



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO PARA ENSAMBLE DE PRÓTESIS CDMIT2

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA MECATRÓNICA**

PRESENTA:

ADRIANA ITZEL HERNÁNDEZ CONTRERAS

DIRECTOR DE TESIS:

ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO



MÉXICO D.F.

MAYO DE 2013

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	1
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	2
1.1 DEFINICIÓN DE ENSAMBLE	2
1.2 HISTORIA DEL ENSAMBLE	2
1.2.1 PREHISTORIA	2
1.2.2 EDAD DE LOS METÁLES	3
1.2.3 EDAD ANTIGÜA	4
1.2.4 EDAD MEDIA	6
1.2.5 EDAD MODERNA	7
1.2.6 EDAD CONTEMPORÁNEA	8
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 DISEÑO PARA MANUFACTURA Y ENSAMBLE	10
2.1.1 MÉTODO BOOTHROYD-DEWHURST	10
2.1.2 EVALUACIÓN DE ENSAMBLE HITACHI	12
2.1.3 MÉTODO LUCAS PARA DISEÑO DE ENSAMBLE	13
2.2 ENSAMBLE MECÁNICO	13
CAPÍTULO 3. EFICIENCIA DE ENSAMBLE MANUAL Y AUTOMÁTICO	16
3.1 HOJA DE TRABAJO PARA EL DISEÑO DE ENSAMBLE MANUAL	17
3.2 HOJA DE TRABAJO PARA EL DISEÑO DE ENSAMBLE AUTOMÁTICO	19
3.3 MANO PROTÉSICA 1	25
3.4 MANO PROTÉSICA 2	27
3.5 MANO PROTÉSICA 3	29
3.6 MANO PROTÉSICA 4	31
3.7 MANO PROTÉSICA 5	33
3.8 MANO PROTÉSICA 6	35
3.9 MANO PROTÉSICA 7 (BEBIONIC 3)	37
3.10 MANO PROTÉSICA 8 (I-LIMB ULTRA)	39
CAPÍTULO 4. RESULTADOS DE PRÓTESIS MUESTRA	41
4.1 TABLA DE RESULTADOS	41
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	41

CAPÍTULO 5. DISEÑO FINAL _____ **42**

5.1 PALMA Y DORSO _____	42
5.2 DEDOS _____	44
5.3 MATERIALES PROPUESTOS _____	46
5.4 MOTORES _____	48
5.5 CÁLCULO DE EFICIENCIA MANUAL DEL DISEÑO FINAL _____	53
5.6 CÁLCULO DE EFICIENCIA AUTOMÁTICA DEL DISEÑO FINAL _____	54
5.7 RESULTADOS DE DISEÑO FINAL _____	55
5.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE DISEÑO FINAL _____	55

CONCLUSIONES _____ **56**

TRABAJO A FUTURO _____ **57**

ANEXOS

-GEOMETRÍA _____	58
-MANIPULACIÓN MANUAL - TIEMPOS ESTIMADOS _____	59
-INSERCIÓN MANUAL - TIEMPOS ESTIMADOS _____	60
-DESIGN FOR MANUAL ASSEMBLY WORKSHEET (HOJA DE TRABAJO DISEÑO DE ENSAMBLE MANUAL) _____	61
-AUTOMATIC HANDLING – DATA FOR ROTATIONAL PARTS (MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA PARA PIEZAS ROTACIONALES) _____	62
-AUTOMATIC HANDLING – DATA FOR NON-ROTATIONAL PARTS (MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA PARA PIEZAS NO ROTACIONALES) _____	63
-AUTOMATIC HANDLING - ADDITIONAL FEEDER COST (MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA – COSTO DE ALIMENTACIÓN ADICIONAL) _____	64
-AUTOMATIC INSERTION – RELATIVE WORKHEAD COST (INSERCIÓN AUTOMÁTICA – COSTO DEL CABEZAL DE TRABAJO) _____	65
-DESIGN FOR AUTOMATIC ASSEMBLY WORKSHEET (HOJA DE TRABAJO DISEÑO DE ENSAMBLE AUTOMÁTICO) _____	66
-FÓRMULA PARA OBTENCIÓN DE DATOS PARA SNAP EN CANTILÉVER _____	67

REFERENCIAS _____ **68**

MESOGRAFÍA _____ **69**

Dedico esta tesis:

A mi madre que con su cariño y apoyo incondicional me motivo a seguir adelante por un camino recto, y que en cada tropiezo me enseñó a levantarme.

A mi padre por todo su cariño, por ser un ejemplo del trabajo duro y honesto y por nunca dejar de creer en mí.

A mis hermanos Jimena y Héctor por estar siempre conmigo para apoyarme y brindarme alegría y sonrisas en momentos difíciles.

A mi novio Juan Gustavo que estuvo siempre a mi lado dándome la fuerza para nunca desistir, por darme todo su amor, por su paciencia y por brindarme todo su conocimiento y ayuda.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por darme una formación integral como ingeniera.

Agradezco al Ing. Mariano García y a la Ing. Itzel Flores por toda su ayuda, asesoramiento y tiempo dedicado al desarrollo de esta tesis.

Agradezco a la Ing. Hanna García por su asesoramiento.

A todo el personal del Centro de Diseño y Manufactura que directa o indirectamente ayudaron a la creación de este proyecto.

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto UNAM DGAPA PAPIIT IT102512 "Diseño de sistemas mecatrónicos aplicados al ser humano".

INTRODUCCIÓN

En México, el desarrollo tecnológico, en lo que comprende a prótesis de miembro superior como inferior, ha sido muy bajo y poco estudiado considerando que se posee una de las ciudades más pobladas del mundo con 112 millones 336 mil 538 personas y de las cuales 5 millones 739 mil 270 se consideran discapacitadas física, mental, intelectual o sensorialmente, lo que representa 5.1% de la población total.

Sin embargo, en países considerados potencias mundiales este tema se ha explorado ampliamente, tanto, que se han desarrollado prótesis altamente eficientes que reemplazan casi por completo al miembro perdido, teniendo funciones bastantes similares a las naturales, como la prótesis de mano y brazo *BeBionic 3* o la *Ilimb*, las cuales pueden realizar cerca de catorce sujeciones, entre las que se encuentran la presión de pinza, de gancho, de llave, de índice activo entre otras.

A pesar de que existen estas prótesis, tener una es casi imposible, ya que, por ejemplo, la mano *BeBionic 3* tiene un costo de 45,000 euros lo que en pesos mexicanos llega a casi 1 millón, es por estas dos razones, el poco desarrollo y el alto costo, que en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM se fijó el objetivo de desarrollar esta tecnología en diferentes campos como el control, protocolos de comunicación, manufactura, diseño entre otras.

En esta tesis, lo que se busca es realizar el diseño para ensamble de la mano CDMIT, la que en este texto llamaremos mano CDMIT2, esta se diferencia por tener una forma más fiel a la de una mano humana. Creada en base a superficies por medio de un software ingenieril llamado CATIA, el cual nos ayudará a visualizar el diseño final.

En primer lugar, se dará una pequeña introducción al tema de ensambles, máquinas y prótesis a lo largo de la historia (capítulo 1) seguida por un marco teórico (capítulo 2), se realizarán también análisis de eficiencia de ensamble tanto manual como automático a diferentes prótesis ya existentes (capítulo 3), y de acuerdo al método del diseñador Geoffrey Boothroyd, se determinarán las mejoras que pueden aplicarse a estas prótesis después de analizar los resultados (capítulo 4) y al diseño final de la CDMIT 2 (capítulo 5).

OBJETIVO

Realizar el análisis de diseño para ensamble de manos protésicas y a partir de los resultados hacer una propuesta de ensamble para la mano CDMIT 2.

Capítulo 1. ANTECEDENTES

1.1 Definición de Ensamble

Podemos definir al ensamble como una serie de objetos cualesquiera arreglados de tal manera que se puedan superponer unos con otros creando una sola pieza, estos objetos pueden ser orgánicos o manufacturados por el hombre y de cualquier tipo de material.

1.2 Historia del ensamble

La historia del ensamble se originó gracias a la creatividad del hombre y a su deseo de satisfacer sus necesidades, ambos fueron creciendo a la par desde tiempos remotos y es por eso que es tan amplia y basta, ya que prácticamente cada invento requería la unión de más de una pieza sobre todo en edades actuales con la creación de maquinarias complejas. Es por esto que se hablará a continuación de los inventos más importantes desarrollados a lo largo de la prehistoria e historia del hombre enfocándonos en su construcción, materiales y uniones.

1.2.1 Prehistoria

En la antigüedad, el hombre primitivo comenzó a crear los primeros ensambles siendo éstos sumamente básicos de tan sólo dos piezas usados como herramientas, hechas principalmente de piedra y madera, esto se empezó a originar en el Paleolítico que es conocido como “La Edad de piedra antigua” (18000 a.C. Europa), ya que el hombre comenzaba a satisfacer sus necesidades de alimentación, seguridad, vestimenta entre otras, pero fue hasta el Neolítico o “Edad de piedra reciente” (8500 a.C. Mediterráneo) que el uso de estas herramientas se volvió más común, éstas se elaboraban con mayor detalle y su peso era menor.

Las primeras herramientas fabricadas fueron picas, lanzas y cuchillos, por lo general la punta estaba hecha de piedra o minerales afilados que podían ser de dos caras conocida como bifaz o en forma de oz, el mango o soporte de estas puntas se elaboraba de madera. El ensamble de ambas piezas era de diferentes formas, éstas eran unidas por medio de un cinto o se tallaba un orificio en la punta del soporte de la madera donde la punta era introducida a presión, como se muestra en la Fig. 1.1.



Fig. 1.1 Herramientas de la prehistoria [18]

El hombre fue evolucionando fisiológicamente y con esto fue mejorando sus habilidades para la construcción de herramientas que le facilitaran e hicieran más cómoda su estancia en

la Tierra, gracias a esto el hombre comenzó a ser sedentario, se empezaron a establecer tribus las cuales comenzaron a cultivar vegetales para su alimentación.

1.2.2 Edad de los metales

La siguiente etapa, es llamada la Edad de los Metales, la cual está subdividida en tres edades principales: la Edad de Cobre, la Edad de Bronce y la Edad del Hierro. En esta edad, como su nombre lo indica, se comenzaron a fabricar herramientas y utensilios de metales fundidos.

La primera edad, la del Cobre, se originó debido a que éste metal era encontrado en estado casi puro al igual que el oro y la plata, lo cual hacía fácil su obtención. Para moldearlo, al principio era golpeado para dejarlo plano y crear láminas, pero a finales de la edad Neolítica ya se empezaba a utilizar el horno para cocer cerámicas, llevándolos a desarrollar la técnica del metal fundido y, con esto, la creación de moldes para que el metal tomara la forma deseada, lo que hacía herramientas menos burdas.

El hallazgo anterior dio lugar a la fabricación de nuevas aleaciones, ya que se empezó a experimentar con una serie de elementos como el arsénico y el estaño, dando lugar al cobre arsenicado y al bronce con los cuales también se creaban herramientas por medio de hornos y moldes.

Por otro lado, el hierro, el cual es el cuarto elemento más abundante en la Tierra, fue utilizado hasta después de casi 2500 años una vez que el Bronce fue descubierto, la razón no fue por desconocimiento del elemento ya que desde antes era considerado una joya, si no que este metal requiere altas temperaturas para lograr fundirlo y en esos años no se contaba con la tecnología para manufacturarlo.

Gracias al descubrimiento de estos valiosos elementos, se comenzaron a crear herramientas y armas más resistentes al calor y al frío, menos pesadas y en mayor número. En herramientas y armas se sustituyó la piedra por picas de metal, para la agricultura se ensamblaron metales con madera creando hoces y guadañas, siendo éstas ensambladas por medio de orificios hechos a la madera y después introduciendo los filosos metales en ellas quedando justas ya que quedaban sostenidas por presión.



Fig. 1.2 Herramienta para el campo [19]

Otro uso importante que se les dio a estos metales fue la mejora de carretas para transporte de personas y materiales, las carretas o carretillas ya existían, Fig.1.3, (el primer

indicio fue encontrado en China 118 a.C.) las ruedas fueron primero talladas en piedra, después en madera y, en esta etapa, eran fabricadas de hierro fundido, haciéndolas más resistentes. Los ejes eran por lo regular hechos con madera, para ensamblarlos, una rueda era insertada en cada extremo del eje y posteriormente asegurada por tapas metálicas, la caja de éstas era de madera, tabloncillos unidos por cuerda de cuero o junco y aseguradas con clavos, se movían gracias a que eran halados por animales como bueyes o caballos.



Fig. 1.3 Réplica de carreta antigua [20]

1.2.3 Edad antigua

Debido a que el hombre se estableció en lugares donde podía cultivar, fabricar herramientas y construir chozas, empezaron a surgir grandes civilizaciones como la egipcia, romana, griega, entre otras. El nacimiento de estas civilizaciones estuvo marcado principalmente por el desarrollo de la escritura y desde luego el hombre comenzó a crear herramientas, armas y utensilios más sofisticados, desarrollando así las ciencias de la Ingeniería y del Diseño.

El surgimiento de civilizaciones dio pie a guerras entre pueblos para obtener mayor territorio y mayores riquezas, se empezó a desarrollar, por esto, el poder político el cual se centró en manos de algunos cuantos, los reyes. Lamentablemente, gracias a la guerra es que se han hecho grandes avances en tecnología y de esto han surgido los inventos más importantes del hombre.

Uno de estos inventos fue la catapulta, la cual tiene un diseño de ensamble más complejo que las armas que se elaboraban en la edad de los metales, se cree que fue creada en Grecia por ingenieros y artesanos en el año 400 a.C., sus precursoras fueron los arcos y ballestas, debido a la necesidad de una mayor protección para las ciudades, se crearon estas grandes máquinas, las cuales estaban clasificadas en cuatro conceptos principales: tensión, torsión, contrapeso y tracción.

Una de las catapultas más comunes de esta edad fue la Trebuchet, Fig. 1.4, que está basada en una honda, estaba hecha por una viga o barra de madera que era sujeta a un marco que la mantenía elevada del suelo, era tensionada por una cuerda por la parte media, el punto de apoyo de la viga estaba en la parte superior del marco o armazón, de la parte corta de la viga se encontraba un contrapeso suspendido y del otro extremo de la viga era colocada la honda en donde se podían colocar desde piedras, animales en descomposición hasta espías

vivos. Los sistemas de unión para esta máquina eran usualmente canales, en donde se insertaban las piezas a ensamblar, cuerdas y clavos. Para lanzar los proyectiles la cuerda del contrapeso era cortada, la fuerza de gravedad hacia caer este contrapeso y la honda daba un giro, el cual aceleraba esta masa que lograba alcanzar una distancia de hasta 200 metros.

Otra catapulta comúnmente usada era el Mangonel, Fig. 1.5, era parecido a la Trebuchet sin embargo se diferenciaban en cuanto a que el Mangonel tenía un contrapeso fijo y su alcance era menor, éste estaba ensamblado con vigas de madera unidas mediante lazos, canaletas, ejes y clavos.



Fig. 1.4 Trebuchet [21]



Fig. 1.5 Mangonel [22]

Para nuestro estudio, esta edad fue muy importante, ya que es en la que se encuentra el primer indicio de una prótesis fabricada y usada, Fig. 1.6, fue entre los años 1300 y 1550 a.C., en Egipto al oeste de Tebas donde arqueólogos descubrieron la momia de una mujer, la cual tenía una prótesis de alux en el pie derecho, ya que había sido removido quirúrgicamente, ésta fue tallada en madera y estaba compuesta por tres piezas que se encontraban cosidas entre sí por medio de hilo de cuero y sujetadas al pie por medio de correas también de cuero.



Fig. 1.6 Prótesis más antigua del mundo [23]

Después de la prótesis egipcia, entre los años 218 y 202 a.C. en el Mediterráneo Occidental durante la segunda guerra púnica, se fabricó una prótesis para el general Marcus Sergius, era completamente pasiva, no contenía articulaciones, estaba hecha de una sola pieza de hierro fundido, era ajustada al muñón por medio de cintas de cuero y servía únicamente para sostener el escudo.

1.2.4 Edad Media

La edad media está comprendida entre los siglos V y XV en la historia de la civilización occidental, inicia con la caída del imperio romano occidental y concluye con el descubrimiento de América. Para esta etapa de la evolución del hombre, como ingeniero y diseñador, los inventos que realiza son más complicados en su elaboración y ensamble, y desde luego son ya muy bastos a pesar de que aún la tecnología sigue lanzando múltiples innovaciones, es por eso que no se ahondará en uno en específico como en las edades anteriores.

Las galeras fueron creadas por los romanos, Fig. 1.7, son un tipo de barco utilizados principalmente para el transporte de artillería y para el comercio, estaban hechas por largos tablones de madera unidos por lazos, clavos y canaletas, tenían grandes velas cuadradas las cuales se unían cosiendo con hilo y aguja cada parte de ésta sujeta a un mástil de madera. Era impulsada por una serie de esclavos ayudados por remos largos.

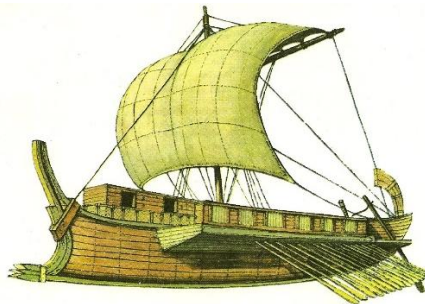


Fig. 1.7 Galera romana [24]

Otro avance importante fue la fabricación del reloj de pesas o de péndulo, el mecanismo consistía en regular el descenso de las pesas que al bajar impulsaban el engranaje interior. El reloj estaba formado por una caja tallada de madera, la cual contenía en su interior un tren de engranes metálicos, sus ejes eran insertados y asegurados por medio de muescas.

Las primeras imprentas fueron desarrolladas en esta época, la máquina consistía en una mesa grande de madera a la cual se le adaptaba un armazón con una prensa, ésta consistía en un rodillo rotativo con una ranura helicoidal que giraba gracias a una palanca, en su extremo tenía una placa de hierro en donde se colocaban los textos o imágenes a imprimir, el ensamble era relativamente sencillo ya que consistía en la unión de la madera por pegamentos, clavos y muescas.

En esta edad también existieron avances con respecto a la fabricación de prótesis de miembro superior, una de ellas fue la mano de hierro de Gotz von Berlichingen, Fig. 1.8, que

fue fabricada en el año de 1500, ya que perdió la mano derecha debido a un cañonazo, después de recuperarse, salió con una mano hecha con piezas de hierro unidas mediante remaches, ésta podía mover los dedos gracias a uniones rotacionales y a una serie de engranes, era unida al brazo por medio de correas de cuero, gracias a este artefacto podía empuñar una espada o lanza, tomar las riendas del caballo e incluso escribir con ella.



Fig. 1.8 Mano de hierro de Gotz von Berlichingen [25]

Por otro lado, el médico militar Ambroise Paré diseñó un bosquejo de prótesis de miembro superior al que llamó “Le Petite Loraine”, Fig. 1.9, en el siglo XVI, ésta era relativamente sencilla, gracias a una serie de palancas y engranajes podía mover pasivamente los dedos y realizar flexiones a nivel codo, ésta nunca fue fabricada.



Fig. 1.9 “Le petite Loraine” [26]

1.2.5 Edad Moderna

Esta es una de las edades más brillantes de la evolución humana ya que se lleva a cabo una revolución científica, en donde surgen grandes personajes como Leonardo Da Vinci, Copérnico, Galileo, Newton entre otros, está comprendida en los años 1500 a 1750.

Los materiales más comunes de esta época fueron la madera y el vidrio, la madera era utilizada para fabricar máquinas-herramientas, maquinaria, utensilios y como combustible, por otro lado el vidrio era utilizado en lentes convexos para gafas, los cuales se volvieron necesarios a causa de la imprenta, también se utilizó en el primer telescopio inventado por Lippersheim en 1605.

Otro uso para el vidrio fue la creación de lentes que dieron lugar al primer microscopio inventado por Zacharías Janssen, que aumentaba la imagen cerca de 200 veces, éste era un tipo

de cilindro con lentes en los extremos soportado por tres delfines de bronce, la base estaba hecha de una “y” de hierro y sujeta a los delfines por medio de una unión rotativa que permitía moverlo arriba y abajo, los principales medios de unión eran tornillos y pernos.

Por otro lado, el telescopio fue creado casi a la par del microscopio y fue utilizado por Galileo en 1609 para observar la luna, Júpiter y las estrellas. Estaba formado por dos tubos generalmente de hierro, bronce o madera, a los cuales se les colocaba un lente en un extremo, se montaba uno sobre otro a modo de que uno deslizara dentro del otro usando una pestaña o tope para evitar su separación, con esto se lograba la refracción de la luz haciendo que los astros se vieran más cerca.



Fig. 1.10 Diferentes tipos de telescopios antiguos. [27]

Otro aspecto que cambió en esta época, fue la invención de máquinas que sustitúan la mano de obra como los grandes telares mecánicos, los primeros tornos, imprentas mejoradas, entre otras, las cuales se crearon y mejoraron gracias a tres cosas: la creación de la primera turbina de vapor, transmisión por correa y mecanismo biela-manivela. Generalmente, eran fabricadas con metales y aleaciones de éstos haciéndolos resistentes y con vidas útiles prolongadas, era unidos por pernos, tornillos, soldadura y cuerdas.

1.2.6 Edad contemporánea

La edad contemporánea inicia con la Revolución Francesa y una serie de conflictos políticos, sociales, culturales y científicos pasan a lo largo de ella, uno de ellos es la Revolución Industrial, en donde se reemplazó casi por completo la mano de obra mecanizando la industria textil, aumentando la cantidad de productos y reduciendo el tiempo de elaboración, el comercio se expandió gracias a nuevas rutas de transporte y al nacimiento del ferrocarril.

Las prótesis en esta edad evolucionaron de gran manera, se comenzaron a utilizar otros tipos de materiales como los polímeros naturales, cuero y madera, también surgieron nuevos mecanismos que permitían una mejor movilidad, mayor fuerza y mejor sujeción como lo son los resortes y el hook, el cual es un tipo de garfio doble que funciona como una pinza para sujetar objetos, abre y cierra gracias a unos resortes, que al ser jalados abren los ganchos y al retirar la fuerza se cierran, esta fuerza es aplicada gracias a la fuerza de la espalda y del brazo contrario.

En el año de 1867, el conde Beaufort construye una prótesis de mano articulada, Fig. 1.11, la cual estaba hecha con tablillas de madera y cuero, ésta podía flexionar a nivel de codo gracias a una palanca que se activaba haciendo presión contra el tórax, también era aprovechada la fuerza de espalda y hombro opuesto para generar el movimiento de la mano, ya que tenía instalado en el extremo un hook.

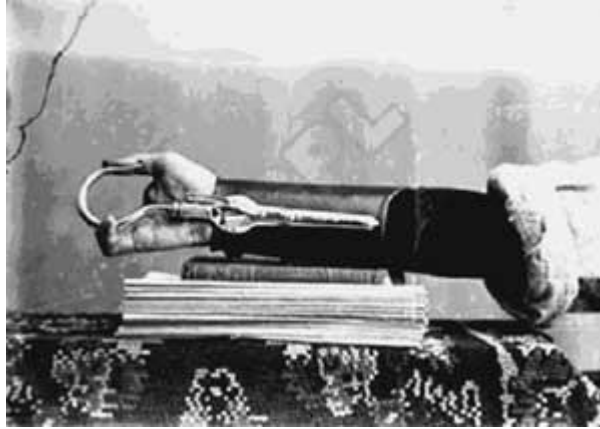


Fig. 1.11 Mano del conde Beaufort con hook. [26]

En la actualidad, la ciencia de las prótesis ha cambiado gracias al surgimiento de nuevos materiales como polímeros, los cuales son mucho más ligeros que los metales y en cuanto al movimiento de la mano ahora existen las manos, de propulsión asistidas como son las eléctricas, neumáticas e híbridas.

Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Diseño Para Manufactura y Ensamble

El Diseño para Manufactura y Ensamble o DFMA por sus siglas en inglés (Desing For Manufacture and Assembly) fue creado para disminuir tiempos, y por tanto costos de producción de un objeto, es decir, eficientar los procesos. Existe una serie de métodos empleados que son usados desde que el objeto es diseñado hasta que éste es manufacturado, estos métodos se estudiarán a continuación.

2.1.1 Método Boothroyd Dewhurst.

El método de Boothroyd Dewhurst de Diseño para Manufactura y Ensamble o DFMA, puede ser definido utilizando sus dos principios: reducción del tiempo de operación y fácil ejecución. Se basa también y principalmente en la reducción de piezas, es decir, reducir partes separadas a una sola. Esta metodología tiene tres criterios, en los cuales establece que cada parte debe ser examinada al tiempo en que se va ensamblando, esos criterios se muestran a continuación [2]:

1.- Durante la operación la pieza se mueve en relación a las piezas ya ensambladas. Solo movimientos bruscos deben ser considerados ya que movimientos delicados pueden deberse a elementos elásticos.

2.- ¿Debe la pieza ser de un material diferente o aislada de las otras piezas ya ensambladas? Depende de las propiedades del material.

3.- ¿Debe la parte ser separada de las otras ya ensambladas porque de otra manera un ensamble o desensamble de otras partes separadas podría ser imposible?

Estos criterios deben utilizarse en el diseño para ensamble ya que se debe justificar la existencia de cada pieza, la justificación de éstas deben surgir de consideraciones prácticas, técnicas o económicas, antes de que se realice cualquier cambio al diseño se debe tener noción de los tiempos y costos de ensamble debido a que todo ahorro debe ser considerado junto con el nuevo diseño.

Una vez que el diseño de piezas es examinado, el siguiente paso es el diseño para manufactura, es decir, estimar el costo de manufacturar lo que se ha diseñado, la reducción de piezas y, por lo tanto, de operaciones, debe dar como resultado la disminución del costo de esta, por lo tanto la DFA es el primer paso para una simplificación de la estructura del producto. A esto se le conoce como Diseño Para Manufactura y Ensamble o DFMA por sus siglas en inglés.

También es importante considerar la selección de los mejores materiales y procesos ya que de la decisión final dependerá el buen funcionamiento y acoplamiento de cada una de las piezas y del sistema final.

Los pasos a seguir en este DFMA se muestra en la siguiente tabla:

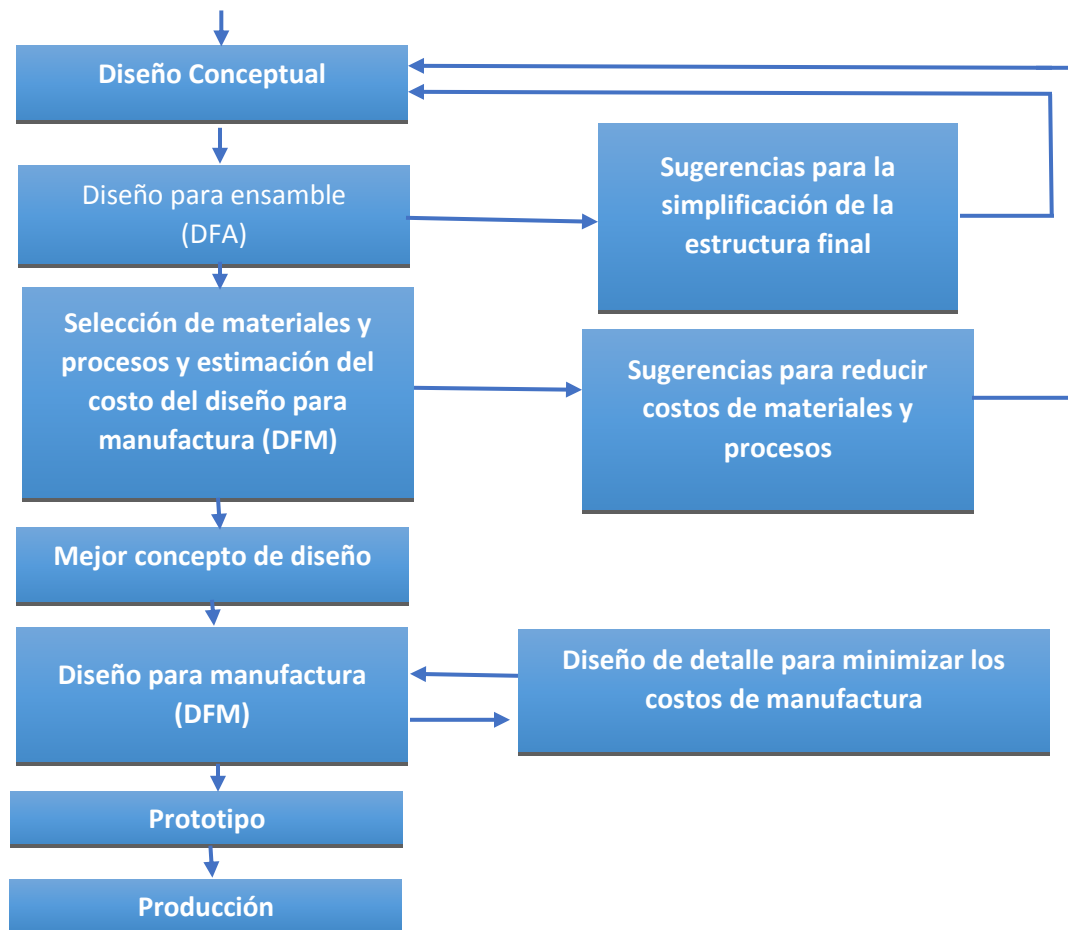


Fig. 2.1 Método DFMA [2]

2.1.2 Evaluación de Ensamble de Hitachi

El método de Evaluación de Ensamble o AEM (Assembly Evaluation Method) fue desarrollado por la corporación Hitachi en Tokio Japón. Éste se basa en facilitar la realización de mejoras en el diseño mediante la identificación de las debilidades desde la etapa más temprana posible a través de dos reglas [13]:

-Evaluación del promedio de montabilidad (E): Esta variable es usada para juzgar la calidad del diseño determinando la dificultad de cada operación empleada.

-Razón del costo de ensamble (K): Este es usado para resaltar elementos del costo de ensamble.

En la siguiente imagen se muestra el procedimiento del análisis en el método AEM:

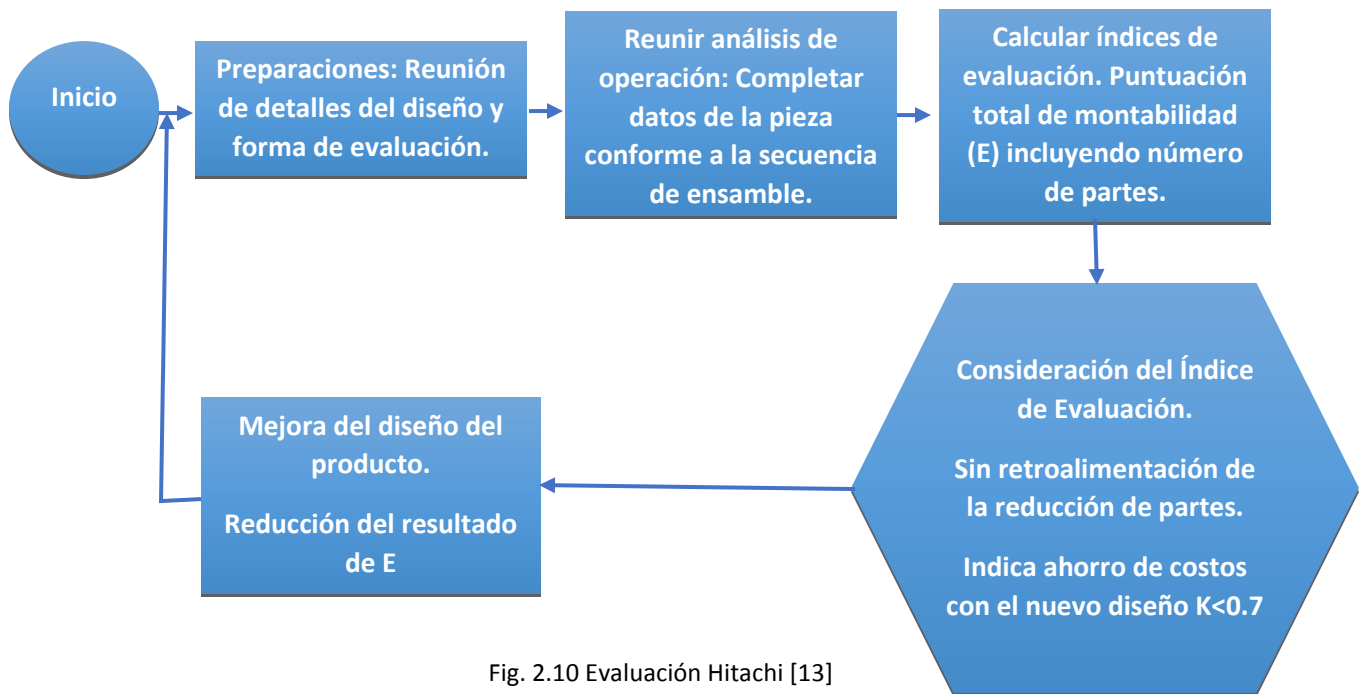


Fig. 2.10 Evaluación Hitachi [13]

El total de la puntuación de la evaluación de montabilidad se define como la suma de la puntuación de la movilidad para el número de operaciones individuales entre el número de operaciones realizadas, ésta se considera como una medida de la eficiencia del diseño en dónde de 0 a 20 es deficiente, de 20 a 60 es aceptable y de 60 a 100 es un diseño perfecto. En el método Hitachi se considera que este porcentaje de eficiencia es razonable en 80 y por otro lado la razón de costo de ensamble debe ser $K < 0.7$ una K igual a 0.7 se considera inaceptable.

2.1.3 Método Lucas para Diseño de Ensamble

El método Lucas [13] es el resultado de la colaboración de Lucas y la universidad de Hull, la evaluación de costos no es empleada en este método y esto es lo que lo hace diferente a los dos métodos antes mencionados.

Este método se basa en la asignación y suma de factores de penalización de problemas que pueden surgir en el diseño, éste se denota en un diagrama de flujo llamado Diagrama de Flujo de Ensamble o Assembly Flow Flowchart (ASF).

De este diagrama de flujo surgen tres variables las cuales son eficiencia del diseño, proporción alimentación/manejo y la razón de ensamble, estas proporciones son generadas gracias a tres etapas de análisis:

- En primer lugar el diseñador hace uso de análisis funcionales dividiendo las partes en dos categorías, la A en donde se encuentran todas las que se consideran esenciales y la B en donde entran las partes que no son esenciales, lo que nos lleva a la eficiencia del diseño.

- En segundo lugar el diseñador deriva en una proporción de alimentación que surge de un análisis de manejo o de alimentación, en esta parte cada elemento es examinado y comparado con una base de datos de conocimientos ya probados y con esto el diseñador puede determinar un índice de alimentación.

La proporción de alimentación/manejo es el índice de alimentación total dividido entre el número de componentes esenciales.

- En tercer lugar el diseñador llega a una proporción de ensamblaje, este análisis sigue básicamente los mismos pasos que en la segunda etapa, utilizando una base de datos de conocimientos ya probados se puede conocer el índice de ensamblaje y finalmente la proporción.

Cada etapa en el diagrama de flujo de ensamble contiene una penalización y la suma de estas penalizaciones es el índice de ensamble en la proporción de ensamblaje.

2.2 Ensamble mecánico

El ensamble mecánico, [3] es aquel en el cual las piezas son unidas por medio de piezas externas llamadas sujetadores, éstos pueden ser permanentes como remaches o no permanentes como tornillos, pernos y tuercas.

Este tipo de ensamble es comunmente utilizado ya que facilita los procesos de ensamble y desensamble (exceptuando las uniones permanentes) esto abarata el costo de producción en el caso del ensamble manual ya que no es necesaria una mayor capacitación del trabajador.

Los métodos de ensamble mecánico se clasifican en cinco tipos, los primeros son los sujetadores de rosca externa como los tornillos y pernos y los sujetadores de rosca interna como las tuercas. Las tuercas son complemento de pernos y tornillos ya que éstas evitan que se produzca un desensamble, son colocadas al extremo opuesto de la cabeza, las cuerdas de ambos deben tener el mismo diámetro, paso y forma de la rosca.



Fig. 2.11 Tuercas y tornillos [28]

En segundo lugar se encuentran los remaches que son sujetadores permanentes ya que para desensamblarlos deben ser destruidos, de éstos también existen diferentes tamaños basados en el sistema inglés de medidas, estos son introducidos en orificios creados en las piezas a unir y con ayuda de una remachadora se extrae el cilindro central y el cilindro exterior es deformado creando un tope que evita que estas se separen.



Fig. 2.12 Remaches [29]

Los ajustes de interferencia se encuentran en el tercer lugar, éstos crean una unión entre dos partes coincidentes durante o después del ensamble, un ejemplo de éstos son los ensambles de ajuste con prensa, estos son comúnmente usados para introducir ciertos elementos en otros ligeramente más pequeños como, por ejemplo, insertar ejes a poleas, engranes, collarines entre otros.

Dentro de los ajustes de interferencia también se encuentran los ajustes por contracción y por expansión, éstos, al igual que los ajustes con prensa, son utilizados para meter una pieza dentro de otra de menor tamaño pero en éste caso a la pieza de mayor tamaño se le baja la temperatura para crear una contracción en el material mientras que a la de menor tamaño se le aumenta su temperatura para crear una expansión, al tener ambas piezas en esta situación son ensambladas y una vez que vuelven a temperatura ambiente, quedan perfectamente unidas siendo casi imposible desensamblarlas, generalmente éste método se utiliza en metales debido a sus propiedades.



Fig. 2. 13 Engranés de transmisión de una motocicleta [30]

En cuarto lugar se encuentran otros métodos de sujeción, en estos entran los procesos de puntillado, engrapado y cosido. El puntillado puede ser aplicado a materiales relativamente delgados y de diferentes propiedades, una máquina produce puntillas en forma de “U” las cuales inserta inmediatamente en ambos materiales a unir; por medio de este método pueden fabricarse conexiones eléctricas, encuadernaciones, chapas metálicas entre otros.

El engrapado es un proceso similar al del puntillado, se inserta un alambre en forma de “U” en las piezas a unir y las puntas son dobladas para evitar que el alambre se salga y mantener la unión. En el cosido, por otra parte, utiliza un hilo metálico o de nylon, éste se introduce por medio de una aguja que va perforando los materiales hasta dejarlos completamente unidos.

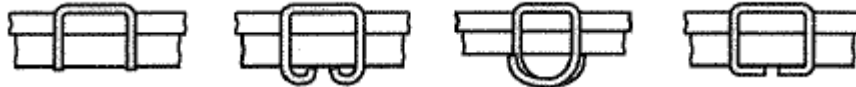


Fig. 2.14 Tipos de puntillado [3]

En el quinto y último lugar de la clasificación de ensambles mecánicos, se encuentran los insertos en moldeo y sujetadores integrales. Los insertos en moldeo son aquellos que forman parte de la pieza desde su fabricación, es decir, son incluidos en el molde de fabricación como pueden ser pestañas, roscas internas o externas, protuberancias con relieve o agujeros.

Los sujetadores integrales se basan en la deformación del componente para crear las uniones, generalmente son utilizados en hojas metálicas, algunos ejemplos de estas uniones son pestañas, dobleces, abrazaderas u hoyuelos.

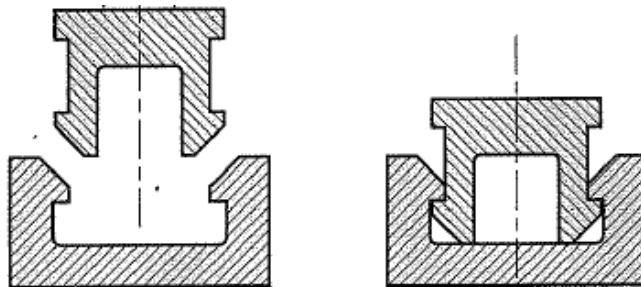


Fig. 2.15 Snap o pestaña [3]

Capítulo 3. EFICIENCIA DE ENSAMBLE MANUAL Y AUTOMÁTICO

Para la realización de la evaluación del ensamble final de la mano CDMIT 2 se consideraron algunas prótesis de miembro superior existentes, fabricadas y diseñadas por alumnos de la UNAM las cuales son resultados de tesis, proyectos y servicios sociales. También se analizaron dos patentes de manos protésicas que son comercializadas a nivel mundial, éstas son consideradas como lo más sofisticado que existe hasta ahora dentro de este ámbito.

Para fines prácticos sólo se analizaron los ensambles más relevantes dentro de cada prótesis que son la inserción de palma, dorso, muñeca, dedos, motores y pernos que son las partes que componen la carcasa.

Las manos distribuidas a nivel mundial, cuentan con un mayor número de piezas y sub-ensambles sin embargo no se tomaron en cuenta ya que es imposible tener una mano de éstas para poder ensamblarla y desensamblarla y conocer así sus eficiencias, es por esto que es importante dar a conocer al lector que la estimación de éstas es sólo para tener una idea de en qué rango se encuentran en comparación con las manos muestra que se tienen.

Para tomar una decisión sobre cuál será el diseño para ensamble final del proyecto se utilizó el método de Boothroyd, ya que, alrededor del mundo es el más usado por grandes empresas como Motorola, pues, gracias a él las reducciones de costos han sido millonarias, como mencionamos, se basa en un análisis de cada sub-ensamble para conocer que tan eficiente es el ensamble final el cual se define por tiempos de operación, costos de uso de máquina, entre otros.

Se obtuvieron eficiencias tanto de diseño de ensamble manual como de ensamble automático, debido a que se trata de un prototipo de mano protésica, la eficiencia que más nos incumbe es la de ensamble manual ya que ésta será ensamblada y desensamblada por un operador, sin embargo no dejamos de mencionar la automática para tener una visión de qué tan eficiente sería si el proceso es automatizado.

El proceso que se llevó a cabo para la obtención de ambas eficiencias, es decir, los pasos a seguir del método de Boothroyd, se explican a continuación.

3.1 Hoja de trabajo para el diseño de ensamble manual

Para poder conocer qué tan eficiente es un método de ensamble manual, Boothroyd se basa en el uso de una hoja de trabajo basada en una serie de consideraciones de diseño con lo que es posible lograr esto, lo cual nos puede ayudar a saber si nuestra propuesta es aceptable y que no represente una pérdida de tiempo y por lo tanto de dinero.

En la primera columna de la tabla se solicita el número de parte, ésta depende del número de piezas que constituyan a nuestro producto final.

En la segunda columna es necesario colocar el número de veces que la operación va a llevarse a cabo consecutivamente, por ejemplo, si tenemos una hoja cuadrada de madera que lleva un tornillo en cada esquina, el número que deberá ponerse será el cuatro, ya que la operación de introducir cada tornillo es llevado a cabo cuatro veces.

En la tercera columna se solicita un código de dos dígitos de la tabla de manipulación manual, éste podemos obtenerlo de la tabla de la página número 59 en la sección de anexos, en ésta se pregunta si la operación puede ser llevada a cabo con una mano, con una mano y ayuda para sujeción, dos manos para manipulación o dos manos debido al gran tamaño de las piezas.

Una vez seleccionada la opción, se hace un análisis de simetría utilizando las letras griegas α y β , en donde α es llamada rotación alfa, que representa la orientación en grados de la pieza, con respecto a un eje perpendicular al eje de inserción, que puede ser rotada y, que a pesar de esto, pueda ser ensamblada sin problemas, por otro lado β o rotación beta, es la orientación en grados que la pieza puede girar con respecto al eje de inserción y ensamblarse correctamente, lo anterior se muestra en la siguiente imagen.

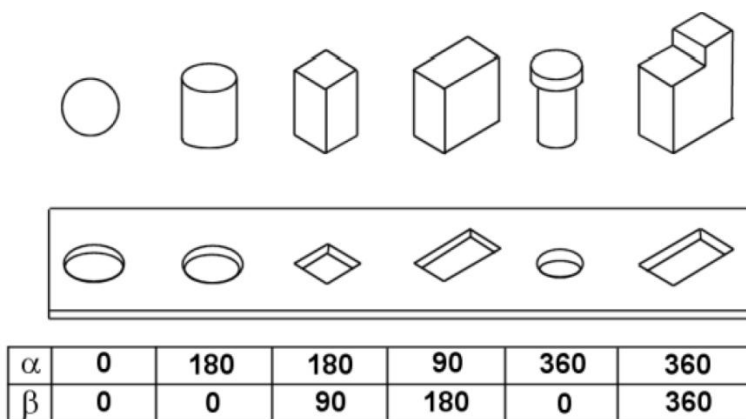


Fig. 3.1 Simetrías Alfa y Beta [2]

Ya que se seleccionaron α y β , el código de dos dígitos puede ser obtenido de la tabla, éste también depende del espesor de la pieza que, como podemos observar en la Fig. 3.2, entre más pequeño sea más grande es el tiempo requerido para su ensamble ya que su manipulación resulta cada vez más difícil, primero se considera la fila y después la columna y el número de intersección será el tiempo que toma realizar la operación, este tiempo es el dato de la cuarta columna.

TIEMPOS ESTIMADOS (segundos)

		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	
LAS PIEZAS PUEDEN SER SUJETADAS Y MANIPULADAS CON UNA SOLA MANO SIN LA AYUDA DE HERRAMIENTAS	(α+β) < 360	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98
	360 ≤ (α+β) < 540	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38
	540 ≤ (α+β) < 720	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7
	(α+β) = 720	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4

Fig. 3.2 Tiempo de manipulación manual [1]

Para la quinta columna se pide un código de dos dígitos, que es obtenido de la tabla de inserción manual que se encuentra en la página 59 en la sección de anexos, en esta tabla tenemos tres opciones: pieza añadida pero no asegurada, pieza asegurada inmediatamente y operación separada, estas opciones dependen si se tienen sujetadores como pernos para unir las piezas o si se tienen sujetadores integrales [3], que nos permiten ensamblar sin necesidad de una operación extra.

Para el primer dígito, se realiza un análisis para saber si la pieza puede alcanzar fácilmente la posición deseada y para el segundo dígito se necesita saber si la pieza puede alinearse y posicionar fácilmente y si ésta ejerce una resistencia a la inserción. La intersección de estos dos números es el tiempo que la operación necesita para llevarse a cabo, siendo este dato el que debe colocarse en la sexta columna.

INSERCIÓN MANUAL - TIEMPOS ESTIMADOS (segundos)

		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	
ADICIÓN DE CUALQUIER PIEZA EN DONDE INTENTAR ASEGURAR LA PIEZA SE ASEGURAN INMEDIATAMENTE	LA PIEZA Y EL HERRAMIENTAL ASOCIADO (INCLUYENDO LAS MANOS) PUEDE ALCANZAR FÁCILMENTE LA POSICIÓN DESEADA	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) NO 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
	DEBIDO A UN ACCESO RESTRINGIDO Y A UNA RESTRICCIÓN EN LA VISIÓN									

Fig. 3.3 Tiempo de inserción manual [1]

En la séptima y octava columna se hace uso de ciertas fórmulas ya establecidas las cuales operan datos obtenidos en las columnas anteriores, la séptima columna realiza una suma de los tiempos obtenidos en las columnas 4 y 6 y después el resultado es multiplicado por dos, esto nos da como resultado el tiempo de operación en segundos. En la octava columna se multiplica por 0.4 el dato obtenido de la columna 7 dándonos como resultado el costo de la operación.

$$\text{Tiempo de operación [seg]} = 2 * (\text{tiempo de manipulación manual} + \text{tiempo de inserción manual})$$

$$\text{Costo de operación [centavos de dólar]} = 0.4 * (\text{tiempo de operación})$$

En la novena columna se hace una estimación de número mínimo de piezas, este dato se obtiene respondiendo sí o no a tres preguntas, si la respuesta es sí en al menos una de ellas se coloca un uno y si es no se coloca un cero, las preguntas son las siguientes:

1.- Durante la operación la pieza se mueve en relación a las piezas ya ensambladas. Solo movimientos bruscos deben ser considerados ya que movimientos delicados pueden deberse a elementos elásticos.

2.- ¿Debe la pieza ser de un material diferente o aislada de las otras piezas ya ensambladas? Depende de las propiedades del material.

3.- ¿Debe la parte ser separada de las otras ya ensambladas porque de otra manera un ensamble o desensamble de otras partes separadas podría ser imposible?

Una vez habiendo llenado las nueve columnas para cada uno de los sub-ensambles existentes que forman el producto final se puede conocer la eficiencia del diseño para ensamble, ésta es obtenida sumando primero los datos de la columna número siete (tiempo de operación) que llamaremos TM, se suman los datos de la columna número 8 llamada OM y se suman de igual forma los datos de la novena columna (costo de operación) que se llamara NM, la eficiencia puede ser ahora calculada con la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de diseño de ensamble manual} = \frac{3 * NM}{TM}$$

La décima columna es usada para saber que sub-ensamble se está analizando ya que aquí podemos colocar el nombre del ensamble.

3.2 Hoja de trabajo para el diseño de ensamble automático

Otra eficiencia que es de gran importancia conocer es la del diseño para ensamble automático, ésta es usada generalmente en la industria en donde los procesos de ensamblado son totalmente automatizados, es decir, son llevados a cabo por máquinas, Boothroyd también nos habla de esta eficiencia y al igual que en la manual, se tiene una serie de tablas y una hoja de trabajo para obtenerla, sin embargo ésta resulta un poco más complicada.

En la primera columna se introduce el número de pieza de nuestro ensamble. En la segunda columna se nos pide el número de veces que la operación va a llevarse a cabo simultáneamente, esto se explicó anteriormente.

En la tercera columna se nos pide un código de cinco dígitos, el primer número del código se obtiene conociendo las dimensiones de la pieza, debido a que la pieza puede contener formas irregulares ésta se introduce en un prisma imaginario, una vez hecho esto se obtienen las medidas de dicho prisma siendo éstas altura, longitud y espesor, si la pieza tiene una forma regular se toman las medidas de ésta sin necesidad del uso del prisma y si la pieza es cilíndrica se utiliza solamente la longitud y el diámetro como se muestra en la siguiente imagen:

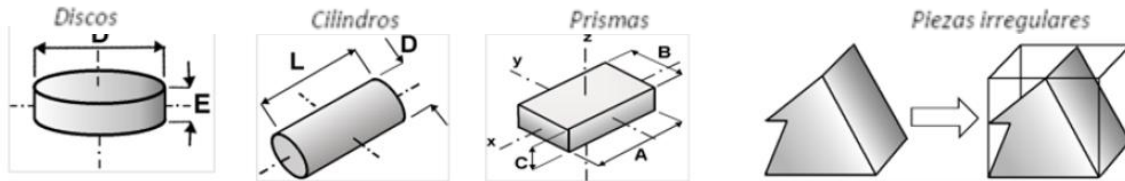


Fig. 3.4 Geometrías [1]

Una vez obtenidas estas medidas se relacionan entre sí por medio de una división, esto nos indica si la pieza es un disco, un cilindro corto, un cilindro largo, plana, larga o cúbica, el número que se obtenga corresponderá a un número ya establecido que será nuestro primer número del código, como se muestra en las siguientes imágenes.

		Primer número del código
Rotacionales	Discos $L/D < 0.8$	0
	Cilindros cortos $0.8 \leq L/D \leq 1.5$	1
	Cilindros largos $L/D > 1.5$	2
No rotacionales (prisma)	Planos $A/B \leq 3$ $A/C > 4$	6
	Largos $A/B > 3$	7
	Cúbicos $A/B \leq 3$ $A/C \leq 4$	8

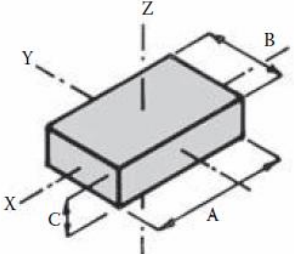
Fig. 3.5 Relación de dimensiones [1]

Para los siguientes dos números se hace uso de las tablas de manipulación automática para piezas rotacionales y no rotacionales, estas tablas podemos encontrarlas en la página 61 en la sección de anexos, una vez conocido el tipo de pieza se utiliza una u otra tabla, en el caso de piezas no rotacionales, es decir prismáticas, el segundo dígito se obtiene realizando un análisis en el cual se pregunta si la pieza tiene simetría de 180 grados con respecto a algún eje de inserción pudiendo ser éste "x", "y" o "z", o si la orientación de la pieza depende de algún rasgo como ranuras o chaflanes.

Para el tercer dígito, se pregunta si la orientación de la pieza está definida por más de una característica que pueda ser paralela a alguno de los ejes mencionados o si ésta está definida por agujeros o huecos ocultos, es decir, que no pueden verse en la silueta.

El cuarto y quinto números se obtienen de la tabla de Manipulación Automática/Costo Adicional de Alimentación, esta tabla se encuentra en la página 64 en la sección de anexos. En ésta se pregunta si la pieza a ensamblar resulta ser muy pequeña o abrasiva, si ésta puede llegar a traslaparse con otras a la hora de tomarla, si es o no delicada y si es flexible, esto por el lado de las filas, en las columnas, que son el quinto dígito, se pregunta si la pieza se puede llegar a enredar con otras, si ésta es ligera o si es pegajosa. Con lo anterior se obtiene el código de cinco dígitos completo de la columna tres.

En la columna número cuatro se pide la eficiencia de orientación OE, ésta es obtenida de la intersección de los dos dígitos, segundo y tercero, de la tabla de manipulación automática para piezas rotacionales o no rotacionales, se encuentra en la primera columna y depende del tipo de pieza que se tenga, Fig.3.6.



Code the main feature, or if orientation is defined by more than one feature, then code the feature that gives the largest third digit

			Steps or chamfers (2) parallel to -			Through grooves (2) parallel to -			Holes or recesses > 0.1B (cannot	Other - including slight asymmetry (3) fea-	
			X axis and > 0.1C	Y axis and > 0.1C	Z axis and > 0.1B	X axis and > 0.1C	Y axis and > 0.1C	Z axis and > 0.1B			
			0	1	2	3	4	5			
Part has 180° symmetry about one axis only (1)	About X axis	1	0.4	1	0.6	1	0.4	1.5	0.4	1	0.3
			0.5	1	0.15	1	0.25	2	0.5	1	0.2
			0.4	1	0.6	1	0.4	2	0.2	1	0.3
	About Y axis	2	0.4	1	0.3	1	0.4	1.5	0.5	1	0.3
			0.4	1	0.2	1	0.25	2	0.4	1	0.2
			0.5	1	0.15	1	0.5	2	0.2	1	0.1
	About Z axis	3	0.4	1	0.3	1	0.4	1.5	0.4	1	0.3
			0.3	1	0.2	1	0.25	2	0.3	1	0.2
			0.4	1	0.2	1	0.4	2	0.2	1	0.15

Key:

	E	C _r
6	0.7	1
7	0.45	1.5
8	0.3	2

First digit

Fig. 3.6 Eficiencia de orientación [1]

En la quinta columna nos piden el costo de alimentación relativa CR, que es la suma de FC y DC, en dónde FC es obtenido de la tabla mostrada en la imagen anterior y DC se obtiene de la siguiente tabla mostrada siendo la intersección de los dígitos 4 y 5 del código de cinco dígitos.

AUTOMATIC HANDLING-ADDITIONAL FEEDER COSTS

FIGURES TO BE ADDED TO C_r		Parts will not tangle or nest				Tan
		Not light		Light		Not
d non-abrasive	Parts do not tend to overlap during feeding	Not delicate	Not sticky	Sticky	Not sticky	Sticky
			0	0	1	2
1	2	3	4	5	6	
2	3	4	5	6	7	
3	4	5	6	7	8	

Key:	
E	C_r
6	0.7
7	0.45
8	0.3

Fig. 3.7 Costo de alimentación [1]

En la sexta columna se encuentra la velocidad básica máxima del alimentador o FM, ésta se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$FM = 1500 * \frac{OE}{\text{Longitud de la pieza } (L)}$$

En la séptima columna tenemos el índice de dificultad para la manipulación automática o DF, ésta es obtenida con la siguiente fórmula:

$$DF = \frac{60}{\text{Velocidad requerida de ensamble por minuto } FR \text{ (regularmente 1)}} * CR$$

En la columna número ocho se encuentra el costo de la manipulación automática por pieza o CF, este dato se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$CF = 0.003 * DF$$

Para la columna número nueve se pide un número de dos dígitos que es el código de inserción automática, para este dato se hace uso de la tabla de Inserción Automática/Costo Relativo de Cabezal de Trabajo que se encuentra en la página 65 en la sección de anexos, para obtener el primer dígito se nos pregunta si la pieza es añadida pero no asegurada, si la pieza es añadida y asegurada inmediatamente o si es una operación separada, al igual que en la obtención de la eficiencia de ensamble manual.

Para el primer dígito es necesario saber si la pieza a ensamblar tiene un eje de inserción recto o si viene verticalmente por encima o no, para el segundo dígito debe conocerse si es necesario sujetar la pieza para mantener la posición y orientación, si ésta es fácil de alinear y posicionar y si existe una resistencia a la inserción.

En la columna número diez tenemos el costo relativo del cabezal de trabajo o WC, éste podemos obtenerlo de la inserción de los dos dígitos de la columna nueve como se muestra a continuación:

AUTOMATIC INSERTION-RELATIVE WORKHEAD COST, W_C

Key: PART ADDED but NOT SECURED			After assembly no holding down required to maintain orientation and location (5)				Holding down required during subsequent process(es) to maintain orientation and location (5)				
			Easy to align and position (6)		Not easy to align or position (no features provided for the purpose)		Easy to align and position (6)		Not easy to align or position (no features provided for the purpose)		
			No resistance to insertion	Resistance to insertion (7)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (7)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (7)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (7)	
			0	1	2	3	6	7	8	9	
No final securing is taking place (2)	Straight line insertion	From vertically above	0	1	1.5	1.5	2.3	1.3	2	2	3
		Not from vertically above (3)	1	1.2	1.6	1.6	2.3	1.6	2.1	2.1	3.3
	Insertion not straight line motion (4)	2	2	3	3	4.6	2.7	4	4	6.1	
			No screwing operation or plastic deformation immediately after insertion (snap or press fits, etc.)		Plastic deformation immediately after insertion				Screwing immediately after insertion		
					Plastic bending		Rivetting or similar plastic deformation				
					Not easy to align or position (no	⊕	Not easy to align or position (no				

Fig. 3.8 Costo relativo de cabezal de trabajo [1]

En la columna número once tenemos la dificultad en la velocidad de la inserción automática o DI, ésta se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$DI = \frac{60}{\text{Velocidad requerida de ensamble por minuto FR (regularmente 1)}} * WC$$

En la columna número doce se tiene el costo de la inserción automática por pieza o CI, ésta se obtiene con el dato de la columna anterior mediante la siguiente fórmula:

$$CI = 0.06 * DI$$

Para la columna número trece tenemos el costo de operación en centavos, éste se obtiene mediante el uso de datos contenidos en columnas anteriores ya que es un resultado importante que puede conocerse, se hace uso de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Costo de operación} &= \text{Número de veces que se lleva a cabo la operación} \\ & * (\text{Costo de la manipulación automática por pieza} \\ & + \text{Costo de la inserción automática por pieza}) \end{aligned}$$

Por último tenemos la columna número catorce en donde se formula una serie de preguntas las cuales deben ser respondidas con un sí o un no, en caso de responder sí a al menos

una de las preguntas se colocará un uno, si se contesta que no a todas las preguntas se colocará un cero, esas preguntas son las siguientes:

1.- Durante la operación la pieza se mueve en relación a las piezas ya ensambladas. Solo movimientos bruscos deben ser considerados ya que movimientos delicados pueden deberse a elementos elásticos.

2.- ¿Debe la pieza ser de un material diferente o aislada de las otras piezas ya ensambladas? Depende de las propiedades del material.

3.- ¿Debe la parte ser separada de las otras ya ensambladas porque de otra manera un ensamble o desensamble de otras partes separadas podría ser imposible?

Para la obtención de la eficiencia del diseño para ensamble automático es necesario realizar la suma de todos los datos obtenidos en la columna número 13, ésta se llama CA, de igual forma se suman los datos obtenidos de la columna número 14 siendo ésta NM, y por último para conocer la eficiencia se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de diseño de ensamble automático} = \frac{0.09 * NM}{CA} * \frac{60}{FR \approx 1}$$

La última columna es usada para colocar el nombre de cada sub-ensamble analizado.

3.3 Mano protésica 1

Mano protésica diseñada y fabricada por alumnos de la UNAM [7]. Ensamble de palma, dorso, dedos y motores a base de sujetadores de rosca externa y pernos.

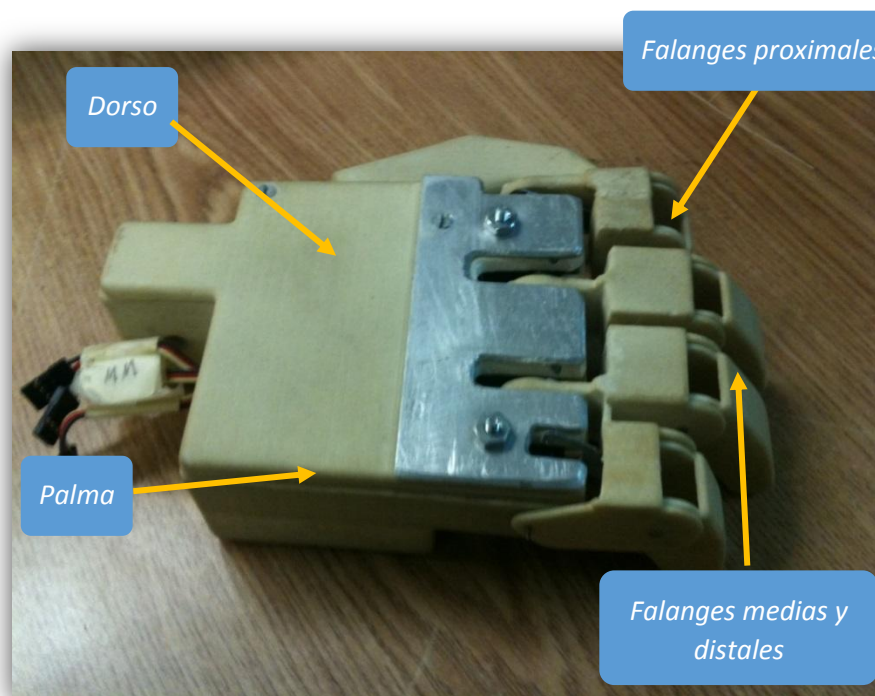


Fig. 3.9 Mano Protésica 1 [7]

Diseño para ensamble manual

1	2	3	4	5	6	7	8	9		Simetría		
Número de pieza	Número de veces que la operación se lleva a cabo	Código de dos dígitos de manipulación manual	Tiempo de manipulación manual	Código de dos dígitos de inserción manual	Tiempo de inserción por parte	Tiempo de operación (s)	Costo de la operación (centavos)	Estimación teórica de la mínima cantidad de piezas	Nombre del ensamble	α	β	$\alpha+\beta$
1	1	30	1.95	00	1.5	3.45	1.38	1	Palma - Dorso	360	360	720
2	1	30	1.95	06	5.5	3.45	1.38	1	Pulgar	360	360	720
3	2	30	1.95	06	5.5	6.9	2.76	1	Falanges media (Índice y medio)	360	360	720
4	4	30	1.95	06	5.5	13.8	5.52	1	Falanges distales	360	360	720
5	1	30	1.95	16	8	9.95	3.98	1	Falanges Media (Anular y meñique)	360	360	720
6	4	30	1.95	00	1.5	13.8	5.52	0	Motores	360	360	720
7	16	11	1.8	30	2	60.8	24.3	1	Pernos	360	0	360
						TM	CM	NM	0.128433821			
						140	56	6	Eficiencia: 12.8%			

Tabla 3.1 Diseño para ensamble manual [1]

Diseño para ensamble automático mano protésica 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Velocidad requerida de ensamble FR (por minuto)	1	Características							
Número de pieza	Número de veces que una operación es terminada simultáneamente	Código de cinco dígitos para la manipulación automática	Eficiencia de orientación, OE	Costo relativo del alimentador, CR=FC+DC	Velocidad básica máxima del alimentador, FM	Índice de dificultad para la manipulación automática, DF	Costo de la manipulación automática por pieza, CF+0.03xDF	Código de inserción automática de dos dígitos	Costo relativo del cabezal de trabajo, WC	Dificultad en la velocidad de la inserción automática, DI	Costo de la inserción automática por pieza, CI=0.06xDI	Costo de operación, centavos (2)x((8)+(12))	Estimación del número mínimo de piezas	Nombre del ensamble	Dimensiones [cm]								
1	1	84000	0.25	4	25	240	7.2	00	1	60	3.6	10.8	1	Palma - Dorso	L	A	H	A/B	A/C	B/C			
2	1	84100	0.15	5	22.5	300	9	00	1	60	3.6	12.6	1	Pulgar	15	11	5	1.4	3	2.2			
3	2	84000	0.25	4	62.5	240	7.2	00	1	60	3.6	21.6	1	Falanges med. (Índice y medio)	10	5	3	2	3.3	1.7			
4	4	71000	0.5	4	150	240	7.2	00	1	60	3.6	43.2	1	Falanges distales	6	2	2	3	3	1			
5	1	84000	0.15	6	45	360	10.8	00	1	60	3.6	14.4	1	Falanges med. (Anular y meñique)	5	1.5	2	3.3	2.5	0.8			
6	4	81000	0.4	1	300	60	1.8	00	1	60	3.6	21.6	0	Motores	5	5	2	1	2.5	2.5			
7	16	20022	0.7	4	1050	240	7.2	30	1.2	72	4.32	184.32	1	Pernos	2	2	1	1	2	2			
													308.52	6	0.105017503			1	0.5				
													CA	NM	Eficiencia: 10.5%								

Tabla 3.2 Diseño para ensamble automático [10]

3.4 Mano protésica 2

Mano protésica diseñada y fabricada por alumnos de la UNAM [6]. Ensamble de palma, dorso y motores a base de sujetadores de rosca externa y sujetadores integrales, ensamble de dedos mediante pernos.

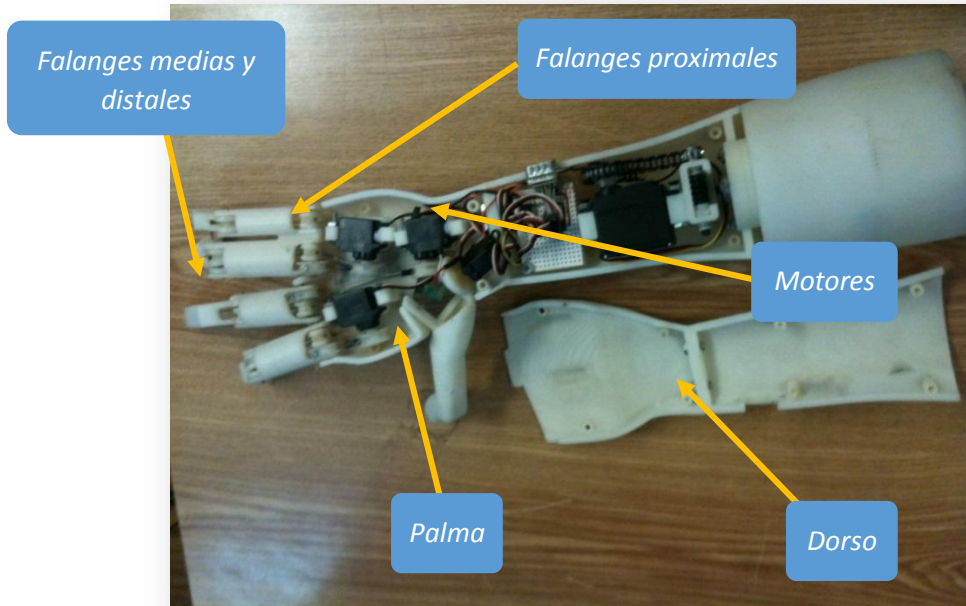


Fig. 3.10 Mano protésica 2 [6]

Diseño para ensamble manual

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nombre del ensamble	Simetría		
										α	β	$\alpha+\beta$
Número de pieza	Número de veces que la operación se lleva a cabo	Código de dos dígitos del manual de manipulación	Tiempo de manipulación manual	Código de dos dígitos del manual de inserción	Tiempo de inserción por parte	Tiempo de operación (s)	Costo de la operación (centavos)	Estimación teórica de la mínima cantidad de piezas				
1	1	30	1.95	06	5.5	7.45	2.98	1	Palma - Dorso	360	360	720
2	1	30	1.95	06	5.5	7.45	2.98	1	Pulgar	360	360	720
3	1	30	1.95	06	5.5	7.45	2.98	1	Índice: Mano-Falange proximal	360	360	720
4	1	30	1.95	06	5.5	7.45	2.98	1	Índice: Falange prox.-Falange med.	360	360	720
5	1	30	1.95	06	5.5	7.45	2.98	1	Medio: Mano-Falange prox.	360	360	720
6	1	30	1.95	06	5.5	7.45	2.98	1	Medio: Falange prox. -Falange med.	360	360	720
7	1	30	1.95	06	5.5	7.45	2.98	1	Anular/Meñique: Mano- Falange prox	360	360	720
8	1	30	1.95	06	5.5	7.45	2.98	1	Anular/Meñique: prox.-med.	360	360	720
9	20	18	3	40	4.5	150	60	1	Pernos	360	0	360
10	4	30	1.95	00	1.5	13.8	5.52	1	Motores	360	360	720
						TM	CM	NM	0.134288272			
						223.4	89.36	10	Eficiencia: 13.4%			

Tabla 3.3 Diseño para ensamble manual[1]

Diseño para ensamble automático mano protésica 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Velocidad requerida de ensamble FR (por minuto)	1	Características					
Número de pieza	Número de veces que una operación es terminada simultáneamente	Código de cinco dígitos para la manipulación automática	Eficiencia de orientación, OE	Costo relativo del alimentador, CR=FC+DC	Velocidad básica máxima del alimentador, FM	Índice de dificultad para la manipulación automática, DF	Costo de la manipulación automática por pieza, CF+0.03xDF	Código de inserción automática de dos dígitos	Costo relativo del cabezal de trabajo, WC	DI	Costo de la inserción automática por pieza, CI=0.06xDI	Costo de operación, centavos (2)x[(8)+(12)]	Estimación del número mínimo de piezas	Nombre del ensamble	Dimensiones [cm]						
1	1	64000	0.25	4	12.5	240	7.2	00	1	60	3.6	10.8	0	Palma - Dorso	L	A	H	A/B	A/C	B/C	
2	1	84602	0.08	4	10	240	7.2	01	1	60	3.6	10.8	1	Pulgar	30	15	2.5	2	12	6	
3	1	74602	0.08	4	15	240	7.2	02	1	60	3.6	10.8	1	Índice: Mano-Falange proximal	12	5	3	2.4	4	2	
4	1	74602	0.08	4	18.462	240	7.2	03	1	60	3.6	10.8	1	Índice: Falange prox.-Falange med.	8	2	1.5	4	5	1	
5	1	74602	0.08	4	13.333	240	7.2	04	1	60	3.6	10.8	1	Medio: Mano-Falange prox.	6.5	1.5	2	4.3	3	1	
6	1	74602	0.08	4	16	240	7.2	05	1	60	3.6	10.8	1	Medio: Falange prox.-Falange med.	9	2	1.5	4.5	6	1	
7	1	64602	0.08	5	17.143	300	9	06	1	60	3.6	12.6	1	Anular/Meñique: mano-prox	7.5	1.5	2	5	4	1	
8	1	66626	0.1	5	18.75	300	9	06	1	60	3.6	12.6	1	Anular/Meñique: prox-med	7	4	1.5	1.8	5	3	
9	20	21002	0.4	3	240	180	5.4	07	0.8	48	2.88	165.6	1	Pernos	8	4	2.5	2	3	2	
10	4	86102	0.15	4	112.5	240	7.2	00	1	60	3.6	43.2	1	Motores	2.5	0.2		17			
												298.8	9	0.162650602	2	2	1	1	2	2	
												CA	NM	Eficiencia: 16.2%							

Tabla 3.4 Diseño para ensamble automático [10]

3.5 Mano protésica 3

Mano protésica diseñada y fabricada por alumnos de la UNAM [8]. Ensamble de palma, dorso y motores a base de sujetadores de rosca externa y sujetadores integrales, ensamble de dedos mediante sujetadores integrales.

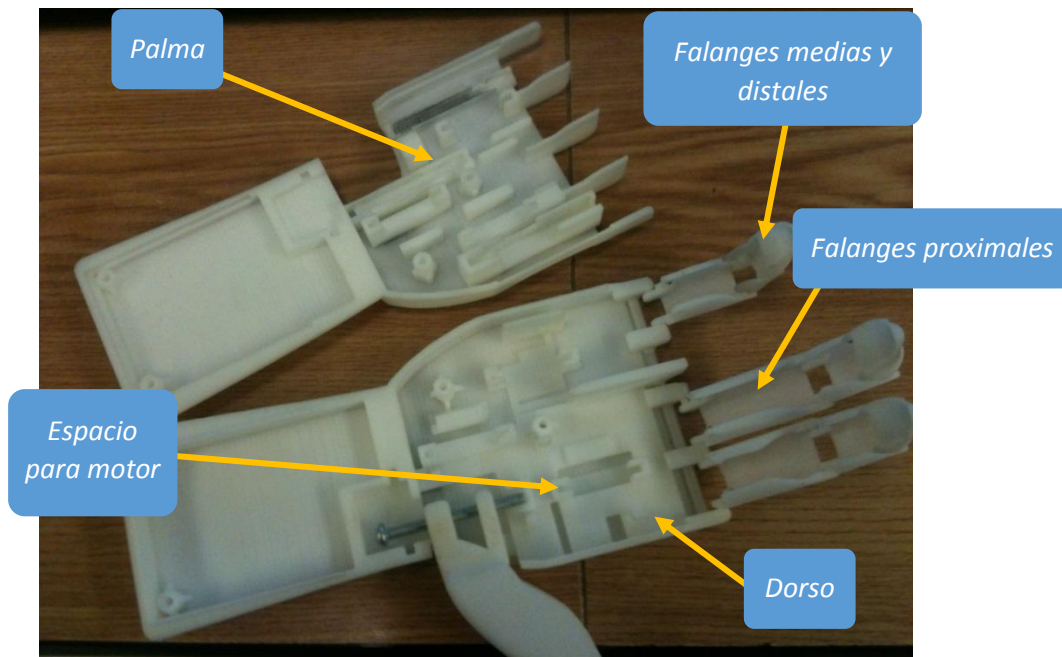


Fig. 3.11 Mano protésica 3 [8]

Diseño para ensamble manual

1	2	3	4	5	6	7	8	9		Simetría		
Número de pieza	Número de veces que la operación se lleva a cabo	Código de dos dígitos de manipulación manual	Tiempo de manipulación manual	Código de dos dígitos de inserción manual	Tiempo de inserción por parte	Tiempo de operación (s)	Costo de la operación (centavos)	Estimación teórica de la mínima cantidad de piezas	Nombre del ensamble	α	β	$\alpha + \beta$
1	1	30	1.95	01	2.5	4.45	1.78	1	Dorso-Palma	360	360	720
2	4	30	1.95	31	5	27.8	11.12	1	Dorso-Falange proximal	360	360	720
3	4	30	1.95	31	5	27.8	11.12	1	Falange proximal-Falange media	360	360	720
4	4	30	1.95	31	5	27.8	11.12	1	Falange media-Falange distal	360	360	720
5	1	30	1.95	01	2.5	4.45	1.78	1	Pulgar	360	360	720
6	4	30	1.95	00	1.5	13.8	5.52	1	Motores	360	360	720
7	8	11	1.8	30	2	30.4	12.16	1	Tornillos	360	0	360
						TM	CM	NM	0.153846154			
						136.5	54.6	7	Eficiencia: 15.3%			

Tabla 3.5 Diseño para ensamble manual [1]

Diseño para ensamble automático mano protésica 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Velocidad requerida de ensamble FR (por minuto)	1	Características					
Número de pieza	Número de veces que una operación es terminada simultáneamente	Código de cinco dígitos para la manipulación automática	Eficiencia de orientación, OE	Costo relativo del alimentador, CR=FC+DC	Velocidad básica máxima del alimentador, FM	Índice de dificultad para la manipulación automática, DF	Costo de la manipulación automática por pieza, CF+0.03×DF	Código de inserción automática de dos dígitos	Costo relativo del cabezal de trabajo, WC	Dificultad en la velocidad de la inserción automática, DI	Costo de la inserción automática por pieza, CI=0.06×DI	Costo de operación, centavos (2)×[(8)+(12)]	Estimación del número mínimo de piezas	Nombre del ensamble	Dimensiones [cm]						
1	1	64300	0.1	1	6	60	1.8	0 1	1.5	90	5.4	7.2	1	Dorso-Palma	L	A	H	A/B	A/C	B/C	
2	4	81602	0.4	4	150	240	7.2	31	1.9	114	6.84	56.16	1	Dorso-Falange proximal	25	10	2	2.5	13	5	
3	4	81602	0.4	4	200	240	7.2	31	1.9	114	6.84	56.16	1	Falange proximal-Falange media	4	2	3	2	1	0.7	
4	4	81602	0.4	4	300	240	7.2	31	1.9	114	6.84	56.16	1	Falange media-Falange distal	3	2	3	1.5	1	0.7	
5	1	84602	0.1	4	21.43	240	7.2	0 0	1	60	3.6	10.8	1	Pulgar	2	2	2	1	1	1	
6	4	86602	0.1	5	75	300	9	0 0	1	60	3.6	50.4	1	Motor	7	7	7	1	1	1	
7	8	20022	0.7	4	1050	240	7.2	30	1.2	72	4.32	92.16	1	Pernos	2	2	2	1	1	1	
													329.04	7	0.11487965						
													CA	NM	Eficiencia: 11.5%						

Tabla 3.6 Diseño para ensamble automático [10]

3.6 Mano protésica 4

Mano protésica diseñada y fabricada por alumnos de la UNAM [8]. Ensamble de palma, dorso, pulgar y motores mediante sujetadores roscados, ensamble de dedos mediante sujetadores integrales.

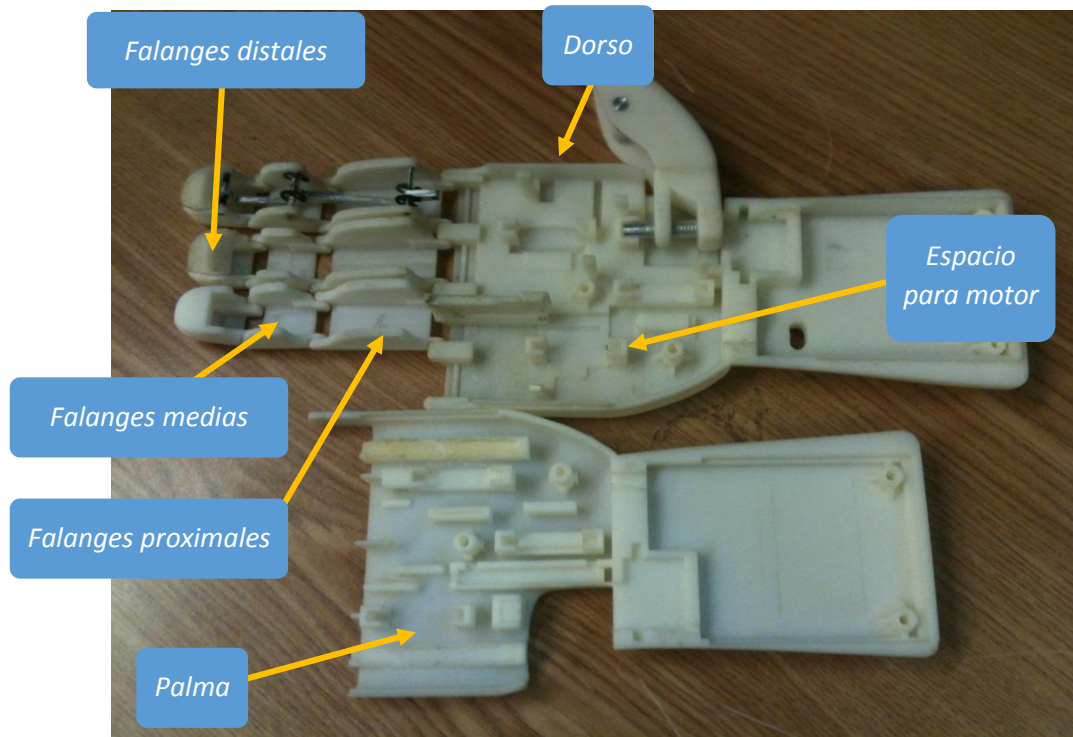


Fig. 3.12 Mano protésica 4 [8]

Diseño para ensamble manual

1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Número de pieza	Número de veces que la operación se lleva a cabo	Código de dos dígitos de manipulación manual	Tiempo de manipulación manual	Código de dos dígitos de inserción manual	Tiempo de inserción por parte	Tiempo de operación (s)	Costo de la operación (centavos)	Estimación teórica de la mínima cantidad de piezas	Nombre del ensamble	α	β	$\alpha+\beta$
1	1	30	1.95	0 1	2.5	4.45	1.78	1	Dorso-Palma	360	360	720
2	4	30	1.95	31	5	27.8	11.12	1	Dorso-Falange Proximal	360	360	720
3	4	30	1.95	31	5	27.8	11.12	1	Falange Proximal - Falange Media	360	360	720
4	4	30	1.95	31	5	27.8	11.12	1	Falange Media -Falange Distal	360	360	720
5	1	30	1.95	0 0	1.5	3.45	1.38	1	Pulgar-Dorso	360	360	720
6	4	30	1.95	0 0	1.5	13.8	5.52	1	Motor	360	360	720
7	8	11	1.8	30	2	30.4	12.16	1	Pernos	360	0	360
						TM	CM	NM	0.171265461			
						105.1	42.04	6	Eficiencia: 17.1%			

Tabla 3.7 Diseño para ensamble manual [1]

Diseño para ensamble automático mano protésica 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Velocidad requerida de ensamble FR (por minuto)	1	Características					
Número de pieza	Número de veces que una operación es terminada simultáneamente	Código de cinco dígitos para la manipulación automática	Eficiencia de orientación, OE	Costo relativo del alimentador, CR=F+C+DC	Velocidad básica máxima del alimentador, FM	Índice de dificultad para la manipulación automática, DF	Costo de la manipulación automática por pieza, CF=0.03XDF	Código de inserción automática de dos dígitos	Costo relativo de cabezal de trabajo, WC	Dificultad en la velocidad de la inserción automática, DI	Costo de la inserción automática por pieza, CI=0.06XDI	Costo de operación, centavos (2)X[(8)+(12)]	Estimación del número mínimo de piezas	Nombre del ensamble	Dimensiones [cm]						
1	1	64202	0.15	4	9	240	7.2	00	1	60	3.6	10.8	1	Palma - Dorso	L	A	H	A/B	A/C	B/C	
2	4	71602	0.25	5	34.09	300	9	30	1.2	72	4.32	53.28	1	Mano-Falange proximal	25	10	3.5	2.5	7	3	
3	4	81602	0.1	5	75	300	9	30	1.2	72	4.32	53.28	1	Falange proximal-Falange media	11	2	2	5.5	6	1	
4	4	81602	0.1	6	75	360	10.8	30	1.2	72	4.32	60.48	1	Falange media -Falange distal	2	2	2	1	1	1	
5	1	81002	0.4	3	100	180	5.4	30	1.2	72	4.32	9.72	1	Pulgar-Dorso	2	2	1.5	1	1	1	
6	4	81202	0.4	4	300	240	7.2	00	1	60	3.6	43.2	1	Motor	6	6	6	1	1	1	
7	8	20022	0.9	4	1350	240	7.2	30	1.2	72	4.32	92.16	1	Pernos	2	2	2	1	1	1	
													230.76	7	0.163806552						
													CA	NM	Eficiencia: 16.4%						

Tabla 3.8 Diseño para ensamble automático [10]

3.7 Mano protésica 5

Mano protésica diseñada y fabricada por alumnos de la UNAM [9]. Ensamble de motores, palma, dorso y pulgar mediante sujetadores roscados, ensamble de dedos mediante sujetadores integrales.

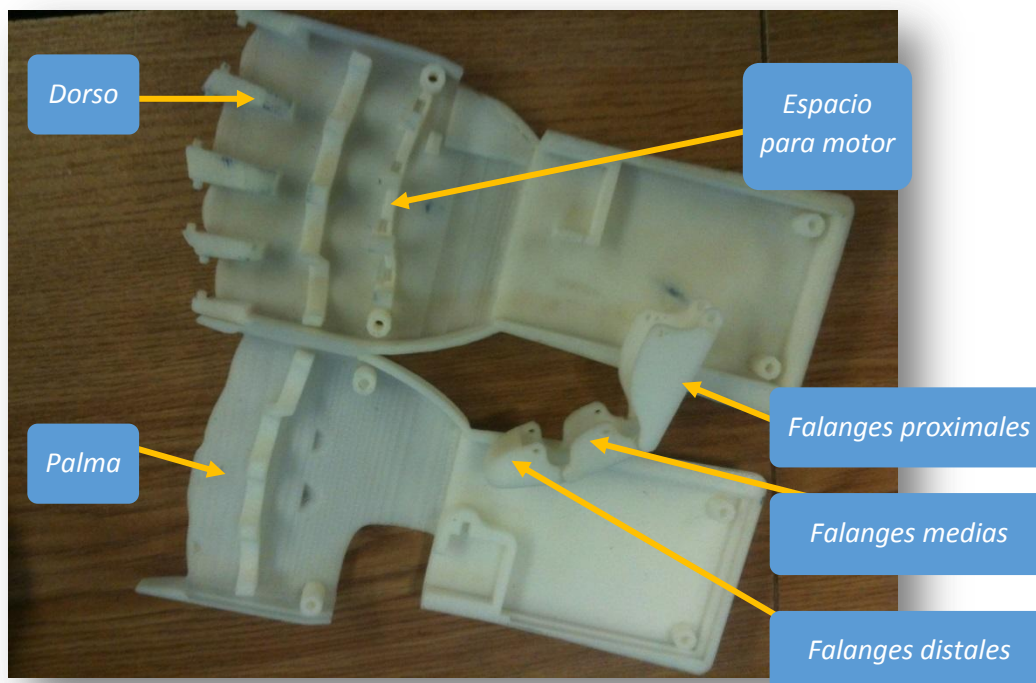


Fig. 3.13 Mano protésica 5 [9]

Diseño para ensamble manual

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nombre del ensamble	Simetría		
										α	β	$\alpha+\beta$
Número de pieza	Número de veces que la operación se lleva a cabo	Código de dos dígitos de manipulación manual	Tiempo de manipulación manual	Código de dos dígitos de inserción manual	Tiempo de inserción por parte	Tiempo de operación (s)	Costo de la operación (centavos)	Estimación teórica de la mínima cantidad de piezas				
1	1	30	1.95	30	2	3.95	1.58	1	Dorso-Palma	360	360	720
2	4	30	1.95	31	5	27.8	11.12	1	Dorso-Falange Proximal	360	360	720
3	4	30	1.95	31	5	27.8	11.12	1	Falange Proximal - Falange Media	360	360	720
4	4	30	1.95	31	5	27.8	11.12	1	Falange Media-Falange Distal	360	360	720
5	1	30	1.95	00	1.5	3.45	1.38	1	Pulgar-Dorso	360	360	720
6	4	30	1.95	00	1.5	13.8	5.52	1	Motor	360	360	720
7	8	11	1.8	30	2	30.4	12.16	1	Tornillos	360	0	360
						TM	CM	NM	0.155555556			
						135	54	7	Eficiencia: 15.5%			

Tabla 3.9 Diseño para ensamble manual [1]

Diseño para ensamble automático mano protésica 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Velocidad requerida de ensamble FR (por minuto)	1	Características					
Número de pieza	Número de veces que una operación es terminada simultáneamente	Código de cinco dígitos para la manipulación automática	Eficiencia de orientación, OE	Costo relativo del alimentador, CR=FC+DC	Velocidad básica máxima del alimentador, FM	Índice de dificultad para la manipulación automática, DF	Costo de la manipulación automática por pieza, CF+0.03xDF	Código de inserción automática de dos dígitos	Costo relativo de cabezal de trabajo, WC	Dificultad en la velocidad de la inserción automática, DI	Costo de la inserción automática por pieza, CI=0.06xDI	Costo de operación, centavos (2)x[(8)+(12)]	Estimación del número mínimo de piezas	Nombre del ensamble	Dimensiones [cm]						
1	1	64002	0.25	3	15	180	5.4	00	1	60	3.6	9	1	Dorso-Palma	L	A	H	A/B	A/C	B/C	
2	4	81602	0.1	4	30	240	7.2	30	1.2	72	4.3	46.08	1	Dorso-Falange proximal	25	10	2.5	2.5	10	4	
3	4	81602	0.1	4	50	240	7.2	30	1.2	72	4.3	46.08	1	Falange proximal - Falange media	5	2	2	2.5	2.5	1	
4	4	81602	0.1	4	50	240	7.2	30	1.2	72	4.3	46.08	1	Falange media-Falange distal	3	2	2	1.5	1.5	1	
5	1	84602	0.08	4	17.1	240	7.2	00	1	60	3.6	10.8	1	Pulgar	3	2	2	1.5	1.5	1	
6	4	82002	0.5	3	375	180	5.4	00	1	60	3.6	36	1	Motor	7	7	7	1	1	1	
7	8	20022	0.9	4	1350	240	7.2	31	1.9	114	6.8	112.3		Tornillos	2	2	2	1	1	1	
												306.4	6	0.105757932	1	0.5		2			
													CA	NM	Eficiencia: 10.6%						

Tabla 3.10 Diseño para ensamble automático [10]

3.8 Mano protésica 6

Mano protésica diseñada por alumnos del IPN fabricada en la UNAM [11]. Ensamble dedos, dorso y motores mediante sujetadores roscados, ensamble de dedos mediante pernos.

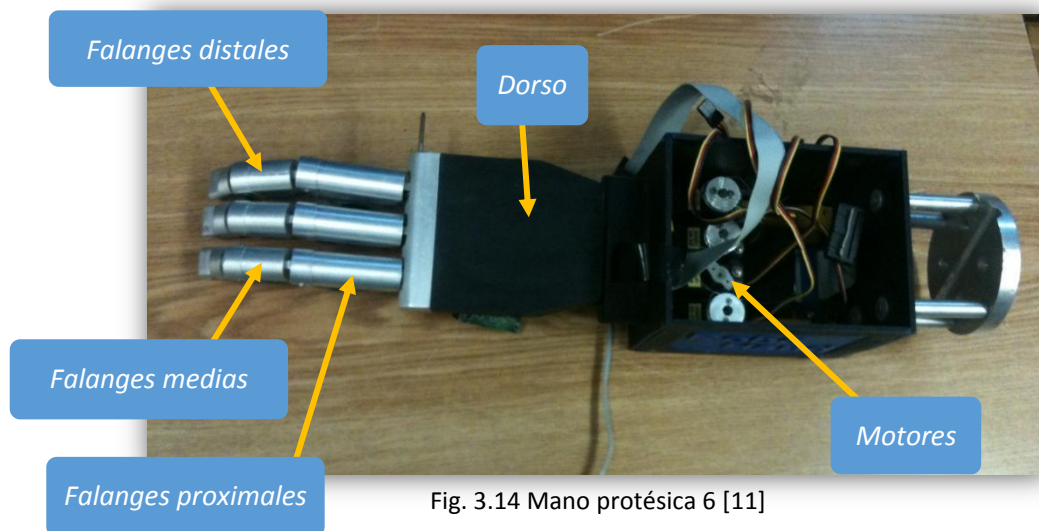


Fig. 3.14 Mano protésica 6 [11]

Diseño para ensamble manual

1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Número de pieza	Número de veces que la operación se lleva a cabo	Código de dos dígitos de manipulación manual	Tiempo de manipulación manual	Código de dos dígitos de inserción manual	Tiempo de inserción por parte	Tiempo de operación (s)	Costo de la operación (centavos)	Estimación teórica de la mínima cantidad de piezas	Nombre del ensamble	α	β	$\alpha+\beta$
1	1	10	1.5	00	1.5	3	1.2	1	Dorso-Caja de motores	360	0	360
2	3	30	1.95	00	1.5	10.35	4.14	1	Dorso-Falange proximal	360	360	720
3	3	30	1.95	00	1.5	10.35	4.14	1	Falange proximal-Falange media	360	360	720
4	3	30	1.95	00	1.5	10.35	4.14	1	Falange media-Falange distal	360	360	720
5	4	20	1.8	00	1.5	13.2	5.28	0	Motores	360	180	540
6	20	11	1.8	31	5	136	54.4	1	Pernos	360	0	360
						183.2	73.3	5	0.081855389			
						TM	CM	NM	Eficiencia: 8.2%			

Tabla 3.11 Diseño para ensamble manual [1]

Diseño para ensamble automático mano protésica 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Velocidad requerida de ensamble FR (por minuto)	1	Características					
Número de pieza	Número de veces que una operación es terminada simultáneamente	Código de cinco dígitos para la manipulación automática	Eficiencia de orientación, OE	Costo relativo del alimentador, CR=FC+DC	Velocidad básica máxima del alimentador, FM	Índice de dificultad para la manipulación automática, DF	Costo de la manipulación automática por pieza, CF+0.03xDF	Código de inserción automática de dos dígitos	Costo relativo de cabezal de trabajo, WC	Dificultad en la velocidad de la inserción automática, DI	Costo de la inserción automática por pieza, CI=0.06xDI	Costo de operación, centavos (2)x[(8)+(12)]	Estimación del número mínimo de piezas	Nombre del ensamble	Dimensiones [cm]						
1	1	61600	0.4	2	50	120	3.6	00	1	60	3.6	7.2	1	Dorso-Caja de motores	L	A	H	A/B	A/C	B/C	
2	3	71602	0.3	4	62.5	240	7.2	00	1	60	3.6	32.4	1	Dorso-Falange proximal	12	8	2	1.5	6	4	
3	3	81602	0.1	4	50	240	7.2	00	1	60	3.6	32.4	1	Falange proximal –Falange media	6	1.5	1.5	4	4	1	
4	3	81602	0.1	4	100	240	7.2	00	1	60	3.6	32.4	1	Falange media- Falange distal	3	1.5	1.5	2	2	1	
5	4	81202	0.4	4	120	240	7.2	00	1	60	3.6	43.2	1	Motores	1.5	1.5	1.5	1	1	1	
6	20	20022	0.9	4	1350	240	7.2	30	1.2	72	4.32	230.4	1	Pernos	5	2	2	2.5	2.5	1	
												378	6	0.085714286	1	0.5		2			
												CA	NM	Eficiencia: 8.5%							

Tabla 3.12 Diseño para ensamble automático [10]

3.9 Mano protésica 7 (BeBionic 3)

A continuación se realizará el análisis para ensamble tanto manual como automático de la mano protésica “BeBionic 3” [4] fabricada y distribuida por la marca “RSL Steeper” en Estados Unidos de América y Reino Unido. Ensamble de dorso, palma, dedos y motores mediante sujetadores roscados y pernos.



Fig 3.15 BeBionic 3 [16]

Diseño para ensamble manual.

1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Número de pieza	Número de veces que la operación se lleva a cabo	Código de dos dígitos de manipulación manual	Tiempo de manipulación manual	Código de dos dígitos de inserción manual	Tiempo de inserción por parte	Tiempo de operación (s)	Costo de la operación (centavos)	Estimación teórica de la mínima cantidad de piezas	Nombre del ensamble	α	β	$\alpha+\beta$
1	1	10	1.5	30	2	3.5	1.4	1	Mano-Ante Brazo	360	0	360
2	1	30	1.95	30	2	3.95	1.58	1	Palma elástica	360	360	720
3	1	30	1.95	30	2	3.95	1.58	1	Dorso	360	360	720
4	6	30	1.95	00	1.5	20.7	8.28	1	Motor	360	360	720
5	5	30	1.95	00	1.5	17.25	6.9	1	Falange proximal - Mano	360	360	720
6	5	30	1.95	00	1.5	17.25	6.9	1	Flange Med. Dist.- Falange Prox.	360	360	720
7	32	13	2.06	10	4	193.92	77.568	1	Pernos	360	0	360
						TM	CM	NM	0.080608015			
						260.5	104.2	7	Eficiencia 8%			

Tabla 3.13 Diseño para ensamble manual [1]

Diseño para ensamble automático BeBionic 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Velocidad requerida de ensamble FR (por minuto)	1	Características					
Número de pieza	Número de veces que una operación es terminada simultáneamente	Código de cinco dígitos para la manipulación automática	Eficiencia de orientación, OE	Costo relativo del alimentador, CR=FC+DC	Velocidad básica máxima del alimentador, FM	Índice de dificultad para la manipulación automática, DF	Costo de la manipulación automática por pieza, CF+0.03xDF	Código de inserción automática de dos dígitos	Costo relativo del cabezal de trabajo, WC	Dificultad en la velocidad de la inserción automática, DI	Costo de la inserción automática por pieza, CI=0.06xDI	Costo de operación, centavos (2)x[(8)+(12)]	Estimación del número mínimo de piezas	Nombre del ensamble	Dimensiones [cm]						
1	1	84000	0.15	1	11.25	60	1.8	30	1.2	72	4.32	6.12	1	Mano-Antebrazo	L	A	H	A/B	A/C	B/C	
2	1	84612	0.08	6	13.33	360	10.8	30	1.2	72	4.32	15.12	1	Palma elástica	20	9.4	5	2.1	4	2	
3	1	84002	0.15	3	25	180	5.4	00	1	60	3.6	9	1	Dorso	9	9.2	9	1	1	1	
4	6	81002	0.4	3	150	180	5.4	00	1	60	3.6	54	1	Motor	9	9.2	2.5	1	3.6	4	
5	5	81002	0.4	3	120	180	5.4	00	1	60	3.6	45	1	Falange Proximal - Mano	4	1	1	4	4	1	
6	5	81002	0.4	3	100	180	5.4	00	1	60	3.6	45	1	Falange Media y Distal-Falange Proximal	5	1.5	1.5	3.3	3.3	1	
7	32	10022	0.7	4	1500	240	7.2	30	1.2	72	4.32	368.64	0	Pernos	6	1.5	1.5	4	4	1	
												542.88	6	0.059681698	0.7	0.5		1.4			
													CA	NM	Eficiencia: 6%						

Tabla 3.14 Diseño para ensamble automático [10]

3.10 Mano protésica 8 (I-Limb Ultra)

A continuación se realizará el análisis para ensamble tanto manual como automático de la mano protésica “I-Limb Ultra” [5] fabricada y distribuida por la marca “Touch Bionics” en Estados Unidos de América desde el año 2011. Ensamble de dorso, dedos y motores mediante sujetadores roscados y pernos.



Fig. 3.16 I-limb Ultra [17]

Diseño para ensamble manual

1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Número de pieza	Número de veces que la operación se lleva a cabo	Código de dos dígitos de manipulación manual	Tiempo de manipulación manual	Código de dos dígitos de inserción manual	Tiempo de inserción por parte	Tiempo de operación (s)	Costo de la operación (centavos)	Estimación teórica de la mínima cantidad de piezas	Nombre del ensamble	α	β	$\alpha+\beta$
1	1	10	1.5	30	2	3.5	1.4	1	Dorso - Muñeca	360	0	360
2	5	30	1.95	00	1.5	17.25	6.9	1	Dorso - Falanges Proximales	360	360	720
3	5	30	1.95	00	1.5	17.25	6.9	1	Falanges Proximales- Falanges Distales.	360	360	720
4	5	30	1.95	00	1.5	17.25	6.9	1	Motores	360	360	720
5	20	31	2.25	30	2	85	34	1	Pernos	360	0	360
						TM	OM	NM	0.106951872			
						140.25	56.1	5	Eficiencia: 10.7%			

Tabla 3.15 Diseño para ensamble manual [1]

Diseño para ensamble automático I-limb Ultra

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Velocidad requerida de ensamble FR (por minuto)	1	Características					
Número de pieza	Número de veces que una operación es terminada simultáneamente	Código de cinco dígitos para la manipulación automática	Eficiencia de orientación, OE	Costo relativo del alimentador, CR=FC+DC	Velocidad básica máxima del alimentador, FM	Índice de dificultad para la manipulación automática, DF	Costo de la manipulación automática por pieza, CF=0.03xDF	Código de inserción automática de dos dígitos	Costo relativo de cabezal de trabajo, WC	Dificultad en la velocidad de la inserción automática, DI	Costo de la inserción automática por pieza, CI=0.06xDI	Costo de operación, centavos (2)x[(8)+(12)]	Estimación del número mínimo de piezas	Nombre del ensamble	Dimensiones [cm]						
1	1	71002	0.5	3	59.055	180	5.4	30	1.2	72	4.32	9.72	1	Dorso - Muñeca	L	A	H	A/B	A/C	B/C	
2	5	81002	0.4	3	120	180	5.4	00	1	60	3.6	45	1	Dorso - Falange proximal	13	3	3	4	4.2	1	
3	5	81002	0.4	3	85.714	180	5.4	00	1	60	3.6	45	1	Falange proximal-Falange distal	5	2	2	3	2.5	1	
4	5	81002	0.4	3	200	180	5.4	00	1	60	3.6	45	1	Motores	7	2	2	4	3.5	1	
5	20	81022	0.4	4	600	240	7.2	30	1.2	72	4.32	230.4	1	Pernos	3	2	2	2	1.5	1	
												375.12	5	0.071976967	1	0.5	0.5	2	2	1	
												CA	NM	Eficiencia: 7.2%							

Tabla 3.16 Diseño para ensamble automático [10]

Capítulo 4. RESULTADOS DE PRÓTESIS MUESTRA

4.1 Tabla de Resultados

A continuación se muestra una tabla con los resultados obtenidos en el análisis anterior:

<i>Mano analizada</i>	<i>Tiempo de operación [s]</i>	<i>Eficiencia Manual [%]</i>	<i>Eficiencia Automática [%]</i>
<i>Mano protésica 1</i>	140	12.8	10.5
<i>Mano protésica 2</i>	223.4	13.4	16.2
<i>Mano protésica 3</i>	136.5	15.3	11.5
<i>Mano protésica 4</i>	105.1	17.1	16.4
<i>Mano protésica 5</i>	135	15.5	10.6
<i>Mano protésica 6</i>	183.2	8.2	8.5
<i>Mano protésica 7 (Bebionic)</i>	260.5	8	6
<i>Mano protésica 8 (Ilimb Ultra)</i>	140	10.7	7.2

Tabla 4.1 Recopilación de resultados

4.2 Análisis de Resultados

Después de haber resumido los resultados obtenidos en las hojas de cálculo en la tabla anterior, podemos realizar un análisis para poder proponer mejoras para los diseños de manos protésicas existentes y para el diseño de nuestro producto final la mano CDMIT 2.

Marcado con rojo podemos observar el resultado de la mano que tuvo una mayor eficiencia tanto manual como automática, la mano número 4 obtuvo una eficiencia manual de 17.1% siendo ésta la más alta seguida por la mano número 4 con una diferencia de sólo 0.1% y una eficiencia automática de 15.4% porcentaje que, como podemos ver, lograron tres de las manos y con un tiempo de operación de tan sólo 105.1 segundos, lo que la hace la operación llevada a cabo en el menor tiempo.

Por otro lado, la mano analizada que obtuvo eficiencias tanto manual como automática más bajas fue la BeBionic 3 con un 8% para la eficiencia manual y 6.9% para la automática, esto es debido a que éste tipo de manos cuentan con un mayor número de piezas para poder lograr la pieza final, como un mayor número de pernos, que se consideran difícil de ensamblar por su tamaño, haciendo complicado su ensamble y aumentando el tiempo de operación.

De acuerdo con Boothroyd, en el caso de producciones en masa, cuando las eficiencias tanto manual como automática son igual o mayores al 60% el diseño de ensamble es excelente y puede proseguir a ser fabricado, cuando las eficiencias están por debajo de este porcentaje es necesario analizar si se puede reducir el número de piezas ya que todas deben tener una razón para formar parte del ensamble final.

Es importante mencionar que se está analizando un prototipo de un producto que aún no se fabrica en grandes cantidades, por tanto, un porcentaje del 60% podría resultar realmente alto, lo que se tratará será aumentar en lo que sea posible las eficiencias de nuestro producto final con respecto a las encontradas en las manos muestra.

Capítulo 5. Diseño Final.

5.1 Palma y Dorso

Una vez realizado el análisis del resultado de eficiencia del diseño para ensamble de cada una de las ocho manos, podemos comenzar a realizar el diseño final de este proyecto. Para poder visualizar lo que se propone a continuación se hará uso del software para diseño asistido por computadora ingenieril CATIA.

Como pudimos observar, entre menos piezas se manejen tendremos una mayor eficiencia, tanto para el ensamble manual como el automático, es por eso que se propondrán las uniones mecánicas integrales, es decir, sujetadores que se fabriquen desde el molde de la pieza como son, en este caso, las pestañas.

Para el ensamble de palma y dorso, Fig. 5.1, se diseñó un borde a los costados, el cual encaja una pieza con la otra, Fig. 5.2, y, para evitar la desunión, se colocaron cuatro pestañas en estos mismos bordes, una vez que se unen ambas partes solo hay que aplicar una pequeña fuerza para que estas pestañas deslicen por los agujeros, ya que cuentan con una inclinación, y queden dentro de éstos, ya que se tiene un sistema hembra-macho, Fig. 5.3 y Fig. 5.4.

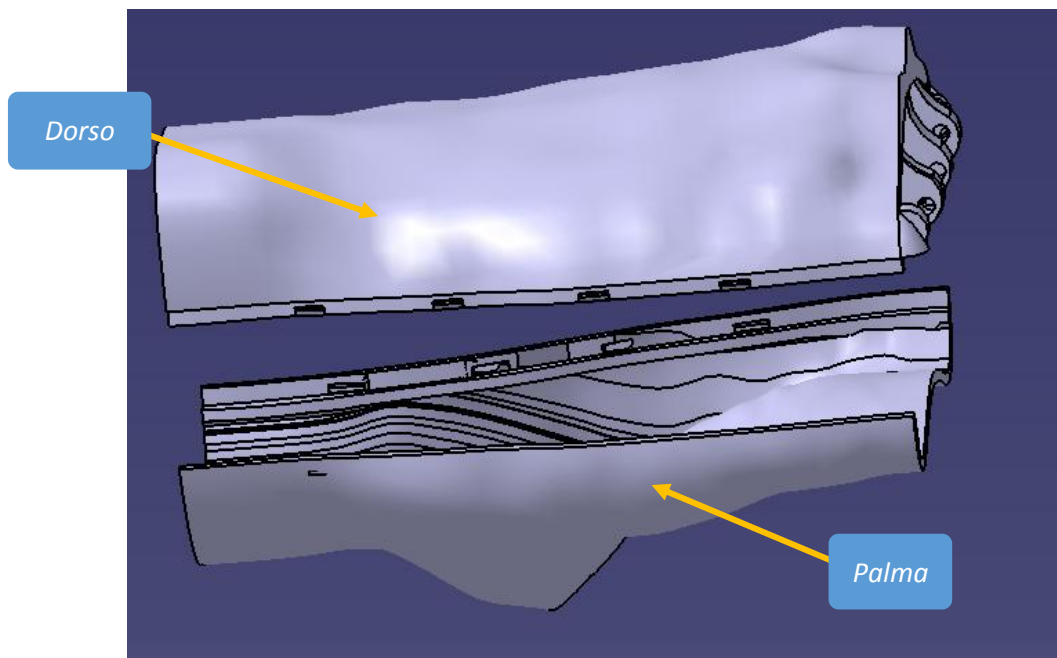


Fig. 5.1 Ensamble de palma y dorso

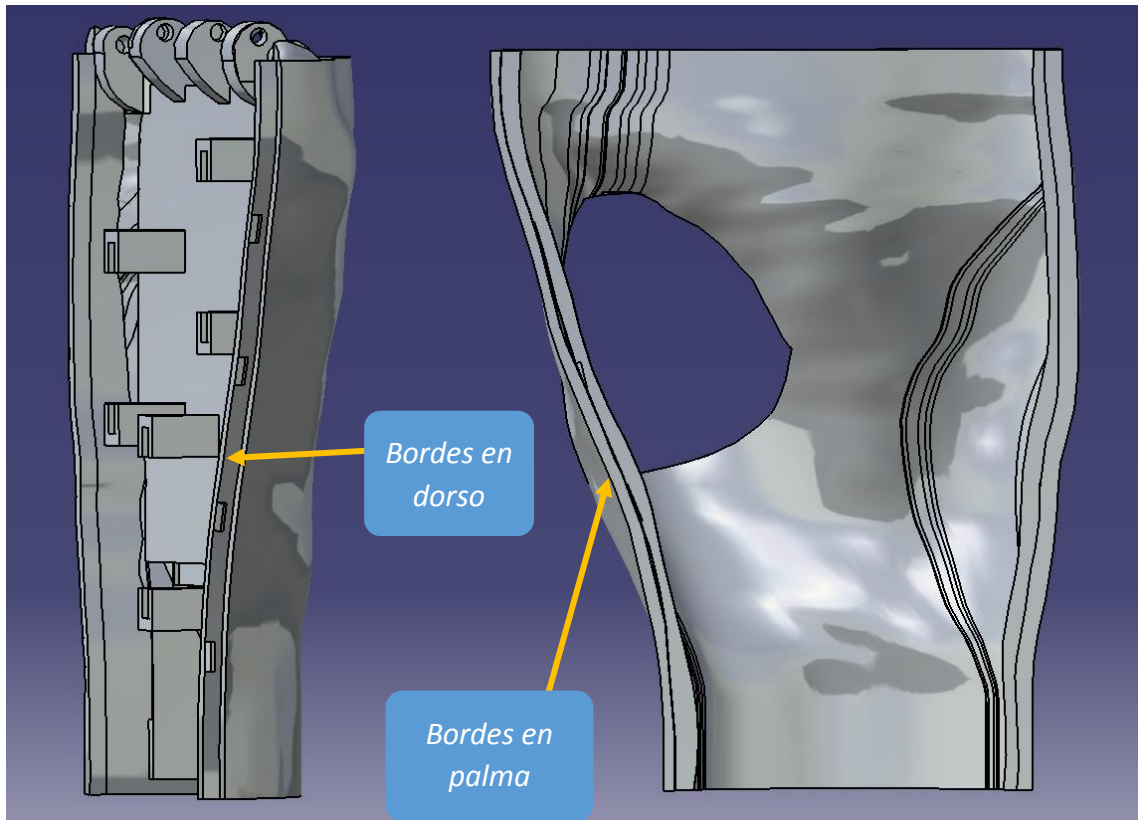


Fig. 5.2 Bordes o canales para unión

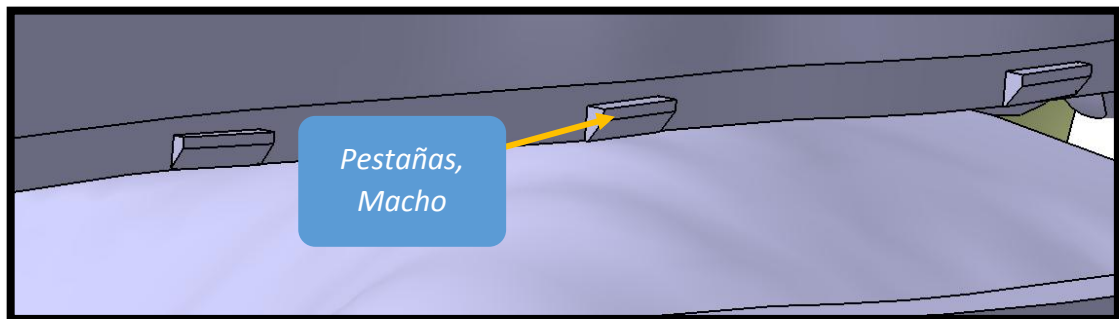


Fig. 5.3 Pestañas o parte "Macho"

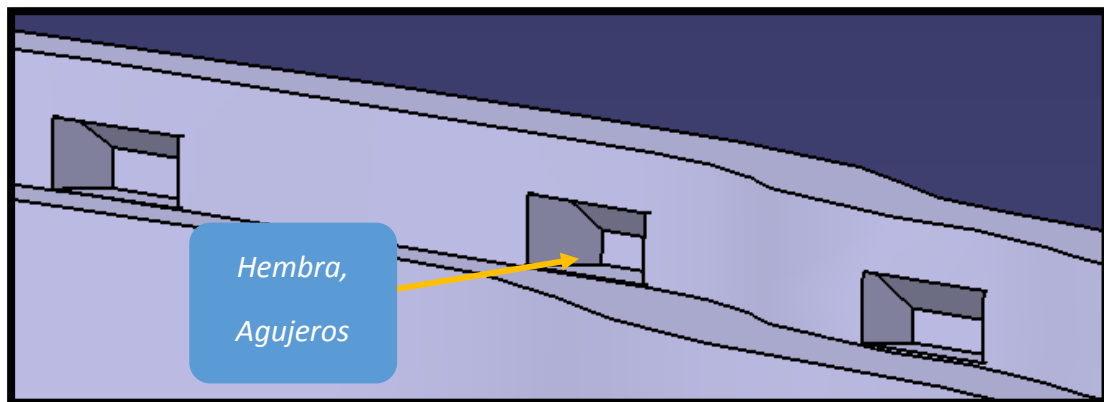


Fig. 5.4 Agujeros o parte "Hembra"

5.2 Dedos

En el caso del ensamble de dedos índice, medio, anular, meñique y pulgar hemos decidido desistir del uso de los pernos y tornillos ya que, como observamos en el análisis, esto disminuye considerablemente ambas eficiencias pues son piezas muy pequeñas y esto causa que se les tenga que dedicar un mayor tiempo para su colocación.

Los dedos aquí propuestos están divididos en tres secciones, Fig. 5.5, separados de acuerdo a la fisiología de los dedos humanos, falange proximal que es la que se encuentra unida a palma y dorso, falange media que, como su nombre lo dice, se encuentra a nivel medio y la falange distal que se encuentra en el extremo.

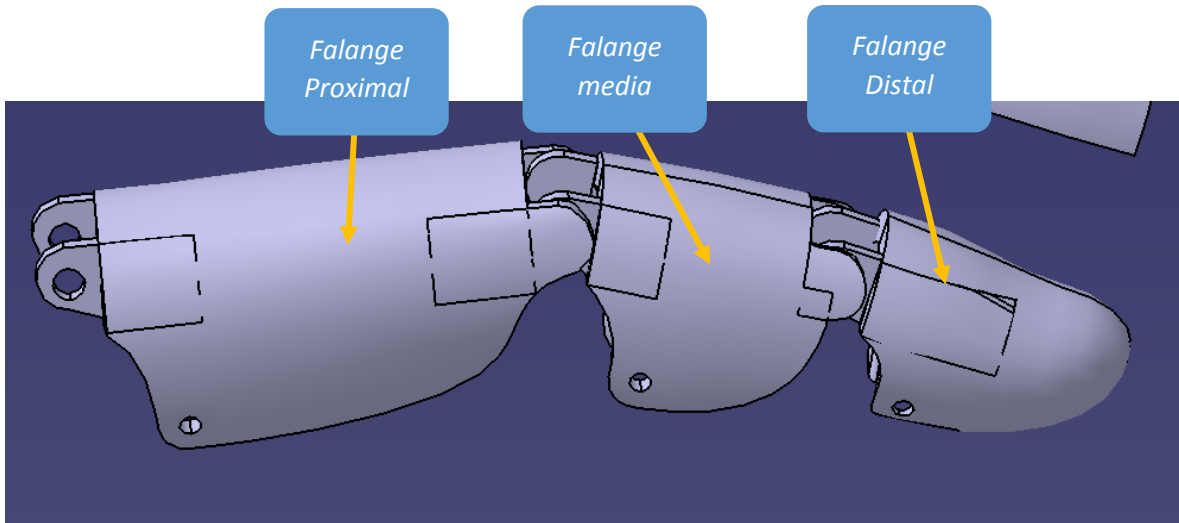


Fig. 5.5 Falanges

Para realizar las uniones correspondientes se decidió utilizar también, en este caso, los sujetadores integrales [3], es decir, que los pernos se encuentren en la pieza desde su elaboración, éstos se colocaron en los extremos de cada pieza para facilitar la movilidad entre cada sub-ensamble, Fig. 5.6.

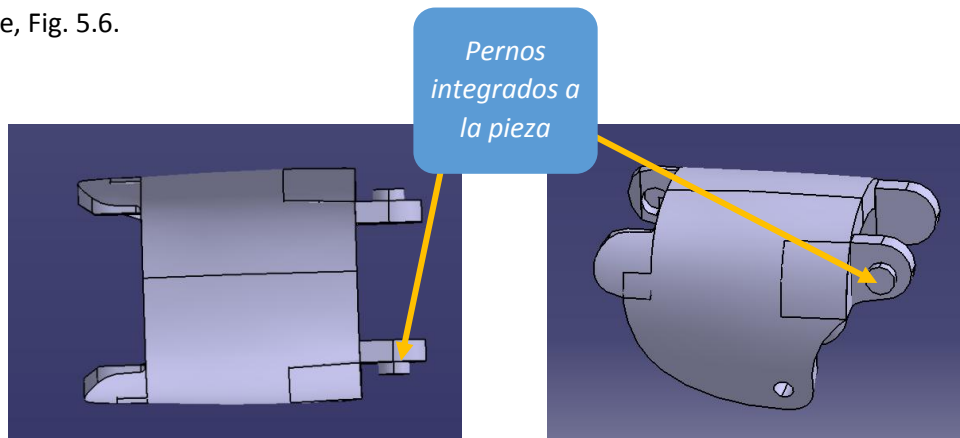


Fig. 5.6 Pernos integrados a falange

Para facilitar el ensamble entre falanges, se decidió realizar el diseño de un sistema sencillo que nos permitiera, prácticamente, solo presionar una pieza contra otra para lograr el ensamble.

Para lo anterior se hizo el uso de una inclinación, de 40 grados, en el agujero en dónde cada perno será introducido de manera axial, Fig. 5.7.

La función de este sistema es que al presionar una pieza contra otra, en este caso las falanges, las partes en donde se encuentran los pernos irán cerrándose hacia el centro, mientras que la parte exterior del perno irá deslizándose por la inclinación hasta que al llegar al final, las protuberancias volverán a su posición inicial debido a que los pernos habrán entrado en los agujeros.

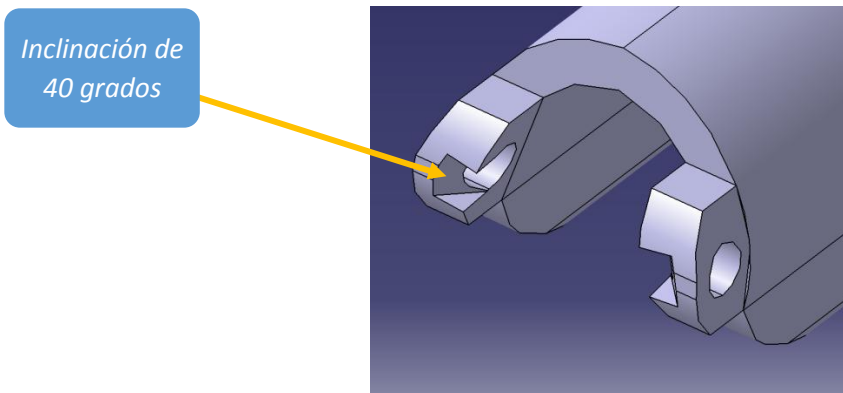


Fig. 5.7 Inclinación para unión de perno

Debido a que existe una torsión en las protuberancias al momento en que el perno está deslizándose por la inclinación (éstas se mueven aproximadamente 2 mm con respecto a su posición inicial), Fig. 5.8, es necesario que estas piezas sean fabricadas con un material flexible, es decir, que éste no sea frágil, ya que siendo así se podría presentar una fractura en la pieza.

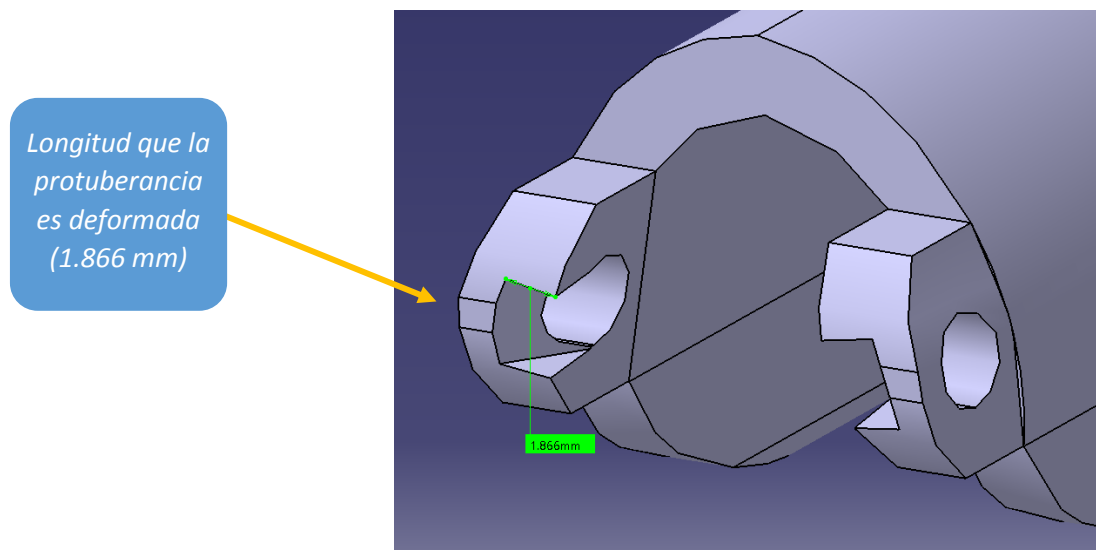


Fig. 5.8 Longitud aproximada de deformación

5.3 Materiales propuestos

Es esta sección sólo se harán dos propuestas para el material que puede ser utilizado para la fabricación de la carcasa de la mano CDMIT 2.

El primer material propuesto es el Policarbonato especial Performance WR 5000 [31] (Aleación de policarbonato y acrilonitrilo-butadieno-estireno), que es utilizado para la elaboración de carcasas de diversos aparatos electrónicos, tiene como características: resistencia de alto impacto, fabricado para aplicaciones en equipos electrónicos, resistente al calor, excelente fluidez, entre otras, Fig. 5.9.

Propiedades	ASTM	Condición de prueba	Unidad	Valores típicos
				FR5500-001
Densidad	D-792	-	g/cm ³	1,17
Absorción de humedad	D-570	23 °C, 24 horas	%	0,1
MFR	D-1238	260 °C × 2.16kgf	°C	18
Resistencia a la Tracción	D-638	10mm/min	MPa	59
Alargamiento a la rotura	D-638	10mm/min	%	50
Resistencia a la flexión	D-790	2mm/min	MPa	96
El módulo de flexión	D-790	2mm/min	MPa	2400
Impacto Izod (con muesca)	D-256	3.2 mm 23 °C	KJ / m ²	50
		3.2 mm -40 °C	KJ / m ²	-
Dureza Rockwell	D-785	R-Scale	-	120
HDT	D-648	1.82MPa	°C	90
El coeficiente de dilatación térmica lineal	D-696	-	* 10 ⁻⁵ / °C	6.0
Resistividad de Volumen	D-257	-	Ω · m	1017
Resistencia eléctrica sexo pista arco	D-495	-	segundo	-
Aislamiento Dieléctrico fuerza	D-149	-	Mv / m	-
Encogimiento en el Molde	D-955	3mmt	%	0,4 ~ 0,6
23 °C, el factor de disipación 60RH	D-150	1MHz	-	-
Inflamabilidad	UL-94	1/16 "	-	V0
Marca Comparable				GE C2800

Fig. 5.9 Propiedades del Policarbonato especial Performance WR 5000 [31]

El segundo material propuesto es el Polipropileno [32], el cual tiene la característica de alta rigidez, alta estabilidad dimensional, resistencia a altas temperaturas, soporta altas presiones, fabricado para aplicaciones electrónicas, entre otras, Fig. 5.10.

Propiedades	ASTM	Condición de prueba	Unidad	Valores típicos
				FR5030G
Densidad	D-792	-	g/cm ³	1,43
Absorción de humedad	D-570	23 °C, 24 horas	%	0,14
El contenido de relleno		800 °C, 2 horas	%	30
Resistencia a la Tracción	D-638	10mm/min	MPa	132
Alargamiento a la rotura	D-638	10mm/min	%	3
Resistencia a la flexión	D-790	2mm/min	MPa	160
El módulo de flexión	D-790	2mm/min	MPa	7600
Impacto Izod (con muesca)	D-256	3,2mm, 23 °C	KJ / m ²	11
		3,2 mm, -40 °C	KJ / m ²	-
Dureza Rockwell	D-785	R-Scale	-	122
HDT	D-648	1.82MPa	°C	145
El coeficiente de dilatación térmica lineal	D-696	-	* 10 ⁻⁵ / °C	2,2
Resistividad de Volumen	D-257	-	Ω · m	1017
Resistencia eléctrica sexo pista arco	D-495	-	segundo	-
Aislamiento Dieléctrico fuerza	D-149	-	Mv / m	22
Encogimiento en el Molde	D-955	3mmt	%	0,1 ~ 0,3
23 °C, el factor de disipación 60RH	D-150	1MHz	-	0,007
Inflamabilidad	UL-94	1/16 "	-	V0
Marca Comparable				GE 3413R

Fig. 5.10 Propiedades del Polipropileno [32]

5.4 Motores

Para asegurar los motores en la posición deseada se mantendrá el diseño generado en la mano número 4, que fue la que obtuvo el mayor porcentaje en nuestro análisis de eficiencias, simplemente agregaremos elementos que nos harán más fácil su colocación, orientación y ensamble.

En la mano analizada (número 4) se tienen dos protusiones rectangulares que son las que sostienen los motores, ya que éstos cuentan con dos pequeñas placas de plástico con barrenos para ser sujetados. Para tener una idea más clara a continuación se muestran los motores utilizados tanto reales como en CAD:

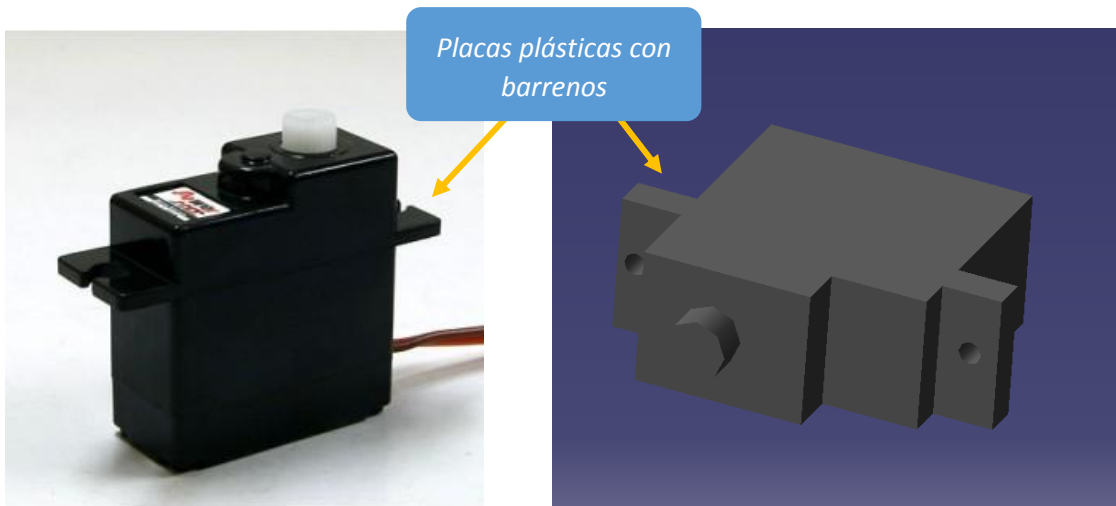


Fig. 5.11 Motor real y Motor en CAD

También podemos observar a continuación el sistema de sujeción de la mano 4:

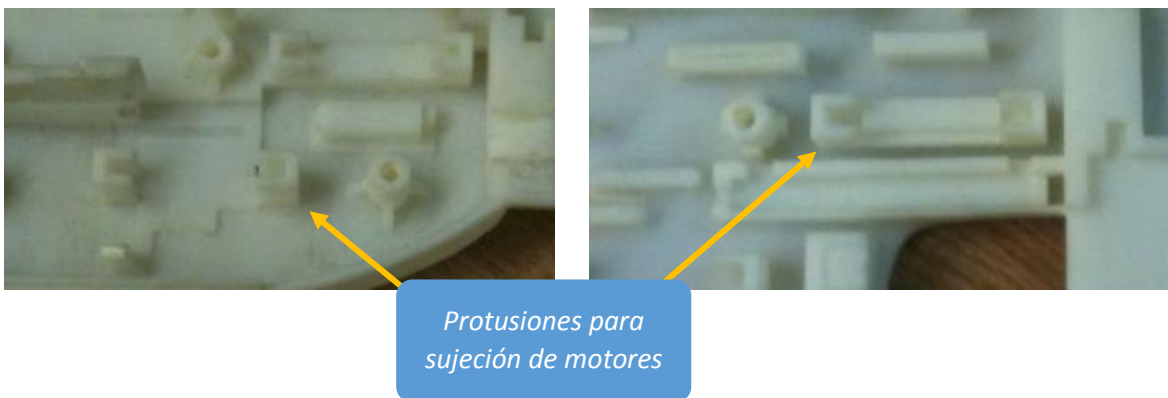


Fig. 5.12 Sistema de sujeción para motor mano 4 [12]

Por cuestiones de espacio y de estructura, los motores de nuestro proyecto serán colocados en el dorso y, por tanto, el sistema de sujeción de éstos se encontrará también en esa pieza ya que aquí contamos con una superficie más plana, a diferencia de la palma, que tiene una curva pronunciada debido a que la posición del pulgar está orientada hacia abajo.

Para el diseño del sistema de sujeción de motores de nuestro proyecto, como se mencionó arriba, se decidió mantener el que podemos observar en la Fig. 5.12, con dos pequeñas variaciones, una de ellas es el uso de una caja en la parte interior del dorso con la silueta del motor, esto nos ayudará en dos cosas, una, a que inmediatamente conozcamos cuál es la orientación del motor y segunda para evitar que éste se mueva hacia los lados.

La segunda variación nos ayudará a que el motor no salga de su lugar y que no se caiga haciendo uso nuevamente de los sujetadores integrales, snaps o pestañas, los cuales, como ya se había mencionado, tienen una inclinación para facilitar que la pieza entre en el lugar deseado haciendo que resbale por la inclinación mientras que las pestañas van abriéndose hasta que la pieza llega al final y éstas se cierran evitando que la pieza salga de su lugar. Para facilitar el desensamble sólo se colocaron dos snaps por motor ya que con esto los motores pueden retirarse con el uso de ambas manos abriendo con éstas las pestañas.

El snap o pestaña propuesta es considerada un snap en cantiléver, Fig. 5.13, para el diseño correcto de ésta se realizó el siguiente cálculo, con unidades propuestas para hallar qué grosor debe tener la base h , la fuerza necesaria para crear el ensamble y la fuerza P para flexionar la pestaña [33]:

Datos:

Material: Policarbonato (Propuesto)

$L = 11 \text{ mm}$

$b = 5 \text{ mm}$

$y = 2 \text{ mm}$

$\alpha = 30^\circ$

$\mu = 0.6$

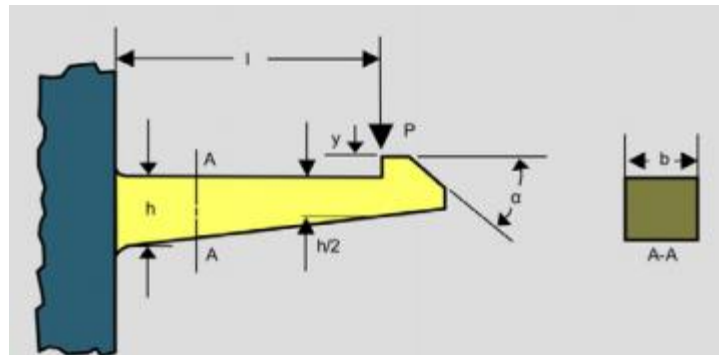


Fig. 5.13 Snap en cantiléver [33]

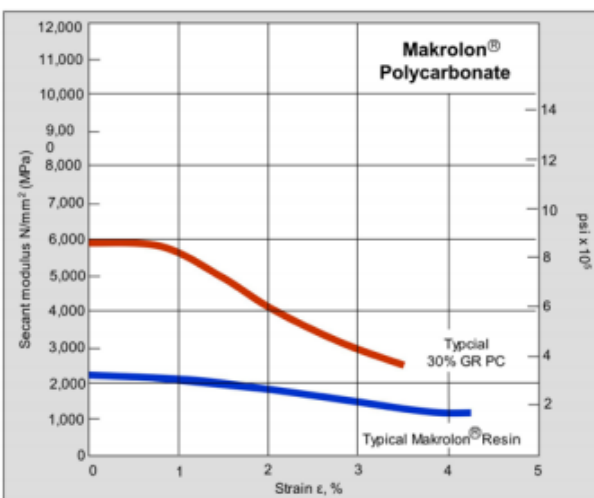


Fig. 5.14 Módulo de flexión de Policarbonato [33]

Cálculo de h o base de la pestaña:

Esfuerzo permisible $\epsilon = 4\%$

$$h = \frac{1.09 \epsilon * l^2}{y} = \frac{1.09 * 0.04 * 11[mm]^2}{2[mm]} = 2.64[mm]$$

Cálculo de la fuerza para deformar pestaña, P:

De la figura 5.14 para $\epsilon = 4\%$, $E_s = 1100[N/mm^2]$

$$P = \frac{b * h^2}{6} * \frac{E_s * \epsilon}{l} = \frac{5[mm] * 2.64[mm]^2}{6} * \frac{1100 \left[\frac{N}{mm^2} \right] * 0.04}{11[mm]} = 23.23[N]$$

Cálculo de la fuerza para realizar el ensamble:

Coefficiente de fricción $\mu = 0.6$

$$W = P * \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha} = 23.23[N] * \frac{0.6 + \tan 30}{1 - 0.6 * \tan 30} = 41.84[N]$$

A continuación podemos observar las cajas y pestañas diseñadas:

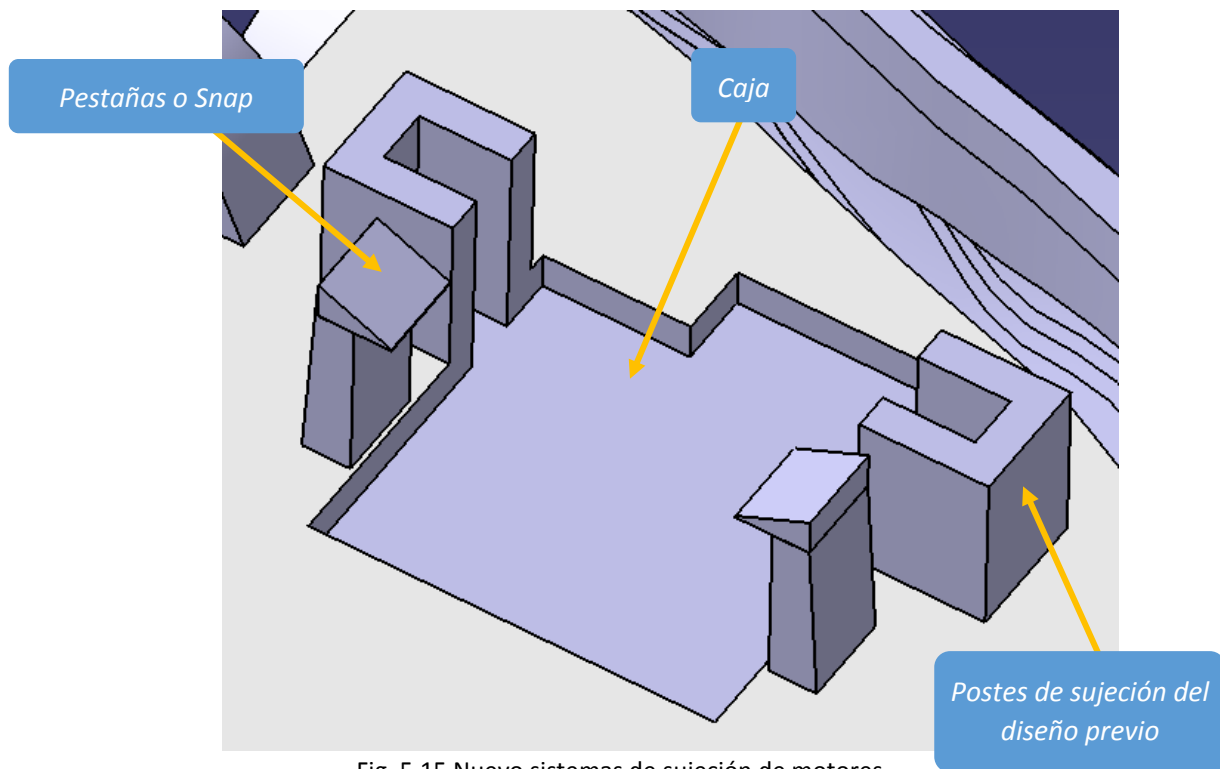


Fig. 5.15 Nuevo sistemas de sujeción de motores

A continuación se muestra el ensamble de motor – dorso terminado:

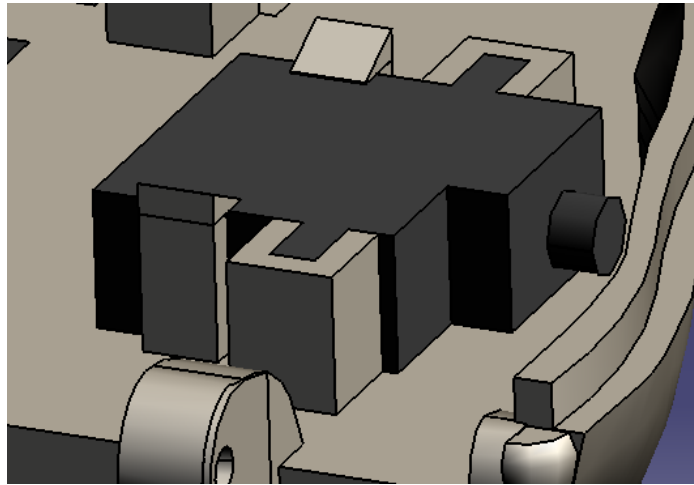


Fig. 5.16 Ensamble final de motor

Por último podemos apreciar el diseño terminado:

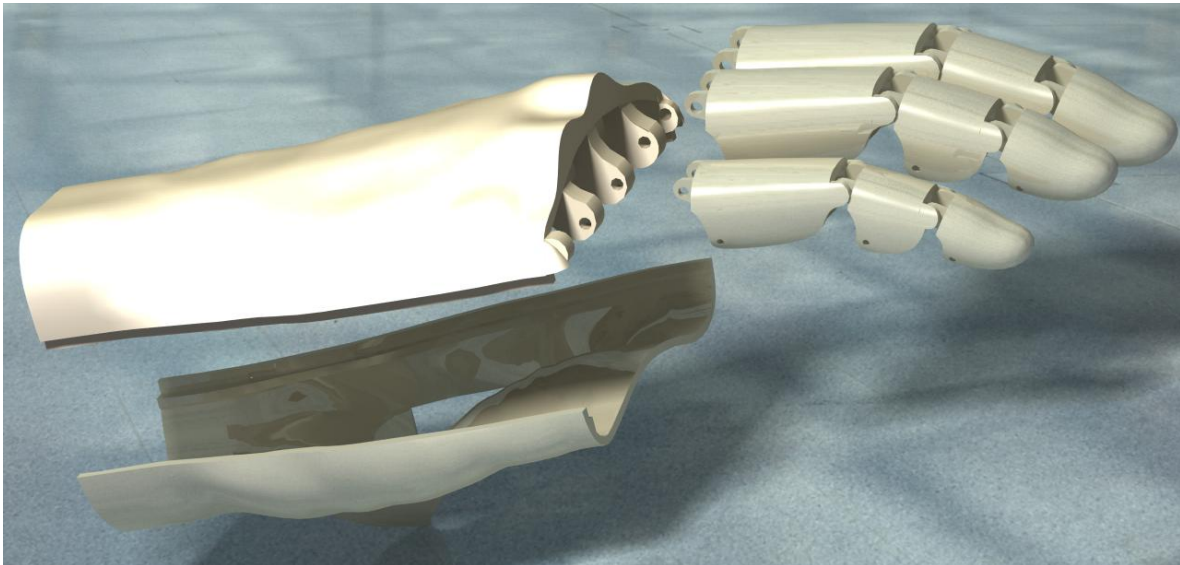


Fig. 5.17 Explosivo ensamble final mano CDMIT 2

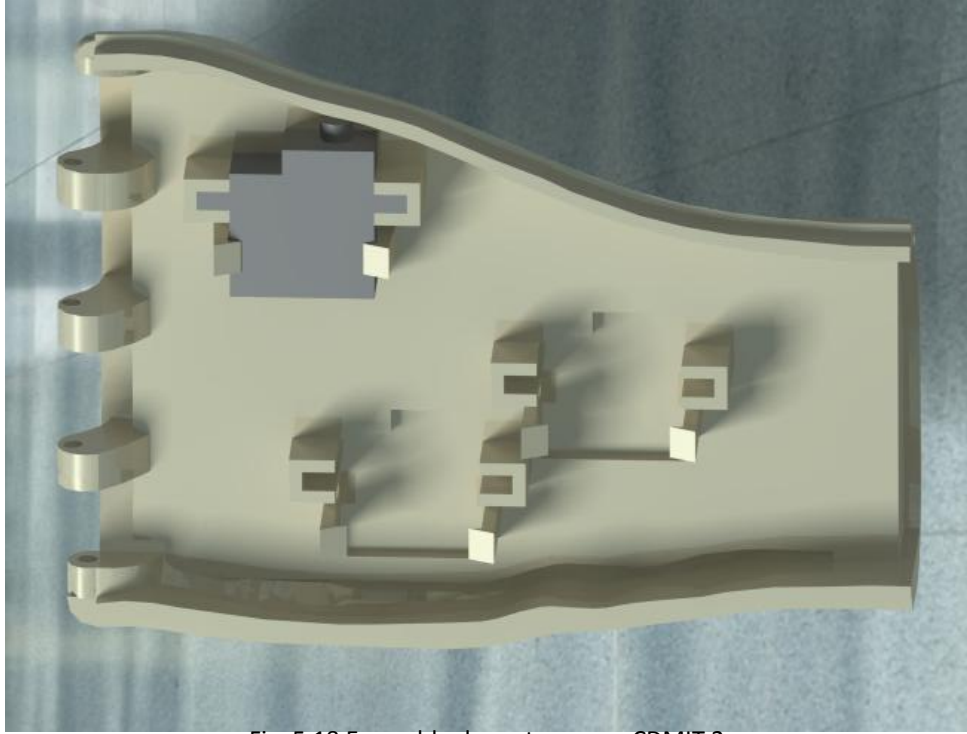


Fig. 5.18 Ensemble de motor mano CDMIT 2

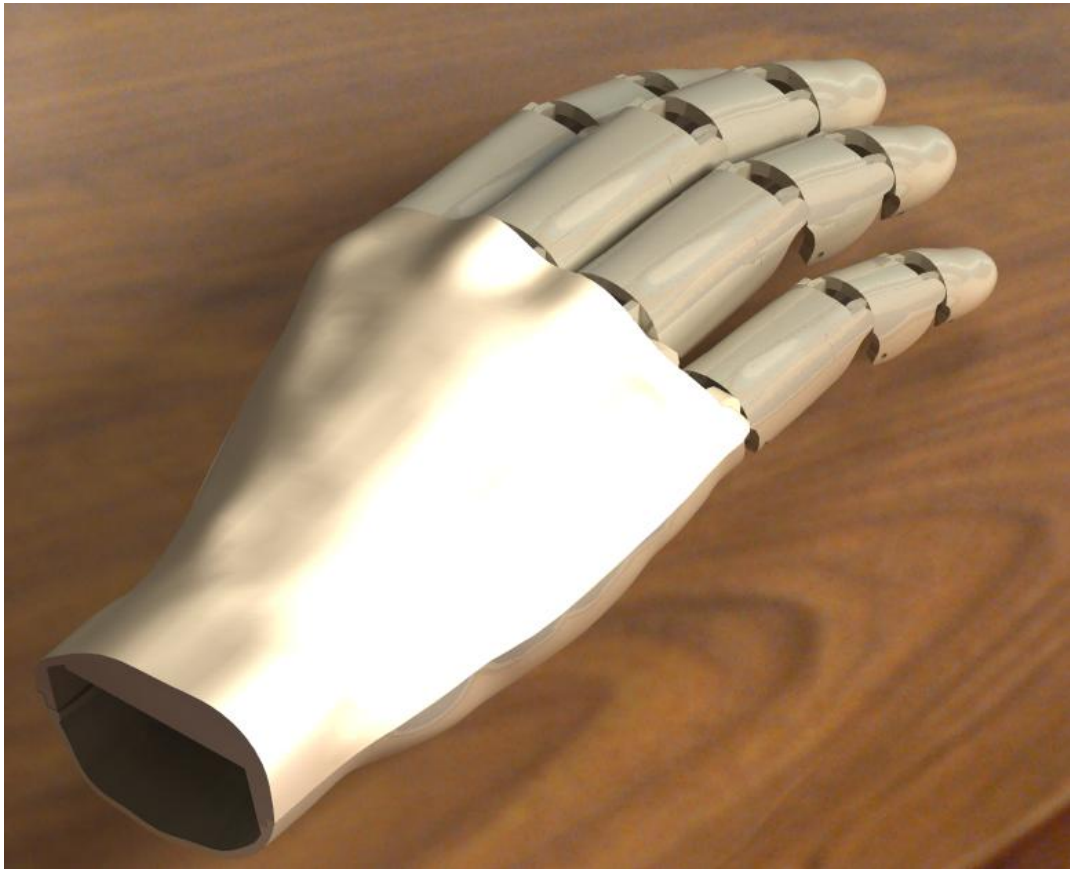


Fig. 5.19 Ensemble final mano CDMIT 2

5.5 Cálculo de eficiencia manual del diseño final

Una vez que se propusieron los diseños de ensamble para dorso, palma, falanges distales, falanges medias, falanges proximales y para motores, podemos iniciar su análisis para conocer que tanto logramos aumentar las eficiencias obtenidas en diseños previos y con esto sabremos si las mejoras propuestas son realmente útiles.

1	2	3	4	5	6	7	8	9		Simetría		
Número de pieza	Número de veces que la operación se lleva a cabo	Código de dos dígitos de manipulación manual	Tiempo de manipulación manual	Código de dos dígitos de inserción manual	Tiempo de inserción por parte	Tiempo de operación (s)	Costo de la operación (centavos)	Estimación teórica de la mínima cantidad de piezas	Nombre del ensamble	α	β	$\alpha+\beta$
1	1	30	1.95	30	2	3.95	1.58	1	Palma - Dorso	360	360	720
2	5	30	1.95	30	2	19.75	7.9	1	Dorso-Falanges proximales	360	360	720
3	5	30	1.95	30	2	19.75	7.9	1	Falanges proximales - Falanges medias	360	360	720
4	4	30	1.95	30	2	15.8	6.32	1	Falanges medias-Falanges distales	360	360	720
5	4	30	1.95	30	2	15.8	6.32	1	Motores	360	360	720
						75.05	30.02	5	0.199866755			
						TM	OM	NM	Eficiencia	20%		

Tabla 5.1 Diseño para ensamble manual CDMIT2 [1]

5.6 Cálculo de eficiencia automática del diseño final

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Velocidad requerida de ensamble FR (por minuto)	1	Características					
Número de pieza	Número de veces que una operación es terminada simultáneamente	Código de cinco dígitos para la manipulación automática	Eficiencia de orientación, OE CR=FC+DC	Velocidad básica máxima del alimentador, FM	Índice de dificultad para la manipulación automática, DF	Costo de la manipulación automática por pieza, CF+0.03xDF	Código de inserción automática de dos dígitos	Costo relativo de cabezal de trabajo, WC	Dificultad en la velocidad de la inserción automática, DI	Costo de la inserción automática por pieza, CI=0.06xDI	Costo de operación, centavos (2)x[(8)+(12)]	Estimación del número mínimo de piezas	Nombre del ensamble	Dimensiones [cm]							
1	1	64000	0.4	1	48.4	60	1.8	30	1.2	72	4.32	6.12	1	Dorso - Palma	L	A	H	A/B	A/C	B/C	
2	5	81002	0.4	3	200	180	5.4	30	1.2	72	4.32	48.6	1	Dorso - Falange proximal	12	10	2.5	1.2	5	4	
3	5	81002	0.4	3	200	180	5.4	30	1.2	72	4.32	48.6	1	Falange proximal-Falange media	3	1.7	1.9	1.8	1.6	1	
4	4	81002	0.4	3	300	180	5.4	30	1.2	72	4.32	38.88	1	Falange media-Falange distal	3	1.7	1.9	1.8	1.6	1	
5	4	83002	0.4	3	300	180	5.4	30	1.2	72	4.32	38.88	1	Motores	2	1.7	1.9	1.2	1.1	1	
												181.08	5	0.298210736	2	2	2	1	1	1	
												CA	N M	Eficiencia: 29.8%							

Tabla 5.2 Diseño para ensamble automático CDMIT2 [10]

5.7 Resultados de diseño final

<i>Mano analizada</i>	<i>Tiempo de operación [s]</i>	<i>Eficiencia Manual [%]</i>	<i>Eficiencia Automática [%]</i>
Mano protésica 4	105.1	17.1	15.4
CDMIT 2	75	20	29.5

Tabla 5.3 Comparación de resultados

5.8 Análisis de resultados de diseño final

En la tabla de arriba se colocaron los resultados obtenidos del análisis de eficiencia manual y automática de la mano protésica número 4, que fue la que sobresalió de entre todas las manos muestra, y el diseño propuesto en el inicio de este capítulo de la mano CDMIT 2, para con esto poder conocer si se logró hacer una mejora de los diseños existentes, con esta tabla podemos comparar ambos resultados.

Como podemos observar, la mano protésica número 4 tiene un tiempo de operación de 105.1 segundos, ésta obtuvo el menor tiempo de todas las manos existentes, por otro lado la mano CDMIT 2 obtuvo un tiempo de 75 segundos lo que nos muestra claramente que el tiempo que se necesita para realizar el ensamble puede ser reducido 30.1 segundos.

En el caso de la eficiencia manual la mano CDMIT2 obtuvo un porcentaje de 20, en comparación con la mano número 4 con 17.1%, podemos observar que esta eficiencia se logró aumentar 2.9%.

Para la eficiencia automática la mano CDMIT 2 obtuvo un porcentaje de 29.5, mientras que la mano número 4 obtuvo un porcentaje de 15.4, realizando el cálculo sabemos que esta eficiencia se logró aumentar 14.1%.

CONCLUSIONES

En esta tesis se elaboró el diseño para ensamble de la mano CDMIT 2 para integrar las piezas como el dorso, palma, motores, falanges proximales, medias, y distales, en un producto final que posee un tiempo de elaboración más corto y una mayor eficiencia de diseño para ensamble tanto manual como automática, con respecto a las ocho manos muestra analizadas.

La disminución de éste tiempo y el aumento de ambas eficiencias se lograron gracias a que se hizo uso del método de diseño para ensamble de Boothroyd, con el que pudimos realizar un análisis de cada ensamble y conocer si existían piezas que no estuviesen justificadas o que pudieran ser rediseñadas para disminución de piezas, facilitación de orientación y simetría.

Una vez que obtuvimos los resultados del análisis de eficiencias, la mano número 4 resultó ser la mejor, esto se debió a que muchas de las partes ensambladas, como las falanges de los dedos y los motores, eran colocadas y sujetadas sin necesidad de elementos adicionales, es decir, ésta contaba con una gran cantidad de sujeciones integrales como pestañas, topes o snaps que reducían el ensamble a, prácticamente, sólo presionar una pieza con la otra.

En el diseño para ensamble propuesto para la mano CDMIT 2, se decidió omitir por completo el uso de pernos, al menos en los sub-ensambles analizados, ya que entre más pequeña sea la pieza a ensamblar mayor será el tiempo de operación ya que son difíciles de manipular.

Por la razón anterior, se decidió hacer uso casi por completo de sujeciones integrales ya que con esto, el ensamble de las piezas resulta realmente sencillo pues, como se mencionó, prácticamente solo debe presionarse una pieza contra la otra para lograr la unión, esto lo pudimos ver en los resultado de las tablas de cálculo del diseño final, en las cuales el resultado mejoró en cierta manera respecto a las otras manos analizadas, obteniendo eficiencias tanto manual como automáticas ligeramente más altas, pero lo más notable fue la reducción del tiempo de operación de 105.1 segundos a 75 segundos ya que esto disminuye considerablemente los costos de ensamble pues las máquinas o el operador trabajan un menor tiempo.

Según Boothroyd, cuando al realizar el análisis por medio de las hojas de cálculo obtenemos eficiencias manuales o automáticas menores al 60% es debido a que el diseño no es recomendable y, en el caso de los porcentajes obtenidos, sería causa de realizar un rediseño de todo el ensamble.

Sin embargo nosotros no podemos considerar estos rangos debido a dos razones; una: a que no se está produciendo en grandes cantidades; y la otra es porque se trata de un caso especial ya que muchas veces se fabrican con una serie de especificaciones dependiendo de cada usuario o comprador.

Lo anterior, lo observamos cuando analizamos la dos manos que se encuentran en el mercado, la *BeBionic 3* y la *ILimb*, que podemos considerar como las que poseen los mejores diseños en esta área, pues ambas dieron un tiempo de fabricación considerablemente alto con respecto a las otras y unas eficiencias por debajo del 11%, sin considerar los múltiples sub-

ensambles que poseen, y sin embargo no se consideran malos diseños, el problema es en el costo de éstas.

Lo que se concluye en el caso de los rangos en que un diseño es aceptable o no, es que el diseño que se realice siempre debe tener como resultado una disminución del tiempo de operación o aumento de eficiencia manual y automática con respecto a los analizados y al propuesto en esta tesis, y por más pequeño que este sea se considerará aceptable.

TRABAJO A FUTURO

El proceso que se llevó a cabo en esta tesis es apenas una parte de lo que se puede hacer para fabricar un prototipo de una mano protésica modelo altamente eficiente.

Las otras partes que son necesarias para lograrlo se mencionan a continuación:

- **Diseño de mecanismo:** El mecanismo que ha sido utilizado para las manos existentes ha sido prácticamente el mismo, un mecanismo de cuatro barras, sería factible considerar un rediseño si existen fallas en el mismo.
- **Diseño para ensamble de mecanismo:** El elaborar un análisis y un diseño para ensamble del mecanismo elevaría la eficiencia del ensamble total de la mano, ya que, el ensamble existente cuenta con una serie de piezas que pueden ser constituidas en una sola y la unión de estas es un tanto difícil debido al tamaño pequeño de éstas.
- **Motores:** Los motores podrían ser cambiados por modelos más pequeños con las mismas o mejores características.
- **Elección de materiales:** De acuerdo a los esfuerzos, temperaturas y situaciones a las que puede llegar a estar expuesto el prototipo es necesaria una elección correcta de los materiales con los que será manufacturado.
- **Energía:** Planteamiento de qué tipo de energía moverá la mano.
- **Señales:** Es necesario hacer el diseño de un sistema que interprete señales, es decir, que le ordene a la mano moverse tal y como el usuario desea que lo haga.

ANEXOS

MANUAL HANDLING—ESTIMATED TIMES (seconds)

Key:

ONE HAND

ONE HAND with GRASPING AIDS

TWO HANDS for MANIPULATION

TWO HANDS or assistance required for LARGE SIZE

		Parts are easy to grasp and manipulate					Parts present handling difficulties (1)						
		Thickness >2 mm			Thickness ≤2 mm		Thickness >2 mm			Thickness ≤2 mm			
		Size >15 mm	6 mm ≤ size >15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm	Size >15 mm	6 mm ≤ size ≤15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Parts can be grasped and manipulated by one hand without the aid of grasping tools	$(\alpha + \beta) < 360^\circ$	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98	
	$360^\circ \leq (\alpha + \beta) < 540^\circ$	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38	
	$540^\circ \leq (\alpha + \beta) < 720^\circ$	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7	
	$(\alpha + \beta) = 720^\circ$	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4	
Parts can be grasped and manipulated by one hand but only with the use of grasping tools	$\alpha \leq 180^\circ$	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	Parts need tweezers for grasping and manipulation								Parts need standard tools other than tweezers	Parts need special tools for grasping and manipulation	
		$\beta = 360^\circ$	Parts can be manipulated without optical magnification				Parts require optical magnification for manipulation						
	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq \beta \leq 180^\circ$	Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present handling difficulties (1)		Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present handling difficulties (1)		Parts need standard tools other than tweezers	Parts need special tools for grasping and manipulation	
		$\beta = 360^\circ$	Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm	Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm	Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm	Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
			4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7
			5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8
			6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9
			7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10
	Parts severely nest or tangle or are flexible but can be grasped and lifted by one hand (with the use of grasping tools if necessary) (2)	$\alpha \leq 180^\circ$	Parts present no additional handling difficulties					Parts present additional handling difficulties (e.g. sticky, delicate, slippery, etc.) (1)					
$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha = 360^\circ$			$\alpha \leq 180^\circ$		$\alpha = 360^\circ$					
		Size >15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm	Size >15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤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	
Two hands, two persons or mechanical assistance required for grasping and transporting parts	Parts can be handled by one person without mechanical assistance	Parts do not severely nest or tangle and are not flexible								Parts severely nest or tangle or are flexible (2)	Two persons or mechanical assistance required for parts manipulation		
		Part weight <10 lb				Parts are heavy (>10 lb)							
		Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present other handling difficulties (1)		Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present other handling difficulties (1)					
		$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
			9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9

Fig. 6.1 Manipulación manual / Tiempos estimados [1]

MANUAL INSERTION-ESTIMATED TIMES (seconds)

		Alter assembly no holding down required to maintain orientation and location (3)				Holding down required during subsequent processes to maintain orientation at location (3)			
		Easy to align and position during assembly (4)		Not easy to align or position during assembly		Easy to align and position during assembly (4)		Not easy to align or position during assembly	
		No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)
		0	1	2	3	6	7	8	9
Addition of any part (1) where neither the part itself nor any other part is finally secured immediately Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location Part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location Due to obstructed access or restricted vision (2) Due to obstructed access and restricted vision (2)	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	6.5	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5
Addition of any part (1) where the part itself and/or other parts are being finally secured immediately Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location and the tool can be operated easily Part and associated tool (including hands) cannot easily reach desired location or tool cannot be operated easily Due to obstructed access or restricted vision (2) Due to obstructed access and restricted vision (2)	3	2	5	4	5	6	7	8	9
	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5
	5	6	9	8	9	10	11	12	13
Assembly processes where all solid parts are in place	9	4	7	5	12	7	8	12	12

		No screwing operation or plastic deformation immediately after insertion (snap/press fits, circlips, spire nuts, etc.)		Plastic deformation immediately after insertion				Screw tightening immediately after insertion			
		Easy to align and position with no resistance to insertion (4)	Not easy to align or position during assembly and/or resistance to insertion (5)	Plastic bending or torsion		Rivetting or similar operation					
Easy to align and position during assembly (4)	Not easy to align or position during assembly			No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	Easy to align and position during assembly (4)	Not easy to align or position during assembly	Easy to align and position with no torsional resistance (4)	Not easy to align or position and/or torsional resistance (5)		
		0	1	2	3	4	5			6	7
Addition of any part (1) where neither the part itself nor any other part is finally secured immediately Part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location Due to obstructed access or restricted vision (2) Due to obstructed access and restricted vision (2)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	3	2	5	4	5	6	7	8	6	8	
	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5
Addition of any part (1) where the part itself and/or other parts are being finally secured immediately Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location and the tool can be operated easily Part and associated tool (including hands) cannot easily reach desired location or tool cannot be operated easily Due to obstructed access or restricted vision (2) Due to obstructed access and restricted vision (2)	5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12

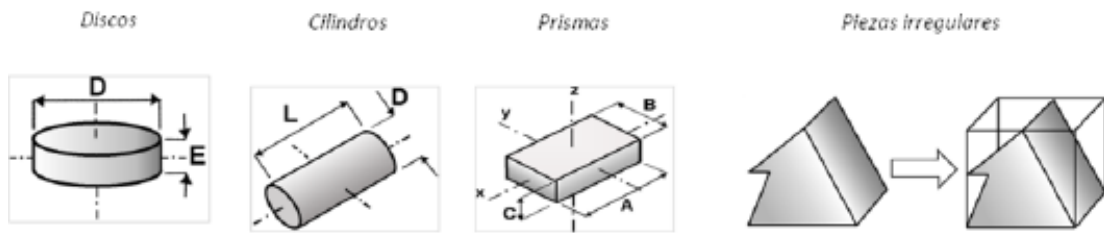
		Mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)			Non-mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)			Non-fastening processes			
		None or localized plastic deformation		Bulk plastic deformation (large proportion of part & plastically deformed during fastening)	Metallurgical processes		Chemical processes (e.g. adhesive bonding, etc.)	Manipulation of parts or sub-assembly (e.g. orienting, fitting or adjustment of parts(s), etc.)	Other processes (e.g. liquid insertion, etc.)		
Bending or similar process	Riveting or similar processes	Screw tightening or other processes	No additional material required (e.g. resistance, friction welding etc.)		Additional material required						
				Soldering processes	Weld/braze processes						
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SEPARATE OPERATION	9	4	7	5	12	7	8	12	12	9	12

Fig. 6.2 Inserción manual / Tiempos estimados [1]

																			Número de pieza	1
																			Número de veces que la operación se lleva a cabo	2
																			Código de dos dígitos de manipulación manual	3
																			Tiempo de manipulación manual	4
																			Código de dos dígitos de inserción manual	5
																			Tiempo de inserción por parte	6
TM																			Tiempo de operación (s)	7
CM																			Costo de la operación (centavos)	8
NM																			Estimación teórica de la mínima cantidad de piezas	9
Eficiencia = $(3 * NM) / TM$																			Nombre del ensamble	
																			α	Simetrías
																			β	
																			$\alpha + \beta$	

Fig. 6.3 Hoja de trabajo Diseño para Ensamble Manual [1]

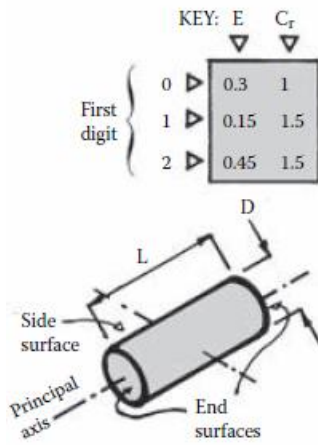
• Geometría



		Primer número del código
Rotacionales	Discos $L/D < 0.8$	0
	Cilindros cortos $0.8 \leq L/D \leq 1.5$	1
	Cilindros largos $L/D > 1.5$	2
No rotacionales (prisma)	Planos $A/B \leq 3$ $A/C > 4$	6
	Largos $A/B > 3$	7
	Cúbicos $A/B \leq 3$ $A/C \leq 4$	8

Fig. 6.4 Geometrías [1], [10]

AUTOMATIC HANDLING-DATA FOR ROTATIONAL PARTS (first digit 0, 1 or 2)



		Part is not BETA symmetric (code the main feature or features requiring orientation about the principal axis)												Slightly asymmetric or small features less than D/10 and L/10 or holes or recesses which cannot be seen in outer shape of silhouette				
		BETA asymmetric projections, steps, or chamfers (can be seen in silhouette)						BETA asymmetric grooves or flats (can be seen in silhouette)										
		On side surface only	On end surface(s) only	On both side and end surface(s)	Through groove or flat can be seen in end view	Through groove can be seen in side view												
						On end surface	On side surface											
		0	2	3	4	5	6	7	8									
Part is not ALPHA symmetric (code the main feature or features requiring end-to-end orientation) (see note 1)	Part is ALPHA symmetric (see note 1)	0	0.7	1	0.3	1	0.5	1	0.3	1	0.35	1	0.2	1	0.5	1		
			0.7	1	0.15	1	0.2	1	0.15	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1		
			0.9	1	0.45	1	0.9	2	0.45	1	0.9	1	0.9	2	0.9	2		
		Part can be fed in a slot supported by large end or protruding flange with center of mass below supporting surfaces	1	0.4	1	0.2	1	0.25	1	0.2	1	0.2	1	0.1	1	0.25	1	
				0.3	1	0.1	1	0.1	1	0.1	1	0.1	1	0.1	1	0.1	1	
				0.9	1	0.45	1	0.9	2	0.45	1	0.9	1	0.9	2	0.9	1	
		BETA symmetric steps or chamfers on external surfaces (see note 3)	2	0.4	1	0.15	1	0.25	1	0.15	1	0.35	1	0.1	1	0.25	1	
				0.3	1	0.1	1.5	0.1	1.5	0.1	1.5	0.2	1.5	0.05	1.5	0.1	1.5	
				0.75	1	0.37	1.5	0.25	3	0.37	1.5	0.5	1	0.5	3	0.5	2	
		BETA symmetric grooves or holes or recesses (see note 3)	3	0.5	1	0.15	1	0.25	1	0.15	1	0.2	1	0.1	1	0.25	1	-MANUAL HANDLING REQUIRED-
	On both side and end surface(s)		0.2	1	0.1	1.5	0.1	1.5	0.1	1.5	0.05	1.5	0.1	1.5				
			0.85	1	0.43	1.5	0.25	2	0.43	1.5	0.5	1	0.5	2	0.5	2		
		4	0.5	1	0.15	1	0.25	1	0.15	1	0.2	1	0.1	1	0.25	1		
	On side surface only		0.1	1	0.1	1.5	0.1	1.5	0.1	1.5	0.05	1.5	0.05	1.5	0.1	1.5		
			0.85	1	0.43	1.5	0.25	2	0.43	1.5	0.5	1	0.5	2	0.5	2		
		5	0.5	1	0.15	1	0.25	1	0.15	1	0.2	1	0.1	1	0.25	1		
	On end surface(s) only		0.2	1	0.1	1.5	0.1	1.5	0.1	1.5	0.05	1.5	0.05	1.5	0.1	1.5		
			0.6	1	0.27	1.5	0.25	2	0.27	1.5	0.45	1	0.45	2	0.45	2		
	BETA symmetric hidden features with no corresponding exposed features (see note 4)	6																
			0.6	1	0.27	1.5	0.25	2	0.27	1.5	0.45	1	0.45	2	0.45	2		
	BETA asymmetric features on side or end surface(s)	7				0.25	1	0.1	1				0.1	1	0.25	1		
						0.1	1.5	0.05	1.5				0.05	1.5	0.1	1.5		
					0.27	2	0.25	3	0.27	2	0.1	3	0.5	3	0.5	3		
	Slightly asymmetric or small features; amount of asymmetry or feature size less than D/10 and L/10	8															-MANUAL HANDLING REQUIRED-	

Fig. 6.5 Manipulación automática para piezas rotacionales [1]

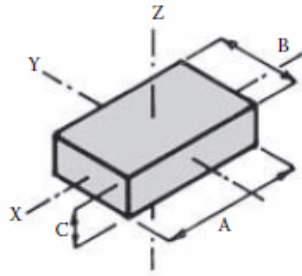
AUTOMATIC HANDLING-DATA FOR NON-ROTATIONAL PARTS (first digit 6, 7 or 8)

Key:

	E	C _r
6	▽ 0.7	▽ 1
7	▽ 0.45	▽ 1.5
8	▽ 0.3	▽ 2

First digit

		A ≤ 1.1B or B ≤ 1.1C (Code the main feature or features which distinguish the adjacent surfaces having similar dimensions)																
		Steps or chamfers (2) parallel to-			Through grooves (2) parallel to-			Holes or recesses > 0.1B (cannot be seen in silhouette)	Other - including slight asymmetry (3), features too small etc.									
		X axis and > 0.1C	Y axis and > 0.1C	Z axis and > 0.1B	X axis and > 0.1C	Y axis and > 0.1C	Z axis and > 0.1B											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8								
Part has 180° symmetry about all three axes (1)	0	0.8	1	0.8	1	0.2	1	0.5	1	0.75	1	0.25	1	0.5	1.5	0.25	2	Manual handling required
		0.9	1	0.9	1	0.5	2	0.5	1.5	0.5	1	0.5	1.5	0.6	1	0.5	1	
		0.6	1	0.5	1	0.15	2	0.15	1.5	0.5	1	0.15	1	0.15	1.5	0.15	2	



		Code the main feature, or if orientation is defined by more than one feature, then code the feature that gives the largest third digit															
		Steps or chamfers (2) parallel to -			Through grooves (2) parallel to -			Holes or recesses > 0.1B (cannot be seen in silhouette)	Other - including slight asymmetry (3), features too small etc.								
		X axis and > 0.1C	Y axis and > 0.1C	Z axis and > 0.1B	X axis and > 0.1C	Y axis and > 0.1C	Z axis and > 0.1B										
		0	1	2	3	4	5	6	7								
Part has 180° symmetry about one axis only (1)	About X axis	1	0.4	1	0.6	1	0.4	1.5	0.4	1	0.3	1	0.7	1	0.4	2	MANUAL HANDLING REQUIRED
			0.5	1	0.15	1	0.25	2	0.5	1	0.25	1	0.25	1.5	0.25	3	
				0.4	1	0.6	1	0.4	2	0.2	1	0.3	1	0.15	1	0.1	
About Y axis	2	0.4	1	0.3	1	0.4	1.5	0.5	1	0.3	1	0.4	1	0.4	2		
		0.4	1	0.2	1	0.25	2	0.4	1	0.25	1	0.25	1	0.25	2		
		0.5	1	0.15	1	0.5	2	0.2	1	0.15	1	0.15	2	0.15	2		
About Z axis	3	0.4	1	0.3	1	0.4	1.5	0.4	1	0.3	1	0.1	1.5	0.4	2		
		0.3	1	0.2	1	0.25	2	0.3	1	0.25	1	0.25	2	0.25	2		
		0.4	1	0.2	1	0.4	2	0.2	1	0.15	1	0.15	2	0.15	2		
Part has no symmetry (code the main feature(s) that define the orientation) (4)	Orientation defined by one main feature	4	0.25	1	0.15	1	0.15	1.5	0.1	1	0.15	1	0.1	1.5	0.1	2	
			0.25	1	0.1	1.5	0.24	2	0.2	1	0.1	1.5	0.15	2	0.15	3	
			0.15	1	0.14	1	0.15	1	0.1	1	0.05	1	0.1	1.5	0.08	2	
Orientation defined by two main features and one is a step, chamfer or groove	6	0.2	2	0.15	2	0.1	2.5	0.1	2	0.15	2	0.1	2.5	0.1	3		
		0.1	3	0.1	3.5	0.1	4	0.1	3	0.1	3.5	0.1	4	0.1	5		
		0.05	2	0.05	2	0.05	2.5	0.05	2	0.05	2	0.05	2.5	0.05	3		
Other - in- cluding slight asym- metry (3) etc.	9	MANUAL HANDLING REQUIRED															

Fig. 6.6 Manipulación automática para piezas no rotacionales [1]

AUTOMATIC HANDLING-ADDITIONAL FEEDER COSTS

FIGURES TO BE ADDED TO C_T

		Parts will not tangle or nest				Tangle or nest but not severely				Severely nest	Severely tangle		
		Not light		Light		Not light		Light					
		Not sticky	Sticky	Not sticky	Sticky	Not sticky	Sticky	Not sticky	Sticky				
		0	1	2	3	4	5	6	7				
Parts are small and non-abrasive	Parts do not tend to overlap during feeding	Not delicate	Non-flexible	0	0	1	2	3	2	3	3	4	MANUAL HANDLING REQUIRED
			Flexible	1	2	3	4	5	4	5	5	6	
		Delicate	Non-flexible	2	1	2	3	4	3	4	4	5	
			Flexible	3	3	4	5	6	5	6	6	7	
	Parts tend to overlap during feeding	Not delicate	Non-flexible	4	2	3	3	4	4	5	4	5	
			Flexible	5	4	5	5	6	6	7	6	7	
		Delicate	Non-flexible	6	3	4	4	5	5	6	5	6	
			Flexible	7	5	6	6	7	7	8	7	8	

	Very small parts					Large parts					
	Rotational		Non-rotational			Rotational		Non-rotational			
	$L/D \leq 1.5$	$L/D > 1.5$	$A/B \leq 3$ $A/C > 4$	$A/B > 3$	$A/B \leq 3$ $A/C \leq 4$	$L/D \leq 1.5$	$L/D > 1.5$	$A/B \leq 3$ $A/C > 4$	$A/B > 3$	$A/B \leq 3$ $A/C \leq 4$	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Parts are very small or large but are nonabrasive	8	2	2	2	2	2	9	9	9	9	9

	Parts will not severely tangle or nest									
	Small parts					Large parts		Very small parts		
	Orientation defined by geometric features			Orientation defined by non-geometric features		Orientation defined by geometric features	Orientation defined by non-geometric features	Orientation defined by geometric features	Orientation defined by non-geometric features	
	Non-flexible		Flexible	Do not overlap	Overlap					
	Do not overlap	Overlap								
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Abrasive parts	9	2	4	4			9		4	

Fig. 6.7 Manipulación automática / Costo de alimentación adicional [1]

AUTOMATIC INSERTION-RELATIVE WORKHEAD COST, W_C

Key:
 PART ADDED but NOT SECURED
 PART SECURED IMMEDIATELY
 SEPARATE OPERATION

		After assembly no holding down required to maintain orientation and location (5)				Holding down required during subsequent process(es) to maintain orientation and location (5)							
		Easy to align and position (6)		Not easy to align or position (no features provided for the purpose)		Easy to align and position (6)		Not easy to align or position (no features provided for the purpose)					
		No resistance to insertion	Resistance to insertion (7)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (7)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (7)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (7)				
		0	1	2	3	6	7	8	9				
No final securing is taking place (2)	Straight line insertion	From vertically above	0	1	1.5	1.5	2.3	1.3	2	2	3		
		Not from vertically above (3)	1	1.2	1.6	1.6	2.5	1.6	2.1	2.1	3.3		
	Insertion not straight line motion (4)	2	2	3	3	4.6	2.7	4	4	6.1			
Addition of any part (1) where final securing is taking place	Straight line insertion	From vertically above	3	1.2	1.9	1.6	2.4	3.6	0.9	1.4	2.1	0.8	1.8
		Not from vertically above (3)	4	1.3	2.1	2.1	3.2	4.8	1	1.5	2.3	1.3	2
	Insertion not straight line motion (4)	5	2.4	3.8	3.2	4.8	7.2	1.8	2.8	4.2	1.6	3.6	
Assembly process where all solid parts are in place or non-solids added or parts are manipulated	Mechanical fastening processes (parts already in place)		Non-mechanical fastening processes (parts already in place)				Non-fastening processes						
	None or localized plastic deformation		Metallurgical processes		Additional material required				Manipulation of parts or sub-assembly (orienting, fitting, adjustment etc.)		Other processes (liquid insertion etc.)		
	Bending or similar processes	Rivetting or similar processes	Screwing or other processes	Snap fit, snap clip, press fit, etc.	No additional of material (friction or resistance welding, etc.)	Soldering processes	Welding or brazing	Chemical processes (adhesive bonding etc.)	8	9			
9	1.6	0.9	0.8	1.6	1.2	1.1	1.1	0.8	1.5				

Fig. 6.8 Inserción automática / Costo relativo de cabezal de trabajo [1]

Type of design	Shape of the cross section	Shape of the cross section			
		A	B	C	D
(Permissible) deflection	1				
	2	$y = 0.67 \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = \frac{a + b_{(1)}}{2a + b} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = K_{(2)} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{r_2}$	$y = \frac{1}{3} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{c_{(2)}}$
	3	$y = 1.09 \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = 1.64 \cdot \frac{a + b_{(1)}}{2a + b} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = 1.64 \cdot K_{(2)} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{r_2}$	$y = 0.55 \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{c_{(2)}}$
Deflection force	1,2,3	$y = 0.86 \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = 1.28 \cdot \frac{a + b_{(1)}}{2a + b} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = 1.28 \cdot K_{(2)} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{r_2}$	$y = 0.43 \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{c_{(2)}}$
		$P = \frac{bh^2}{6} \cdot \frac{E_s \epsilon}{l}$	$P = \frac{h^3}{12} \cdot \frac{a^2 + 4ab_{(1)} + b^2}{2a + b} \cdot \frac{E_s \epsilon}{l}$	$P = Z_{(4)} \cdot \frac{E_s \epsilon}{l}$	$P = Z_{(4)} \cdot \frac{E_s \epsilon}{l}$

Fig. 6.10 Fórmulas para obtención de datos de snap en cantiléver [33]

REFERENCIAS

- [1]Boothroyd, Geoffrey (2005). *Assembly Automation and Product Design*.
- [2]Boothroyd, Dewhurst, (1989). *Product design for manufacture and assembly*.
- [3]Groover, Mikell. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, Procesos y Sistemas*.
- [4]Hunter, Mark. (2009). *US Patent No. WO2011/001136A2*.
- [5]David James Gow, (1998). *US Patent No. EP0748194B1*.
- [6]Radillo Montiel Christian Jesús, Walls Maurer Alejandro. (2007). *Prototipo de prótesis mecatrónica de antebrazo y mano*. México, D.F.: Tesis UNAM.
- [7]Ríos Murillo Patricia Araceli, Roether Caraza Giselle (2005). *Diseño, fabricación y pruebas de un prototipo de mano para una prótesis de miembro superior*. México, D.F.: Tesis, UNAM.
- [8]Flores Luna Rosa Itzel, Juárez Mendoza Anna Marissa. (2007). *Diseño de Prótesis Mecatrónica de Mano*. México: UNAM.
- [9]Velázquez López Miguel Ángel (2011). *Construcción y pruebas del prototipo de mano CDMIT-II*. México, D.F.:Tesis, UNAM.
- [10]García Guerra Hanna Leslye. (2013). *Desing For Assembly*. Notas.
- [11] Linares Prieto Víctor Manuel, Salinas Espinosa Edith (2005). *“Dispositivo para manipulación diestra Robohand”*, UPIITA, Instituto Politécnico Nacional.

MESOGRAFÍA

[13]Advanced Microelectronics for Industrialists. Actualizada: 7/10/08. Fecha de consulta: 15/03/13

http://www.ami.ac.uk/courses/ami4945_dpb/restricted/u08/supplementary/sup_04.html#4

[14] Atlantic International University. Fecha de consulta: 27/03/13

<http://cursos.aiu.edu/Procesos%20Industriales/PDF/Tema%204.pdf>

[15] Faculta de Ingeniería UNAM. Actualizada: 14/05/13. Fecha de consulta: 5/04/13

http://www.fi-.unam.mx/simposios/simposio_investigacion2dic04/disenos_protosis_extenso.html

[16] BeBionic. Actualizada: Abril 2013. Fecha de consulta: 12/05/13

http://es.bebionic.com/uploads/files/bebionic3_technical_information2.pdf

[17] Touch Bionics. Fecha de consulta: 18/04/13

http://www.touchbionics.com/media/66981/i-limb_ultra_revolution_datasheet.pdf

[18] historialbornoz.blogspot.com. Fecha de consulta 31/05/2013

[19] <http://www.vootar.com/a/Arado-romano>. Fecha de consulta 31/05/2013

[20] https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTnJLIE5cTDWoZIEVn6RrJ-CAWcKti_Cowg_ep5h3oVhLnOI4iv Fecha de consulta: 31/05/2013

[21] <https://www.asme.org/career-education/articles/undergraduate-students/advanced-biofuels-weaning-clean-energy> Fecha de consulta: 31/05/2013

[22] <http://enterthewriterslair.blogspot.mx/2011/09/arming-your-hero-part-7.html> Fecha de consulta: 31/05/2013

[23] <http://www.muyinteresante.com.mx/historia/260107/descubren-egipto-protesis-mas-antigua-mundo/> [6] Fecha de consulta: 31/05/2013

[24] <http://melillamarinera.blogspot.mx/?q=galera+romana> Fecha de consulta: 31/05/2013

[25] <http://coilhouse.net/2008/03/the-iron-hand-of-gotz-von-berlichingen/> Fecha de consulta: 31/05/2013

[26] <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01-1a.htm> Fecha de consulta: 31/05/2013

[27] <http://www.ranm.es/lente/Microscopios/Astronomia/Astronomia11/astronomia11.html> Fecha de consulta: 31/05/2013

[28] <http://es.dreamstime.com/im%C3%A1genes-de-archivo-libres-de-regal%C3%ADas-tornillos-y-tuercas-image6750729> Fecha de consulta: 31/05/2013

[29] <http://www.kanalkolor.com/accesorios.htm> Fecha de consulta: 31/05/2013

[30] <http://www.arpem.com/motos/modelos/ktm/fotos/2012/150-sx/transmision.html> Fecha de consulta: 31/05/2013

[31] http://es.kinta-plastics.com/china-Aleaci%C3%B3n_de_policarbonato_y_acrilonitrilo_butadieno_estireno_libre_de_hal%C3%B3genos_y_resistencia_a_la_inflamabilidad_FR5500_001-id143.html Fecha de consulta: 1/06/2013

[32] http://es.kinta-plastics.com/china-Polipropileno_resistencia_a_la_inflamabilidad_con_fibra_de_vidrio_03-id112.html Fecha de consulta: 1/06/2013

[33] http://fab.cba.mit.edu/classes/S62.12/people/vernelle.noel/Plastic_Snap_fit_design.pdf Fecha de consulta: 2/06/2013