar del uso del CAM. Boothroyd y Radovanovic (1989) [4] aconsejan estimar el costo de los componentes maquinados durante la etapa de diseño conceptual, así encontrarán oportunidades de mejora desde el inicio del proyecto.

El Diseño para el Ensamble (DPE) se centra en la reducción de los costos de ensamble, minimizando el número de operación y tiempo de ensamble, así como modificar los componentes para su fácil instalación, mientras que El Diseño para Manufactura (DPM) se concentra en reducir el costo de producción de los componentes minimizando la complejidad de las operaciones de manufactura.

En la Figura 4 se muestra la secuencia del análisis propuesta y seguida durante el desarrollo de esta investigación. Nos centramos en minimizar el número de partes con DPE y después en la fabricación del prototipo para su validación.

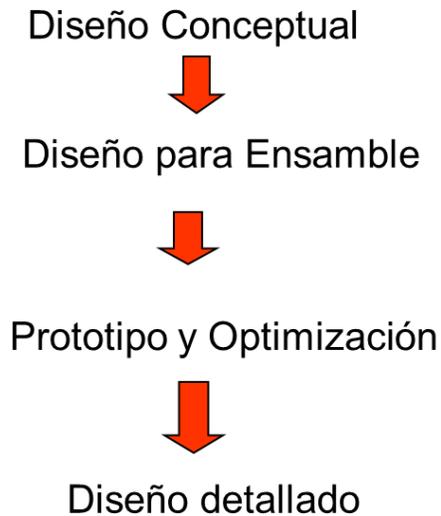


Figura 4 - Secuencia de DPE y PR

Tomando en cuenta las guías y recomendaciones de Boothroyd en la publicación de "Design for Manufacturing and Assembly" [1], se creó la guía mostrada en la sección de desarrollo del proyecto.

### **2.3 PROTOTIPADO RÁPIDO (PR)**

En el prototipado rápido los prototipos se convierten en piezas físicas directamente del modelo en 3D sin tener que pasar por la creación y revisión detallada del dibujo. El prototipo es un modelo original del diseño para evaluar la forma, la función y el ajuste o ensamble antes de iniciar la producción [5].

La fabricación de prototipos se realiza de manera rápida a través de tecnologías de endurecimiento, corte y fundición de material en capas. Existen diferentes tecnologías de Manufactura Aditiva (MA) como lo son: La Estereolitografía [6] (SLA), Deposición de Material Fundido [7] (FDM), Sinterizado Laser Selectivo (SLS) [8] y Sinterizado Laser Directo de Metales [9] (DMLS).

La manufactura aditiva es capaz de producir objetos tridimensionales muy complejos a través de tecnologías innovadoras de endurecimiento, corte y fundición de material en capas, disminuyendo significativamente el tiempo de fabricación de prototipos en la fase de desarrollo de nuevos productos, sin embargo dependiendo de la aplicación, del

volumen de manufactura y de la complejidad de ciertos elementos a maquinar es posible considerar la MA como método de fabricación de componentes de producción.

Debido al proceso aditivo en el cual se basa, es el volumen de la pieza, y no la complejidad de la misma lo que rige el costo del componente. El uso de la manufactura aditiva permite a los ingenieros diseñar piezas centrándose en la funcionalidad más que en la manufacturabilidad [3].

Para poder realizar una correcta evaluación del tipo de Tecnología de Manufactura Aditiva adecuada para la creación del prototipo se propone seguir la metodología sugerida por el tema de decisión y selección para hacer piezas Solidas de Forma Libre ("Solid Free Form" (SFF)) [10] de la Dr. Carolyn Conner Seepersad.

### **2.3.1 Método de selección de tipo de tecnología de manufactura**

**Paso 1:** Describir las Alternativas:

- SLA (Estereolitografía): La estereolitografía es una de las primeras tecnologías que fueron hechas, se basa en una fina de resina en estado líquido foto curable, que tiene un láser fijo de rayos UV, y un espejo que direcciona el haz de luz UV para curar la sección que interesa. [6]
- FDM (Deposición de Material Fundido): La base sólida es un filamento de material generalmente de plástico, que puede ser como ejemplo, ABS, y que es un material que al estar depositando el cabezal una capa delgada de material de acuerdo con la geometría requerida. El filamento se va calentado al ir pasando por el cabezal y se va depositando en la cama que se va moviendo en el eje vertical. Adicionalmente, se depositan capas de soporte debajo de las secciones que estarán en cantiléver, este material se tiene que retirar al final del proceso. [7]
- SLS (Sinterizado Láser Selectivo): Un rayo láser de CO<sub>2</sub> ataca una delgada capa de material en polvo. La interacción de contacto entre el rayo láser y el polvo eleva la temperatura hasta el punto de fusión del material, fusionando las partículas entre ellas y a la capa inmediata anterior para formar un sólido.

Posteriormente se agrega otra capa de polvo para poder ser sinterizado por el láser hasta lograr la geometría requerida al sobreponer todas las capas. [8]

- DMLS (Sinterizado Laser Directo de Metales): Las máquinas EOS se basan en el sinterizado directo de los polvos. Esto quiere decir que el rayo láser se aplica directamente sobre la cama de polvos a sinterizar. Los polvos se elevan a una temperatura alta hasta que se funden entre ellos. En esta tecnología el láser incide directamente sobre el material a sinterizar, es por eso que es posible sinterizar metales porque al usar un láser más potente directamente en el polvo la temperatura se eleva aún más. [9]
- Maquinado Convencional: El maquinado convencional se debe de mantener en el radar, puesto que es importante también comparar cuáles de los atributos son importante atacar y cuáles se pueden dejar a un lado. Específicamente para el caso de nuestros componentes se realizan las siguientes operaciones: CNC desbaste, CNC torneado, se requiere fabricación de piezas de sujeción, herramientas de corte, fabricar programación de CNC, planeación de la fabricación dentro de la línea de producción de componentes actuales.

### **Paso 2:** Describir los Atributos

Los atributos que se van a tomar en cuenta son los siguientes.

Precisión

Acabado superficial

Resistencia a la Tensión

Tiempo

### **Paso 3:** Especificar la escala de los Atributos

- Intervalo: se utilizará para Tiempo, Costo y acabado Superficial, ver de la Tabla 1 a la Tabla 3

- Acabado Superficial:

Rango	Rango ordinario	Descripción
5	Excelente	Ra menor a 2.5 $\mu\text{m}$ (Acabado por electroquímico)
4	Buena	Ra entre 2.5 $\mu\text{m}$ y 12.7 $\mu\text{m}$ (torno convencional, rectificado, SLA)
3	Tolerable	Ra entre 12.7 $\mu\text{m}$ y 25.4 $\mu\text{m}$ (SLA, DMLS)
2	Pobre	Ra entre 25.4 $\mu\text{m}$ y 50.8 $\mu\text{m}$ (fundición, SLS)
1	Terrible	Ra mayor a 50.8 $\mu\text{m}$ (DMF)

Tabla 1 – Atributos de Acabados Superficiales

- Tiempo

Rango	Rango ordinario	Descripción
5	Excelente	Fabricación menor a 1 semana
4	Buena	Entre 1 y 2 semanas
3	Tolerable	Entre 2 y 5 semanas
2	Pobre	Entre 5 y 8 semanas
1	Terrible	Mayor a 8 semanas

Tabla 2 – Escala de tiempo relativa

Meta: Mientras menos tiempo mejor, por lo tanto, 5 es el objetivo.

- Costo del prototipo

Rango	Rango ordinario	Descripción
5	Excelente	Menor a \$5,000 USD
4	Buena	Entre \$5,000 y \$8,000 USD
3	Tolerable	Entre \$8,000 y \$15,000 USD
2	Pobre	Entre \$15,000 y \$25,000 USD
1	Terrible	Mayor \$25,000 USD

Tabla 3 – Escala de rangos de costos

Meta: Mientras menos costo mejor, por lo tanto, la meta es 5.

- Valores: se utilizará para Precisión y para la resistencia a la Tensión.

- Precisión:

- La precisión está medida en milímetros
- Mientras más bajo es mejor
- Precisiones típicas de MA: .0508mm para SLA, .2032mm para SLS, .0508mm DMLS [9], .0254mm para Fresado/Torno de control numérico.

Para poder explicar cuál es la resolución requerida, es necesario entender cuál es la característica que se ve afectada dentro del funcionamiento de nuestro actuador lineal electromecánico, dependiendo del componente a rediseñar.

**Paso 4:** Una vez teniendo todas las características y valores se colocarán en una tabla con los valores de las tecnologías disponibles y se toma en cuenta las características de la aplicación requerida. Con esta información se puede seleccionar la tecnología a utilizar. Esta tabla de decisión fue desarrollada en el desarrollo del proyecto y se encuentra en la sección 3.2.4.1.

### 3 PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación se utilizaron las técnicas de Diseño para el Ensamble y de Prototipado Rápido para rediseñar un componente y obtener una solución óptima con bajo costo y calidad requerida.

#### 3.1 DESARROLLO DETALLADO DE LA METODOLOGÍA “DISEÑO PARA ENSAMBLE”

Como parte de esta investigación, se desarrolló el diagrama mostrado en la Figura 5 para servir como guía paso a paso del uso del Diseño para Ensamble en el rediseño de productos.

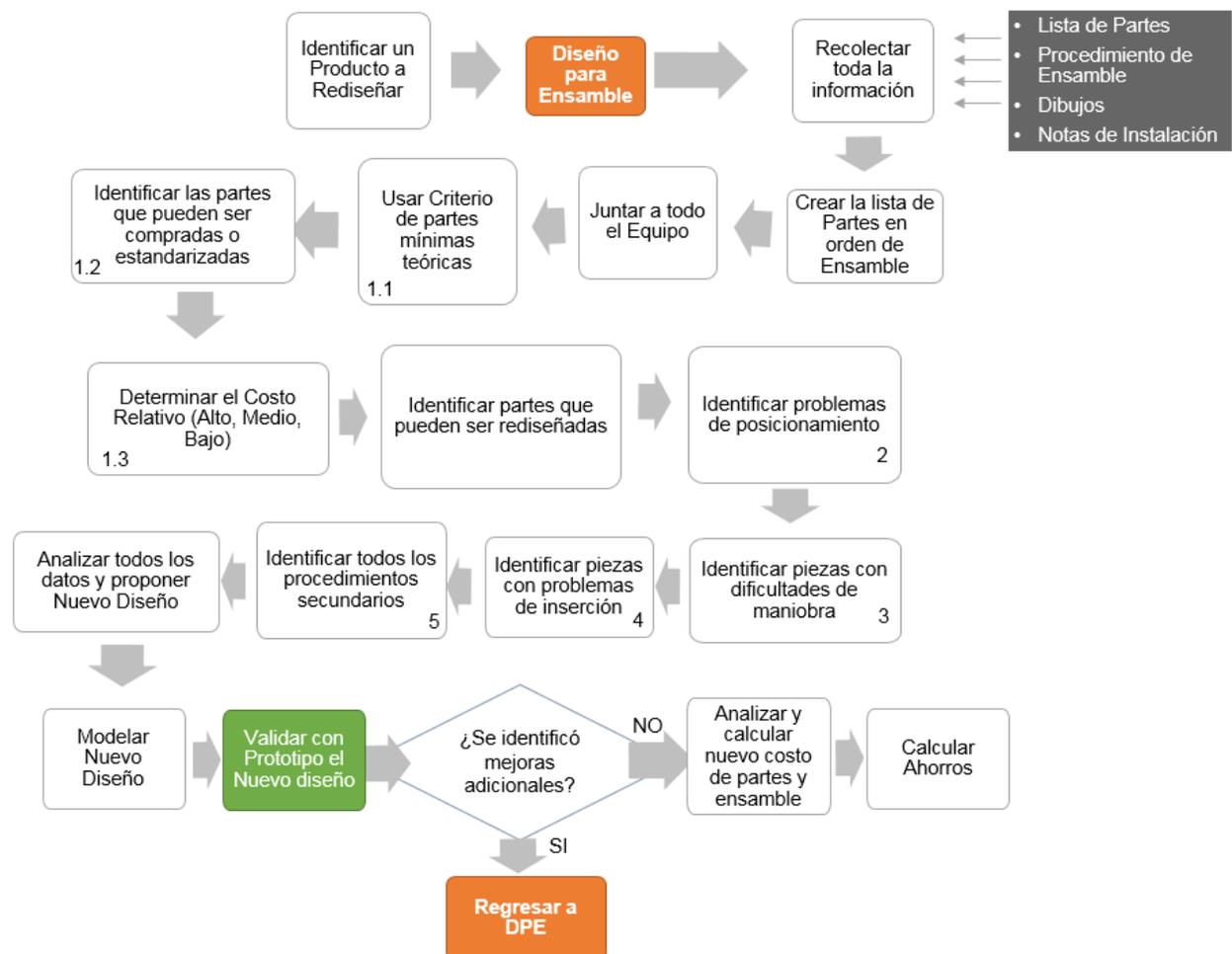


Figura 5 – Diseño Para Ensamble - Paso a Paso

Los pasos numerados como 1.1, 1.2, 1.3, 2, 3, 4 y 5 fueron detallados y se pueden encontrar en las siguientes figuras, de la Figura 6 a la Figura 15.

Estas figuras muestran los detalles que servirán de guía a los ingenieros para poder realizar el taller de rediseño basándose en la metodología DPE y PR.

DPE

## Principios de Diseño para Ensamble

- Minimizar **el número (Cantidad)** de las partes
- Diseñar partes con aditamentos de **auto-localización**
- Diseñar partes con aditamentos de **auto-sujeción**
- **Minimizar la reorientación** de las partes durante el ensamble
- Diseñar partes para **retirarse, fácil manejo e inserción**
- Enfatizar ensamble de **“Arriba a Abajo”**
- **Estandarizar partes**...uso mínimo de tornillos.
- Procurar diseño **Modular**
- Diseñar para usar una **pieza base** donde se localicen los otros componentes
- Diseñar para inserción **simétrica** de componentes



Figura 6 – Principios de Diseño para Ensamble

DPE

## DPE Proceso

- Paso 1**
  - Información del Producto: **Requerimientos funcionales**
  - Lista de partes en orden de ensamble.
  - 1.1-Análisis funcional –**Mínimo número de partes teórico**
  - 1.2-Identificar partes que pueden ser **estandarizadas**
  - 1.3-Determinar el costo relativo de las partes
- Paso 2** ➤ Identificar problemas de posicionamiento
- Paso 3** ➤ Identificar piezas con dificultades de maniobra (orientación)
- Paso 4** ➤ Identificar piezas con problemas de inserción
- Paso 5** ➤ Identificar oportunidades de reducir operaciones secundarias
- Paso 6** ➤ Analizar todos los datos proponer Nuevo Diseño.
  - Modelar Nuevo diseño
  - Validar con prototipo
  - Realizar una nueva estimación de costos

Figura 7 – Proceso para Diseño para Ensamble.

Nombre del componente				DPE									
Numero de Parte				DISEÑO PARA ENSAMBLE			Paso 1		Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	
Nombre del equipo de trabajo				Pasos			1.1	1.2	1.3	2	3	4	5
Cantidad	# Parte	Descripción	Costo	Instrucciones de Ensamble y comentarios de ensamble según guía de Instalación			ANÁLISIS FUNCIONAL			POSICION	ENSAMBLE	DESPERDICIO	
							cumple Criterio de Partes Mínimas teórico?	Puede ser comprada o es estandarizada?	Costo Relativo (Alto, Medio, Bajo)	IDENTIFICAR PROBLEMAS DE POSICIONAMIENTO EQUIVOCADO	DIFICULTAD DE MANEJO / MANIOBRA	DIFICULTAD DE INSERCIÓN	PROCEDIMIENTO POSTERIORES
1		ACTUADOR ENSAMBLE											
1		CONECTOR (AE24-106), MOTOR		Cortar cables y pelar cables Insertar Cables dentro de conector	SI	STD	B	NO	NO	SI	SI		

Pre-Trabajo: Información obtenida de la lista de partes y de las notas de instalación. Dibujos de las partes son necesarias para el taller de DPE.

DPE Taller de Actividades. Detalles en las siguientes diapositivas

Opcional: El costo actual es opcional al principio pero se requiere para calcular el impacto del rediseño.

Figura 8 – Propuesta de tabla para taller de Diseño Para Ensamble

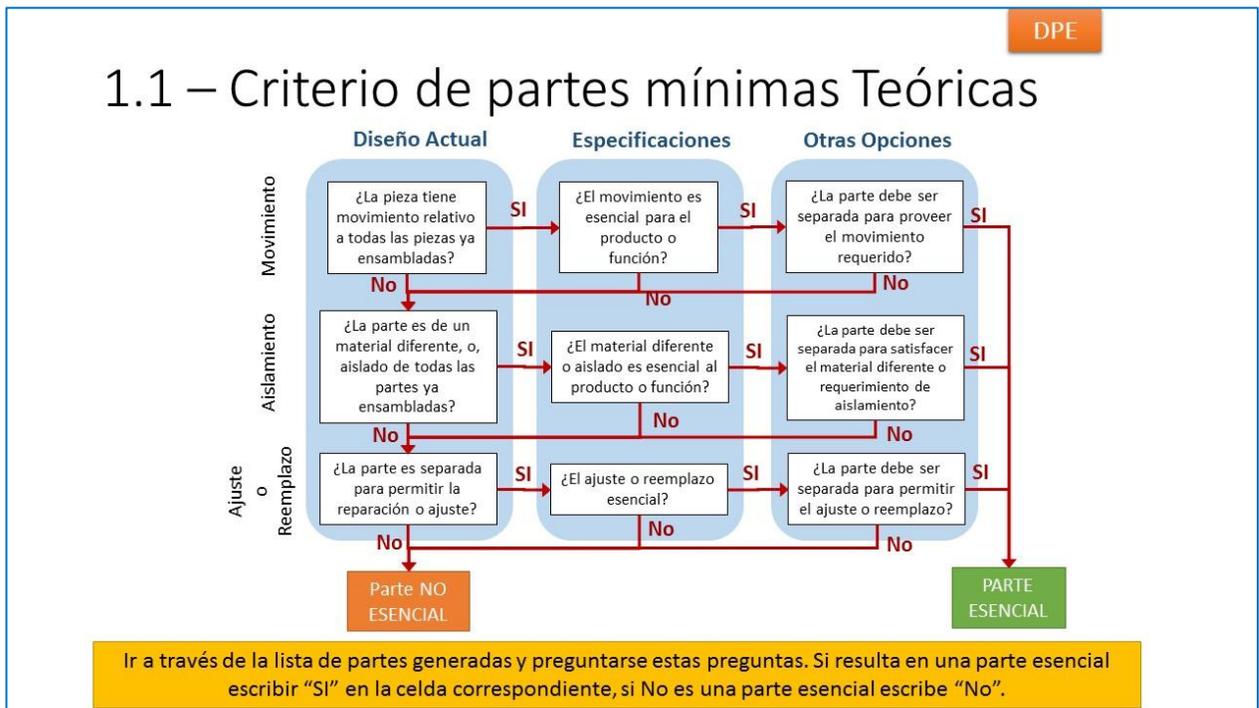


Figura 9 – Paso 1.1 Criterio de partes mínimas teórica

### 1.2 – Identificar las partes que pueden ser estandarizadas

• Responder a siguientes preguntas:

- a) ¿Puede la parte actual ser estandarizada...
  - i. ¿Dentro de la estación de ensamble?
  - ii. ¿Dentro de la planta de ensamble?
  - iii. ¿Dentro de la corporación?
  - iv. ¿Dentro de la industria?
- b) ¿La parte debería ser estandarizada?

Poner "Sí" solo cuando ambas preguntas se responden con un sí.

### 1.3 – Determinar el nivel relativo del costo de las piezas

• **Alto/Medio/Bajo** costo relativo a otras piezas del ensamble.

Usar la columna de costo o hacer una estimación subjetiva

Figura 10 – Paso 1.2 Piezas a estandarizar y Paso 1.3 Costo relativo de piezas

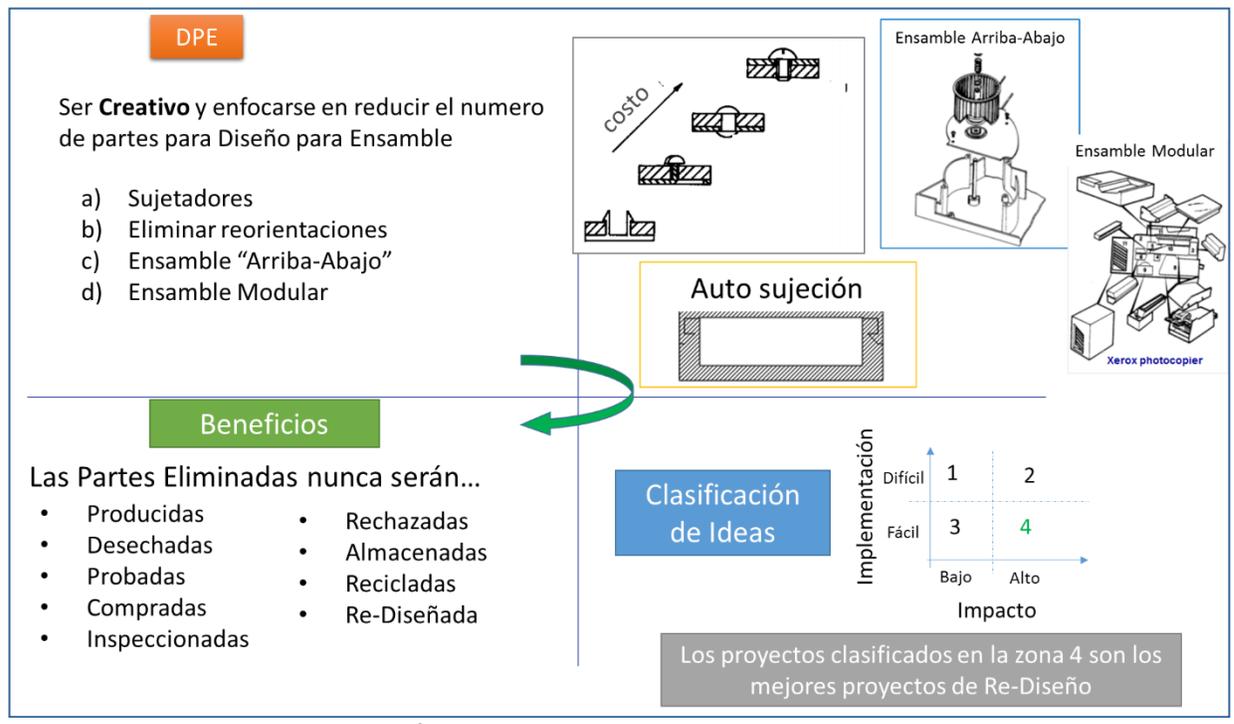
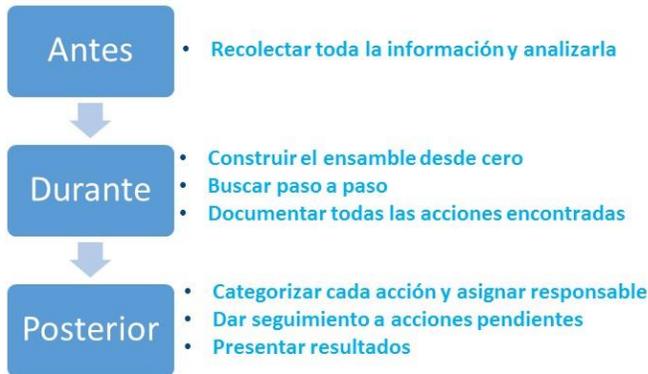


Figura 11 – Clasificación de ideas y beneficio de componentes eliminados

## 2. Eliminar problemas de Posicionamiento

- Usar el método de **Ensamble a Prueba de Errores**

### Proceso del taller de Ensamble a pruebas de errores



### Enfocarse en



- Que no se pueda instalar una pieza equivocada
- Que no se pueda omitir una parte
- Que no se pueda ensamblar la parte de modo incorrecto

Este taller forma parte del método DPE o puede ser utilizado como una técnica individual

Figura 12 – Paso 2 – Ensamble a prueba de Errores

## 3. Mejorar oportunidades de manejo o maniobra



### Enfocarse en el tiempo de manejo o maniobra manual

- ¿Cuántas manos son requeridas?
- ¿Se necesita alguna asistencia o herramienta de sujeción?

#### Ejemplo de partes que causan dificultades de...

Tamaño: Un balón pequeño

Espesor: Un componente muy espeso

Peso: Un bloque grande de metal que requiera cargarse con ambas manos o con un mecanismo de grúa

Fragilidad: Un palillo de madera que se rompe fácilmente requiere mayor tiempo de ensamble

Flexibilidad: Una banda de goma, también conocido como o-ring

Resbaladizo: Una pieza aceitada o que esté cubierta de algún lubricante.

Tamaño



Resbaladizo

Afilados



Flexible

Identificar y Evitar dificultades de manejo o maniobra

Figura 13 – Paso 3 – Mejora de manejo y maniobra de componentes

## 4.- Mejorar oportunidades de Inserción

- **Identificar** componentes que necesitan mejora en el método de inserción.



### Realizar las siguientes preguntas:

- ¿La parte se asegura inmediatamente al insertarla?
- ¿Es necesario mantener la pieza sujeta para mantener su posición?
- ¿Qué tipo de sujeción es usado? (mecánico, térmico, otro?)
- ¿La parte es fácil de alinear o posicionar?

### Identificar y evitar dificultades de Inserción

#### Usar los siguientes principios:

- ✓ Diseñar partes auto-alineables o auto-localizables
- ✓ Asegurarse que las partes no tienen que ser sujetadas manualmente para su ensamble
- ✓ Que las partes sean fáciles de insertar
- ✓ Diseñar con suficiente espacio de acceso y/o visibilidad

#### Auto-localizables

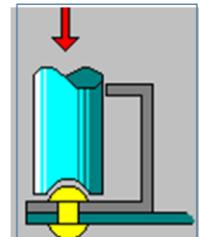
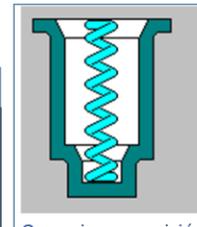


Figura 14 – Paso 4 – Mejora de Inserción de componentes

## 5.- Reducción de Procesos Secundarios

Identificar oportunidades **de reducir** operaciones secundarias

### Ejemplo de operaciones secundarias a evitar

- Re-orientación (ensamble en eje Z recomendado)
- Atornillar, taladrar, remachar, etc.
- Soldadura, Pegado y Curado
- Pintado, Lubricado, aplicar fluidos o gases
- Pruebas, mediciones o ajustes



Identificar operaciones secundarias que pudieran ser eliminadas por otra operación o eliminadas por un rediseño

Figura 15 – Identificación y reducción de procesos secundarios

## 3.2 USO DE LA METODOLOGÍA DESARROLLADA – EJERCICIO DE DPE

### 3.2.1 Selección del componente a Rediseñar

Como se indica en la Figura 5, en el pre-trabajo se identifica el componente o ensamble a ser rediseñado. El componente seleccionado para rediseñar es un actuador lineal del tipo electromecánico utilizado en la industria para diferentes aplicaciones. Este es un sistema con retroalimentación que mide la posición de la carrera y se detiene en la posición requerida. Este componente fue seleccionado por los siguientes motivos:

- Este producto representa alrededor de 75% del total de ventas de la compañía, es el más vendido en el departamento.
- Existe 3 variantes de este componente, entre las cuales varían el motor (torque/fuerza) y longitud de desplazamiento.
- Las 3 variantes tienen componentes en común, por lo que el cambio en un diseño puede ser fácilmente implementado en las otras 2 variantes.

En la Figura 16 vemos el modelo del actuador seleccionado y en la Figura 17 el esquemático de sus componentes. La figura 17 es igual a la Figura 1 y se repite como referencia.

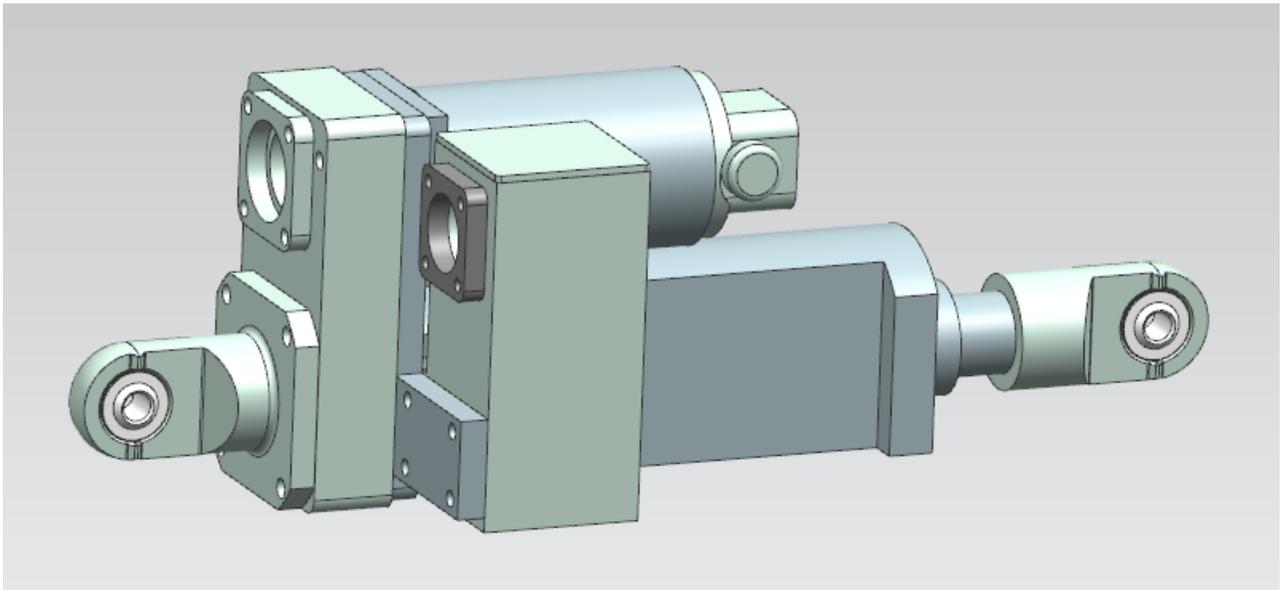


Figura 16 – Modelo 3D actuador electromecánico

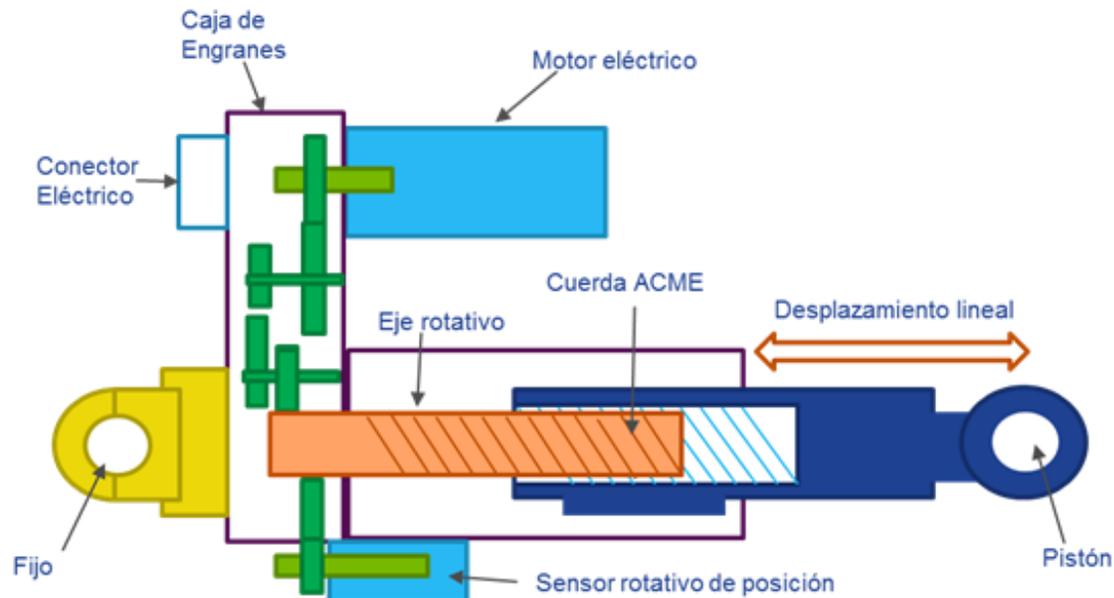


Figura 17 – Componentes básicos de actuador electromecánico

Siguiendo el orden y los criterios señalados en el diagrama de la Figura 5, después de haber seleccionado el componente a rediseñar, se procede a recabar toda la información sugerida para el desarrollo del taller de rediseño, la información consta de:

- Lista de Partes del ensamble a Rediseñar
- Procedimientos de Ensamble actual
- Dibujos de partes con información de material y detalles de tolerancias
- Notas de instalación y dibujos.

### 3.2.2 Desarrollo del taller DPE

Posterior a recolectar toda la información sugerida, se juntó al equipo de trabajo y se realizó el análisis del diseño actual. La Tabla 4, mostrada a continuación, es el resultado del análisis hecho en el ensamble siguiendo los pasos del 1 al 5, considerando los detalles mostrados en la sección **3.1**. Tomando en cuenta lo siguiente:

- El procedimiento de ensamble
- Notas de instalación
- La experiencia de los ingenieros y operadores.

Nota: Detalles de la lista de partes eliminadas por políticas de compañía, se muestran componentes claves para ejemplificar.

Cantidad	Descripción	Instrucciones de Ensamble y comentarios de ensamble según guía de Instalación	DISEÑO PARA ENSAMBLE			Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	CONCLUSIONES / COMENTARIOS		
			Pasos			1.1	1.2	1.3	2	3		4	5
			ANÁLISIS FUNCIONAL			cumple Criterio de Partes Mínimas teórico?	Puede ser comprada o es estandarizada?	Costo Relativo (Alto, Medio, Bajo)	POSICION	ENSAMBLE ESBELTO		DESPERDICIO	
IDENTIFICAR PROBLEMAS DE POSICIONAMIENTO EQUIVOCADO		DIFICULTAD DE MANEJO / MANIOBRA	DIFICULTAD DE INSERCIÓN	PROCEDIMIENTO POSTERIORES									
1	ACTUADOR ENSAMBLE												
1	CONECTOR (AE24-106), MOTOR	Cortar cables y pelar cables Insertar Cables dentro de conector	SI	STD	B	NO	NO	SI	SI		Soldar cables no permite reemplazar conector, oportunidad de mejora		
1	CONECTOR (AE24-107), RVDT	Cortar cables y remover aislante para soldar Insertar Cables dentro de conector	SI	STD	B	NO	NO	SI	SI		Soldar cables no permite reemplazar conector, oportunidad de mejora		
1	CAJA DE ENGRANES	Aplicar Sellador	SI	NO	A	NO	NO	NO	NO				
2	TORNILLO	Torque 6.3 - 6.8 IN. LBS	NO	STD	B	NO	NO	NO	NO				
1	ESPACIADOR, CONECTOR ELECTRICO	Alinear	NO	SI	B	NO	NO	NO	NO		Oportunidad de Eliminar este componente		
1	HARNES, CABLES	Ensamblar a conector y motor	NO	SI	B	SI	NO	NO	NO				
1	MANGA PROTECTORA ELECTRICA	Poner cables dentro de la manga Aplicar pegamento a la Manga Usar pinzas de clip para fijar ambas mangas Esperar 24 horas de secado	NO	STD	B	NO	SI	SI	SI		Tiempo de espera alto Rediseño requerido para eliminar tiempo de espera		
1	COPE	Limpiar ejes insertar cople ambos lados	NO	SI	M	NO	NO	NO	NO				
1	SENSOR DE POSICION ROTATIVO RVDT	Conectar cables Ensamblar a cuerpo de piston con engrane	SI	STD	A	NO	NO	NO	NO				
1	CUERPO DE SENSOR DE POSICION	Montar a caja de engranes conectar cables	SI	NO	M	NO	NO	NO	NO				
1	ESPACIADOR, CONECTOR RVDT	Montar entre cuerpo de RVDT	NO	SI	B	NO	NO	NO	NO		Oportunidad de Eliminar este componente		
1	MOTOR ELECTRICO	Montar a caja de engranes conectar cables	SI	SI	A	NO	NO	NO	NO				
4	ENGRANES	Alinear eje de engranes en cada rodamiento	SI	NO	A	NO	SI	SI	NO				
1	EJE CON CUERDA TIPO GUSANO	Insertar a cuerpo del pistón	SI	NO	M	NO	SI	NO	NO				
1	CUERPO DEL PISTON	Montar a Caja de Engranes	SI	NO	A	NO	NO	NO	NO				
8	RODAMIENTOS DE ENGRANES	Montar a Caja de Engranes	SI	STD	M	NO	SI	SI	NO				
1	ACOPLAMIENTO FIJO	Montar a Caja de Engranes	SI	STD	B	NO	NO	NO	NO				
1	PISTON	Insertar a cuerpo de Piston Asegurarse que acopla con eje tipo gusano	SI	NO	A	NO	NO	NO	NO				
10	RONDANA		NO	STD	B	NO	NO	NO	NO				
10	TORNILLO, MACH (JYRF-234-15)	Torque 6.3 - 6.8 IN. LBS	NO	STD	B	NO	NO	NO	NO				
1	TARJETA ELECTRONICA	Montar tarjeta controladora	SI	Y	M	NO	NO	NO	NO				

Tabla 4 – Análisis del Actuador usando Diseño para Ensamble

A continuación, se muestran detalles de los componentes seleccionados a eliminar o rediseñar.

- **Espaciador del conector Eléctrico caja de engranes.**

Función: Los espaciadores utilizados entre el conector eléctrico y la caja de engranes son utilizados para poder permitir el ruteado correcto de los cables internos, también proveen la distancia correcta para evitar el contacto directo del conector o cable con las partes en movimiento, en este caso los engranes.

Material: Aluminio de la serie 3000, es mecanizado para darle forma

Tipo de Ensamble: Utiliza 4 tornillos en conjunto con el Conector Eléctrico

Esquema:

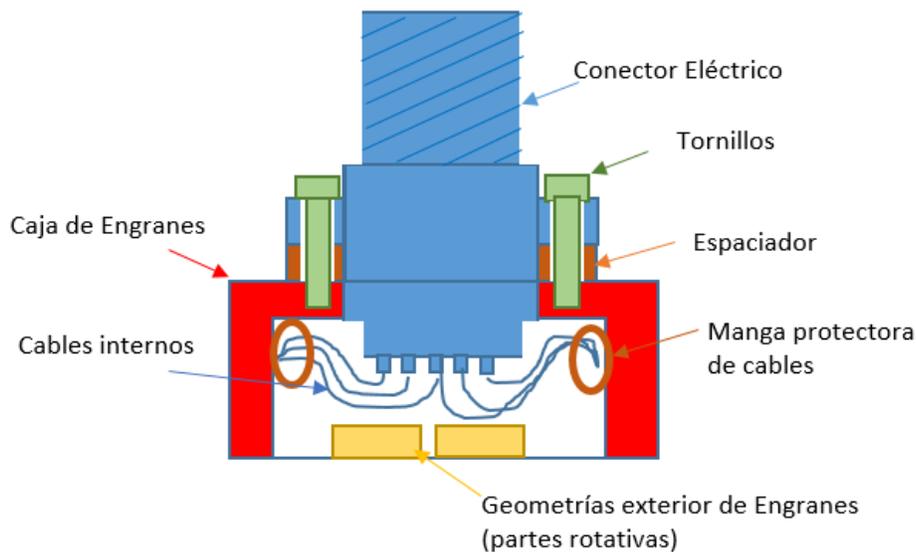


Figura 18 – Esquema y ubicación de componentes rediseñados

Mejora: Como se puede observar en la Figura 18, el espaciador sólo cumple la función de proveer un espacio y posición vertical al conector. Por lo que se propone fusionar el espaciador con la caja de engranes.

- **Manga Protectora eléctrica**

Función: Como se observa en la figura 18, la manga protectora de cables eléctricos sirve para mantener alejados los cables de las partes rotativas internas, en este caso de los engranes de reducción de velocidad. Esta manga debe de estar fija.

Material: Plástico

Tipo de ensamble: Para fijar este componente junto con los cables se utiliza un material epóxico para mantenerlo pegado a la esquina de la caja de engranes. Este epóxico tiene un tiempo de curado de 9 horas, por lo que impide realizar el ensamble completo del actuador en la misma jornada de trabajo e incrementa el tiempo de ciclo del ensamble.

Mejora: La eliminación de la operación de pegado y espera de secado, así como el curado del pegamento, todo lo anterior es mandatorio, por lo que se propone rediseñar la caja de engranes para que pueda sostener de manera automática los cables en posición.

- **Caja de Engranes – Cuerpo**

Función: El cuerpo de la caja de engranes, en la sección del conector eléctrico, provee la estructura necesaria para poder montar el conector eléctrico, y para alojar los cables internos. Provee también un ruteado preliminar de los cables, y por último se utiliza para instalar los rodamientos y engranes necesarios para reducir la velocidad rotativa del motor eléctrico.

Material: Aluminio serie 3000

Tipo de Ensamble: Este componente se utiliza como base para el pre-ensamblado de los conectores y rodamientos de engranes. Posteriormente se atornilla a la placa de ensamble junto con el motor y el cuerpo del pistón.

Mejora: Como se observa anteriormente, los componentes a eliminar se fusionan a la caja de engranes, por lo tanto, el rediseño de este producto debe de cubrir las funciones de los componentes eliminados.

### **3.2.3 Creación de concepto**

Como se menciona en el capítulo anterior, los componentes identificados a eliminar son los espaciadores y la manga protectora de cables eléctricos. Después del análisis realizado con el equipo de trabajo se observa que dichos componentes se ensamblan a la caja de engranes, por lo que se propone fusionar esos componentes a ella, y así eliminar dichas piezas cumpliendo el siguiente requisito de diseño:

- Tanto la geometría externa del componente, los puntos de interface y puntos de conexión no deben de cambiar en dimensión o posición.

La Figura 19A y 19C muestra cómo se integraron a su componente colindante en el modelo 3D. La figura 19B muestra el rediseño interno de la caja de engranes para eliminar el procedimiento de pegado de la manga protectora de los cables.

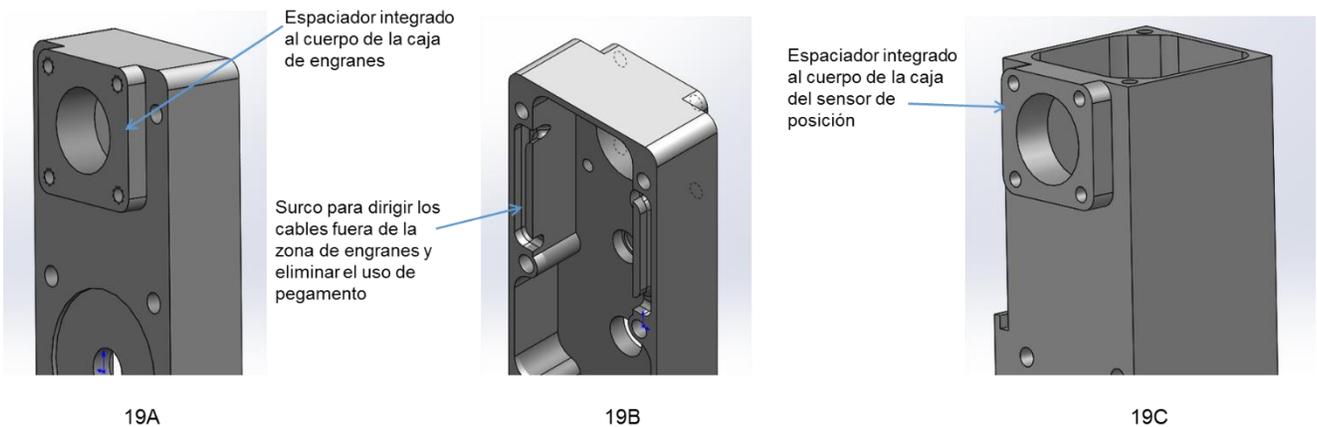


Figura 19 – Modelo 3D de las propuestas de rediseño

### 3.2.4 Validación de diseño

Para validar el rediseño de esta investigación, la técnica de prototipo rápido fue utilizada y para seleccionar la tecnología de fabricación a utilizar, se procedió de acuerdo con la metodología mostrada en la sección 2.3 de la siguiente manera.

#### 3.2.4.1 Calificación de tecnologías de fabricación

Se califica cada alternativa con respecto a cada atributo como se muestra en la Tabla 5. Usando la siguiente información es posible comparar las características del prototipo requerido y se tomará la decisión en base al componente específico a realizar el prototipo.

		Atributos				
	Alternativas	Precisión	Acabado Superficial	Resistencia Estructural	Costo	Tiempo
Tecnologías	SLA	0.05	5	77.9	3	4
	<b>DMF</b>	<b>0.80</b>	<b>3</b>	<b>67.5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
	SLS	0.203	3	40	5	4
	DMLS	0.0508	4	855	3	3
	Maquinado [13]	0.0127	5	896	1	1
Valores deseados por la aplicación	Escala	Valor	Intervalo	Valor	Intervalo	Intervalo
	Límite superior	1.27	5	NA	5	5
	Límite inferior	0.0127	1	NA	1	1
	Unidad	mm	NA	MPa	NA	NA
	<b>Meta</b>	<b>1.0</b>	<b>1</b>	<b>NA</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

Tabla 5 – Calificación de Alternativas y requerimientos a cumplir

En la segunda sección de la tabla se utilizaron los valores deseados por la aplicación requerida para generar un prototipo para la validación de ensamble y prueba de interferencias. En este caso en particular, la resistencia estructural no es de gran importancia en este proceso ya que el objetivo es que se pretende realizar sólo la prueba de ajustes e interferencias; por tal motivo se utilizó la resistencia como No Aplica (NA).

**Tecnología seleccionada:** Deposición de Material Fundido (DMF)

Como se puede observar, comparando el renglón de “META” con cada uno de las alternativas de prototipado rápido, se observa que la tecnología de DMF cumple con los requisitos establecidos para la creación del prototipo para las pruebas de ensamble del rediseño, además:

- La precisión es mejor a la requerida: tolerancia de 0.8mm mejor que 1.0mm mínimo requerido.
- El acabado superficial es una característica de baja importancia para el caso de verificación de ensamble y función. Por lo que la tecnología DMF cumple con las características necesarias.

Ya que hemos decidido que la tecnología DMF es adecuada para nuestra aplicación se buscó el equipo para poder realizar dicho prototipo.

### 3.2.4.2 Creación del prototipo

Se realizó un prototipo con los modelos creados en la sección 3.2.3 utilizando la tecnología de Deposición de Material Fundido (DMF) realizando piezas de plástico tipo ABS en la maquina STRATASYS FORTUS® 450mc.

Se ensambló el conector eléctrico en el componente fusionado de caja de engranes y espaciador. Se realizó la prueba para validar el ajuste.

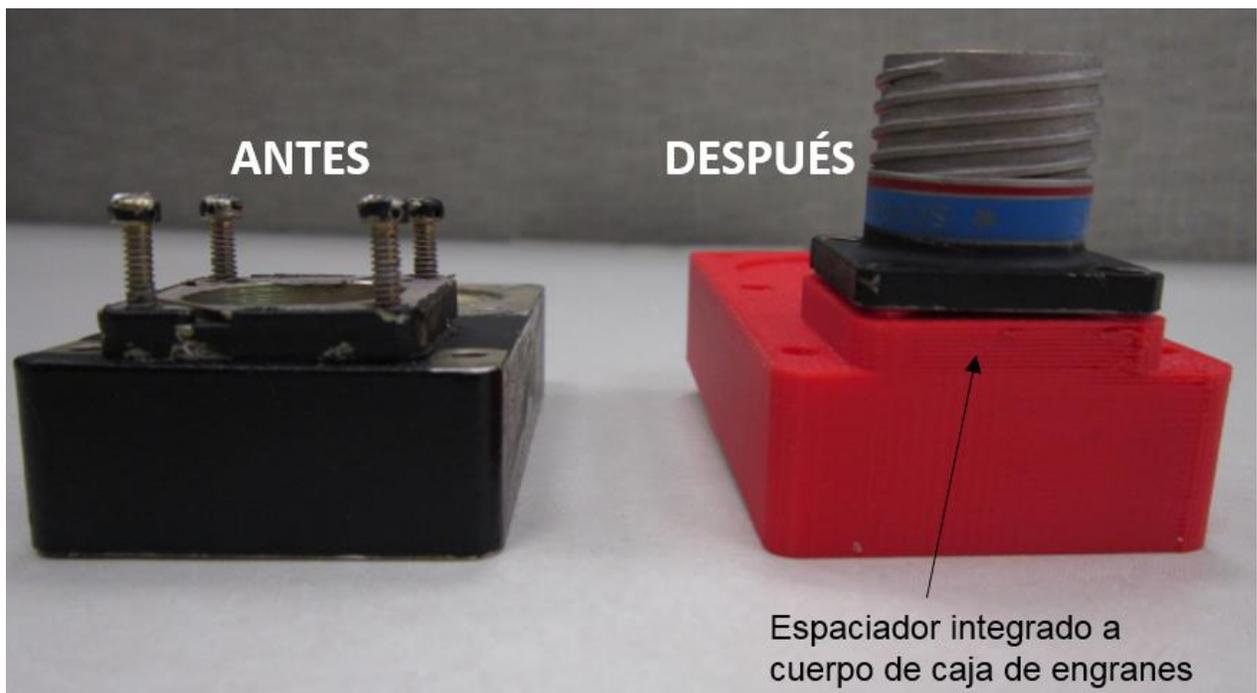


Figura 20 – Validación y ensamble de prototipo de plástico

Las pruebas y validación del ensamble se pueden ver en las Figuras 20 y 21. A la izquierda de cada figura se muestra la parte original de Aluminio antes del rediseño. Mientras que del lado derecho en color rojo se muestra el prototipo realizado en material ABS.

En prototipo mostrado en la Figura 20 se muestra la fusión del conector con la carcasa de la caja de engranes, se observa que cumple con las funciones descritas en la sección 3.2.2.

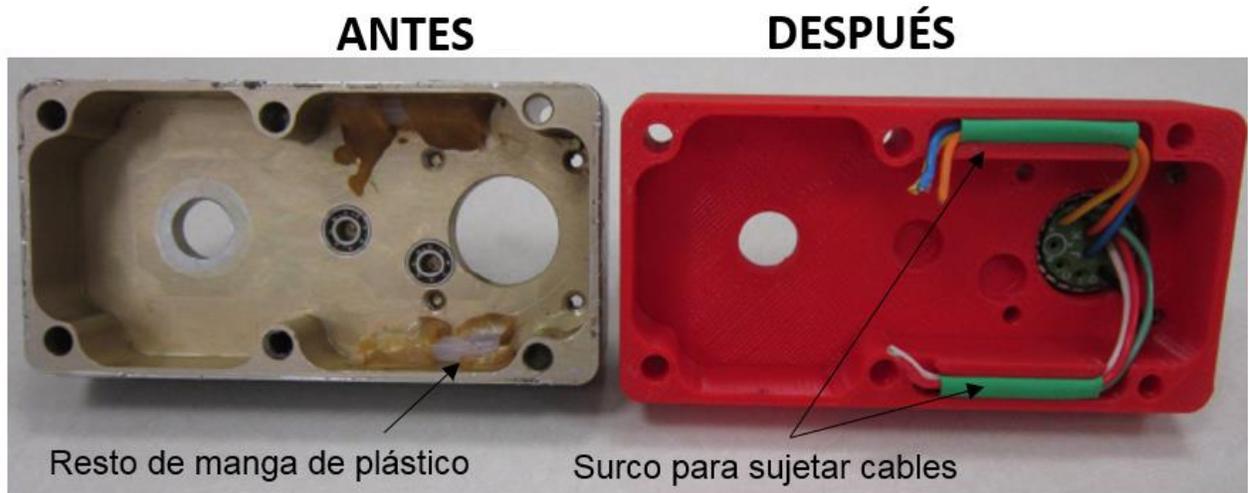


Figura 21 – Validación y ensamble de prototipo de plástico, guía cables

La Figura 21 muestra el cambio de geometría para mantener los cables fuera del alcance de los engranes (piezas en movimiento) y la solución propuesta para eliminar la necesidad de utilizar pegamento para mantener los cables en la posición requerida.

En la parte izquierda de la Figura 21 se puede observar la porción de material epóxico utilizado para mantener los cables fijos durante la operación, también es posible observar parte de la manga de plástico en color blanco utilizado en el proceso original. Mientras que a la derecha se observa la mejor propuesta.

La Figura 22 muestra la comparación del ensamble en la sección mejorada para su fácil entendimiento.

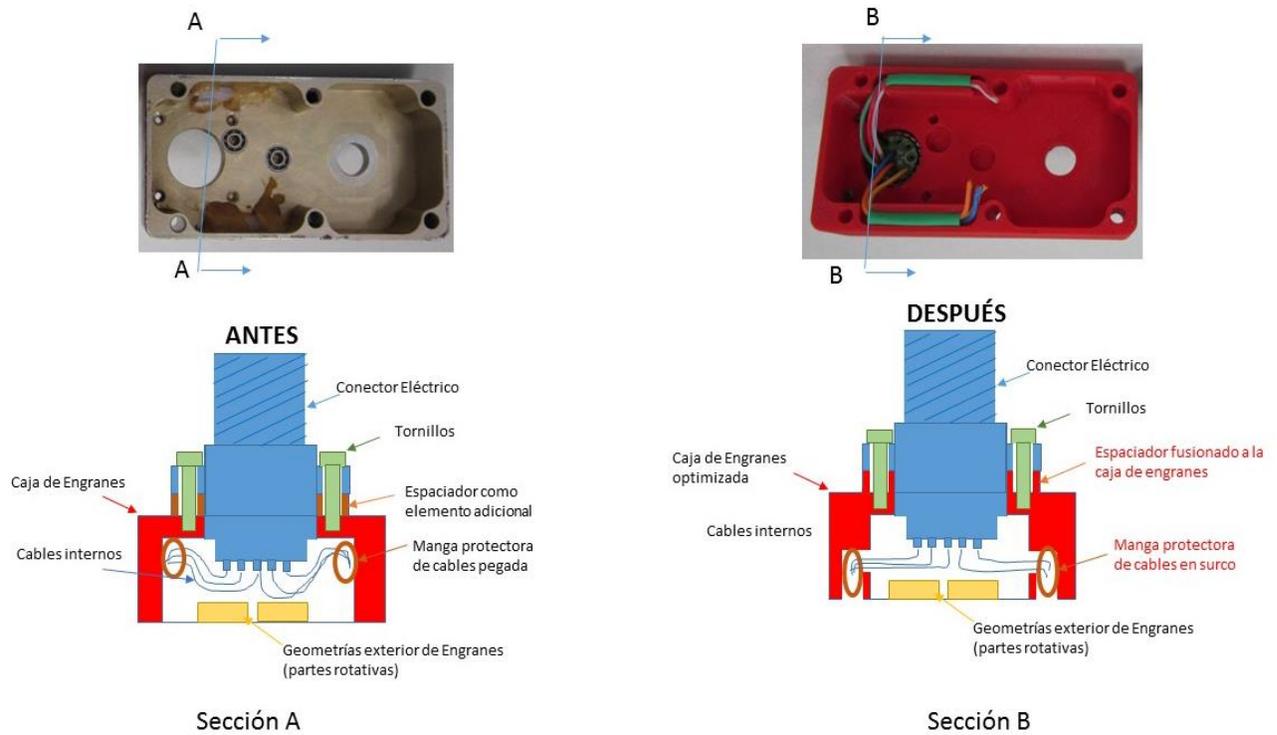


Figura 22 – Comparación de la sección transversal mejorada

Cabe señalar que con apoyo del grupo de maquinados se realizó una simulación del tipo CAM, para determinar la profundidad del surco, y la trayectoria de la herramienta para asegurar que es posible realizar dicha geometría en la etapa de producción.

## 4 RESULTADOS

Mediante el uso del Diseño Para el Ensamble en conjunto con las de Prototipado Rápido y siguiendo las instrucciones creadas, se eliminaron 3 componentes (2 espaciadores para conectores eléctricos y 1 manga protectora de cables). Como resultado del Paso 5 del proceso creado, se rediseñó el cuerpo de la caja de engranes para eliminar la manga protectora de cables y a la vez, la operación de pegado y tiempo de espera del curado del pegamento, esto era una operación que agregaba un costo innecesario al producto.

De esta manera se comprueba que al usar los recursos y técnicas de manera concurrente se reduce el tiempo de ciclo del rediseño. Estos cambios rápidos no requirieron mayor certificación porque no afectan la forma ni la función del actuador y generaron ahorros en la reducción del costo del producto completo de manera instantánea.

Se calcula un ahorro de \$5,630 dólares americanos anuales con la eliminación de 2 partes dentro del ensamble y la estandarización de un componente (arandela). De la misma manera al eliminar operaciones secundarias de ensamble, espera y de manejo de los componentes se calcula un ahorro de \$5,400 dólares americanos en el costo de mano de obra. En total se tendrá un ahorro de \$11,032 dólares americanos anuales en la implementación de este proyecto sin afectar la certificación actual del ensamble.

Como se comentó en la sección 3.2.1, este producto tiene 2 variantes adicionales en las cuales se pueden aplicar los cambios aquí aprobados. Por lo que se estima un ahorro total mayor a \$30,000 dólares anuales.

Los cambios aquí propuestos fueron presentados ante el comité de evaluación técnica de la empresa y fueron aceptados para ser implementados en la siguiente iteración de diseño.

## 5 CONCLUSIONES

Como conclusión de la investigación e implementación de ambas metodologías en conjunto, se concluye lo siguiente:

- Diseño para Ensamble es de utilidad para reducir el número de piezas de los ensambles, con ellos se fabrican o compran menos piezas y resulta un producto con menor costo.
- Diseño para Ensamble ayuda a identificar operaciones de manufactura que incrementan el tiempo de ensamble y elevan el costo del producto. Esto sirve para proponer diseños que eviten estas operaciones elevando el costo del producto final.
- La obtención de un prototipo con medidas reales permite visualizar problemas de ensamble e integración. Es posible visualizar detalles que no serían posibles usando planos y/o modelos CAD. Se obtienen resultados previos antes de liberar un diseño final.
- La metodología propuesta de Diseño Para Ensamble junto con Prototipado Rápido es capaz de reducir el tiempo de ciclo del rediseño de un producto.

## **6 APORTACIONES DE LA TESIS**

Como resultado de la investigación, se incorporaron los conceptos de Diseño Para Ensamble y Prototipado Rápido dentro del ciclo tradicional de diseño del departamento involucrado en la compañía. Para ello, se creó el diagrama de flujo de la metodología de Diseño Para Ensamble, se detallaron todos los pasos, incluyendo recomendaciones y errores a evitar. El diagrama servirá de guía para el área de ingeniería cuando se necesite realizar una mejora del producto.

## **7 RECOMENDACIONES**

Con lo anterior mencionado se recomienda el uso de las técnicas de Diseño para Ensamble en conjunto con la de Prototipado para ahorrar tiempo y dinero en el proceso de diseño general, resultando en un diseño óptimo en su función y con un precio optimizado.

Sin embargo, es importante tomar en cuenta las consideraciones y necesidades especiales de cada industria y los requisitos de diseño de cada producto, para que esta metodología tenga mejor efecto, según las necesidades tanto de la compañía como del cliente.

Por último, en la empresa en cuestión, es recomendable mantenga sus ingenieros actualizados en el conocimiento y dominio razonable de estos temas de vanguardia, ya que de esta manera se estará en mejor disposición de implementar y poner en práctica esta valiosa y útil metodología de prototipado rápido en el diseño, implementación y validación de un nuevo producto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Boothroyd, G. y Dewhurst, P. (1988). Design for Assembly: A designer's Handbook, Universidad de Massachusetts, Departamento de Ingeniería Mecánica.
- [2] Kruth, J. P., Leu, M. C. y Nakagawa, T. (1998). "Progress in additive manufacturing and rapid prototyping", Journal of Keynote Papers, 525-540.
- [3] Gomes, C. W. (2000). "Rapid prototyping", Journal of SAE Technical Series, 2000-01-3274.
- [4] Boothroyd, G y Radovanovic, P. (1989). "Estimating the cost of Machined Components during the Conceptual Design of a Product", Journal of Annals of CIRP, 157-160.
- [5] Evans, M. A. (2002). Tesis doctoral "The integration of rapid prototyping within industrial design practice". Departamento de diseño y tecnología de Facultad de Ciencias Sociales y Humanas de la Universidad de Loughborough.
- [6] 3D SYSTEMS INC. (2017). "Stereolithography". Recuperado de <https://es.3dsystems.com/on-demand-manufacturing/stereolithography-sla>
- [7] STRATASYS LTD. (2017). Tecnología FDM. Recuperado de <http://www.stratasys.com/mx/impresoras-3d/technologies/fdm-technology>
- [8] 3D SYSTEMS INC. (2017). "Selective Laser Sintering". Recuperado de <https://es.3dsystems.com/on-demand-manufacturing/selective-laser-sintering>
- [9] EOS INC. (2017). "Additive Manufacturing, Laser-Sintering and industrial 3D printing - Benefits and Functional Principle". Recuperado de [https://www.eos.info/additive\\_manufacturing/for\\_technology\\_interested](https://www.eos.info/additive_manufacturing/for_technology_interested)
- [10] Seepersad, C. C. (2009), Simposio de "Solid Freeform Fabrication", Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Austin en Texas.