



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Diseño de Prótesis biónica mediante aplicaciones de diseño paramétrico para disminuir los tiempos de desarrollo en la empresa CREAIVITY S.A.C

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Lozano Mantilla Victor Andres(orcid.org/0000-0002-6107-2433)

ASESOR:

Luis Alberto Julca Verástegui (orcid.org/0000-0001-5158-2686)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Modelamiento y Simulación de sistemas electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO-PERÚ

2021

Dedicatoria

En dedicatoria a todas las personas involucradas en la realización de este proyecto

Financiera y emocional a las personas más cercanas que no perdieron la esperanza, la fe sacrificando su tiempo y dedicación en apoyar este proyecto

educativa, a todas aquellas personas que tuvieron mucha paciencia en impulsar mi idea y que estuvieron cada semana escuchando y recomendado para dar un valor agregado a esta investigación al cual le estaré muy agradecido, obteniendo todo mi respeto

Agradecimiento

Agradezco a los ingenieros involucrados en este proyecto, al ingeniero Alex Tejeda que vio nacer esta idea, el ingeniero Jorge inciso por su apoyo y paciencia y al ingeniero Alberto Julca Verástegui por sus constantes asesorías y recomendaciones.

Índice de contenidos

Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Índice de contenidos	v
Índice de tablas	ix
Índice de gráficos y figuras.....	xi
RESUMEN	xiii
Palabras clave:.....	xiii
ABSTRACT	xiv
Keywords:.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 El diseño en la ingeniería mecánica	6
2.2.1 Procesos de diseño mecánico.....	6
2.3 El diseño asistido por computadora CAD / CAE	8
2.4 SolidWorks.....	9
2.5 Diseño paramétrico.....	9
2.6 Diseño paramétrico en SolidWorks.....	10
2.6.1 métodos de diseño ascendente y descendente	10
2.6.2 Macros.....	11
2.6.3 Ecuaciones.....	11
2.6.4 Configuraciones	13
2.6.5 Tabla de diseño	13
2.6.6 Componentes inteligentes	14
2.6.7 Biblioteca de diseño	15
2.6.8 Referencias externas.....	15
2.7 Análisis morfológico	17
2.8 Evaluación de alternativas.....	18
2.9 Anatomía del a mano humana	22
2.9.1 Sistema óseo.....	22

2.9.2	Sistema articular.....	24
2.9.3	Ligamentos y tendones	25
2.9.4	Fisiología de la mano	29
2.9.5	Posición natural de la mano	31
2.9.6	Rangos de movimientos de la mano humana	31
2.9.7	Dimensiones y proporciones	35
2.10	Grados de libertad	37
2.11	Algoritmo de denavit-hatemberg (DH)	38
2.12	Mecanismos.....	40
2.12.1	Mecanismo de barras.....	40
2.12.2	Mecanismo accionado por micromotores y engranes	41
2.12.3	Mecanismo transmitido por cuerdas y poleas	41
2.13	Pares cinemáticos.....	42
2.14	Bloques consecutivos	43
2.15	Normas técnicas	44
2.15.1	Norma ISO 7045	44
2.15.2	Norma ISO 8752	44
2.15.3	IEC 60228	45
2.15.4	ANSI B4.2-1978 (R1999)	45
2.16	Componentes.....	49
2.16.1	Conectores.....	49
2.16.2	Componentes electrónicos.....	51
2.16.3	Componentes mecánicos.....	55
2.16.4	Fuentes de energía	60
2.17	Análisis estadístico	61
2.18	Factor de diseño y factor de seguridad.....	62
2.19	Análisis de elementos finitos.....	63
III.	METODOLOGIA	66
3.1	Tipo y diseño de investigación.....	66
3.2	Variables y operacionalización de variables	67
3.2.1	Caja negra.....	68
3.3	Población muestra y muestreo	68
3.3.1	Población.....	68

3.3.2	Muestra	69
3.3.3	Muestreo	69
3.4	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	69
3.5	Procedimientos	70
3.6	Método de análisis de datos	71
3.7	Aspectos éticos.....	72
IV.	RESULTADOS	73
4.1	Definir las necesidades de diseño básicas para el funcionamiento de la prótesis en base a entrevistas con especialistas.	73
4.2	Determinar los grados de libertad del prototipo y calcular la cinemática directa del sistema	76
4.3	Generar y evaluar los conceptos de diseño con distintas configuraciones dentro de una matriz de diseño.....	81
4.4	Establecer los materiales de diseño a parametrizar de la prótesis	89
4.5	Establecer los parámetros y Diseñar la biblioteca	92
4.5.1	Mecanismo de barras de los dedos.....	92
4.5.2	<i>Medidas de las falanges que conforman el diseño</i>	96
4.5.3	Proporciones de las falanges que conforman el diseño	97
4.5.4	Ángulos de movimiento de las falanges	98
4.5.5	Diseño de biblioteca de componentes.....	98
4.6	Análisis y evaluación de ensamblaje y de los tiempos empleados en el diseño tradicional y paramétrico.....	120
4.6.1	Macros.....	120
4.6.2	Ecuaciones.....	121
4.6.3	Configuraciones	122
4.6.4	Tablas de diseño	122
4.6.5	Componentes inteligentes	124
4.6.6	Biblioteca de diseño	125
4.6.7	Referencias externas.....	126
4.6.8	Resumen de piezas modificables.....	127
4.6.9	Evaluación de tiempos	129
4.6.10	Análisis estadístico.....	131
4.7	Análisis y simulación del prototipo	133
4.7.1	Análisis estático preliminar	133

4.7.2	Cálculo aproximado para el peso máximo.....	137
4.7.3	Análisis de movimiento.....	139
V.	Discusión de resultados	140
5.1	Definir las necesidades de diseño básicas para el funcionamiento de la prótesis en base a entrevistas a especialistas	140
5.2	Determinar los grados de libertad del prototipo y calcular la cinemática directa del sistema	141
5.3	Generar y evaluar los conceptos de diseño con distintas configuraciones dentro de una matriz de diseño.....	142
5.4	Establecer los materiales de diseño a parametrizar de la prótesis	143
5.5	Establecer los parámetros y Diseñar la biblioteca	144
5.6	Análisis y evaluación de ensamblaje y de los tiempos empleados en el diseño tradicional y paramétrico.....	145
5.7	Análisis y simulación del prototipo	146
VI.	Conclusiones	147
1.	Conclusión	147
2.	Conclusión	147
3.	Conclusión	147
4.	Conclusión	147
5.	Conclusión	147
6.	Conclusión	148
7.	Conclusión	148
8.	Conclusión	148
9.	Conclusión	148
10.	Conclusión	148
VII.	Recomendaciones	149
VIII.	REFERENCIAS.....	150
	ANEXOS	157

ÍNDICE DE TABLAS

1.Procedimiento de ordenamiento de ordenamiento de objetivos (Cross, 2021, pág. 132).....	18
2. <i>Alternativa A de distribución de puntaje</i>	19
3.Alternativa B de distribución de puntajes.....	19
4. valores de estimación de objetivos (Cross, 2021, pág. 138).....	20
5. comparación de objetivos en una escala de puntos ejemplo (Cross, 2021, pág. 138)	20
6. Evaluación de alternativas (Cross, 2021, pág. 141).....	21
7. Relación porcentual de las falanges con respecto a la longitud de la mano (Freivalds, 2011, pág. 173)	35
8. dimensiones de las articulaciones interfalángicas en hombre y mujeres (mm) (Freivalds, 2011, pág. 174)	35
9.Medidas para los dedos de la mano. (Loaiza Bernal, 2012, pág. 54)	36
10.Proporción matemática entre falanges (Aydinlioglu y otros, 1998, pág. 212)	36
11. Proporción matemática entre FP (Aydinlioglu y otros, 1998, pág. 212)	36
12. Proporción matemática entre FM (Aydinlioglu y otros, 1998, pág. 212).....	37
13. proporción matemática entre FD (Aydinlioglu y otros, 1998, pág. 213)	37
14. Parámetros de Denavid Hatenberg.....	39
15. ejemplo de bloques constitutivos físicos (Erdman & Sandor, 1998, pág. 105)	43
16. Descripción de ajustes de tolerancia	48
17. Serie de conectores JST más usados (Wikipedia , 2022).....	50
18.Módulos normalizados según Norma 867.....	60
19 . recomendaciones para determinar F.S (The Engineering Toolbox, 2010).....	63
20. Variables y Operacionalización de variables.....	67
21. tabla de exigencias básicas	75
22. leyenda de grafico 38.....	77
23.Cinemática directa muñeca-medio-índice-anular fuente propia.....	78
24.Cinemática directa muñeca-meñique fuente propia.....	79
25.Cinemática directa muñeca-pulgar fuente propia.....	79
26.Evaluación de alternativas diagrama morfológico fuente propia	84
27. lista de conceptos fuente propia	85
28.prioridad de objetivos	86
29.puntaje de objetivos	86
30.escala de puntaje	87
31. escala de puntos por objetivo seleccionado	87
32. Tabla de selección de materiales fuente propia.....	91
33. parámetros mecanismo de barras del dedo índice	92
34.Parámetros del mecanismo de 4 barras del dedo medio.....	93
35.Parámetros del mecanismo de 4 barras del dedo anular.....	94
36 Parámetros del mecanismo de 4 barras del dedo meñique	94
37.Parámetros del mecanismo de 4 barras del dedo pulgar.....	95
38.longitud de los huesos de los dedos fuente propia	96
39.Longitud de las articulaciones fuente propia	96
40. medidas para la palma fuente propia.....	97
41. Porcentaje de longitud de los huesos de los dedos	97
42. Porcentaje de longitud de las articulaciones de los dedos.....	97
43. porcentaje para las medidas de la palma	98
44.Ángulos de apertura y cierre de los dedos fuente propia.....	98
45. Selección de parámetros Conector Dupont Hembra.....	100
46.Selección de parámetros conector Dupont Macho	100
47.Valores normalizados A.W.G DEL 24 AL 27 (Electrónica Fácil, 2022)	101
48. Selección de parámetros header hembra	101
49. Selección de parámetros Header macho.....	102
50. Selección de parámetros conector jst ph macho	102
51. Selección de parámetros Conector jstph hembra	103
52.Dimensiones del fabricante serie 19.....	104
53. Dimensiones del fabricante serie 14 corto	104
54. diseño de resorte de torsión 180° fuente propia	105
55.Selección de parámetros Pasador ranurado ISO 8752.....	106

56. Selección de parámetros de engranajes rectos	107
57. Selección de parámetros para el diseño de la palma de la mano	116
58. Selección de parámetros para el diseño de las falanges Proximales	117
59. Selección de parámetros para el diseño de las falanges medias	117
60. Selección de parámetros para el diseño de las falanges distales	118
61. Selección de parámetros para el diseño del pulgar	119
62. resumen de componentes y elementos modificables	128
63. tabla para la evaluación de tiempos de ensamble ANEXO TT	130
64. Propiedades mecánicas del material seleccionado	133
65. Análisis estático tapa palmar prótesis	134
66. Análisis estático tapa dorsal.....	134
67. Análisis estático palma de la mano	135
68. Análisis estático dedos de la mano	136
69. Análisis estático pulgar	136
70. Pesos recomendados para el prototipo	138
71. pesos máximos promedios para la palma y los dedos.....	138
72. Resumen de fuerzas obtenidas en la simulación de pinzamiento.....	139

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

1. Proceso de diseño de Michael French (Cross, 2021, pág. 31).....	7
2. herramientas macro fuente propia	11
3. Tabla de ecuaciones fuente propia	12
4. sintaxis para la relación de variables globales entre componentes.....	12
5. Apartado de configuraciones SolidWorks Fuente propia.....	13
6. Apartado de tabla de diseño fuente propia	14
7. Biblioteca de diseño fuente propia	15
8. pieza con referencias externas fuente propia.	16
9. Diagrama morfológico de un posicionador de soldadura (Cross, 2021, pág. 134).....	17
10. hueso de la mano derecha vista palmar (Thompson, 2010, pág. 185)	22
11. huesos de la mano derecha vista dorsal (Thompson, 2010, pág. 185)	23
12. Distribución de los huesos de la mano fuente propia	24
13. articulaciones de la mano derecha visión dorsal (Schunke y otros, 2007, pág. 223)	25
14. complejo ligamentario de la mano vista dorsal (Schunke y otros, 2007, pág. 246).....	26
15. complejo ligamentario de la mano vista palmar (Schunke y otros, 2007, pág. 246)	27
16. túnel carpiano (Schunke y otros, 2007, pág. 248)	28
17. Tendones flexores de los dedos (Schunke y otros, 2007, pág. 250).....	28
18. Tendones extensores de los dedos (Thompson, 2010, pág. 185).....	29
19. pliegues de la mano vista palmar (Kapandji, 2006, pág. 201).....	29
20. importancia de los dedos (Kapandji, 2006, pág. 203).....	30
21. posición natural del mano (Kapandji, 2006, pág. 207).....	31
22. movimientos de la muñeca (Schunke y otros, 2007, pág. 255)	31
23. Grados de movimiento de las articulaciones metacarpofalángicas (Kapandji, 2006, pág. 207).....	32
24. Grados de movimiento en la articulación IFD e IFDP (Schunke y otros, 2007, pág. 255)	32
26. Abducción de los dedos (Kapandji, 2006, pág. 207)	33
26. ejes de movimiento de la articulación carpometacarpiana (Schunke y otros, 2007, pág. 253)..	33
27. movimientos de la articulación carpo metacarpiana (Schunke y otros, 2007, pág. 253).....	34
28. Arreglo de Denavit- Hartenberg (Reyes Cortes, 2011, pág. 213).....	38
29. Matriz de transformación homogénea 4x4 (Reyes Cortes, 2011, pág. 217)	39
30. mecanismo de barra del dedo (Aviles y otros, 2005).....	41
31. Diseño del dedo con micromotores por (Lin , 1998)	41
32. prótesis con mecanismos de cuerdas y poleas (Carrozza y otros, 2003)	42
34- Juntas de varios tipos (Norton, 2005, pág. 30)	43
34. características dimensionales de la norma ISO 7045.....	44
35. Características dimensionales de la norma 8752	44
36. términos usados en la norma ANSIB4.2-1978 (R1999).....	45
37. Simbología de la norma ANSIB4.2-1978 (R1999) (OBERG, y otros, 2004, pág. 667).....	46
38. Ajustes métricos preferidos para agujero básico	47
39. Ajustes métricos preferidos para eje básico	47
40. Conector DuPont de 1 canal (MECCANISMO COMPLESSO, 2013).....	49
41. módulo controlador de servos PCA9685 (naylamp Mechatronic, 2022).....	52
42. Modulo BMS HX-2S-JH20 2S	52
43. modulo indicador de carga (ENVISTIA , 2022)	52
44. Sensor de posición optoelectrónico enconder óptico (Reyes Cortes, 2011, pág. 73)	54
45. componentes basicos de un servomotor (Reyes Cortes, 2011, pág. 49).....	54
46. inserto de serie 19 para ser instalado por calor	55
47. Tornillo H Phillips (CELO, 2022, pág. 1)	55
48. Pasadores elásticos ranurados (SPIROL, 2022, pág. 4)	56
49. Resortes de torsión de 180° (Lee spring, 2015, pág. 234)	56

50. Nomenclatura de los engranajes rectos (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 656)	57
51. construcción de una curva de involuta (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 659)	58
52. Generación de la curva de involuta (Litvin & Fuentes, 2001, pág. 271)	59
53. modelo enmallado de un cigüeñal (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 934)	65
54. Diagrama de caja negra fuente propia	68
55. configuración morfológica preliminar del diseño	73
56. ángulos de cierre de los dedos de la mano fuente propia	74
57. Pares cinemáticos y ejes de coordenadas fuente propia	76
62. Representación mecanismo 4 barras dedo índice	92
63. Representación del movimiento dedo índice	93
60. Representación mecanismo de 4 barras dedo medio	93
61. representación del movimiento de dedo medio	93
62. Representación del mecanismo de 4 barras en el dedo anular	94
63. Representación del movimiento del dedo anular	94
64. Representación del mecanismo de 4 barras del dedo meñique	95
65. representación del movimiento del dedo meñique	95
66. representación del mecanismo de 4 barras del dedo pulgar	95
71. Movimiento del dedo pulgar	96
68. dimensiones tornillo h-philips	105
69. diseño de placa controladora como componente inteligente fuente propia	108
70. diseño de placa controladora Raspberry pi como componente inteligente fuente propia	108
71. diseño de placa controladora Arduboard mega 2560 – embebido fuente propia	109
72. diseño de placa controladora Nodemcu-32 38-pin esp32 wifi fuente propia	109
73. diseño de Módulo Controlador de Servos PCA9685 fuente propia	110
74. diseño de DC-DC STEP-DOWN 5A XL4005 fuente propia	110
75. diseño de DC-DC STEP-UP-DOWN 1.5A XL6009 fuente propia	111
80. diseño de DC-DC STEP-DOWN 3A LM2596 fuente propia	111
77. Módulo de carga BMS de 2 celdas fuente propia	112
78. dibujo de modulo cargador de baterías fuente propia	112
79. diseño inteligente de servomotor RDS3115 15KG fuente propia	113
84. Diseño inteligente de micro servomotor MG90S fuente propia	113
81. Diseño de micromotor N20 NC 12V 100 RPM con Encoder	114
82. Dibujo de batería li-po fuente propia	114
83. diseño básico de la palma de la prótesis	116
84. Diseño básico falanges proximales fuente propia	117
85. Diseño básico Falanges medias fuente propia	118
86. Diseño básico Falanges distales Fuente propia	118
87. Diseño básico metacarpo pulgar fuente propia	119
88. Diseño de barras articuladas	119
89. organización de ecuaciones fuente propia	121
90. relación de variables globales en un ensamblaje fuente propia	122
91. supresión de operaciones para cada configuración fuente propia	122
92. tabla de diseño en una ventana nueva fuente propia	123
93. selección de cotas en tabla de diseño fuente propia	123
94. operación de hacer independiente.	124
95. Error de reconstrucción fuente propia	124
96. subíndice diferenciador en las operaciones. fuente propia	125
97. apartado de referencias. fuente propia	125

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es el de diseñar una prótesis biónica con aplicaciones de diseño paramétrico para la empresa CREA VITY S.A.C utilizando el software SolidWorks. Siendo un problema la complejidad de los mecanismos tanto mecánicos como electrónicos, así como también el corto tiempo que se tiene en los procesos de diseño de prototipos de innovación tecnológica, buscamos representar un sistema de diseño paramétrico que permita al usuario crear estos prototipos de forma ágil. Para ello utilizamos una metodología de investigación aplicada donde creamos una biblioteca como muestra de estudio con elementos base para el diseño, en donde trabajamos con una estructura diseño mecánico base, modelos matemáticos y parámetros preliminares que al final nos permitió crear parámetros específicos y modelos utilizando herramientas y complementos de diseño paramétrico. Con todo esto en conjunto se logró la reducción del tiempo de desarrollo de la prótesis biónica de 20 horas en un desarrollo tradicional a solo 11 horas, concluyendo con la recomendación del uso de diseño paramétrico para la creación ágil de prototipos en el área de innovación.

.

Palabras clave:

Prótesis biónica, Prototipo, Diseño paramétrico, Diseño tradicional. Significativo

ABSTRACT

The objective of this research work is to design a bionic prosthesis with parametric design applications for the company CREAVITY S.A.C using SolidWorks software. Being a problem the complexity of both mechanical and electronic mechanisms, as well as the short time required for the design processes of technological innovation prototypes, we seek to represent a parametric design system that allows the user to create these prototypes in an agile way. For this we used an applied research methodology where we created a sample library as a study with base elements for the design, where we worked with a base mechanical design structure, mathematical models and preliminary parameters that in the end allowed us to create specific parameters and use models and parametric design plugins. With all this together, the development time of the bionic prosthesis was reduced from 20 hours in a traditional development to only 11 hours, concluding with the recommendation of the use of parametric design for the agile creation of prototypes in the innovation area.

Keywords:

Bionic prosthesis, Prototype, Parametric design, Traditional design. Significant

I. INTRODUCCIÓN

El diseño de un prototipo o producto es un proceso iterativo, multidisciplinario y colaborativo donde se parte de una necesidad y una idea de solución para su correspondiente diseño y fabricación, los ingenieros tienen que satisfacer las necesidades de los clientes con la información recolectada, muchas veces nos encontramos con información nueva, actualizada o con otro punto de vista, se descubren nuevas necesidades u ocurren errores humanos en el proceso que obliga a los ingenieros replantear el diseño, retrocediendo o repitiendo algunos pasos anteriores dentro de un procedimiento de diseño tradicional.

El diseño, desarrollo y creación de un producto, máquinas, herramientas y automatismos evoluciona constantemente y un gran cambio en esta evolución surgió con el uso de los softwares CAD/CAM que nos permiten determinar bajo un modelo en 3D una representación del producto con las Características que buscamos, facilitando incluso la validación de este.

Es así que Bajo este punto existe un estudio que “prevé que el mercado global de diseño asistido por computadora alcanzara un crecimiento durante el período pronosticado de 2020-2030, con un valor proyectado de US \$ 10,906.8 Mn, desde US \$ 6,632.4 Mn en 2020”, según (market.biz, 2020). Esto quiere decir que en los próximos años marcas como Autodesk, Dassault Systemes, PTC, Siemens PLM Software, que son las marcas que lideran el mercado son y serán de gran importancia para industria, y que como ingenieros debemos aprender a optimizar el uso de estos programas.

Uno de los softwares de diseño CAD/CAM más versátil, completo e intuitivo es el SolidWorks siendo este el de mayor demanda en el mercado actual debido a su alta compatibilidad con otros programas además de ser de fácil aprendizaje Y por ser un software de diseño paramétrico modular.

Gracias a este software ha sido posible diseñar y parametrizar de manera eficiente productos para el rubro que la empresa dispone, sin embargo, hay rubros en la cual los productos se encuentran en constante evolución un ejemplo es el sector tecnológico donde según (Arenas, 2020) afirma que Según IDC (INTERNATIONAL

DATA CORPORATION), *“las inversiones digitales a medida global alcanzarán los 6,8 billones de dólares entre 2020 y 2023”*, este es un ejemplo que indica que el sector tecnológico se encuentra constantemente evolucionando con el descubrimiento de nuevas tecnologías.

Dentro de este sector se ubica la empresa CREAVITY S.A.C entendido en el desarrollo e innovación de software, servicios de hosting y tecnología en general, la cual se sostiene en las metodologías ágiles para desarrollar los softwares siendo estas completamente iterativas, con un periodo de duración de dos semanas por cada iteración, y con presentaciones mensuales a lo largo del proyecto.

CREAVITY S.A.C es una empresa que busca ser líder en innovación y emprendimiento en el norte del Perú, generando nuevas ideas y modelos de negocio ofreciendo productos y servicios a escala global, es por ello que la empresa ha creído conveniente ver como oportunidad de negocio encaminarse a la innovación y desarrollo de productos electromecánicos bajo el modelo startup que se concatenen con el desarrollo de aplicaciones y programación abriendo las puertas a la investigación de futuras tecnologías como por ejemplo la inteligencia artificial y el Machine Learning.

Si bien CREAVITY S.A.C a lo largo de los años se ha especializado en el desarrollo de software, no cuenta con ninguna experiencia, estudio de diseño ni personal capacitado para el diseño de productos electromecánicos que se combine con el desarrollo de aplicaciones y programación. Teniendo como consecuencia largos periodos de trabajo al querer definir un producto electromecánico, al ser sometido a varias iteraciones a lo largo del proceso metodológico de la empresa siendo este tedioso y agotador teniendo que alargar el proyecto por más tiempo de lo estimado. En este trabajo

En nuestro estudio se pretende diseñar un prototipo de prótesis biónica que sirva de un prototipo ejemplo para un diseño rápido, modular e intuitiva con las herramientas de diseño paramétrico que me brinda el software SolidWorks combinando aspectos como el diseño de una biblioteca local y modificable, complementos y herramientas del propio entorno del programa con el fin de reducir los tiempos de desarrollo del prototipo dentro del entorno del software y sobre todo

dejar una base que permita la mejora continua para la creación, mejora y personalización de más proyectos que realice la empresa.

Para ello nos preguntamos ¿El diseño de una prótesis biónica mediante aplicaciones de diseño paramétrico disminuirá los tiempos de desarrollo dentro de la empresa CREAVITY S.A.C.?

Nuestra hipótesis es que El diseño de una prótesis biónica mediante aplicaciones de diseño paramétrico reducirá los tiempos de desarrollo significativamente en la empresa CREAVITY S.A.C.

En este proyecto de investigación nos justificamos para que la empresa cuente con la facilidad de diseñar el prototipo de prótesis biónica, así como el de futuros proyectos desarrollados en el área de innovación y desarrollo, bajo herramientas de diseño paramétrico que permitan ser ensamblados de forma más sencilla dentro del entorno de diseño del software SolidWorks, dando paso a el diseño y rediseño de nuevas tecnologías y productos con un tiempo significativamente corto.

contribuiremos en el estudio para generar la información necesaria que permita obtener el diseño de la prótesis biónica en un periodo de tiempo significativo además de contribuir en un proceso de mejora continua para el futuro diseño de más proyectos.

Para ello Diseñaremos una prótesis biónica de mano con aplicaciones de diseño paramétrico.

- Definir las necesidades de diseño básicas para el funcionamiento de la prótesis en base a entrevistas con especialistas.
- Determinar los grados de libertad del prototipo y calcular la cinemática directa del sistema
- Generar y evaluar los conceptos de diseño con distintas configuraciones dentro de una matriz de diseño
- Establecer los materiales de diseño de la prótesis a parametrizar
- Establecer los parámetros y Diseñar la biblioteca

- Análisis y evaluación de ensamblaje y de los tiempos empleados en el diseño tradicional y paramétrico
- Análisis y simulación del prototipo

II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

Se realizó la investigación correspondiente para abarcar los temas que nos servirán de ayuda para desarrollar nuestro estudio y obtener un enfoque general con información necesaria desarrollada por los autores.

(Hurtado Silva, 2010) en su tesis de maestría propone establecer una metodología para el diseño paramétrico en general y diseñar en base esta, una aplicación de componentes mecánicos, el autor pretende hacer del diseño paramétrico un enfoque global para la creación de modelos 3d. Dentro de sus conclusiones el autor pudo llegar a alcanzar una metodología que sirvió para ordenar y racionalizar el proceso de diseño, mediante el empleo de reglas y términos sencillos de combinando sentido común con el conocimiento tecnológico, además expandió el diseño paramétrico más allá del dibujo de geometrías lo llevo al análisis de tolerancias y procesos de optimización.

Según (Pérez romero, 2011) en su tesis de maestría elaborado en el instituto politécnico nacional en México, México DF, analiza e implementa una mano robótica como como prótesis presentando una recopilación muy importante de los avances que se han ido desarrollando a través del tiempo y analiza los aspectos anatómicos de la mano humana, el autor analiza cinemáticamente paso a paso con los parámetros de Denavit- hartenberg con el fin de obtener un prototipo lo más cercano a la mano humana en movimiento y forma.

Según (Loaiza Bernal, 2012) en su tesis de maestría simula un prototipo de prótesis de mano bio-inspirada con cinco grados de libertad con un proceso de diseño de detalle y consideraciones de diseño multidisciplinarias, presento aspectos fundamentales desde la fisiología y la biomecánica de la mano humana, establece especificaciones de diseño , modelos matemáticos, geométricos para un correcto desarrollo del diseño y funcionamiento del mismo, en donde nos referenciaremos en lo obtenido con las proporciones fisiológicas, el método de diseño y análisis de la mano humana que el autor realiza.

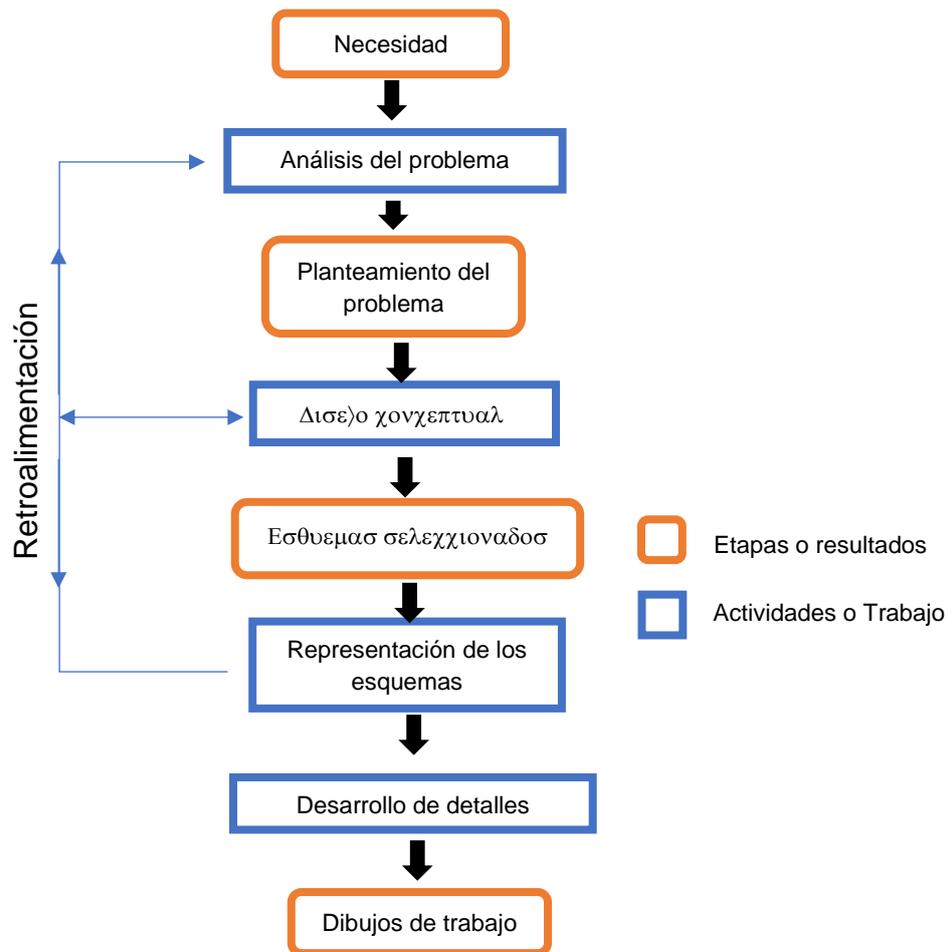
2.2 El diseño en la ingeniería mecánica

El diseño en la ingeniería mecánica es un proceso completamente iterativo y multidisciplinario según (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 5) *“es un proceso de tomas de decisiones que se puede tomar con poco, mucha o información contradictoria en donde el diseñador tiene que sentirse cómodo al momento de tomar decisiones”* , esto quiere decir que hay que ser muy analíticos y congruentes con lo que se quiere llegar y que para procesar toda esa información de manera correcta debemos adecuarnos a una metodología a proceso de diseño enfocado al diseño de elementos electromecánicos.

2.2.1 Procesos de diseño mecánico.

Durante los últimos años los procesos de diseño se han englobado en dos categorías los procesos descriptivos y prescriptivo, *“un modelo prescriptivo permite al diseñador adoptar un proceso de trabajo que termina en una metodología en particular derivado del problema a resolver, el cual genera múltiples diseños alternativos y un modelo descriptivo es un proceso convencional enfocado a una sola solución “* (Pérez romero, 2011)

En este proyecto nos basaremos en un modelo de diseño descriptivo propuesto por Michael French en 1985 el cual propone un proceso congruente al resultado que queremos dar.



1. Proceso de diseño de Michael French (Cross, 2021, pág. 31)

Según (Cross, 2021, pág. 30) El procedimiento de Michael French propone 3 partes principales

Planteamiento del diseño: se plantea el problema y las necesidades de diseño, sus limitaciones y el criterio de excelencia es decir hacia donde se va a trabajar.

Diseño conceptual: en esta fase se generan soluciones amplias en base al planteamiento del problema, esta fase se requiere de la información necesaria para la toma de decisiones más importantes.

Dar forma a los esquemas: en esta fase los conceptos se desarrollan con mayor detalle y se evalúan entre ellos analizando la mejor propuesta, el producto final es un conjunto de dibujos en donde existe una retroalimentación con el diseño conceptual

Desarrollo de detalles: fase en la que necesita gran habilidad y paciencia y que gracias al software de diseño CAD/CAM se ha facilitado a lo largo de los años, está la parte más importante del proceso que define el diseño del proyecto, su funcionamiento y su fabricación.

Este proceso propuesto por Michael French en donde se utilizará el diseño paramétrico con el software SolidWorks para la obtención de los diseños conceptuales y sobre todo evaluarlos con el fin de obtener el diseño más adecuado para el desarrollo de detalles y presentar los esquemas necesarios facilitando la retroalimentación planteada en el proceso.

2.3 El diseño asistido por computadora CAD / CAE

“En 1963 Ivan Sutherland del Massachusetts Institute of Technology publicó en su tesis de doctorado sobre las gráficas interactivas por computadora definiendo la forma del objeto en un sistema Sketchpad - SUTH6. La tecnología CAD se ha desarrollado limitando el tiempo de proceso. La aplicación del software CAD en la ingeniería abarca la elaboración de cuadros sinópticos, diagramas de diversos tipos, gráficos estadísticos, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación, representación tridimensional de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, robótica, etc.” (Rojas Lazo y Rojas Rojas, 2006)

2.4 SolidWorks

Según (SOLIDBI, 2021) “SOLIDWORKS es el software de diseño CAD 3D que modela piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software promete una gama de soluciones para cumplir los aspectos implicados en el desarrollo del producto. SolidWorks ofrece la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.”

La página (SOLIDBI, 2021) expresa que “En 1993, Jon Hirschtick, contrató a un equipo de ingenieros con el objetivo de hacer que la tecnología de diseño CAD 3D fuera accesible para todos. desarrollando la primera tecnología de diseño CAD 3D ejecutada en la plataforma de Windows. Hoy este programa ofrece las herramientas para crear, simular, publicar, administrar y gestionar proyectos y procedimientos, maximizando la innovación y la productividad de los recursos de ingeniería.”

SolidWorks ofrece hoy en día una interfaz con una alta gama de herramientas que nos permiten facilitar la creación de un producto o sistemas siendo el programa más usado actualmente en el mercado por los diseñadores mecánicos e industriales.

2.5 Diseño paramétrico

“El Diseño paramétrico es un proceso de modelado 3D con la capacidad de cambiar la forma de la geometría del modelo tan pronto como se modifica el valor de la dimensión. El modelado paramétrico se implementa a través del código de programación de computadora de diseño, como un script para definir la dimensión y la forma del modelo. El modelo se puede visualizar en programas de dibujo 3D para asemejarse a los atributos del comportamiento real del proyecto original. Es bastante común que un modelo paramétrico utilice herramientas de modelado basadas en características para manipular los atributos del modelo”. (FU, 2018)

Los autores (Motta & Zdrahal, 2000) establecen que el modelado o diseño paramétrico “se puede caracterizar como un mapeo de un espacio de seis dimensiones: parámetros, rango de valores, Restricciones, requerimientos, referencias y función de costo global”

2.6 Diseño paramétrico en SolidWorks

“El diseño paramétrico nos ayuda a ajustar y cambiar el modelo en cualquier parte del proceso metodológico de diseño, así también nos facilita un trabajo colaborativo y ayuda a reducir los costos de rediseño. Un diseño paramétrico bien planeado encamina la resolución de problemas ajustando parámetros claves con la seguridad de que el resto se actualizará inmediatamente. Usar el diseño paramétrico con softwares como SolidWorks nos ayuda a evitar errores”.
(Dassault System, 2021)

2.6.1 métodos de diseño ascendente y descendente

en SolidWorks Según (Dassault Systemes, 2021) Se pueden crear diseños en un ensamblaje utilizando estos dos métodos

Diseño ascendente

es el método de diseño tradicional, primero se diseñan previamente las piezas en un contexto de pieza para posteriormente ser insertadas con relación de posición en un contexto de ensamblaje.

Es ideal para piezas ya estandarizadas que no cambian conforme se cambia el diseño.

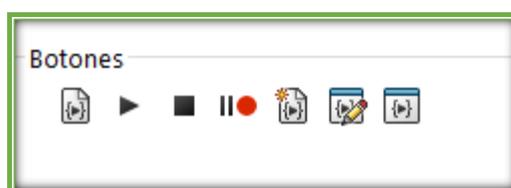
Diseño Descendente

Llamado también diseño en contexto, se diseñan las piezas dentro del contexto de ensamblaje con el fin de que estén a medida en relación a otro componente, la ventaja es que es fácilmente modificar un componente cuando se realiza un cambio en el ensamble.

2.6.2 Macros

Según (Dassault Systemes, 2021) una macro es una secuencia de comandos que permiten realizar operaciones de forma automática y simplificada en el software, podemos crear una macro, editarla o guardarla. para ejecutarla y que realice las operaciones que necesitamos.

Tenemos la facilidad de grabar una macro con los pasos que deseamos hacer dentro del programa con la herramienta de grabar / pausar macro para posteriormente editarla o ejecutarla creando un nuevo botón macro



2. herramientas macro fuente propia

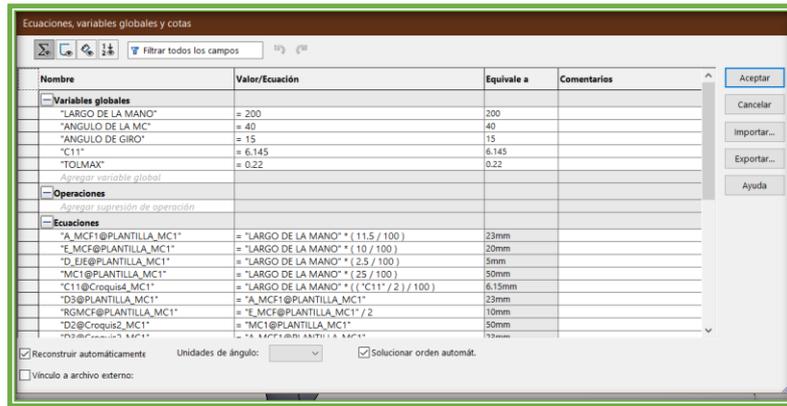
Las macros se editan en el lenguaje de programación VBA (Visual Basic for Applications) por lo que se requiere cierto nivel de lenguaje de programación si deseamos una macro personalizada.

Para el propósito de esta investigación recurrimos a un repositorio de artículos de código abierto disponible para programadores, diseñadores y estudiantes donde comprende una data de códigos de ejemplo para el software e implementarlos en un botón macro, (Code stack , 2022)

2.6.3 Ecuaciones

Según (Dassault Systemes, 2021) la herramienta ecuaciones nos permiten definir cotas mediante variables o funciones matemáticas y crear relaciones matemáticas entre 2 o más cotas ya sean en contexto de ensamblaje o pieza.

En donde podemos utilizar variables globales, nombre de cotas; ecuaciones matemáticas, funciones matemáticas, propiedades de archivo y medidas de cotas.



3. Tabla de ecuaciones fuente propia

Según (Dassault Systemes, 2021) la sintaxis de las ecuaciones a nivel de ensamblaje que referencian entre componentes del ensamblaje se carga al seleccionar las cotas, operaciones y variables globales en el gestor de diseño, para generar una relación de variables globales entre componente y ensamblaje debe seguir una igualdad de “pieza” = “ensamble o subensamble”, “subensamble” = “ensamble”.

En el siguiente ejemplo, A1 es un subensamblaje de A2 que contiene las piezas P1 y P2:

```

A2
|__A1
|   |__P1
|   |__P2
  
```

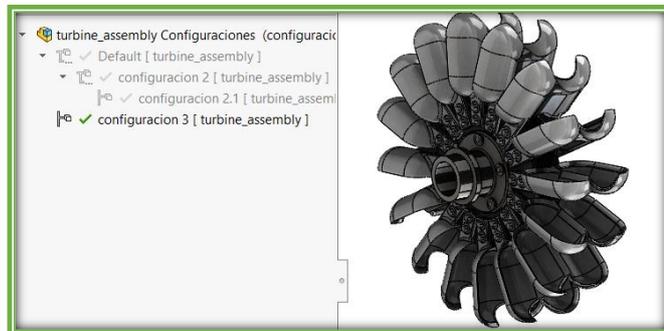
GV1 y GV2 son variables globales de los documentos. Utilice la siguiente sintaxis:

Editar destino	Referencia a	Sintaxis
A2	A2	"GV1" = "GV2"
A2	A1	"GV1" = "GV2@A1<1>.Assembly"
A2	P1	"GV1" = "GV2@P1<1>.Part@A1<1>.Assembly"
A1	A2	"GV1" = "GV2@A2.Assembly"
A1	A1	"GV1" = "GV2"
A1	P1	"GV1" = "GV2@P1<1>.Part"
P1	A2	"GV1" = "GV2@A2.Assembly"
P1	A1	"GV1" = "GV2@A1<1>.Assembly"
P1	P1	"GV1" = "GV2"
P1	P2	"GV1" = "GV2@P2<1>.Part@A1<1>.Assembly"

4. sintaxis para la relación de variables globales entre componentes

2.6.4 Configuraciones

Según (Dassault Systemes, 2021) el apartado configuraciones nos facilita en crear variaciones de una pieza o de un ensamblaje en un solo archivo, donde es posible gestionar familias de piezas con diferentes operaciones cotas y dibujos.



5. Apartado de configuraciones SolidWorks Fuente propia

Dentro del contexto de pieza podemos crear distintas configuraciones y configuraciones derivadas creando familias de un mismo componente con distintas propiedades, croquis y operaciones

Dentro del contexto de ensamblaje permite crear modelos más simplificados del ensamble, configuraciones o conceptos diferentes con distintos parámetros

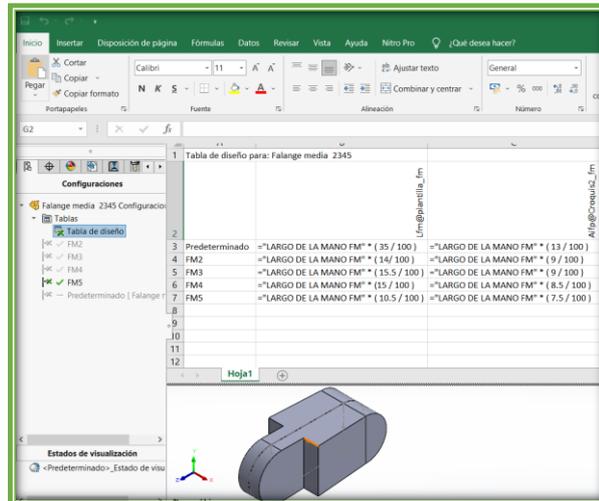
Para crear las configuraciones según (Dassault Systemes, 2021) disponemos de 3 métodos crearlas manualmente en el gestor de diseño, utilizando el cuadro de dialogo de modificar configuración, y el uso en este proyecto el de crear tablas de diseño.

2.6.5 Tabla de diseño

Según (Dassault Systemes, 2021) una tabla de diseño le permite al diseñador generar configuraciones distintas configuraciones con distintos parámetros o ecuaciones de manera ordenada en una hoja de cálculo en Excel.

En el contexto de pieza podemos controlar las cotas, estados de supresión, tamaño de taladros, propiedades, número de pieza, materiales, ecuaciones, etc.

En un contexto de ensamblaje podemos controlar el estado de supresión de los componentes que lo conforman, referencias, relaciones de posición, propiedades de componente, etc.



6. Apartado de tabla de diseño fuente propia

2.6.6 Componentes inteligentes

Según: (Dassault Systemes, 2021) los componentes inteligentes son partes de un ensamble los cuales se le asocian componentes y operaciones de manera automática es usado para componentes estandarizados y que son usados con frecuencia.

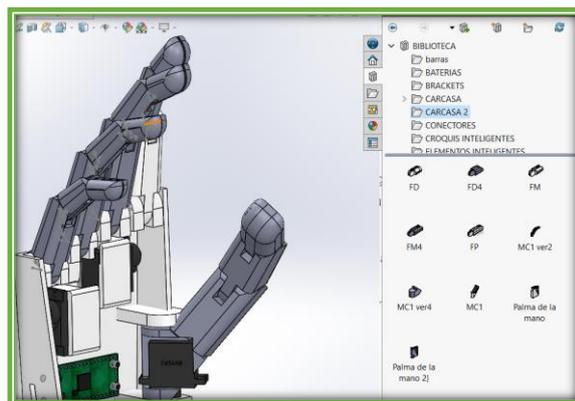
Estos componentes arrastran otros elementos de nuestra biblioteca y los agregar con una relación de posición ya referenciada y modifican la pieza o el elemento en donde son colocados, facilitando la inserción de piezas estandarizadas, también pueden arrastrar distintas configuraciones de los elementos asociados y pueden agregarse ajustes automáticos cilíndrico.

2.6.7 Biblioteca de diseño

Según (Dassault Systemes, 2021) la biblioteca de diseño ubicada en el panel de tareas nos genera un lugar central para los elementos, piezas, operaciones o ensambles que sean reutilizables dentro del software.

El apartado de biblioteca de diseño nos brinda de una gama de herramientas que nos permite agregar archivos, agregar una ubicación, crear una nueva carpeta, mover, actualizar o eliminar.

SolidWorks también cuenta con el apartado de toolbox el cual es un contenido que se debe agregar con anterioridad y nos brinda una gama de elementos personalizados para nuestro diseño la cual se le pueden agregar más archivos. Mas sin embargo estos archivos se generan como archivos de solo lectura y deben ser independizados si se desea hacer un cambio.



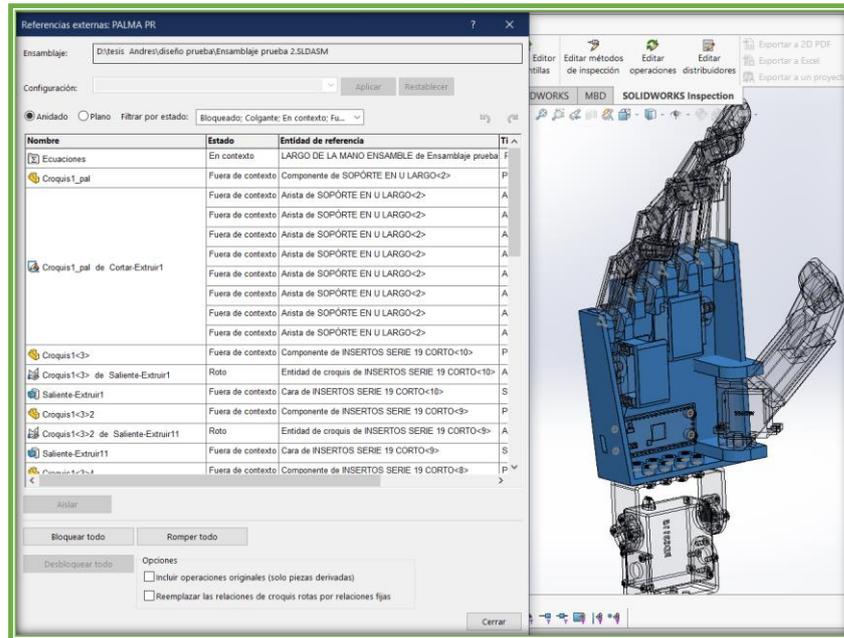
7. Biblioteca de diseño fuente propia

2.6.8 Referencias externas

Según (DASSAULT SYSTEMES, 2021) se genera una referencia cuando una pieza depende de otra para su reconstrucción, cuando se modifica la pieza de referencia, se modificará todas las piezas que dependen de esta

En un ensamble se pueden crear operaciones en contexto dentro de una pieza que referencia a la geometría de otra pieza, si llegase a modificar la geometría de la pieza de referencia la operación en contexto asociada cambiara según la modificación de la pieza.

Se pueden ver las referencias externas de los elementos haciendo clic derecho sobre este y seleccionando referencias externas.



8. pieza con referencias externas fuente propia.

2.7 Análisis morfológico

Según (Cross, 2021, pág. 130) un análisis morfológico tiene como objetivo establecer los aspectos esenciales de diseño conocidos como parámetros en donde cada componente cumpla una función siendo esta independiente de la otra, el autor propone 3 pasos fundamentales, los cuales son :

- Tener una lista de características que son esenciales para el diseño
- Tener los medios por los cuales cada característica o función podría realizarse
- Elaborar un diagrama que contenga todas las soluciones secundarias posibles
- Identificar posibles combinaciones de solución

Partial Functions		Action Principles/Families of Function-carriers						
		1	2	3	4	5	6	
1	ENABLE connection with workpiece	Form interlocking	← mechanical →			← Force locking (friction) →		
			screw or bolt	wedge	pneumatic	hydraulic	magnetic	
2	ENABLE rotational movement	Rotational guidance sliding journal bearing	rolling bearing					
3	ENABLE tilting movement	cylinder	sphere	fulcrum pin position	hang from above			
4	ENABLE height adjustment	straight line guidance, bearing, sliding or rolling	screw thread		lever mechanism			
21 31 41	LOCK state	hold directly by hand, weight of workpiece	← form interlocking →	← force locking (friction) →				
			hole - pin	ratchet mechanism	within guidance	screw with washer	wedge, brake block	
22 32 42	DRIVE (by hand)	Direct	← with mechanical advantage →			← device →		
			gear wheel pair	rack and pinion	helical gears (crossed)	worm and worm wheel	band, lever rope, eccentric chain cam	
23 33 43	CONTROL of movement	through drive mechanism	through locking (ratchet)					
	Show position	← mechanical →		optical	electronic	mechanical stop		
		line scale	pointer scale					

9. Diagrama morfológico de un posicionador de soldadura (Cross, 2021, pág. 134)

2.8 Evaluación de alternativas

Para analizar estas alternativas de diseño (Cross, 2021, pág. 132) expone una evaluación de alternativas con el método de objetivos ponderados, el cual es un método de evaluación en base a objetivos a los que le son asignados pesos numéricos o calificaciones.

Para ello se debe plantear una lista de objetivos que desea cumplir el prototipo el cual deben plantearse de tal forma que se le pueda hacer una evaluación cuantitativa del rendimiento alcanzado como por ejemplo un objetivo medible es el factor de seguridad que puede ser obtenido mediante un análisis de elementos finitos.

Según (Cross, 2021, pág. 144) cada objetivo se ordena según su importancia, el autor establece un procedimiento de objetivos el cual contrasta según su nivel de importancia de un objetivo con otro. Mediante una tabla.

Objetivos	A	B	C	D	E	Totales
A	-	0	0	0	1	1
B	1	-	1	1	1	4
C	1	0	-	1	1	3
D	1	0	0	-	1	2
E	0	0	0	0	-	0

1.Procedimiento de ordenamiento de ordenamiento de objetivos (Cross, 2021, pág. 132)

Cada objetivo se contrasta con cada uno de los demás y en la celda correspondiente se le da un valor de 1 o 0 donde 1 es más importante que y 0 es menos importante que. En nuestro ejemplo (tabla.1) se contrasta la columna de objetivos con cada uno de los otros objetivos, el objetivo A se considera más importante que el objetivo E, pero menos importante que el objetivo B, C, D.

El siguiente paso consiste en darle un valor numérico al objetivo dándole peso según su importancia establecido en la tabla 1. (Cross, 2021, pág. 145) establece unas alternativas para darle valor a los objetivos una de ellas es clasificación los objetivo por orden de importancia en una escala de valores del 1 al 100 o 1 al 10 (tabla 2) Otra alternativa consiste en que cada objetivo se distribuya un número total de puntos concediendo puntos con base en el valor relativo, (tabla 3)

	100	B		
	90			
	80			
	70	C		
	60			
	50	D		
	40	A		
	30			
	20	E		
	10			
2. Alternativa A de distribución de puntaje			3. Alternativa B de distribución de puntajes	

Cada objetivo planteado tiene que ser convertido en parámetros medibles o estimados con cierta confianza, si bien existen objetivos cuantitativos los cuales podemos obtener parámetros numéricos, también existen objetivos cualitativos los cuales se les debe dar un grado de estimación (Cross, 2021, pág. 137) establece una escala de 11 puntos (0-10) y de 5 puntos (0-4) el cual le podemos dar un grado de estimación a nuestros objetivos (tabla 4), finalmente todos nuestro parámetros cuantitativos y cualitativos deben compararse con la escala de puntos y su grado de estimación, tabla 5. El autor también establece que no siempre una escala numérica ascendente sugiere una mejor estimación, es por ello que el diseñador tiene que estimar de manera congruente a sus objetivos planteados.

Escala de 11 puntos	estimación	Escala de 5 puntos	estimación
0	Solución totalmente inútil	0	Inadecuada
1	Solución inadecuada		
2	Solución muy mala	1	débil
3	Solución mala		
4	Solución tolerable	2	satisfactoria
5	Solución adecuada		
6	Solución satisfactoria		
7	Solución buena	3	buena
8	Solución muy buena		
9	Solución excelente	4	excelente
10	Solución perfecta o ideal		

4. valores de estimación de objetivos (Cross, 2021, pág. 138)

Puntos	Consumo de combustible (objetivo) (millas/galón) (parámetro)	Comodidad (objetivo) Calificación de comodidad(parámetro)
0	<27 (MAGNITUD)	Muy incómodo (MAGNITUD)
1	29	Poca comodidad
2	32	Comodidad por debajo del promedio
3	35	Comodidad promedio
4	38	Comodidad por arriba del promedio
5	41	Buena comodidad
6	>43	Extremadamente cómodo

5. comparación de objetivos en una escala de puntos ejemplo (Cross, 2021, pág. 138)

El paso final es generar el diagrama de evaluación de diseño alternativos que generamos en nuestra matriz de alternativas de diseño donde (Cross, 2021, pág. 141) Propone la evaluación de objetivos ponderados (tabla 6) en base a la información recolectada y generada en los pasos anteriores, se evalúa cada uno de los objetivos dándole una calificación y obteniendo un resultado ponderado en base a su valor con respecto a los demás objetivos.

Objetivo	Peso	Parámetro	Alternativa A			Alternativa B		
			magnitud	calificación	valor	magnitud	calificación	valor
B	35	Parámetro B	Mag. B	10	350	Mag. B	9	315
C	25	Parámetro C	Mag. C	8	200	Mag. C	2	50
D	18	parámetro D	Mag. D	5	90	Mag. D	5	90
A	15	parámetro A	Mag. A	2	30	Mag. A	3	45
E	7	parámetro E	Mag. E	0	0	Mag. E	2	14
Valor general de la utilidad			670			514		

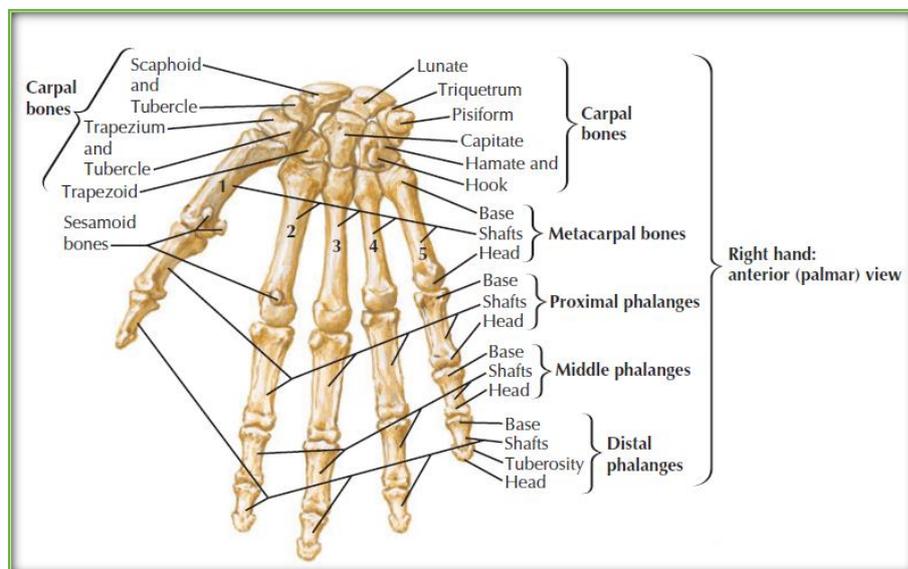
6. Evaluación de alternativas (Cross, 2021, pág. 141)

2.9 Anatomía del a mano humana

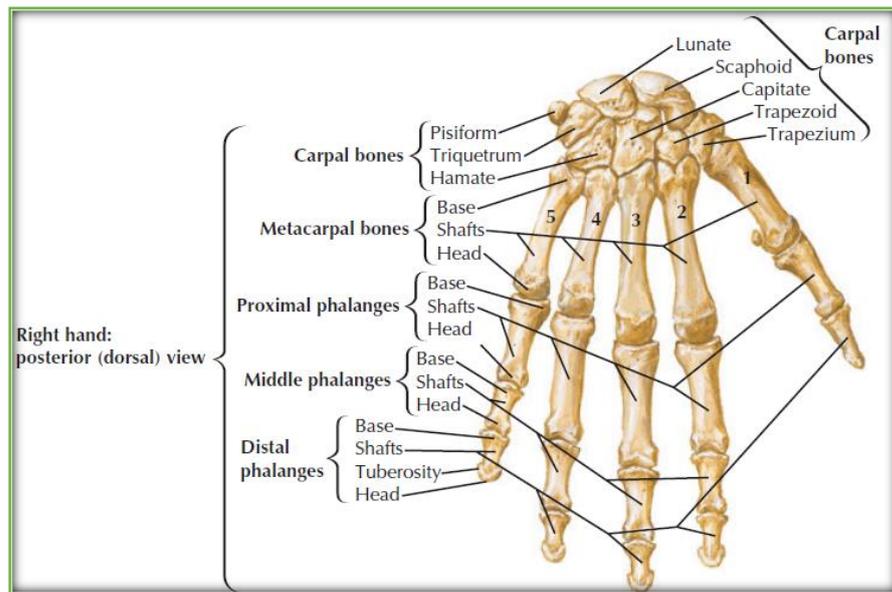
Para el diseño de nuestra prótesis el cual se compone de una de las partes más fundamentales del cuerpo humano que es el mano humano siendo esta la parte más compleja de diseñar por su cantidad de movimientos y articulaciones que nos permiten manipular, crear o utilizar herramientas aquí veremos su composición su forma movimientos, y proporciones.

2.9.1 Sistema óseo

Nuestra prótesis consta de dos partes principales el antebrazo y la mano, el antebrazo consta de dos huesos siendo estos el radio y el cubito y la mano consta de 27 huesos en donde encontramos 8 huesos en la zona de la muñeca 5 huesos en la zona de la palma de la mano y 14 huesos de que constan el movimiento de los dedos



10. hueso de la mano derecha vista palmar (Thompson, 2010, pág. 185)



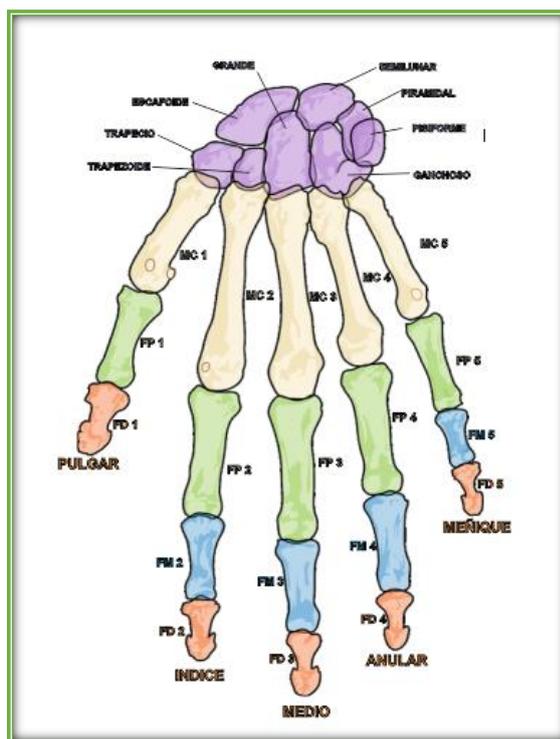
11. huesos de la mano derecha vista dorsal (Thompson, 2010, pág. 185)

Los huesos de la zona de la mano están divididos en 3 partes principales los huesos del carpo los cuales son 8 huesos y conforman la zona articular de la muñeca aquí destacan 4 huesos principales en el movimiento que articulan con los 5 metacarpos (MC) los cuales son gancho y ganchoso, grande, trapezoide y el trapecio.

Luego se dividen en 5 metacarpos (MC), 5 falanges proximales (FP), 4 falanges medias (FM) Y 5 falanges distales (FD)

Los MC, FP y FM constan de 3 partes principales la base, cuerpo y cabeza (Thompson, 2010, pág. 185)

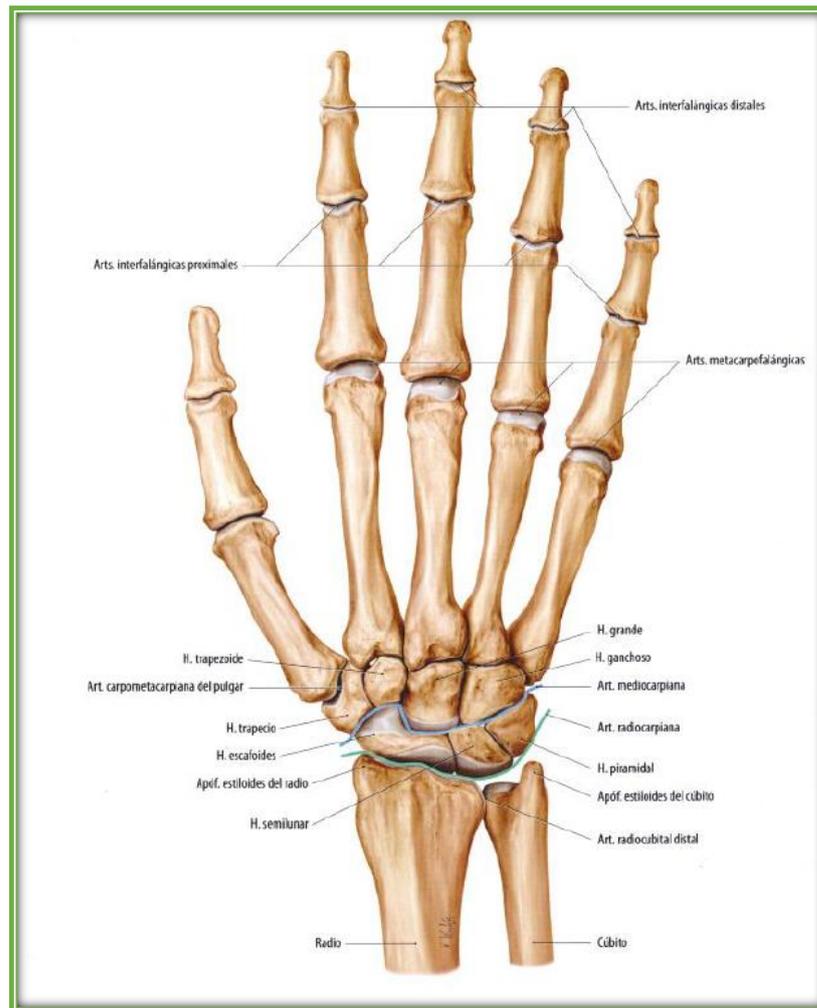
Las FD constan de 4 partes la base, cuerpo, tuberosidad y cabeza (Thompson, 2010, pág. 185)



12. Distribución de los huesos de la mano fuente propia

2.9.2 Sistema articular

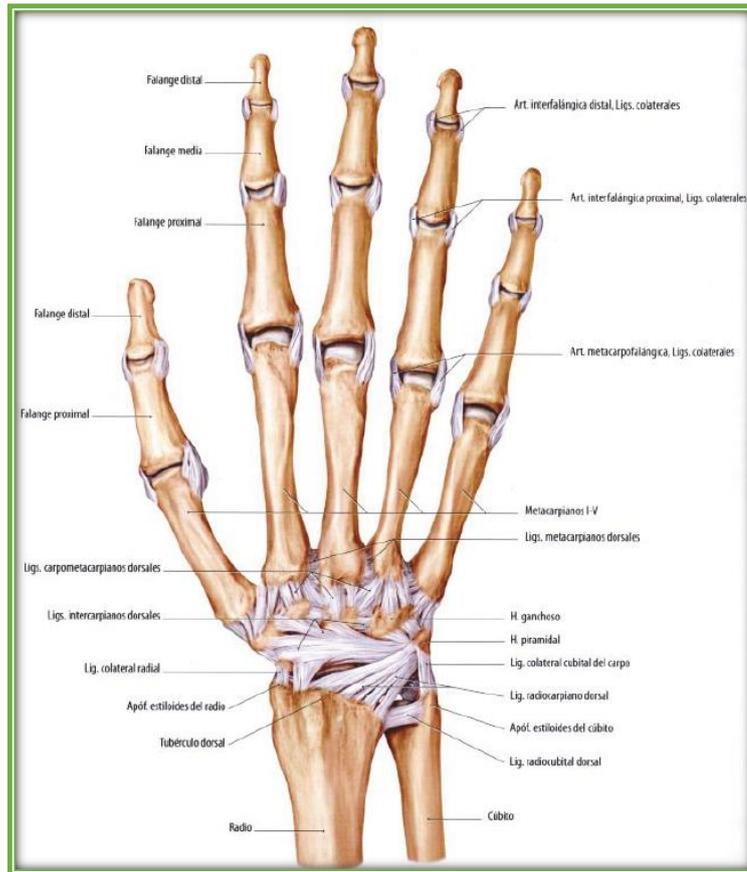
En las articulaciones por definición son las uniones de dos piezas rígidas que permiten el movimiento entre ellas (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2022), dentro del mano humano tenemos 6 tipos de articulaciones la articulación que corresponden a la muñeca son las articulación medio carpianas y radiocarpianas; las articulaciones que corresponde a la base del dedo pulgar es la articulación carpometacarpiana ya que se encuentra entre el hueso trapezio del carpo y el hueso metacarpo del pulgar (MC 1); las articulaciones metacarpofalángicas(MCF) se encuentran entre la base de las falanges proximales(FP) y la cabeza de los metacarpos (MC); las articulaciones interfalángicas proximales(IFP) se encuentran entre la base de la falanges medias (FM) y la cabeza de las falanges proximales (FP); las articulaciones interfalángicas distales(IFD) de encuentran entre la base de las falanges distales(FD) y la cabeza de las falanges medias (FM).



13. articulaciones de la mano derecha visión dorsal (Schunke y otros, 2007, pág. 223)

2.9.3 Ligamentos y tendones

Los ligamentos son una parte fibrosa que unen a los huesos y articulaciones entre sí y los tendones unen a los músculos con diferentes partes del hueso y tienen el objetivo de mover el sistema óseo de la mano. (Pérez romero, 2011)



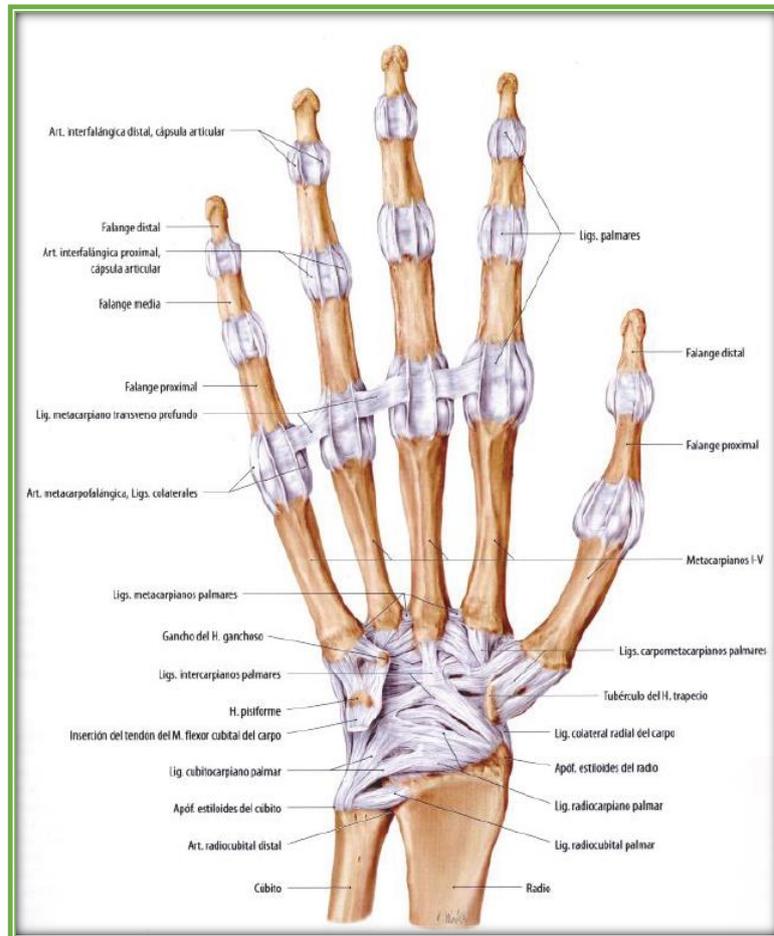
14.complejo ligamentario de la mano vista dorsal (Schunke y otros, 2007, pág. 246)

Según (Schunke y otros, 2007, pág. 246) “en la region de los huesos del carpo los ligamentos constan de una estructura densa con el fin de reforzar la zona articular “.

Según (Schunke y otros, 2007, pág. 246) Tenemos 4 grupos de ligamentos en la mano humana

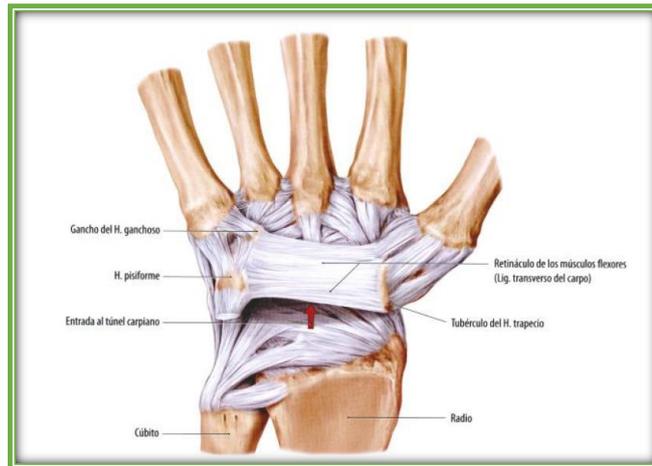
- Ligamentos radiocarpianos, cubito carpianos y colaterales estos se encuentran ubicados entre los huesos del carpo y el antebrazo.
- Ligamentos intercarpianos ubicados entre los huesos del carpo.
- Ligamentos carpometacarpianos ubicados entre los huesos del metacarpo y carpo.
- Ligamentos metacarpianos ubicados en las bases de los huesos metacarpianos.

También tenemos ligamentos colaterales en las articulaciones metacarpofalángica, interfalángica proximal; interfalángica distal (ilustración 15)



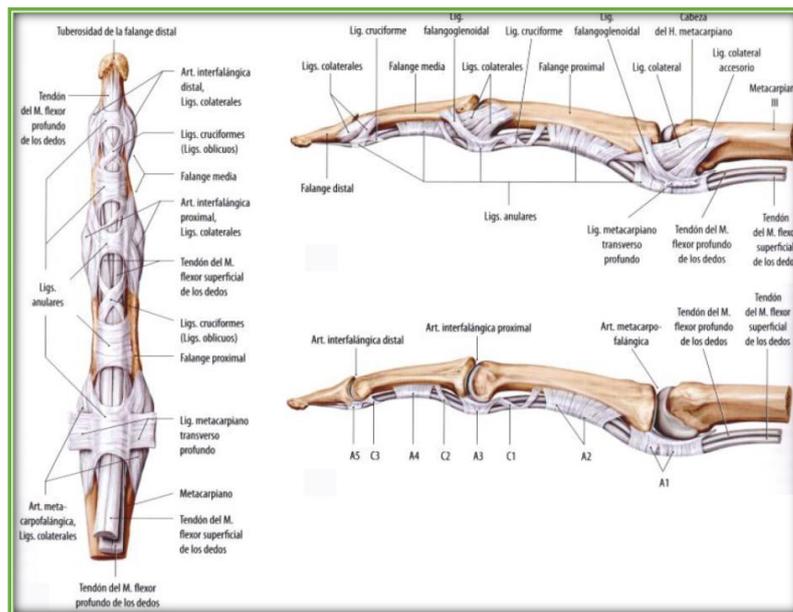
15.complejo ligamentario de la mano vista palmar (Schunke y otros, 2007, pág. 246)

En la visión palmar de la mano se ubica los ligamentos intercarpianos palmares, así como los ligamentos metacarpianos transverso profundos los cuales tiene la función de unir las articulaciones metacarpofalángicas así mismo en esta región los huesos del carpo forman un panel palmar cóncavo cubierto por un retináculo flexor llamado también ligamento transverso del carpo, formado un canal osteofibroso llamado túnel carpiano (Schunke y otros, 2007, pág. 248).



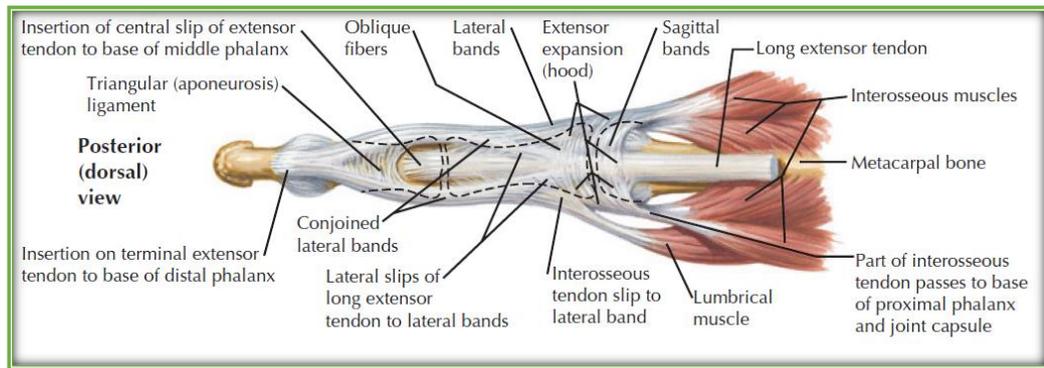
16. *túnel carpiano (Schunke y otros, 2007, pág. 248)*

Por este túnel pasan 10 tendones flexibles envueltos por vainas tendinosas y rodeados de tejido conectivo (Schunke y otros, 2007, pág. 248)



17. *Tendones flexores de los dedos (Schunke y otros, 2007, pág. 250)*

Dentro de la vista palmar de la mano pasan dos tendones flexores, profundos y superficiales dentro de una vaina tendinosa común estas sirven de guías para que los tendones se deslicen sin rozamiento estas se encuentran reforzadas por lo ligamentos anulares y cruciformes para evitar la desviación de las vainas tendinosas (Schunke y otros, 2007, pág. 250).

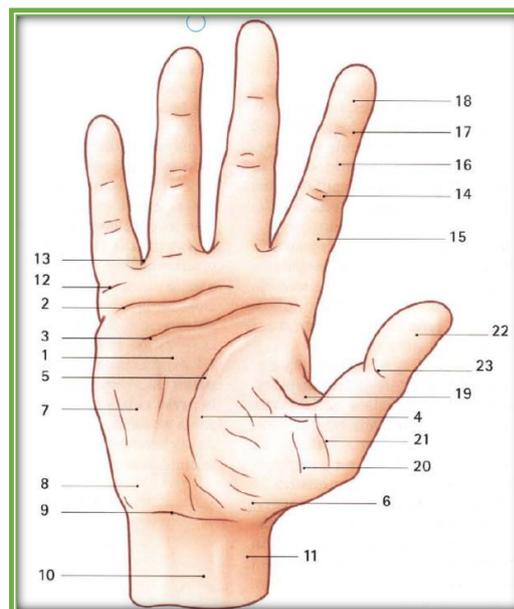


18. Tendones extensores de los dedos (*Thompson, 2010, pág. 185*)

El tendón extensor de los dedos se divide en dos bandas una banda central y dos bandas laterales la banda central esta insertada en la base de la falange media en la articulación interfalángica proximal y las bandas laterales se abren paso hasta insertarse en la base de la falange distal en la articulación interfalángica distal. (*Thompson, 2010, pág. 185*).

2.9.4 Fisiología de la mano

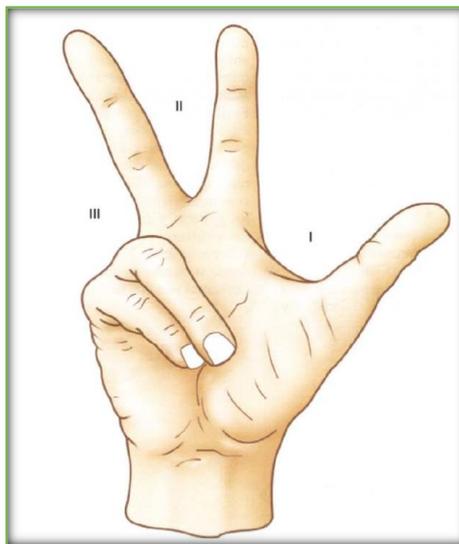
Sin duda el mano humano es una herramienta muy compleja, ya hemos aprendido su estructura anatómica, en este apartado se pretende entender sobre su arquitectura, como esta interactúa para coger objetos para hacer pinzamientos y prensión.



19. pliegues de la mano vista palmar (*Kapandji, 2006, pág. 201*).

La palma de la mano se encuentra situada entre los pliegues digital palmar (12) y la muñeca (9) está rodeada de dos prominencias convexas una es la eminencia tenar (4) conformado por los músculos tenares y que constituye la base del pulgar y la eminencia hipotenar (7) conformado por el grupo de músculos del mismo nombre formando el borde interno cubital ubicado en el borde por debajo del dedo meñique.

Según (Kapandji, 2006, pág. 200) los dedos se reparten en 3 grupos 4 dedos largo y uno corto, los dedos largos presentan 3 3 pliegues palmares lo que indica la presencia de 3 falanges, el dedo pulgar presenta dos pliegues palmares el pliegue palmar distal (23) y el pliegue de la articulación metacarpofalángica que es doble (20 y 21).

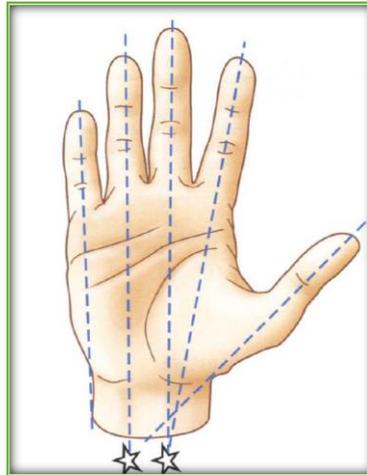


20. importancia de los dedos (Kapandji, 2006, pág. 203)

Los 5 dedos no tienen la misma importancia en la utilización de la mano, según (Kapandji, 2006, pág. 202) el nivel de importancia se divide en 3 partes importantes ilustración 21, en la zona del pulgar (I) desempeña un papel muy importante por su oposición a los otros dedos la zona (II) compuesta por el dedo índice y medio son indispensables para la realización del pinzamiento bi digital o tri digital. La zona (III) que corresponden al dedo anular y meñique sirven para afirmar bien los objetos como los mangos de las herramientas.

2.9.5 Posición natural de la mano

Cuando la mano posee una posición natural los dedos están ligeramente separados entre sí, pero sus ejes no convergen en único punto, el dedo medio es el eje de la mano (Kapandji, 2006, pág. 206)

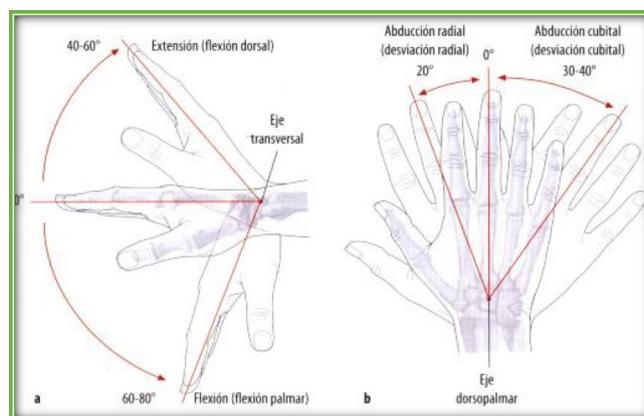


21. posición natural del mano (Kapandji, 2006, pág. 207)

2.9.6 Rangos de movimientos de la mano humana

- Movimientos de la muñeca

La muñeca consta de 4 movimientos de arriba abajo tenemos la extensión (flexión dorsal) y la flexión (flexión palmar) de izquierda a derecha tenemos la desviación radial y la desviación cubital correspondientes a la dirección del radio y cubito respectivamente.

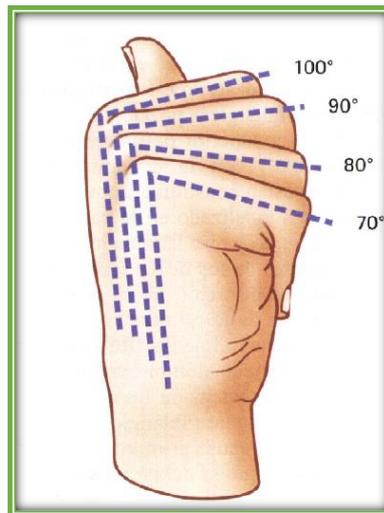


22. movimientos de la muñeca (Schunke y otros, 2007, pág. 255)

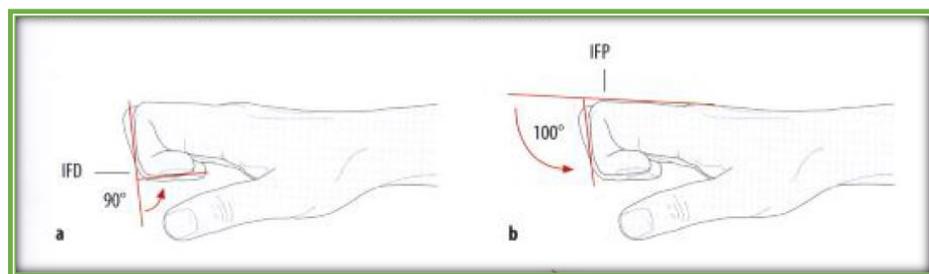
Según (Hamill y otros, 2015, pág. 156) la flexión palmar de la muñeca para la mayoría de los movimientos diarios es de tan solo 10° a 15° , y la extensión necesaria básica es de 30° para la mayoría de actividades necesarias

- Movimientos de los dedos

Los dedos 2,3,4y 5 constan de movimientos flexión, extensión, aducción y abducción cada articulación



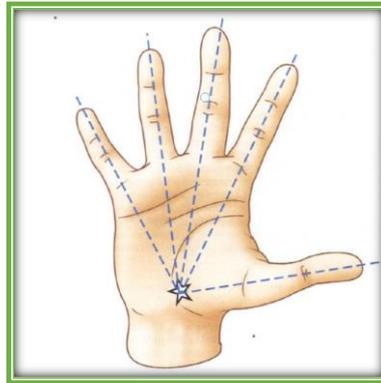
23. Grados de movimiento de las articulaciones metacarpofalángicas (Kapandji, 2006, pág. 207)



24. Grados de movimiento en la articulación IFD e IFDP (Schunke y otros, 2007, pág. 255)

La flexión en solo las articulaciones metacarpofalángicas varía progresivamente desde el dedo índice hasta el dedo meñique, el movimiento de flexión que realiza las articulaciones interfalángicas distales (IFD) es de 90° con respecto a la falange media y la flexión que realizan las articulaciones interfalángicas proximales (IFP) es de 100° con respecto a la falange proximal.

Los dedos se extienden en abducción hacia afuera y regresan en aducción en las articulaciones metacarpofalángicas aproximadamente en 20° en abducción máxima (Hamill y otros, 2015, pág. 157)

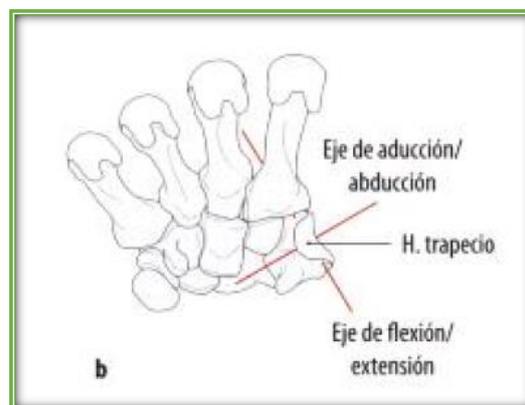


25. Abducción de los dedos (Kapandji, 2006, pág. 207)

- Movimientos del pulgar

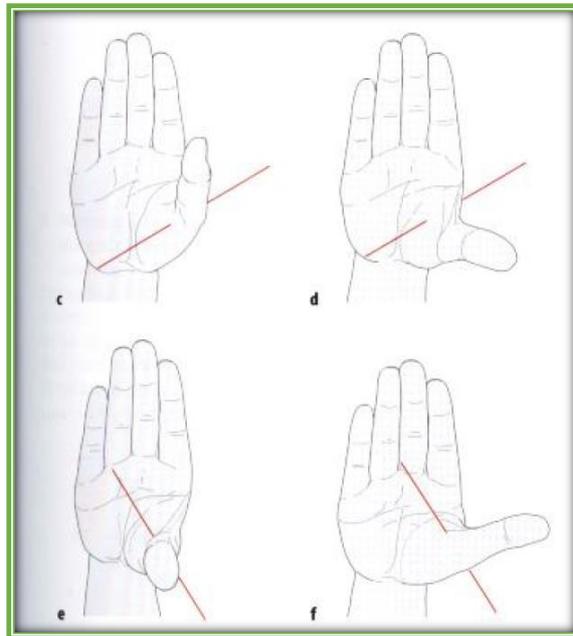
El dedo pulgar es aquel que consta de los movimientos más complejos la abducción, aducción, flexión, extensión, rotación y oposición gracias a la articulación carpometacarpiana en forma de silla de montar.

según (Kapandji, 2006, pág. 250) el pulgar es indispensable para realizar las pinzas pulgodigitales con cada uno de los dedos y que sin el pulgar la mano pierde la mayor parte de sus posibilidades



26. ejes de movimiento de la articulación carpometacarpiana (Schunke y otros, 2007, pág. 253)

El pulgar consta de 3 articulaciones principales la articulación carpo metacarpiana, carpo falángica y interfalángica



27.movimientos de la articulación carpo metacarpiana (Schunke y otros, 2007, pág. 253)

La articulación carpometacarpiana del pulgar proporciona al pulgar de la mayor parte de movimientos permite una flexión de 50° y 80 grados de extensión, 40° de abducción y 80 ° de aducción, 10 ° a 15° de giro (Hamill y otros, 2015, pág. 156)

La articulación metacarpofalángica del pulgar es una articulación que permite el movimiento en un solo plano esta se encuentra entre el metacarpo y la falange proximal del pulgar y tiene un movimiento de flexión de 30 ° a 90° y 15° de extensión (Hamill y otros, 2015, pág. 157).

La articulación interfalángica se encuentra entre la falange proximal y la distal del pulgar y tiene un movimiento de flexión de 90° (Hamill y otros, 2015, pág. 157).

2.9.7 Dimensiones y proporciones

Uno de los desafíos más importantes es dar las dimensiones y proporciones correctas para el dimensionamiento de nuestro diseño en este apartado nos basaremos en las siguientes evidencias propuestas para definir las proporciones adecuadas de nuestro diseño

(Freivalds, 2011) establece dos tablas una con la proporción longitudinal de las falanges con respecto a la longitud total de la mano (tabla 7) y otra con las dimensiones de las juntas interfalángicas (tabla 8)

Dedo	Falange proximal	Falange media	Falange distal
pulgar	17.1 %	-	12.1 %
índice	21.8 %	14.1%	8.6%
Medio	24.5%	15.8%	9.8%
anular	22.2 %	15.3 %	9.7%
meñique	17.2%	10.8%	8.6%

7. Relación porcentual de las falanges con respecto a la longitud de la mano (Freivalds, 2011, pág. 173)

Articulaciones	amplitud		grosor	
	hombre	mujer	hombre	mujer
Interfalángica I	22.9	19.1	20.1	16.8
Interfalángica Proximal II	21.3	18.3	19.6	16.3
Interfalángica distal II	18.3	15.5	15.5	13.0
Interfalángica Proximal III	21.8	18.3	20.1	16.8
Interfalángica distal III	18.3	15.2	16.0	13.2
Interfalángica Proximal IV	20.1	18.3	18.8	15.8
Interfalángica distal IV	17.3	14.5	15.2	12.5
Interfalángica Proximal V	17.8	14.5	16.8	14.0
Interfalángica distal V	15.8	13.2	13.2	11.4

8. dimensiones de las articulaciones interfalángicas en hombre y mujeres (mm) (Freivalds, 2011, pág. 174)

(Loaiza Bernal, 2012, pág. 54) en su trabajo de investigación estableció medidas promedio para el largo, ancho y espesor de las falanges la cual tendremos como referencia y guía para establecer las medidas en nuestro diseño y así acercarnos a un diseño estético

dedos	Largo (mm)			Ancho(mm)		Espesor(mm)	
	Falange proximal	Falange media	Falange Distal	Base	Punta	Base	Punta
Pulgar	37		31	19	15	20	11
Índice	32	26	18	16	13	13	11
Medio	35	29	20	16	13	13	11
Anular	30	28	28	16	13	12	10
Meñique	25	20	17	14	11	11	9

9. Medidas para los dedos de la mano. (Loaiza Bernal, 2012, pág. 54)

(Aydinlioglu y otros, 1998, pág. 212) establece una proporción matemática entre la longitud de los huesos del metacarpo y las falanges de los dedos con el fin de obtener las longitudes de los huesos de la mano para el campo de la cirugía.

1. metacarpo	2. metacarpo	3. metacarpo	4. metacarpo	
÷0.67				=2. metacarpo
÷0.71	÷1.06			=3. metacarpo
÷0.78	÷1.16	÷1.10		=4. metacarpo
÷0.84	÷1.26	÷1.19	÷1.08	=5. metacarpo

10. Proporción matemática entre falanges (Aydinlioglu y otros, 1998, pág. 212)

1. falange proximal	2. falange proximal	3. falange proximal	4. falange proximal	
X 1.33				=2. falange proximal
X 1.49	X 1.12			=3. falange proximal
X 1.38	X 1.03	X 0.93		=4. falange proximal
X 1.06	X 0.79	X 0.71	X 0.77	=5. falange proximal

11. Proporción matemática entre FP (Aydinlioglu y otros, 1998, pág. 212)

2.falange media	3. falange media	4. falange media	
X 1.17			=3. falange media
X 1.11	X 0.95		=4. falange media
X 0.82	X 0.70	X 0.74	=5. falange media

12. Proporción matemática entre FM (Aydinlioglu y otros, 1998, pág. 212)

1.falange distal	2. falange distal	3. falange distal	4. falange distal	
X0.82				=2. falange distal
X 0.86	X 1.05			=3. falange distal
X 0.87	X 1.06	X 1.01		=4. falange distal
X0.78	X 0.95	X 0.91	X 0.90	=5. falange distal

13. proporción matemática entre FD (Aydinlioglu y otros, 1998, pág. 213)

2.10 Grados de libertad

(Wikipedia, 2021) “define como los grados de libertad a número de velocidad independientes necesarias para definir el estado cinemático de un sistema mecánico”

Es decir, los grados de libertad especifica la cantidad de movimientos o pares cinemáticos (PC) que va a tener el sistema mecánico y se definen en el plano o en el espacio, para el enfoque de nuestro estudio definiremos dos métodos o algoritmos que nos ayudaran a encontrar la cantidad de grados de libertad de nuestro sistema en el espacio.

el criterio de Kutzbach-Grübler en el espacio definido por (Avello Iturriagagoitia, 2014, pág. 13) donde G es el número de grados de libertad, p_n son la clase correspondiente de pares cinemáticos y N es el numero eslabones que se conforma el sistema.

$$G = 6 \cdot (N - 1) - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - 1p_5$$

El criterio de (Cardona Foix y Clos Costa, 2011, pág. 39) en el cual establece la obtención de grados de libertad en un mecanismo de estructura de árbol o ramificado como el de nuestra investigación sumando el número de grados relativo de cada miembro con respecto al anterior teniendo en cuenta el grado del par cinemático.

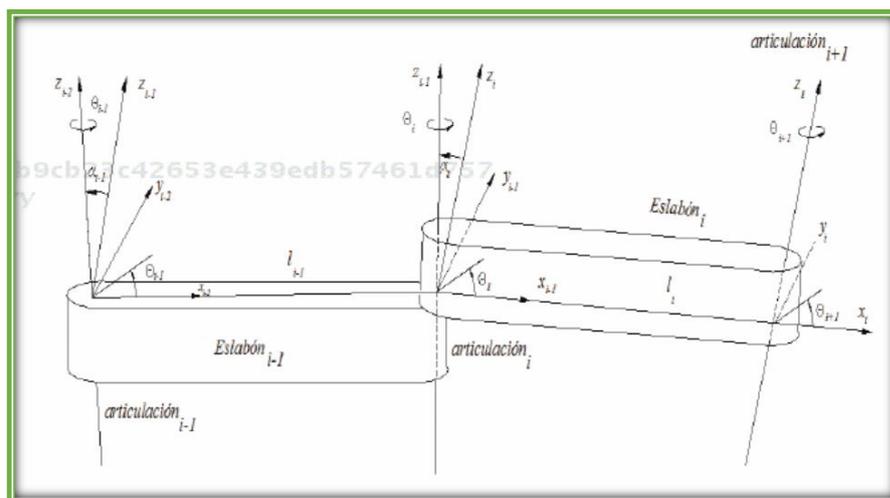
2.11 Algoritmo de denavit-hatenberg (DH)

Según (Reyes Cortes, 2011, pág. 217) establece un procedimiento para obtener la cinemática directa con el algoritmo de denavit-hatenberg es el siguiente

II. Localizar las direcciones de los ejes z_0, z_2, \dots, z_{n-1}

III. Establecer el sistema de referencia cartesiano fijo $\Sigma(x_0, y_0, z_0)$ cuyo origen es colocado sobre el sistema de referencia en la base del robot. Los ejes x_0, y_0 son determinados de acuerdo a la regla de la mano derecha.

IV. establecidos $\Sigma(x_0, y_0, z_0)$, comenzamos con un proceso donde definiremos el sistema de referencia $\Sigma(x_i, y_i, z_i)$ de cada articulación usando el sistema de referencia $\Sigma_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$, iniciando con el sistema de referencia $\Sigma(x_1, y_1, z_1)$ como en la figura 28. Para las articulaciones $i = 1, 2, 3, \dots, N-1$



28. Arreglo de Denavit- Hartenberg (Reyes Cortes, 2011, pág. 213)

- V. Localizar el origen O_1 en la intersección de la normal común que une al eje z_i con el eje z_{i-1} .
 Si el eje z_i intercepta al eje z_{i-1} colocar O_i en la intercepción.
 Para el caso en que los ejes z_i y z_{i-1} son paralelos:
- Si la articulación i es rotacional, se debe colocar el origen O_i sobre dicha articulación tal que $d_i = 0$
 - Si la articulación i es prismática, se debe colocar el origen O_i en un punto limite físico de dicha articulación, como en el extremo.
- VI. Seleccionar el eje x_i a lo largo de la normal común que une a los ejes z_{i-1} y z_i en dirección de la articulación $i - 1$ hacia la articulación i
- VII. Determinamos y_i por la regla de la mano derecha.
- VIII. Establecer el sistema de referencia del extremo final $\sum_n(x_n, y_n, z_n)$
- Si la articulación n es cilíndrica entonces alinear el eje z_n con el eje z_{n-1}
 - Si la articulación es prismática se debe seleccionar el eje z_n de forma arbitraria el eje x debe cumplir el paso 4
- IX. Establecer tabla de parámetros de eslabones (tabla1)

Parámetros de Denavit_Hatenberg				
	Angulo del eje x con respecto al eje z (θ)	Distancia del eje x con respecto al eje z (d)	Distancia del eje z con respecto al eje x (a)	Angulo del eje z con respecto al eje x (α)
z_0				
z_1				
z_{n-1}				

14. Parámetros de Denavit Hatenberg

- X. Obtener las matrices de transformación homogéneas de 4 x 4 que describe la relación del sistema de coordenadas de cada eslabón con el sistema de coordenadas fijo tal como se demuestra en la ecuación.

$$H_i = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i) \sin(\alpha_i) & l_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i) \sin(\alpha_i) & l_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

29. Matriz de transformación homogénea 4x4 (Reyes Cortes, 2011, pág. 217)

2.12 Mecanismos

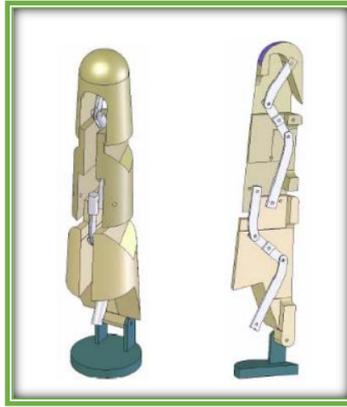
Definimos a los mecanismos como dispositivos que cumplen con el objetivo de transferir el movimiento de un punto de entrada a un punto de salida, muchos mecanismos transmiten el movimiento de dos formas, bidireccional donde todos sus eslabones estén en planos paralelos, estas pueden ser rotaciones con ejes paralelos o traslaciones rectas o curvilíneas siempre y cuando permanezcan en paralelo a las orientaciones originales y espaciales las cuales permiten el movimiento en 3 dimensiones con rotaciones en 3 ejes no paralelos y traslaciones en 3 direcciones diferentes. (Erdman & Sandor, 1998, pág. 1)

Algo muy importante del diseño de nuestra prótesis son los tipos de mecanismo que podemos implementar en el movimiento de los dedos. Los mecanismos más usados para el diseño de una prótesis son mecanismo por cuerdas y poleas, por barras rígidas o por accionamiento de micromotores.

2.12.1 Mecanismo de barras

Un mecanismo de barras o eslabonamiento de 4 barras es la variedad más simple de eslabonamiento cerrado que consiste de 3 eslabones móviles más uno fijo, siendo esta la cadena más básica de eslabones conectados por pasadores (Erdman & Sandor, 1998)

Dentro del diseño de prótesis biónica un mecanismo de 4 barras dentro del movimiento de flexión de los dedos un movimiento de cierre muy similar al de los dedos humanos, (Aviles y otros, 2005) crea un prototipo de dedo robótico antropomórfico el cual está conformado por un mecanismo de barras que posee 3 juntas y 1 grado de libertad.

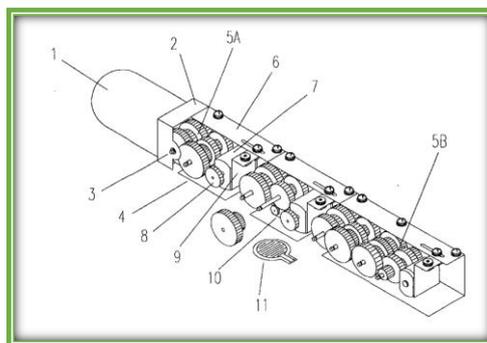


30. mecanismo de barra del dedo (Aviles y otros, 2005)

2.12.2 Mecanismo accionado por micromotores y engranes

Un mecanismo accionado por micromotores permite el movimiento independiente de cada miembro articulado el cual nos otorga mayor libertad de movimiento así mismo un mayor torque.

(Lin , 1998) desarrolla una mano robótica de 5 dedos con 17 grados de libertad donde cada dedo y articulación están se mueven individualmente con la ventaja de ser de casi el tamaño del mano humano, realizar movimientos finos y el potencial de mejora que puede llegar a tener



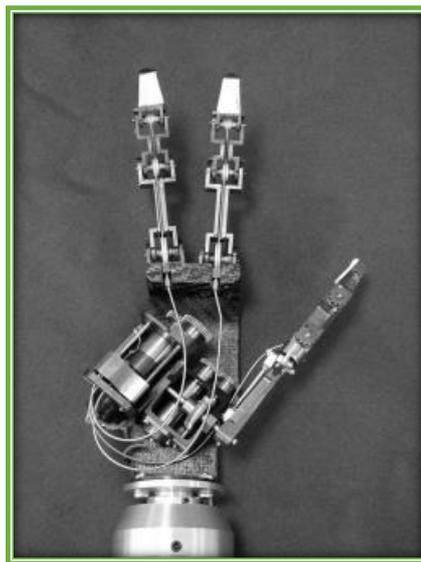
31. Diseño del dedo con micromotores por (Lin , 1998)

2.12.3 Mecanismo transmitido por cuerdas y poleas

Los mecanismos de cuerdas y poleas se encuentran dentro de los elementos mecánicos flexibles que según (Budynas & Nisbett, 2008) se utilizan con el fin de transmitir potencia distancias relativamente largas y son usadas para el remplazo de otros elementos de transmisión rígidos como lo son los engranes.

Dentro de una prótesis un mecanismo de cuerdas y poleas permite un funcionamiento similar al de los tendones que simulan la apertura y cierre de los dedos de forma natural.

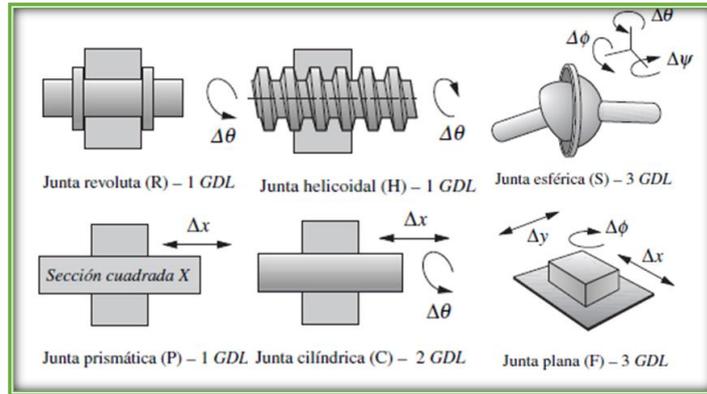
(Carrozza y otros, 2003) desarrollaron una mano artificial subastada destinada como prótesis donde presenta un sistema de accionamiento con un enfoque bio-mimético el cual imita el movimiento de los dedos con un mecanismo de cuerdas que representan los tendones y músculos. Otorgando al sistema de características como la prensión. Manipulación y exploración.



32. prótesis con mecanismos de cuerdas y poleas (Carrozza y otros, 2003)

2.13 Pares cinemáticos

Según (Norton, 2005, pág. 29) las conexiones o juntas son uniones entre dos o más eslabones los cuales permiten el movimiento potencial entre ellos, estas juntas, también llamados pares cinemáticos estos se diferencian por el tipo de contacto entre los elementos por el número de grados de libertad del sistema, por el tipo de cierre físico de la junta o por el número de eslabones unidos entre sí.

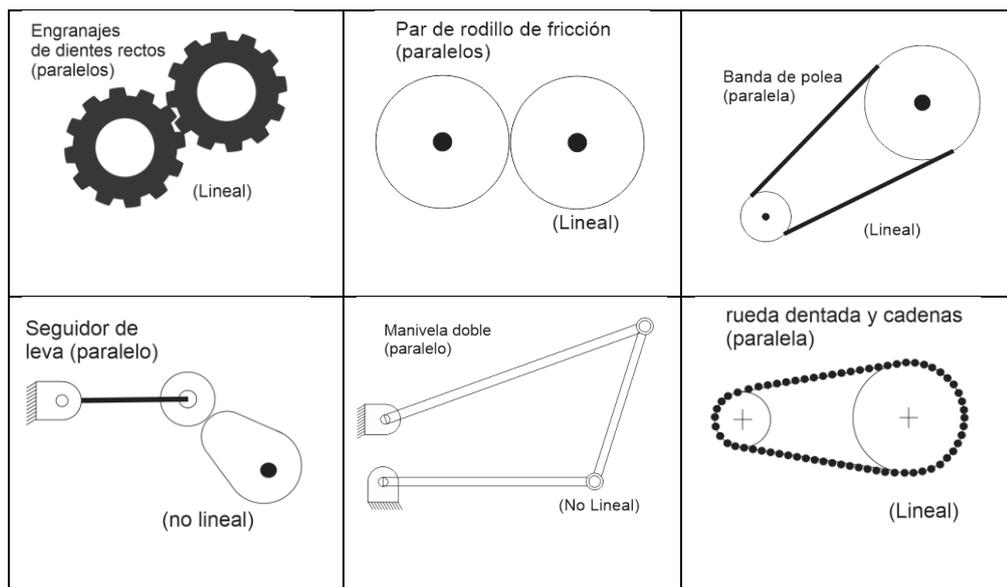


33- Juntas de varios tipos (Norton, 2005, pág. 30)

2.14 Bloques consecutivos

Muchos de los mecanismos vistos en este informe son generados a partir de bloques consecutivos básicos, el cual para crear mecanismos combinados es entender el propósito de cada uno de estos bloques consecutivos, básicamente estos representan lo que se desea lograr (Erdman & Sandor, 1998, pág. 104)

Para entender cómo se conforma un bloque consecutivo primero hay que tener en cuenta cómo se comporta la fuente del movimiento si es rotación o traslación, ya que la mayor parte de dispositivos los generan, en qué dirección se quiere transmitir el movimiento, luego entender que miembro rígido es el que trasmite el movimiento y quien lo recibe.



15. ejemplo de bloques constitutivos físicos (Erdman & Sandor, 1998, pág. 105)

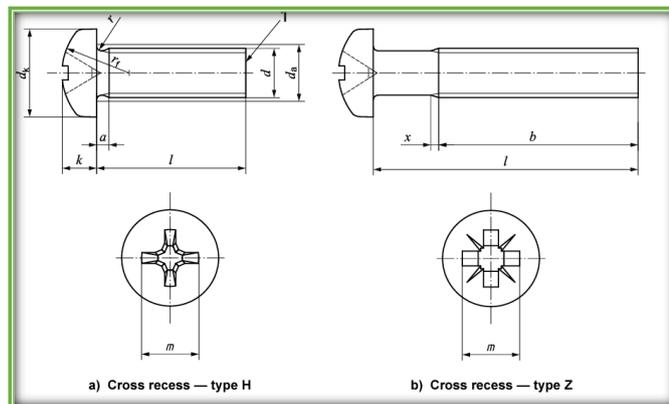
2.15 Normas técnicas

El dibujo de algunos de componentes fue realizado bajo las siguientes normas de fabricación

2.15.1 Norma ISO 7045

Esta norma internacional especifica las características de los tornillos de cabeza troncocónica de grado de producto A, con roscas de M1,6 a M10 y con rebaje transversal tipo H o tipo Z.

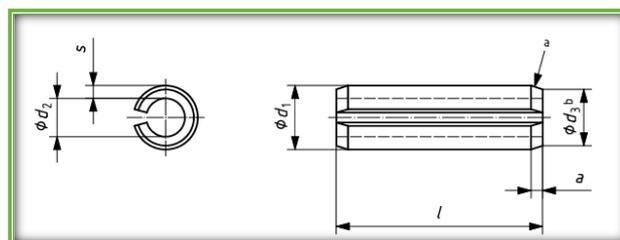
en casos especiales, se requieren especificaciones distintas a las enumeradas en esta Norma Internacional, la norma establece las dimensiones características de las tornillerías con ranura en cruz y en cruz Z.



34. características dimensionales de la norma ISO 7045

2.15.2 Norma ISO 8752

Esta norma internacional especifica las características de los pasadores rectos ranurados tipo resorte, de acero o de acero inoxidable austenítico o martensítico, de servicio pesado, con diámetro nominal, d_1 , de 1 mm a 50 mm inclusive. (iTeh Standars, 2009)



35. Características dimensionales de la norma 8752

2.15.3 IEC 60228

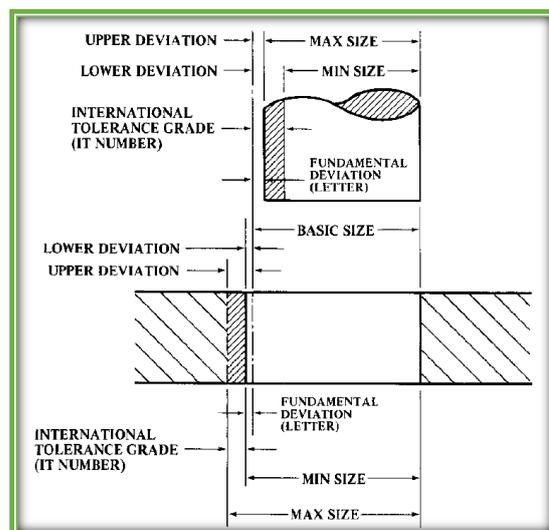
Esta Norma Internacional especifica las áreas transversales nominales, en el rango de 0,5 mm² hasta 2 500 mm², para conductores en cables de energía eléctrica y cordones de una amplia gama. También se incluyen los requisitos para el número y tamaño de los cables y los valores de resistencia. Estos conductores incluyen conductores sólidos y trenzados de cobre, aluminio y aleación de aluminio en cables para instalaciones fijas y conductores flexibles de cobre (IEC Webstore, 2004).

2.15.4 ANSI B4.2-1978 (R1999)

Esta norma describe el sistema ISO (organización internacional de normalización) de límites métricos adaptado a piezas acopladas aprobadas para uso general de ingeniería en los Estados Unidos.

La norma establece los símbolos utilizados para definir las tolerancias en los dibujos, los tamaños básicos, las zonas de tolerancias, los límites y ajustes hasta los 500 mm y la definición de los términos en general.

Los términos que describe esta norma que son agujero (HOLE) y eje (SHAFT) son también utilizados para referirse al espacio que contiene dos caras paralelas de cualquier pieza como por ejemplo el ancho de una ranura. (OBERG, y otros, 2004, pág. 665)



36. términos usados en la norma ANSIB4.2-1978 (R1999)

Según (OBERG, y otros, 2004, pág. 666) La norma establece una lista de términos FIGURA 1a cual Para este proyecto nos basaremos en

- **Agujero (HOLE) Base:**

El sistema de ajustes donde el tamaño mínimo del agujero es básico. La fundamental desviación para un sistema de base de agujeros es H.

- **Eje (SHAFT) Base:**

El sistema de ajustes donde el tamaño máximo del eje es básico. La fundamental desviación para un sistema de base de eje es h.

- **Tolerancia:**

La diferencia entre los límites de tamaño máximo y mínimo de una pieza.

- **Ajuste de interferencia**

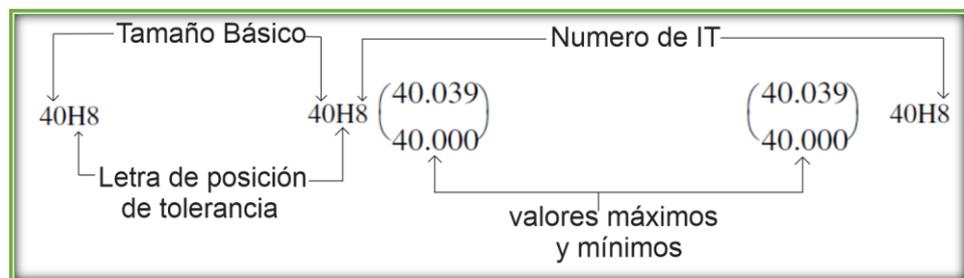
la relación entre las piezas ensambladas cuando se produce una interferencia

- **Grado de Tolerancia Internacional (IT)**

Un grupo de tolerancias que varían dependiendo del tamaño básico, pero que proporcionan el mismo nivel relativo de precisión dentro de un grado dado. Para ejemplo, se designa con el número 7 en 40H7 o como IT7.

- **Símbolos**

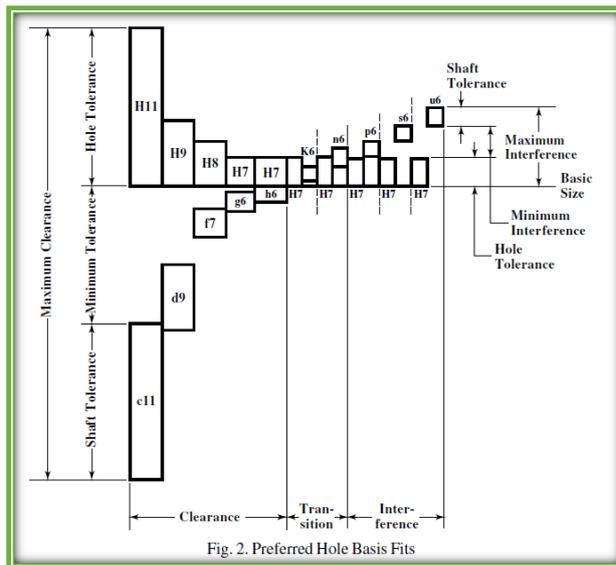
Los símbolos se establecen cuando combinamos el grado de tolerancia internacional (IT) y la letra de posición de tolerancia donde indica los límites máximos y mínimos de la pieza



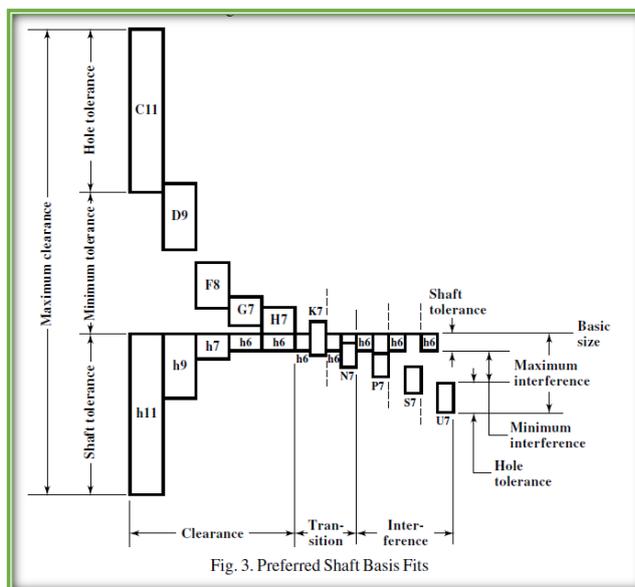
37. Simbología de la norma ANSIB4.2-1978 (R1999) (OBERG, y otros, 2004, pág. 667)

- **Ajustes métricos preferidos**

El autor (OBERG, y otros, 2004, pág. 668) establece que según la norma se proporciona una lista de zonas de tolerancia de primera, segunda y tercera elección. Las cuales son tolerancia del eje (SHAFT), del agujero (HOLE) y tolerancia mínima, tanto para la dimensión de agujero básico y eje básico como se muestra en a la figura 38 y 39 respectivamente.



38. *Ajustes métricos preferidos para agujero básico*



39. *Ajustes métricos preferidos para eje básico*

(OBERG, y otros, 2004, pág. 669) Describe de los ajustes métricos preferidos

	Símbolo ISO		Descripción ajustes	
	Agujero básico	Eje básico		
Ajustes con holgura	H11/c11	C11/h11	Suelto: amplias tolerancias comerciales	Mayor holgura
	H9/d9	D9/h9	De funcionamiento libre para cambios de temperatura elevados, para altas velocidades y altas presiones	
	H8/f7	F8/h7	De funcionamiento cerrado para máquinas de funcionamiento preciso	
	H7/g6	G7/h6	Deslizante diseñado para moverse libremente y ubicarse con precisión	
	H7/h6	H7/h6	Con holgura de ubicación para ubicar piezas estacionarias para ser montado y desmontado libremente	
Ajustes de transición	H7/k6	K7/h6	De transición de ubicación para una ubicación precisa	
	H7/n6	N7/h6	De Transición de ubicación para una ubicación más precisa donde hay mayor interferencia permisible.	
Ajustes de interferencia	H7/p6	P7/h6	De interferencia de ubicación para piezas que requieren rigidez y alineación con prima precisión de ubicación.	Menor holgura
	H7/s6	S7/h6	De accionamiento medio para piezas de acero ordinarias o ajustes por contracción en secciones ligeras.	
	H7/u6	U7/h6	Forzado para piezas que se someten a grandes esfuerzos o ajustes por contracción en las fuerzas altas de presión son prácticas.	

16. Descripción de ajustes de tolerancia

2.16 Componentes

Los componentes más importantes de que componen nuestra prótesis y serán dibujados y parametrizados en el entorno de diseño de SolidWorks.

2.16.1 Conectores

- **Dupont**

También llamados puentes o jumpers son utilizados comúnmente en electrónica y proto bordas para la construcción de prototipos el nombre Dupont proviene del nombre del fabricante (MECCANISMO COMPLESSO, 2013)



40. Conector DuPont de 1 canal (MECCANISMO COMPLESSO, 2013)

- **JST**

Los conectores jst son conectores fabricados según estándares de diseño por la empresa J.S.t.mfg.Co (japan solderless terminal) siendo este fabricado en distintas series que cambian según la distancia entre pines.

Este tipo de conectores son los más usados para los circuitos de electrónica, prototipado, motores paso a paso, baterías li-po , etc (Wikipedia , 2022).

Serie (JST)	Distancia entre pines	Amp	volt	(AWG)	Aplicaciones
VH	3.96 mm	10	250	22 - 16	Para la conexión de placas electrónicos
RE	2.54 mm	2	250	30 - 24	Como alternativa a los conectores DuPont
EH	2.50 mm	3	250	32 - 22	Usadas en baterías de radio control
XA	2.50 mm	3	250	30 - 20	Usadas en baterías de radio control
XH	2.50 mm	3	250	30 - 22	Usada para baterías de radio control
PA	2.00 mm	3	250	28 - 22	Usada en cargadores de baterías fma
PH	2.00 mm	2	100	32 - 24	Usada en muchos motores paso a paso
ZH	1.50 mm	1	50	32 - 26	Compatibles con conectores jst zr y zm
GH	1.25 mm	1	50	30 - 26	usado para producto que requieren cierta precaución en su manejo
SH	1.00 mm	1	50	32 - 28	Compatible con conectores SR y SZ

17. Serie de conectores JST más usados (Wikipedia , 2022)

- **Headers**

los conectores heder son una hilera de pines consecutivos a una distancia de una 0.1 pulgada (2.54mm) que tiene el fin de ser soldados a placas y circuitos pbc para servir de puente entre los elementos electrónicos, son también llamados pin strip header o board stackers. (Electronic Engineering Dictionary, 2012)

Dentro de su variedad tenemos heder hembra y macho rectos y a 90 grados cada uno.

- **Conectores Jack de alimentación DC 5.5 X 2.1mm**

Los conectores Jack nos permiten acceder a una alimentación continua de 8 volts a través de una fuente o transformador para la correcta alimentación del sistema para este propósito usaremos un adaptador bornero a Jack que nos permitirá hacer conexiones directas si necesidad de una placa según (Naylamp Mechatronic, 2020)

2.16.2 Componentes electrónicos

- **Placas microcontroladora**

Las placas microcontroladoras comúnmente llamadas placas de desarrollo son plataformas que permiten el control de dispositivos electrónicos mediante órdenes a un microcontrolador

Que según (Sinclair & Dunton, 2007) Un microcontrolador es un microprocesador de un solo chip con memoria de datos (RAM), (ROM) y puertos de entrada/salida en el chip, algunos proveedores producen dispositivos que pueden acceder a la ROM externa en lugar de, o además de, la ROM interna.

Hoy en el mercado actual tenemos variedad de fabricantes entre ellos Arduinob, RapsBerry, esp32, etc. Que nos otorgan una gran variedad de dispositivos según el uso que queremos darle.

- **Módulos**

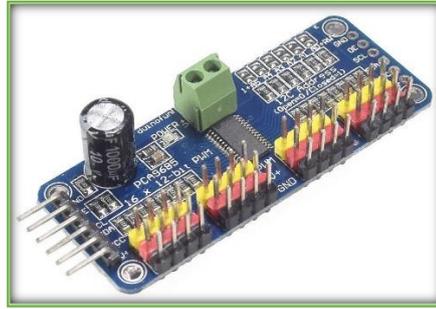
Dentro de nuestro diseño abarcaremos distintos módulos electrónicos que sirven de complemento para los componentes electrónicos principales

- **Convertidores de voltaje**

Los convertidores de voltaje de corriente continua son módulos capaces de convertir su nivel de voltaje a otro de mayor o menor nivel, Estos pueden ser lineales o conmutados siendo más eficientes los conmutados que almacenan la energía a través de capacitores para luego devolverla con la ayuda de mosfet's o transistores. (Naylamp mecatronich , 2022)

- **Módulo controlador de servos pca9685**

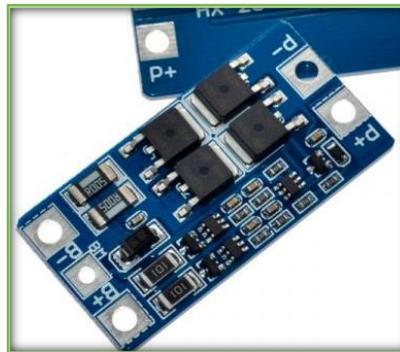
Modulo que permite controlar hasta 16 servomotores, ya que consta de 16 salidas PWM controlado por un bus i2c de 2 canales que permite utilizar varios módulos en un mismo bus. (naylamp Mechatronic, 2022)



41. módulo controlador de servos PCA9685 (naylamp Mechatronic, 2022)

- **Modulo BMS HX-2S-JH20 2S 7.4V 8.4V**

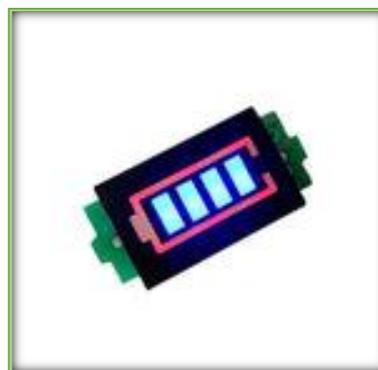
Módulo de control de carga de baterías de 2 celdas, integra un circuito de protección de sobre corriente y un circuito de detección de sobretensión. (Bracsam, 2022)



42. Modulo BMS HX-2S-JH20 2S

- **Modulo indicador de carga de batería de 2 celdas**

Estos módulos proporcionan una referencia visual rápida del estado de carga (capacidad) de las baterías de iones de litio 18650, así como de otras baterías de litio con un voltaje máximo de 4,2 voltios por celda. (ENVISTIA , 2022)



43. modulo indicador de carga (ENVISTIA , 2022)

- **Actuadores**

Los actuadores son dispositivos eléctricos encargados de transmitir la energía necesaria para producir el movimiento de un robot (Reyes Cortes, 2011, pág. 47)

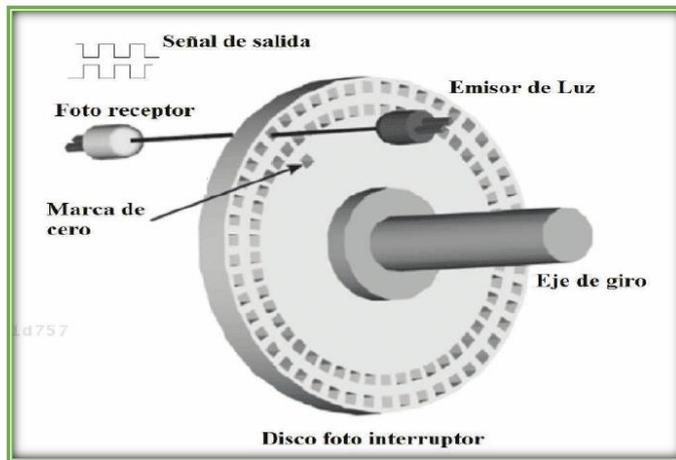
Dentro del mercado actual existen distintos tipos de actuadores como motores eléctricos, micromotores, servomotores, motores paso a paso, motores brushless, etc dentro de este apartado veremos solo dos tipos

- **Micromotores con caja reductora**

Según (Reyes Cortes, 2011, pág. 53) Los motores eléctricos representan una tecnología bien establecida donde consta de 3 elementos fundamentales estator, armadura y conmutador, estos convierten la energía eléctrica en energía cinética, normalmente los motores eléctricos producen velocidades de rotación elevadas y que para propósitos de robótica suelen usar un sistema de engranajes que funciona de caja reductora.

- **Encoders**

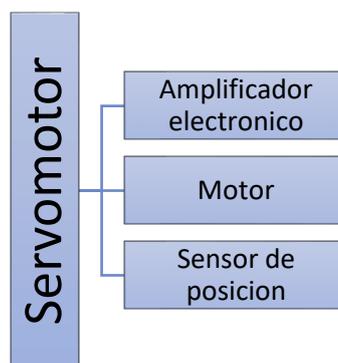
Los encoders son sensores digitales de posición construidos por tecnología optoelectrónica también son denominados encoders ópticos consta de un disco giratorio con rendijas para hacer pasar un haz de luz que es detectado por un sensor fotosensible que permite detectar y controlar la posición de un motor eléctrico (Reyes Cortes, 2011, pág. 73)



44. Sensor de posición optoelectrónico en conder óptico (Reyes Cortes, 2011, pág. 73)

- **Servomotores**

Un servomotor está compuesto por tres elementos: motor eléctrico, sensor de posición para medir el desplazamiento y el amplificador electrónico o servo amplificador formado por un conjunto de microprocesadores y electrónica de potencia que se encargara de acoplar y acondicionar al motor de impedancia y señal de voltaje de baja potencia que proviene de la computadora o de un sistema mínimo digital. (Reyes Cortes, 2011, pág. 49)



45. componentes basicos de un servomotor (Reyes Cortes, 2011, pág. 49)

2.16.3 Componentes mecánicos

- **Insertos para la instalación por calor / ultrasonido**

Los insertos para instalación por calor permite tener roscas reutilizables con uniones firmes con el fin de soportar altos requisitos mecánicos según (SPIROL, 2022)



46. inserto de serie 19 para ser instalado por calor

- **Tornillo H-PHILLIPS**

Para el diseño nos basamos en tornillería h philips bajo la norma ISO 7045 donde especifica las características de los tornillos de cabeza troncocónica, con roscas de M2 a M6 con rebaje en cruz tipo H. (pppars, 2011)



47. Tornillo H Phillips (CELO, 2022, pág. 1)

- **Pasadores elásticos ISO 8752**

Para nuestro diseño utilizaremos pasadores ranurados que tienen la función de unión o de articulación con el fin de generar el movimiento giratorio en las piezas de nuestro diseño, trabajaremos con pasadores ranurados marca SPIROL bajo la norma 8752 que establece las características de los pasadores rectos ranurados tipo resorte, con diámetro nominal, d_1 , de 1 mm a 50 mm. (SPIROL, 2022, pág. 4)



48. Pasadores elásticos ranurados (SPIROL, 2022, pág. 4)

- **Resortes de torsión**

Para nuestro diseño utilizaremos resortes o muelles de torsión con el objetivo de regresar las piezas a su posición original después de ser giradas, gracias a su elasticidad estos resortes trabajan cuando se someten a torsión almacenando energía mecánica que es devuelta en un movimiento de giro dependiendo con una fuerza proporcional al Angulo de giro inicial. (WIKIPEDIA, 2020)



49. Resortes de torsión de 180° (Lee spring, 2015, pág. 234)

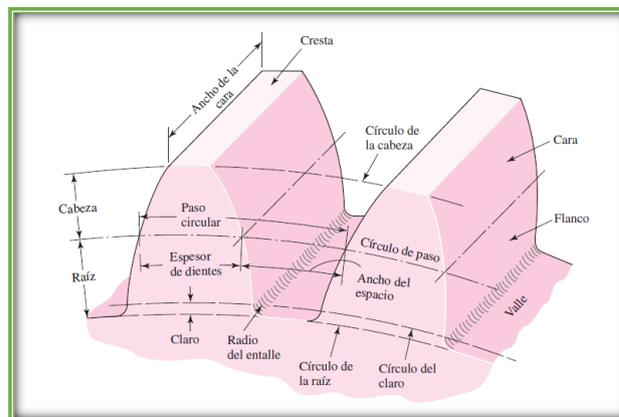
- **Engranajes rectos**

según (Erdman & Sandor, 1998) son elementos que transmiten el movimiento giratorio de un eje a otro mediante dientes que engranan para nuestro diseño nos basamos en engranajes rectos los cuales transmiten el movimiento desde un eje conductor a un eje conducido en la misma dirección.

Para su diseño primero se establece la relación entre los radios y velocidades del engranaje conductor y conducido con el fin de designar los radios de paso (Budynas & Nsibett, 2008, pág. 659)

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_1}{r_2}$$

Se deberán establecer los módulos y ángulos de presión correspondientes y normalizados según la norma din 867



50. Nomenclatura de los engranajes rectos (Budynas & Nsibett, 2008, pág. 656)

Se tendrán en cuenta los siguientes parámetros básicos

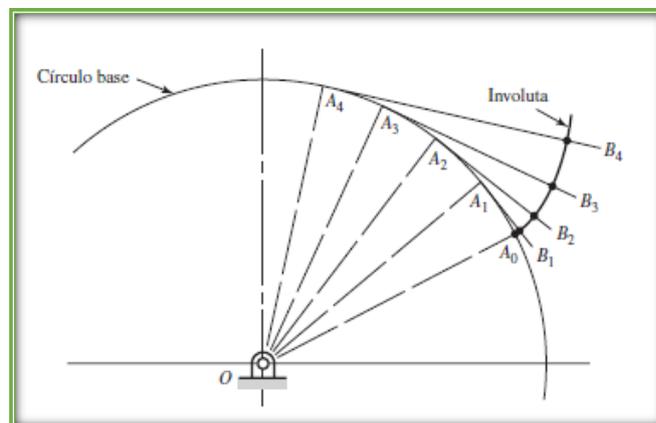
- Modulo (M)
- Numero de dientes (z) = $(D_p/M)X$
- Paso diametral (P_d) = $(1/M)$
- Paso circular (P_c) = $(\pi * M)$
- Addendo cabeza del diente (A) = (M)
- Deddendo raíz del diente (R) = $1.25 * (M)$
- Radio de entalle (C) = $(A - R)$

- **Perfil envolvente o involuta**

Es la curva que conforma el perfil o flanco del diente esta se genera al desarrollar una cuerda tirante tangente de un cilindro que tiene por nombre involuta según (Norton, 2005, pág. 416)

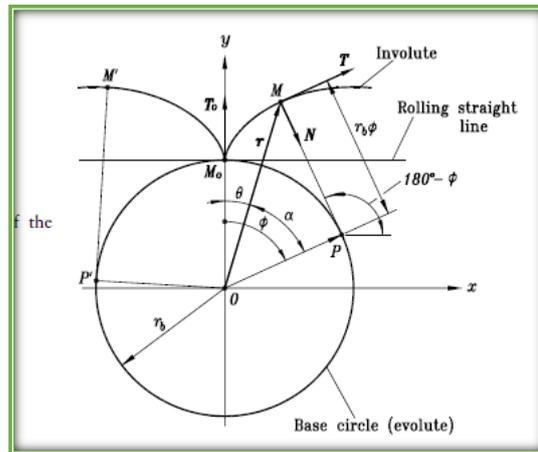
Para la generación de la involuta tenemos dos opciones

La generación de la curva involuta el círculo base se divide en cierto número de partes iguales y se trazan líneas radiales, posteriormente se trazan líneas perpendiculares a lo largo de la división dicha distancia está formado por la longitud de arco que existe desde el inicio hasta el final de la división del círculo base, los puntos que convergen todas estas líneas forma la curva involuta (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 659)



51. construcción de una curva de involuta (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 659)

Una segunda alternativa para la construcción de la curva involuta es generar con el software una curva conducida por ecuación con el fin de encontrar el vector que es conformado por el vector cuya magnitud es el radio de la base más el vector cuya magnitud es la longitud de arco que se forma con Angulo de presión θ



52. Generación de la curva de involuta (Litvin & Fuentes, 2001, pág. 271)

(Litvin & Fuentes, 2001, pág. 271) establece las ecuaciones paramétricas de la curva involuta siendo esta la suma del vector resultante $\overline{OM} = \overline{OP} + \overline{PM}$ dado el Angulo(ϕ) siendo esta para un involuta horaria

$$x = (R_b \pm h) \sin \phi - R_b \phi \cos \phi$$

$$y = (R_b \pm h) \cos \phi + R_b \phi \sin \phi$$

- **Juego entre flancos**

Para determinar una tolerancia entre los dientes del engranaje de salida y entrada se establece el juego de flancos (S_f) que según (DUBBEL, 1977, pág. 896) establece que para que las ruedas de una serie armónica puedan combinarse de cualquier manera, cada rueda será construida con $0.5(S_f)$, así cuando el engrane este en marcha exista un juego de $2 * 0.5(S_f)$ donde el arco del diente (T) es menor al hueco del diente (W) donde $W - T = S_u$ siendo este el juego periférico. es la distancia de arco que comprende la línea del círculo perimetral.

Para determinar el juego periférico según el juego de flanco recomendado se establece que

$$(S_f) = S_u * (\cos(\theta))$$

Siendo:

$$(S_f)/(\cos(\theta)) = S_u$$

Una vez establecido el juego periférico se obtendrá la longitud de arco de los dientes y el hueco del diente

$$T = \frac{P_c}{2} - 0.5S_u$$

$$w = \frac{P_c}{2} + 0.5S_u$$

(DUBBEL, 1977, pág. 897) establece tabla que relaciona el juego de flancos mínimos y máximos según el módulo para engranajes de Angulo de presión de 20°

Modulo (mm)	1	2	3	4	5	6	8	10	12
$S_f \text{ min}$	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.038	0.036	0.036
$S_f \text{ max}$	0.20	0.12	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06

18. Módulos normalizados según Norma 867

2.16.4 Fuentes de energía

para nuestro diseño optamos por las baterías de polímero de litio comúnmente llamados LI-PO ya que actualmente son un tipo de batería más nuevo que ahora se usa en muchos dispositivos electrónicos de consumo.

Estas baterías a comparación del ion de litio comúnmente llamado LI-ON, Están compuestas por celdas de polímero de litio de láminas de (< 100 μm), estas baterías funcionan según el principio de desintercalacion e intercalación de iones de litio de materiales de electrodo positivo a materiales de electrodo negativo. (Jaunch, 2022)

- **Voltaje**

el voltaje nominal por cada celda compuesta por las baterías li-po es de 3.7 volts en el mercado estas baterías vienen con la denominación 1s, 2s, 3s, etc. donde S es la cantidad de celdas que conforma la batería teniendo voltajes desde 3.7, 7.4, 11.1, etc. (Hyperion, pág. 2)

- **Capacidad**

la capacidad es la medida de cuanta energía por unidad de tiempo tiene la batería la siendo la medida en miliamperes horas esto quiere decir cuánto tiempo cuanto amperaje se puede descargar en una hora de tiempo (Hyperion, pág. 3)

- **Tasa máxima de descarga (C)**

Las baterías li-po cuentan con una clasificación (C) que indica la tasa máxima de descarga continua, es decir que la batería se puede descargar a un ritmo de x veces según el fabricante disminuyendo el tiempo duración de la misma. (Hyperion, pág. 3)

2.17 Análisis estadístico

Para probar la hipótesis alternativa establecida en este documento nos basamos en la distribución de t de STUDENT para una población menor a 30

Según (Box y otros, 2008, pág. 46) la formula se distribuye según la distribución de t STUDENT con n-1 grados de libertad

$$t = \frac{x - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

Donde

s es la desviación estándar

x es la muestra a analizar

μ es la muestra de nuestra población

n es el número de muestras a analizar

Para ello según (Box y otros, 2008, pág. 26) que para la desviación estándar para los datos de una muestra pequeña que dispone el investigador donde N es representado por la población se calcula como

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde

x es cada muestra

\bar{x} es la media de la muestra a analiza

n-1 son los grados de libertad

Según la tabla vista en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** determinamos la zona de aceptación según los grados de libertad y el valor de significancia, para luego determinar con las fórmulas ya vistas si se rechaza o acepta la hipótesis.

2.18 Factor de diseño y factor de seguridad

Según (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 17) el factor de seguridad también conocido como factor de diseño ya que ambos se basan en el mismo fundamento es la relación entre la carga donde el material pierde su función generalmente su límite de ruptura y la carga permisible.

“Los factores de seguridad de diseño a menudo se publican en normas técnicas, pero no existe una norma dedicada al tema.” (The Engineering Toolbox, 2010).

(The Engineering Toolbox, 2010) establece recomendaciones generales para la determinación del factor de seguridad.

Aplicaciones	Factor de seguridad
Para materiales muy confiables con cargas y condiciones ambientales no graves considerando el peso	1.3 – 1.5
Para materiales confiables con cargas y las condiciones ambientales no graves	1.5 – 2
Para materiales comunes con cargas y condiciones ambientales no graves	2 – 2.5
Para materiales menos probados y quebradizos con cargas y condiciones ambientales no graves	2.5 – 3
para materiales con propiedades no confiables y con condiciones ambientales y de carga no severas, o donde los materiales confiables son usados en condiciones ambientales difíciles	3 – 4

19 . recomendaciones para determinar F.S (The Engineering Toolbox, 2010)

2.19 Análisis de elementos finitos

Según (Budynas & Nsibett, 2008, pág. 934) Los elementos básicos como vigas o barras son bastantes sencillos de analizar por métodos numéricos básicos que generan una solución aproximada, pero no es tan fácil para elementos complejos, una solución es realizar aproximaciones menos eficaces con métodos experimentales o numéricos, es por ello que una solución lo más cercana posible para este tipo de elementos es un análisis computacional con análisis de elementos finitos mediante un software CAD.

El análisis de elementos finitos (FEA) proporciona un análisis matemático de nuestro diseño en una gran variedad de aplicaciones según el software en el que se está empleando, pudiendo analizar el elemento de forma estática, dinámica, electrostática, hidrostática, hidrodinámica, etc.

A interpretación propia Se podría pensar que el FEA es un sistema implementado con el desarrollo de los softwares CAD CAM sin embargo según (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 935) el FEA comenzó a mediados de 1940 cuando se trabajaba en el campo de la mecánica estructural a manos de Hrennikoff, McHenry y Newmark, estos emplearon una red de elementos lineales para dar solución a esfuerzos en sólidos continuos, posteriormente se sugirió un avance utilizando interpolaciones polinomiales en regiones triangulares, cosa que se comenzó a poner a prueba a mediados de los años 50 con el auge de las computadoras digitales.

Actualmente un análisis de elementos finitos (FEA) genera pequeñas subestructuras elásticas dentro del elemento a analizar lo que se conoce con un mallado estas estructuras son finitas y están compuestas de nodos con al menos 3 grados de libertad rotacionales y 3 grados traslacionales, cuando se aplican las cargas y sujeciones pueden aplicarse dentro del elemento en la superficie o en los nodos estos nodos están conectados uno tras otro para establecer propiedades elásticas y se asignan las condiciones de frontera.

Cuando Cada nodo está definido de forma matricial estos se unen globalmente con sus correspondientes grados de libertad en una matriz global del sistema para especificar las cargas y las condiciones de frontera, y con operaciones matriciales se determinan los desplazamientos y posteriormente los esfuerzos y tensiones por medio de ecuaciones de elasticidad. (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 935)



53. modelo enmallado de un cigüeñal (Budynas & Nisibett, 2008, pág. 934)

Para efectos de nuestro estudio nos basaremos las tensiones de Von mises según (Budynas & Nisibett, 2008, pág. 214) es el esfuerzo equivalente *del* total del esfuerzo dado por σ_1 , σ_2 y σ_3 . Dada su fórmula.

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$$

III. METODOLOGIA

3.1 Tipo y diseño de investigación

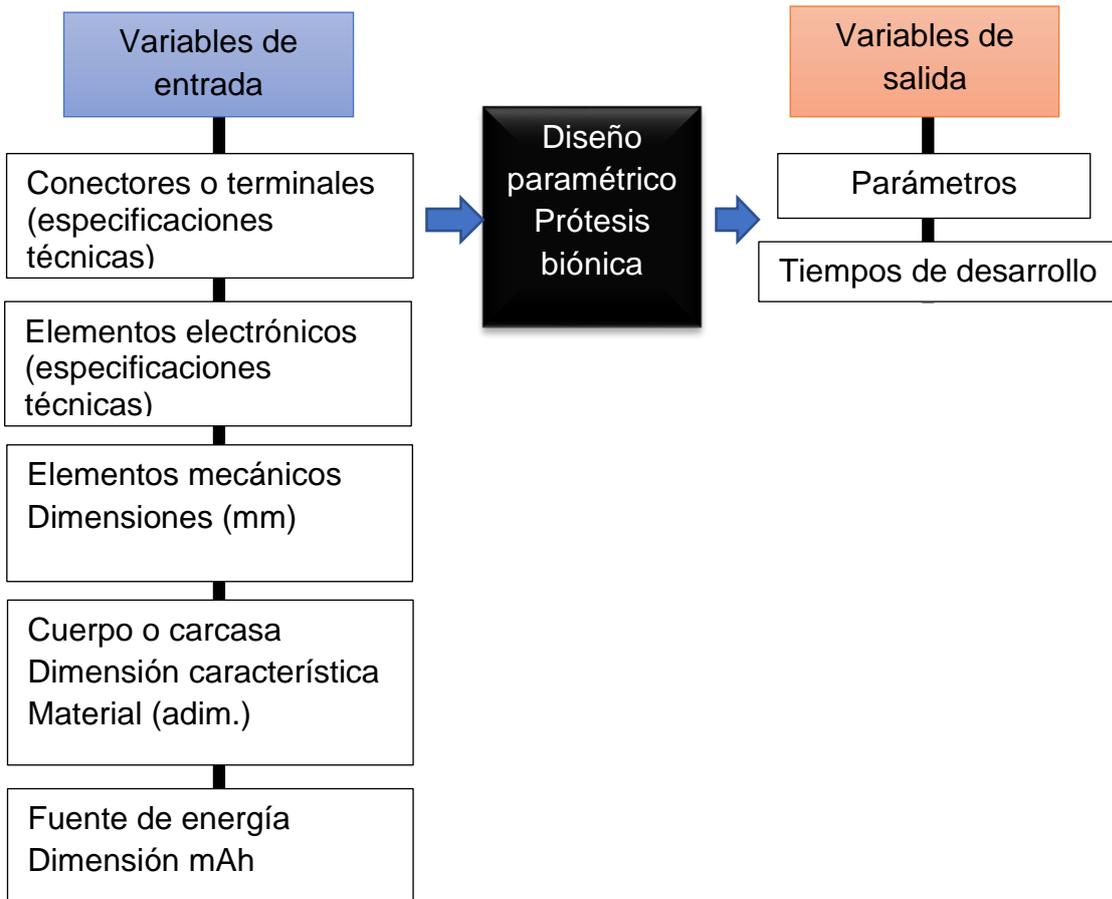
Diseñaremos la prótesis biónica con conocimientos de diseño paramétrico ya existentes siendo del tipo aplicada bajo un procedimiento de diseño congruente. alineado con el diseño paramétrico dentro del software SolidWorks bajo una fuente de datos de los materiales que me ofrece el proveedor de la empresa.

Es por ello que se trabajara con un diseño de investigación establecido por (Hernández Sampieri, 2014) siendo este pre experimental de un nivel exploratorio con un enfoque cuantitativo y determinando los resultados demostrando mi hipótesis con un nivel de significancia del 5%

3.2 Variables y operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Prótesis biónica	<p><i>Prótesis</i></p> <p><i>Es un aparato que es empleado para sustituir un miembro del cuerpo (RAE, 2022)</i></p> <p><i>Biónico</i></p> <p><i>Desarrollo de miembros artificiales que recrear el funcionamiento natural por medio electromecánicos (RAE, 2022)</i></p>	<p>Prótesis biónica</p> <p>Es la representación electromecánica de un miembro u órgano humano con el fin de sustituirlo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • milímetros 	Conectores	ordinal
			<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje • Amp • Peso • potencia 	Elementos electrónicos	
			<ul style="list-style-type: none"> • milímetros 	Elementos mecánicos	
			<ul style="list-style-type: none"> • Mah 	Fuentes de energía	
			<ul style="list-style-type: none"> • milímetros • material 	Cuerpo carcasa	
tiempos de desarrollo	<p><i>“Tiempo es la magnitud física con la cual se miden la duración o separación de dos o más acontecimientos” (wikipedia , 2021)</i></p> <p><i>“Se entiende como desarrollo a la acción o efecto de desarrollarse.” (RAE, 2021)</i></p>	<p>Se entiendo por tiempos de desarrollo a la magnitud física que entre dos o más eventos que tienen como objetivo la acción de desarrollar o crear un objeto 3d</p>	Horas/ minutos /segundos	Análisis de tiempos	Intervalo

3.2.1 Caja negra



54. Diagrama de caja negra fuente propia

3.3 Población muestra y muestreo

3.3.1 Población

Definimos como la población a aquellos componentes que conforman la Prótesis biónica, como por ejemplo perfiles, tornillería, placas, actuadores, sensores, cableado, accesorios, etc. Y sus variaciones sin embargo nuestra población de estudio en el mercado tecnológico es extensa siendo el estudio pre experimental de todos estos componentes y sus configuraciones, es extenso por ende se seleccionará una muestra por conveniencia en base a ciertos criterios.

3.3.2 Muestra

Para la selección de nuestros materiales o componentes tendremos en cuenta los criterios de inclusión organizados en una tabla (véase ANEXO C)

3.3.3 Muestreo

Como define (Otzen & Manterola, 2017) la muestra por conveniencia no probabilística “*permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos*” para ello se determinaron 3 criterios de inclusión.

3.3.3.1 Criterios de inclusión

- Componentes con la función que requiere el diseño.
- Componentes con la capacidad que requiera el diseño
- Componentes con disponibilidad en el mercado

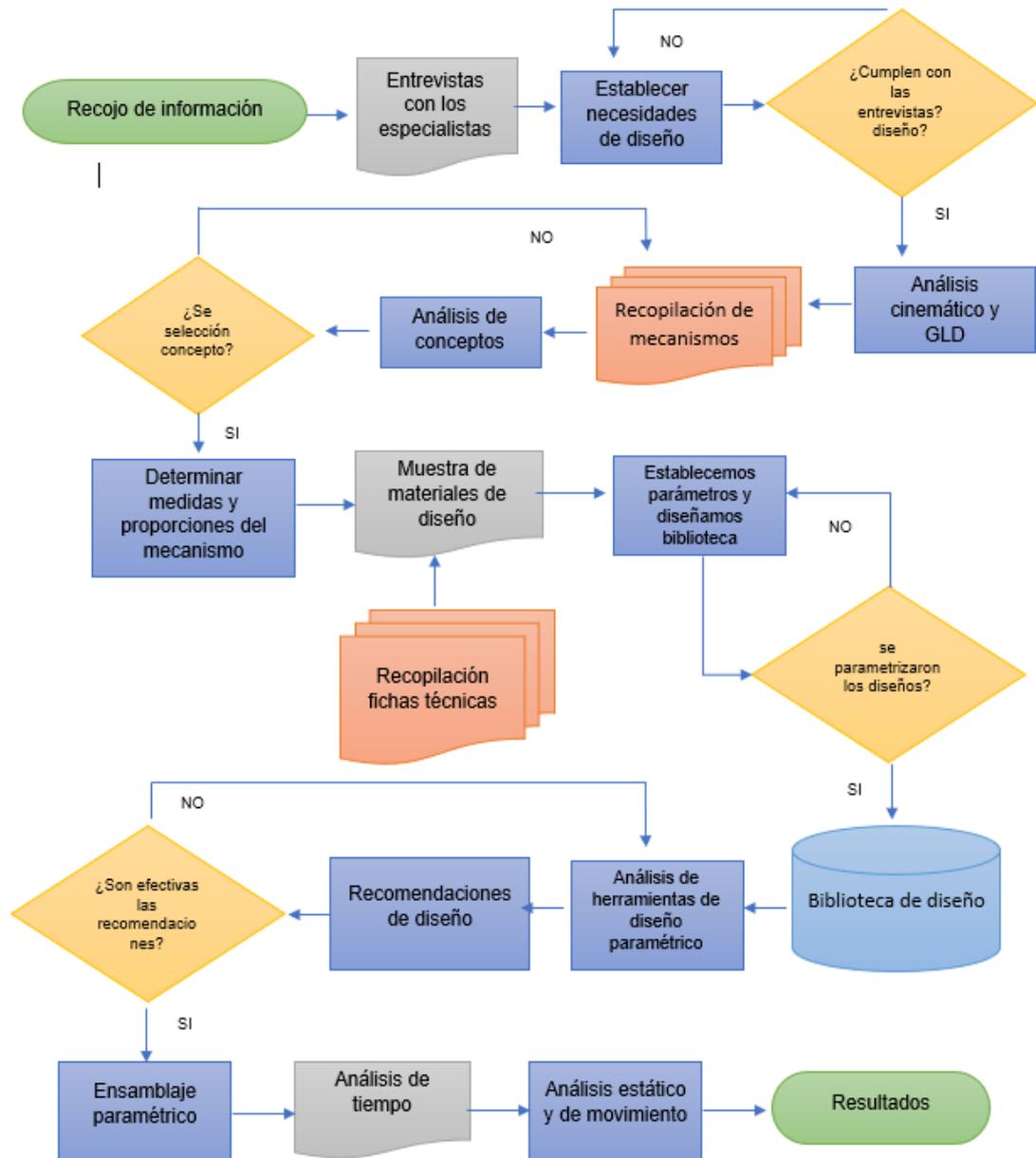
3.3.3.2 Criterios de exclusión

- Componentes demasiados grandes
- Precio de adquisición alto
- No disponibles en el mercado

3.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Técnica	Instrumento	Validación
entrevista	Ficha de entrevista	Validación por especialista
Análisis documental	Ficha registros materiales	Validación por especialista
observación	ficha de observación	Validación especialista

3.5 Procedimientos



3.6 Método de análisis de datos

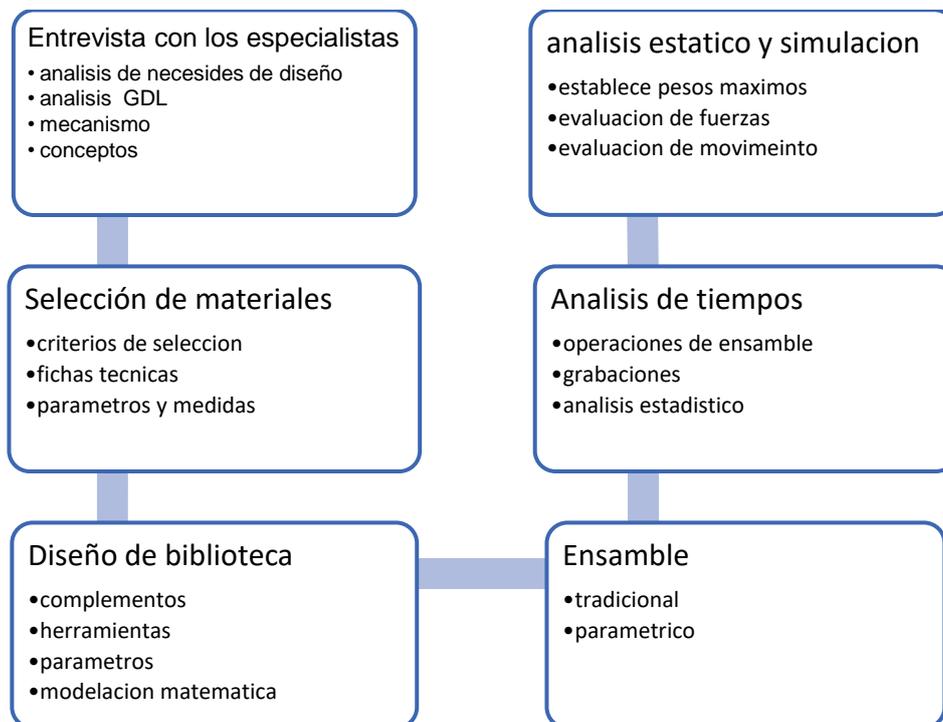
Primero Partiremos de las entrevistas con los médicos especialistas recomendando las necesidades de funcionamiento básico para la prótesis con el fin de analizar estas recomendaciones y trasladarlos a términos ingenieriles analizando los movimientos, mecanismos y conceptos.

Segundo seleccionaremos nuestra muestra de materiales necesarios en base a los criterios de selección establecidos recopilando las fichas técnicas correspondientes para determinar parámetros y medidas

Tercero diseñamos nuestra biblioteca proponiendo modelos matemáticos, complementos, herramientas y parámetros, estudiando y analizando los métodos de diseño adecuados para su parametrización.

Cuarto generamos dos ensambles un con el método propuesto y otro de manera tradicional midiendo los tiempos por operaciones con grabaciones en pantalla. Para posteriormente hacer un análisis estadístico de significancia

Quinto analizamos el modelo para obtener su resistencia, simulamos para obtener sus trazados y verificamos la información



3.7 Aspectos éticos

La presente investigación se mantiene en reserva la información proporcionada por la empresa CREATIVITY S.A.C. es decir distribuidores, clientes y personal de trabajo con el fin de no involucrar ningún aspecto administrativo y cumplir con el ARTICULO 7 y el ARTICULO 8 Del código de ética e investigación de la universidad cesar vallejo. (Universidad César Vallejo, 2020)

Se establecerán las referencias e información obtenidas por otros autores, revistas, corporaciones y páginas web con el fin de respetar las políticas anti plagio y respetar los derechos de autor citados en el ARTICULO 9 Y ARTICULO 10 respectivamente Del código de ética e investigación de la universidad cesar vallejo. (Universidad César Vallejo, 2020)

Por último, corresponderemos a trabajar con las herramientas de trabajo en la investigación licenciados por la universidad respetando el ARTICULO 3 Del código de ética e investigación de la universidad cesar vallejo. (Universidad César Vallejo, 2020)

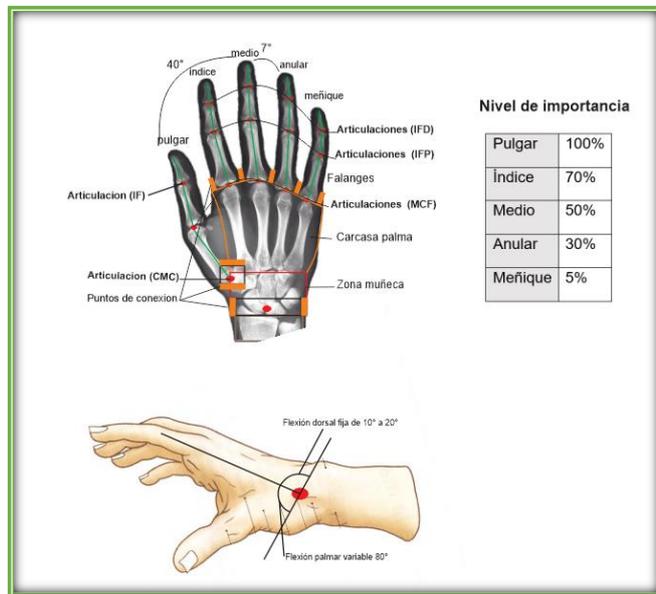
IV. RESULTADOS

4.1 Definir las necesidades de diseño básicas para el funcionamiento de la prótesis en base a entrevistas con especialistas.

Para definir las necesidades básicas de diseño para su funcionamiento de la prótesis se realizaron dos entrevistas de formato libre con dos especialistas el doctor José castro obeso médico traumatólogo y al doctor Feliz Eduardo Diaz Vera médico cirujano véase (ANEXO A y ANEXO B) dichas entrevistas nos dieron por resultado las siguientes necesidades de acuerdo a dos puntos de vista, morfológico y funcional

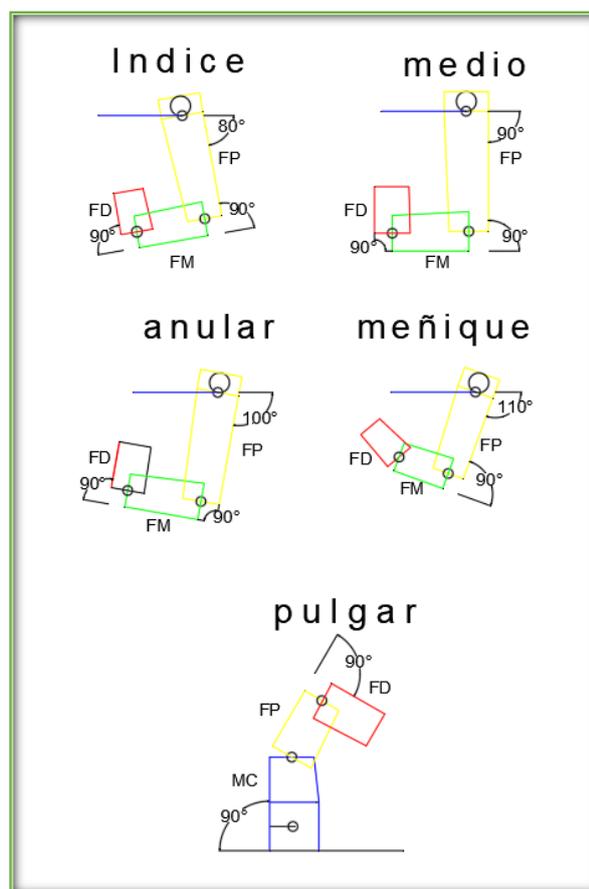
Siendo las necesidades morfológicas las que permiten la ubicación de los puntos de articulación posición y medidas, y las funcionales que permiten el rango de movimientos

Para las morfológicas



55. configuración morfológica preliminar del diseño

Se opto por eliminar la articulación (IFD) del dedo meñique por nivel de importancia (Véase ANEXO A), para disminuir su complejidad, esto no genera impacto en la funcionalidad del diseño, por recomendaciones de los especialistas se fusiono la articulación metacarpofalángica (MCF) el dedo pulgar 30° para darle simplicidad y centrarse en el movimiento de oposición en la articulación carpometacarpiana (CMC), en las articulaciones metacarpofalángicas(MCF) se eliminaron los movimientos de aducción y abducción vistos en la (Pg.33) de los dedos y darle una posición fisiológica fija con un Angulo de 7° entre cada dedo que es la mitad del Angulo máximo de aducción y abducción. El pulgar tendrá una disposición de 40 ° con respecto al dedo medio la muñeca tendrá una posición fija en la parte dorsal de 10 a 20 ° para otorgarle mayor fuerza y solo hará flexión palmar, Se establecieron puntos de conexión de las piezas y se definieron las partes más importantes del diseño



56.ángulos de cierre de los dedos de la mano fuente propia

Para las funcionales

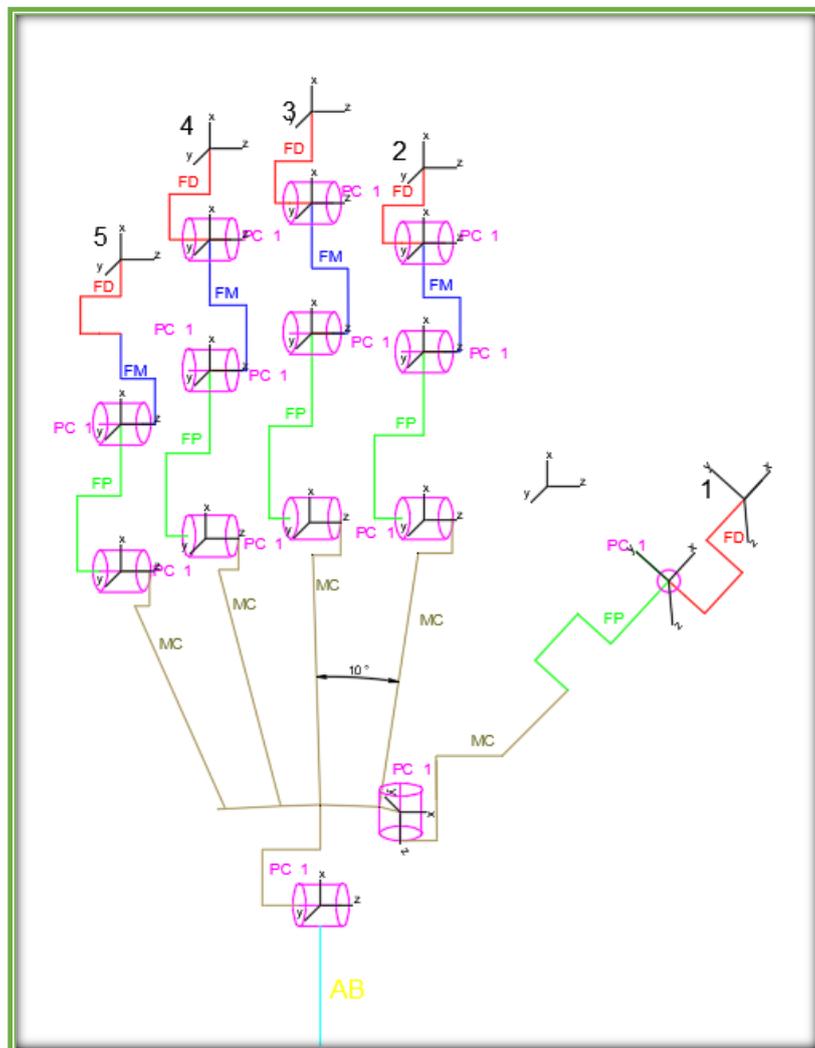
pulgar tendrá movimiento de flexión en el metacarpo (MC) de 90° con respecto a la palma de la mano, las falanges distales (FD) de los dedos pulgar, índice, medio, anular tendrán un movimiento de flexión de 90 °, las falanges medias (FM) de los dedos índice, medio, anular y meñique tendrán una flexión de 90 °, las falanges proximales (FP) de los dedos índice medio anular y meñique tendrán ángulos de giro de 80°, 90° 100° y 110° respectivamente. Como se especifica en la figura 56

especificaciones		
Características Morfológicas	Articulación fija simulada (IFD) del meñique a 30°	
	Articulación fija simulada (MCF) del pulgar a 30°	
	Flexión dorsal fija muñeca de 10° a 20°	
	separación de los dedos de 7°	
	separación del pulgar de 40 °	
	Dimensiones proporcionales a la longitud de la mano	
Características funcionales	rotación, pulgar	nula
	rotación muñeca	nula
	Flexión palmar muñeca	80°
	Abducción	nula
	Aducción	nula
	Flexión (MC) pulgar	90°
	Flexión (FD) pulgar	90°
	Flexión (FD) índice	90°
	Flexión (FD) medio	90°
	Flexión (FD) anular	90°
	Flexión (FM) índice	90°
	Flexión (FM) medio	90°
	Flexión (FM) anular	90°
	Flexión (FM) meñique	90°
	Flexión (FP) índice	80°
	Flexión (FP) medio	90°
Flexión (FP) anular	100°	
Flexión (FP) meñique	110°	

21. tabla de exigencias básicas

4.2 Determinar los grados de libertad del prototipo y calcular la cinemática directa del sistema

Para determinar los grados de libertad del prototipo y calcular la cinemática directa tenemos que tener en cuenta la información recogida de los especialistas con el fin de definir como se moverá nuestro diseño, cuantos grados de libertad tendrá en base a los pares cinemáticos de cada falange visto en (Pg,42), para luego determinar la cinemática directa de nuestro sistema con el algoritmo de denavid hatenberg (Pg-38)



57.Pares cinemáticos y ejes de coordenadas fuente propia

FD	Falange distal	1	Pulgar
FM	Falange media	2	Índice
FP	Falange proximal	3	Medio
MC	metacarpo	4	Anular
Pc1	Par cinemático de grado 1	5	Meñique
AB	Antebrazo		

22. leyenda de grafico 38

Se definieron los pares cinemáticos en las articulaciones de la mano y los ejes de coordenada (figura 57) donde se señaló la ubicación de estos, así como de las falanges con su correspondiente leyenda (tabla 22)

Con esta información ya podemos según el criterio de Kutzbach-Grübler (PG. 37) en el espacio determinar los grados de libertad con la formula

$$G = 6. (N - 1) - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - 1p_5$$

Donde:

N es el número de eslabones

P son los pares cinemáticos y la clase correspondiente siendo p_1 un par cinemático de grado 1 y p_2 pares cinemáticos de grado 2

En la ilustración. (57) se define $N = 15$ eslabones y $p_1 = 14$ pares cinemáticos de grado 1 despejando:

$$G = 6. (15 - 1) - 5(14)$$

$$G = 6. (14) - 70$$

$$G = 84 - 70$$

$$G = 14$$

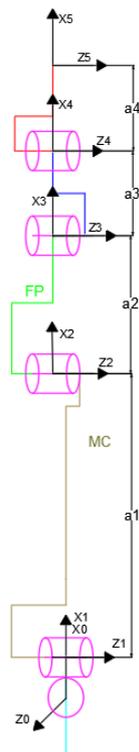
Nuestro diseño tendrá 14 grados de libertad

Cinemática directa del sistema

Para determinar la cinemática directa del sistema en base al modelo cinemático propuesto nos apoyaremos en el algoritmo de Denavit Hatenberg (DH) (Pg. 38) que nos ayudara a colocar de forma correcta los sistemas cartesianos ubicados en los eslabones de nuestra prótesis.

estableceremos en primer lugar los ejes de coordenadas de nuestro proyecto y obtendremos los parámetros de DH, de las partes más esenciales del sistema, las cuales fueron divididas en muñeca- índice-medio-anular, muñeca-meñique, muñeca-pulgar en el cual obtenemos 3 modelos cinemáticos por separados véase (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)

Cinemática muñeca índice-medio-anular

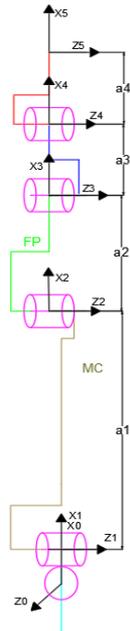


Parámetros de Denavit_Hatenberg				
	θ	d	a	α
H_{01}	0	0	0	$-\pi/2$
H_{12}	θ_1	0	a_1	0
H_{23}	θ_2	0	0	0
H_{34}	θ_3	0	a_2	0
H_{45}	θ_4	0	a_3	0

23. Cinemática directa muñeca-medio-índice-anular fuente propia

Se determinaron los parámetros de DH del movimiento flexor de la muñeca - dedo índice, medio o anular, ya que cada dedo flexiona igual, por ende, los parámetros se repiten (tabla 23)

Cinemática muñeca-meñique

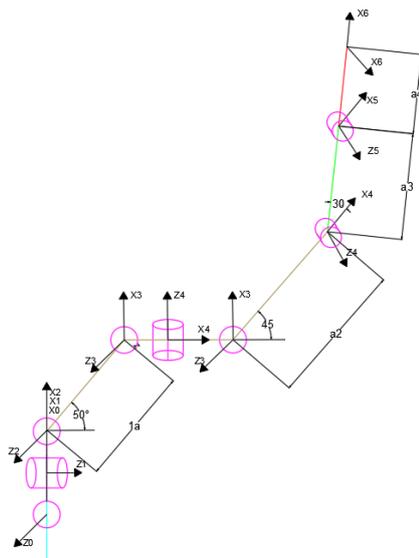


Parámetros de Denavit_Hatemberg				
	θ	d	a	α
H_{01}	0	0	0	$-\pi/2$
H_{12}	θ_1	0	a_1	0
H_{23}	θ_2	0	0	0
H_{34}	θ_3	0	a_2	0
H_{45}	30°	0	a_3	0

24. Cinemática directa muñeca-meñique fuente propia

Se determinaron los parámetros de DH del movimiento flexor que realiza la muñeca y dedo meñique con las condiciones morfológicas establecidas del mismo

Cinemática muñeca-pulgar



Parámetros de Denavit_Hatemberg				
	θ	d	a	α
H_{01}	0	0	0	$-\pi/2$
H_{12}	θ_2	0	0	$\pi/2$
H_{23}	-50°	0	a_1	0
H_{34}	-40°	0	0	$\pi/2$
H_{45}	θ_5	0	a_2	$-\pi/2$
H_{56}	40°	0	a_3	80
H_{67}	30°	0	a_4	0
H_{78}	θ_8	0	a_5	0

25. Cinemática directa muñeca-pulgar fuente propia

Se determinaron los parámetros de DH para el movimiento flexor de la muñeca y dedo pulgar considerando la particularidad de del mismo el cual exige cambios de Ángulos para generar el movimiento de oposición

4.3 Generar y evaluar los conceptos de diseño con distintas configuraciones dentro de una matriz de diseño

Para generar y evaluar los conceptos de diseño con distintas configuraciones dentro una matriz de diseño evaluaremos distintas formas de representar el movimiento de los dedos humanos con el fin de obtener un diseño practico y confiable seleccionando bloques consecutivos más comunes, pares cinemáticos, actuadores, dispositivos de control para generar los mecanismos básicos más comunes...

Bloques consecutivos

Como se vio en (Pg.43) los bloques consecutivos básicos nos presentan una forma de como transmitir el movimiento de los motores, la forma y dirección que deseamos transmitir.

Pares cinemáticos

cómo se vio en (Pg.42) los pares cinemáticos son el tipo de uniones entre los eslabones del sistema que permiten el movimiento entre ellos, y están en función de los grados de libertad que tiene el diseño

Actuadores

para la selección de actuadores que permitirán el movimiento de la prótesis biónica seleccionamos en base a los criterios de inclusión visto en (Pg.69)

se seleccionaron 4 alternativas

Micro servo MG90S 2.5Kg	Servomotor con engranes de metal de tamaño ideal para proyectos de bajo torque Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.
	

<p>Micromotor DC N20 12V/100RPM con Encoder</p>	<p>Micromotor de corriente continua con caja reductor a 100 rpm y con encoder, ideal para proyectos de control de velocidad o posición. Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.</p>
	<p>Servomotor RDS3115 15KG</p>
	<p>Servomotor de 15 kilos con Brackets metálicos especial para aplicaciones de robótica demandantes en peso Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.</p>

Dispositivos de control

Seleccionamos el microcontrolador del sistema en base a nuestro criterio de inclusión (Pg.69), para la selección de la muestra.

Se seleccionaron 4 alternativas.

<p>TEENSY 3.2</p>	<p>Placa desarrolladora de 32 bits para proyectos de electrónica cálculos matemáticos complejos y cinemática inversa en robótica. Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.</p>
	<p>Raspberry pi pico</p>

	<p>Placa desarrolladora para proyectos de robótica y electrónica con la capacidad de ser soldada a un PBC y también de ser usada de forma independiente siendo atornillada directamente véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.</p>
<p>Arduboard mega 2560 - embebido</p> 	<p>Placa controladora muy versátil con las capacidades de potencia y cantidad de pines de una placa controladora de mayor tamaño véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.</p>
<p>Nodemcu-32 38-pin esp32 wifi</p> 	<p>Tarjeta de desarrollo de alta potencia con conectividad wifi utilizada para proyectos IOT (internet de las cosas). Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.</p>

mecanismos básicos

Mecanismos de barras rígidas

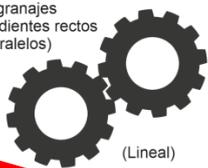
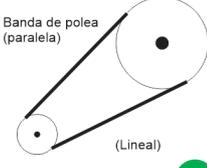
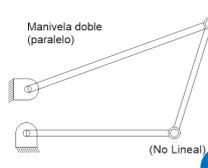
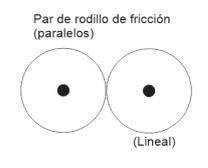
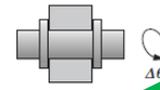
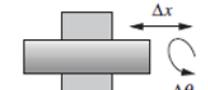
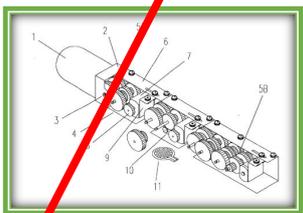
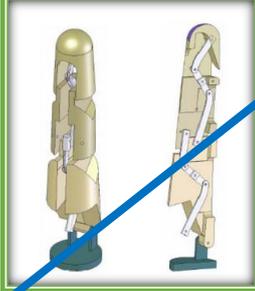
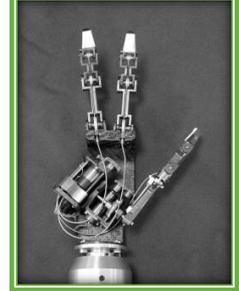
El mecanismo consiste en el movimiento de las falanges articulado por barras rígidas conectadas (Pg.40) a las mismas con la configuración requerida para que los dedos abran y cierren de manera correcta es uno de los mecanismos más fácil de implementar sin embargo es un mecanismo restringido solo se limita a abrir y cerrar los dedos en su totalidad.

Mecanismo accionado por micromotores y engranes

Este mecanismo consta de una serie de micro motores ubicados en cada junta de los dedos es muy utilizado manos robóticas muy complejas con un coste de producción elevado y peso del equipo, donde los movimientos de las falanges son independientes. En (Pg. 41) se muestra el desarrollo de una mano robótica en la cual cada junta constaba de un micromotor y una serie de engranajes que transmitían el movimiento de cada dedo.

Mecanismo transmitido por poleas y cuerdas

La transmisión por poleas y cuerdas es uno de los mecanismos más usados en prótesis debido a su fácil implementación, coste reducido y bajo costo, también es conocido como sistema de tendones ya que representa al funcionamiento de los tendones en la mano humana para abrir o cerrar la mano, por la tensión de un cable muy delgado como se expresa en (Pg.42)

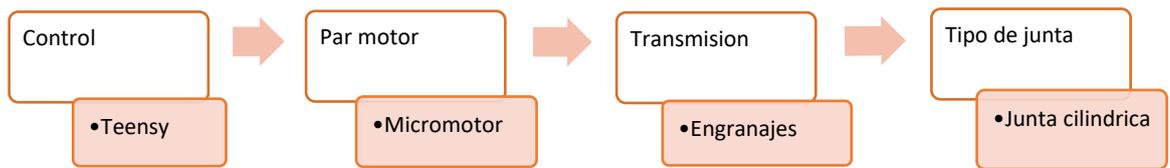
Evaluación de alternativas para los dedos				
Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Transmisión de movimiento	 <p>Engranajes de dientes rectos (paralelos) (Lineal)</p>	 <p>Banda de polea (paralela) (Lineal)</p>	 <p>Manivela doble (paralelo) (No Lineal)</p>	 <p>Par de rodillo de fricción (paralelos) (Lineal)</p>
Tipo de unión	 <p>Juntas de revoluta</p>	 <p>Junta prismática</p>	 <p>Junta esférica</p>	 <p>Junta cilíndrica</p>
Para motor	 <p>Servomotor 15 Kg</p>	 <p>Micro Motor con encoder</p>	 <p>Servomotor 2.5kg</p>	
Control de dispositivos	 <p>Teensy</p>	 <p>Raspberry pi</p>	 <p>Arduino</p>	 <p>esp32</p>
Combinaciones posibles para el movimiento de los dedos				
 <p>Micromotores</p> <p>Función movimiento independiente entre falanges</p>	 <p>Barras rígidas</p> <p>Función de flexión articulada</p>	 <p>Cuerdas y poleas</p> <p>Función de flexión por tensión de cuerdas</p>		

26. Evaluación de alternativas diagrama morfológico fuente propia

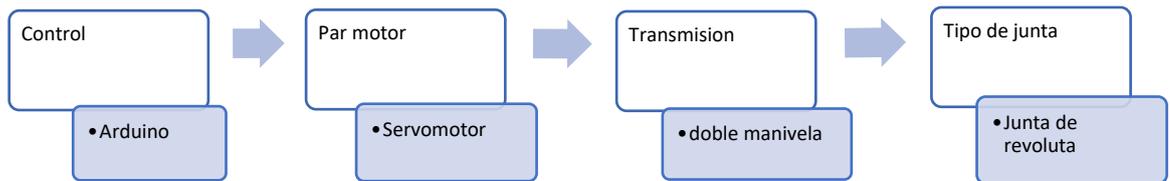
Conceptos de solución

se generaron 3 conceptos esquemáticos en base a los mecanismos propuestos para el movimiento de las falanges, con el fin de dar practicidad al diseño de la muñeca se hará con un mecanismo de transmisión directa con un servomotor de 16kg por lo cual se utilizará para todos los conceptos.

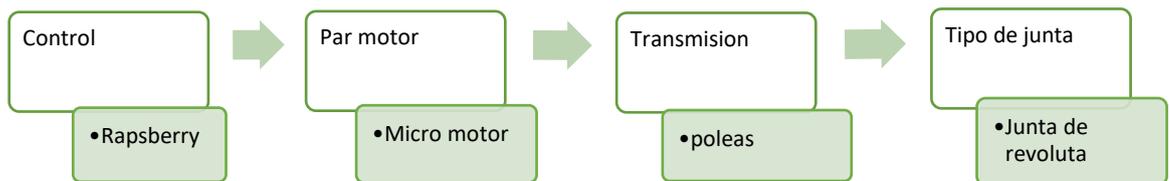
Concepto 1 falanges por micro motores



Concepto 2 de Falanges por barras rígidas



Concepto 3 de Falanges por cuerdas y poleas



27. lista de conceptos fuente propia

Evaluación de conceptos

para la evaluación de los 3 conceptos establecidos utilizaremos el método de objetivos ponderados vista en (Pg.18), para ello estableceremos los objetivos que debe cumplir el diseño, así como su importancia y puntaje para establecer el mejor concepto de diseño

se considerará 4 objetivos indispensables según las necesidades morfológicas y funcionales de diseño establecidos en el objetivo 1 y se le escalara según grado de importancia los cuales son:

Funcional	Morfológica
<ul style="list-style-type: none">• Simplicidad de movimiento• Disponibilidad de piezas	<ul style="list-style-type: none">• Diseño• Manufactura

Objetivos	A	B	C	D	Totales
A. Simplicidad de movimiento	-	0	1	1	2
B. Disponibilidad de piezas	1	-	1	1	3
C. Diseño	0	0	-	1	1
D. manufactura	0	0	0	-	0

28.prioridad de objetivos

Objetivos	Puntaje de 100
Disponibilidad de piezas	40
Simplicidad de movimiento	30
Diseño	20
manufactura	10

29.puntaje de objetivos

Luego de seleccionar los objetivos y escalarlos según su grado de importancia en un nivel de puntajes procederemos según (Pg.19) a establecer una escala de 11 puntos y 5 puntos para estimar nuestros objetivos y posteriormente a comparar nuestros objetivos a esas mismas escalas

Escala de 5 puntos	estimación
0	Inadecuada
1	débil
2	satisfactoria
3	buena
4	excelente

30.escala de puntaje

Puntos (escala)	Diseño (Número de piezas)
0	> 100 pzs
1	100- 80 pzs
2	80 - 60 pzs
3	60-40 pzs
4	< 40 pzs

Puntos escala	Disponibilidad de piezas (existencias)
0	No disponible
1	A Importar
2	A pedido
3	Poca disponibilidad
4	Completa disponibilidad

Puntos (escala)	simplicidad Movimiento Grados de
0	>24 GDL
1	23 - 20 GLD
2	19 - 16GDL
3	15 - 12GDL
4	<12 GDL

Puntos escala	Manufactura (dificultad)
0	Muy difícil
1	Medianamente difícil
2	Dificultad media
3	Medianamente fácil
4	fácil

31. escala de puntos por objetivo seleccionado

Objetivo	Peso	Parámetro	Micromotores			Barras rígidas			Cuerda y poleas		
			magnitud	calificación	valor	magnitud	calificación	valor	Magnitud	Calificación	Valor
Disponibilidad de piezas	0.4	Existencias	A pedido	2	0.8	Com.dispo	4	1.6	Com.dispo	4	1.6
Simplicidad de movimiento	0.3	G.D. L	23-20	1	0.3	15-12	3	0.9	19-16	2	0.6
Diseño	0.2	Nº piezas	100-80	1	0.2	60-40	3	0.6	60-40	3	0.6
manufactura	0.1	Dificultad	Med.dificil	1	0.1	Dif.media	2	0.2	Med.dificil	1	0.2
Valor general de la utilidad			1.4			3.3			3.0		

4.4 Establecer los materiales de diseño a parametrizar de la prótesis

Para establecer los materiales de diseño a parametrizar de la prótesis establecimos la muestra mediante una tabla de selección de muestra (ANEXO C) la cual tiene como objetivo recopilar los materiales electrónicos y mecánicos que conforman el diseño total de la prótesis biónica.

Estos componentes están sujetos por una selección de muestreo no probabilístico (Pg.69) en donde se establecen 3 criterios de inclusión y 3 criterios de exclusión

Ficha de registro de componentes			
Objetivo	identificar una muestra de componentes aptos para el diseño del prototipo que sirva como base de datos para otros prototipos de las mismas características		
CRITERIOS DE INCLUSION	Componentes con la función que requiere el diseño		
	Componentes con la capacidad que requiera el diseño		
	Componentes con disponibilidad en el mercado		
CRITERIOS DE EXCLUSION	Componentes demasiados grandes		
	Precio de adquisición alto		
	No disponibles en el mercado		
PROTOTIPO		Prótesis biónica	
Tipo de componente	función	Capacidad/ cualidad	modelos
CARCASA Filamento de impresión 3d	Permite alojar todos los componentes	<ul style="list-style-type: none"> • De fácil impresión • Resistencia superior • Buen acabado 	PETG
			PLA
MECANICO Engranajes rectos	Transmisión de movimiento	<ul style="list-style-type: none"> • De fácil instalación 	Modulo 1
			Modulo 2
			Modulo 3
			Modulo 4
			Modulo 5
			Modulo 6
			Modulo 8
			Modulo 10
			Modulo 12
			Modulo 1
			Modulo 2
Modulo 3			
MECANICO			D1.5

Pasadores	Permite la unión y movimiento entre componentes	<ul style="list-style-type: none"> Tamaño según las dimensiones del cuerpo o carcasa ISO 8752 	D 2
			D 2.5
			D 3
			D 2.5
MECANICO Insertos para la instalación de calor	Permite el roscado de la tornillería	<ul style="list-style-type: none"> Tamaño reducido 	Serie 14
			Serie 19
MECANICO Resortes de torsión	Permite el retorno de los componentes a su posición original	<ul style="list-style-type: none"> Alguno de torsión entre 180° y 90° Buen torque Tamaño reducido 	LTML040A 02
			LTML040A 04
			LTML050B 02
			LTML050B 04
			LTML040C 02
			LTML040C 04
			LTML060D 02
			LTML060D 04
			LTML050E 02
			LTML050E 04
			LTML075F 02
			LTML075F 04
			LTML040G 02
			LTML040G 04
			LTML060H 02
			LTML060H 04
			LTML050J 02
			LTML050J 04
			LTML100J 02
			LTML100J 04
LTML075K 02			
LTML075K 04			
LTML060L 02			
LTML060L 04			
MECANICO Tornillería	Unión de componentes a carcasa	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno 	Tornillo H-PHILLIPS M2
			Tornillo H-PHILLIPS M2.5
			Tornillo H-PHILLIPS M3
			Tornillo H-PHILLIPS M4
			Tornillo H-PHILLIPS M5
			Tornillo H-PHILLIPS M6
ELECTRONICO Placa controladora	Control del movimiento	<ul style="list-style-type: none"> Tamaño reducido 	Teensy 3.2
			Raspberry pi pico

		<ul style="list-style-type: none"> Alta capacidad de procesado de información Fácil instalación 	Arduino mega 2560 - embebido Nodemcu-32 30-pin esp32 wifi
ELECTRONICO Motores	Generación de movimiento en los dedos y muñeca	<ul style="list-style-type: none"> Pequeño Fácil instalación Buen torque 	Micromotor dc n20 12v/100rpm con encoder Servo rds3115 15kg Micro servo mg90s 2.5kg
ELECTRONICO Modulo controlador de servos	Administrar servomotores	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno 	Módulo controlador de servos PCA9685
ELECTRONICO Convertidor de voltaje	Trasformar voltaje de suministro	<ul style="list-style-type: none"> Tamaño reducido Rango de voltaje Rango de amperaje 	DC-DC STEP-DOWN 5A XL4005 DC-DC STEP-UP-DOWN 1.5A XL6009 DC-DC STEP-UP-DOWN 1.5A XL6009
ELECTRONICO Módulo de carga	Administrar la carga de las baterías de 2s	<ul style="list-style-type: none"> De fácil conexión 	Modulo BMS HX-2S-JH20 2S 7.4V 8.4V
ELECTRONICO Modulo indicador de carga	Indicar la cantidad de carga disponible	<ul style="list-style-type: none"> De fácil instalación 	BMS 2S 8.4V-7.4V 10A 18650 BC-2S10A
FUENTE DE ENERGIA Baterías li-po	Suministro eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> Buena capacidad Baterías de 2 s 	1000mah 25c 1300mah 25c 1800mah 30c 4000mah 30c 5800mah 45c
CONECTORES Dupont	Conexión de componentes	<ul style="list-style-type: none"> ninguno 	Cable Dupont hembra a hembra 20cm AWG 26 Cable Dupont macho a macho 10cm / 20und AWG 26
CONECTORES JST	Conexión entre componentes	<ul style="list-style-type: none"> ninguno 	Serie JST PH
CONECTORES Heders	Conexión de placas	<ul style="list-style-type: none"> ninguno 	Header 40 pines hembra Header 40 pines hembra
CONECTORES Jack de alimentación	Carga de fuente de energia	<ul style="list-style-type: none"> Facilidad de instalación 	Adaptador bornero a Jack de alimentación DC 5.5 X 2.1mm

32. Tabla de selección de materiales fuente propia

4.5 Establecer los parámetros y Diseñar la biblioteca

Para establecer los parámetros y diseñar la biblioteca Primero definimos el movimiento de los dedos para un mecanismo de 4 barras con el método gráfico obteniendo los ángulos de giro y las medidas de los eslabones necesarios para obtener los ángulos de movimientos de cada falange, finalmente establecemos las medidas las proporciones y los ángulos como parámetros estándar de nuestro diseño.

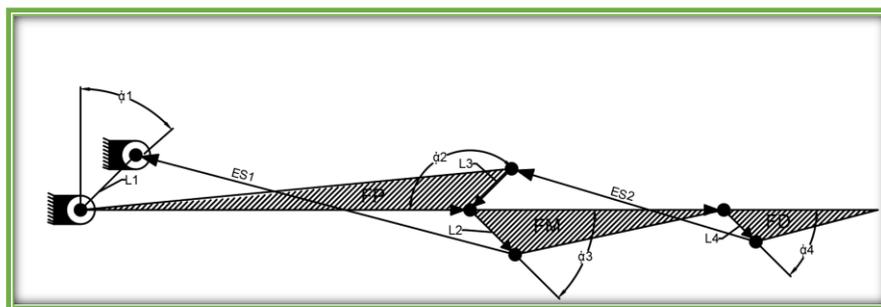
Así obtenemos una lista de dimensiones y proporciones generales y básicas para nuestro diseño

4.5.1 Mecanismo de barras de los dedos

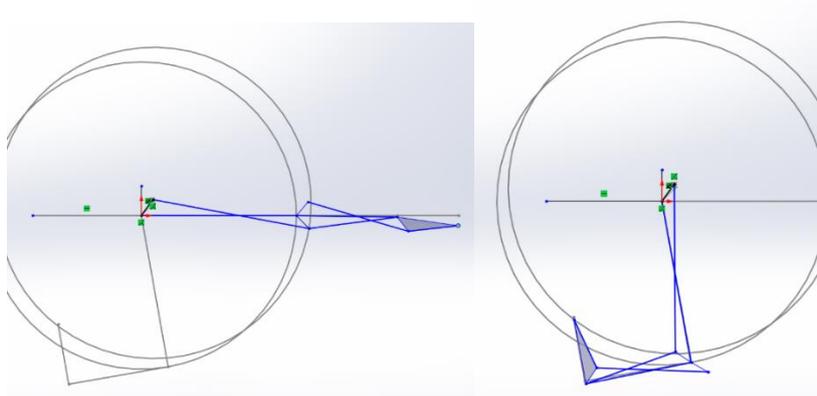
- Dedo índice

Eslabones	Angulo de giro inicial	Angulo de giro final	Longitud
Falange proximal (FP)	0	-80°	43 mm
Falange media (FM)	0	-170°	28 mm
Falange distal (FD)	-6°	-260°	20 mm
Eslabón ES1	-10.32°	-89.66°	43
Eslabón ES2	-15.73°	-176.61	29.6
L1	45°	45°	5 mm
L2	45°	45	5 mm
L3	135°	135°	5 mm
L4	45°	45°	5 mm

33. parámetros mecanismo de barras del dedo índice



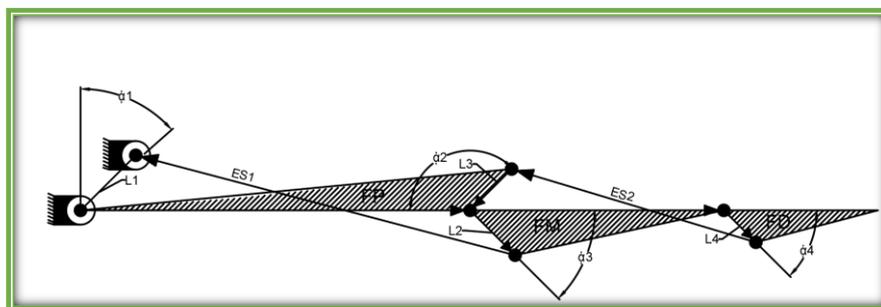
58. Representación mecanismo 4 barras dedo índice



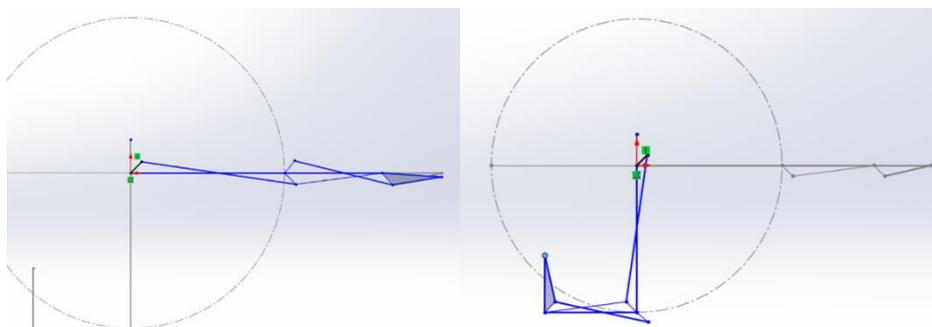
59. Representación del movimiento dedo índice

Eslabones	Angulo de giro inicial	Angulo de giro final	Longitud
Falange proximal (FP)	0	-90°	48 mm
Falange media (FM)	0	-180°	31 mm
Falange distal (FD)	-3.67°	-270°	22 mm
Eslabón ES1	-8.21°	-81.78°	48.5 mm
Eslabón ES2	-13.71°	-167.83°	32.6 mm
L1	45°	45°	5 mm
L2	45°	45	5 mm
L3	135°	135°	5 mm
L4	45°	45°	5 mm

34. Parámetros del mecanismo de 4 barras del dedo medio



60. Representación mecanismo de 4 barras dedo medio

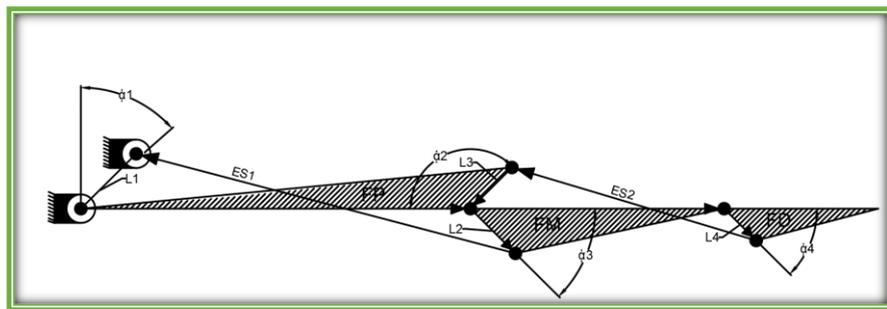


61. Representación del movimiento de dedo medio

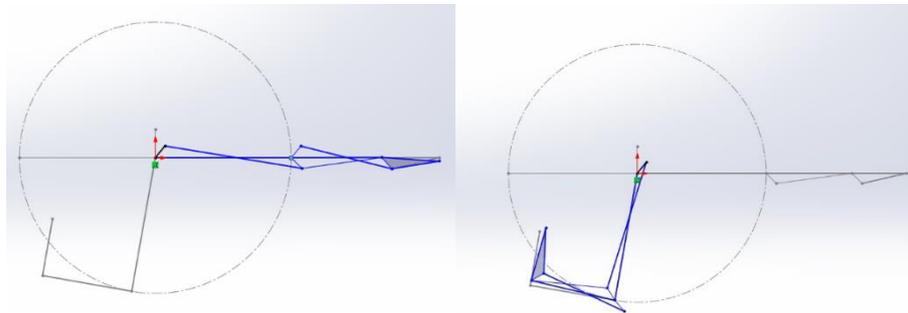
- Dedo anular

Eslabones	Angulo de giro inicial	Angulo de giro final	Longitud
Falange proximal (FP)	0	-100°	44 mm
Falange media (FM)	0	-190°	30 mm
Falange distal (FD)	-3.84°	-280°	22 mm
Eslabón ES1	-9.27°	-72.82°	44.4 mm
Eslabón ES2	-14.02°	-154.81°	32 mm
L1	45°	45°	5 mm
L2	45°	45	5 mm
L3	135°	135°	5 mm
L4	45°	45°	5 mm

35. Parámetros del mecanismo de 4 barras del dedo anular



62. Representación del mecanismo de 4 barras en el dedo anular

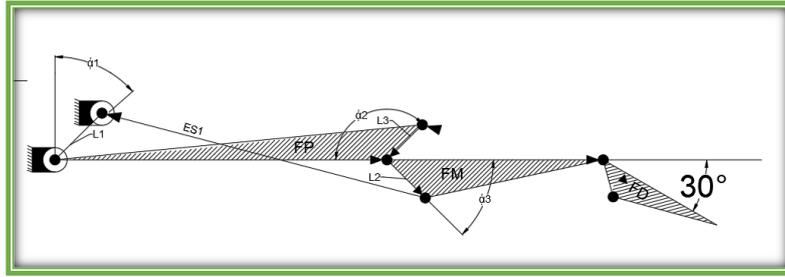


63. Representación del movimiento del dedo anular

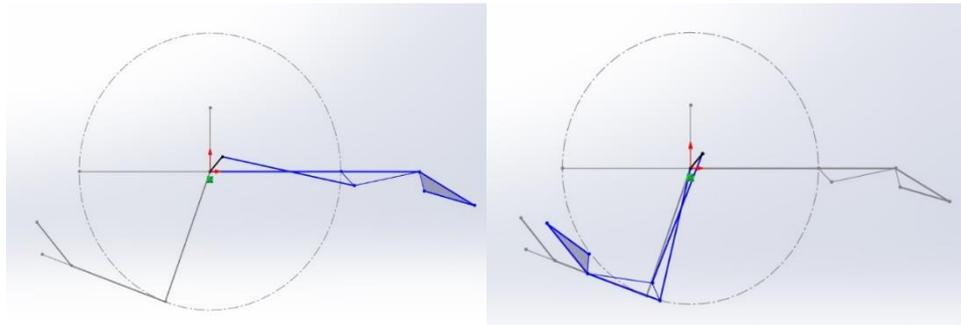
- Dedo meñique

Eslabones	Angulo de giro inicial	Angulo de giro final	Longitud
Falange proximal (FP)	0	-110°	35 mm
Falange media (FM)	0	-200°	22 mm
Falange distal (FD)	-30	-230°	20 mm
Eslabón ES1	-11.72°	-62.81°	35.8 mm
Eslabón ES2	-----	----	5 mm
L1	45°	45°	5 mm
L2	45°	45°	5 mm
L3	135°	135°	5 mm

36 Parámetros del mecanismo de 4 barras del dedo meñique



64. Representación del mecanismo de 4 barras del dedo meñique

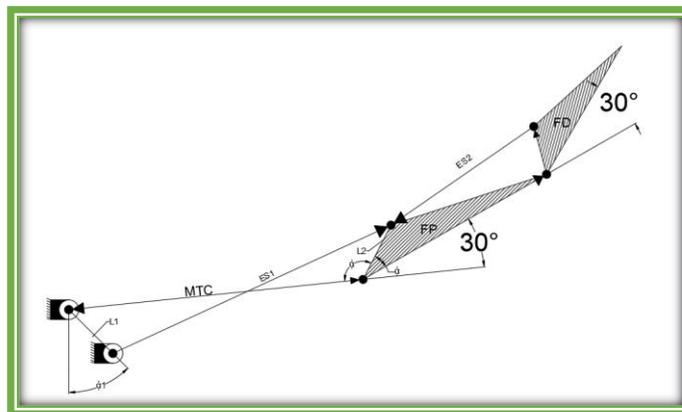


65. representación del movimiento del dedo meñique

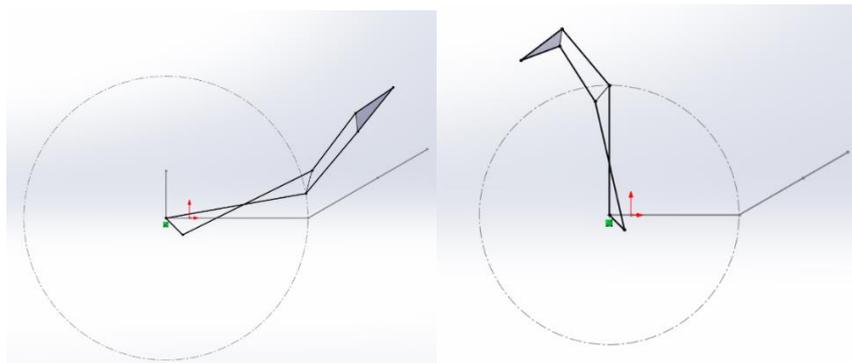
- Dedo Pulgar

Eslabones	Angulo de giro inicial	Angulo de giro final	Longitud
Metacarpo	0	90°	50 mm
Falange proximal (FP)	30	120°	34 mm
Falange distal (FD)	30	207.23°	24 mm
Eslabón ES1	19.72	102.74°	49 mm
Eslabón ES2	30.99	119.2	33.45 mm
L1	45°	45°	10 mm
L2	71.38°	11.92	10 mm

37. Parámetros del mecanismo de 4 barras del dedo pulgar



66. representación del mecanismo de 4 barras del dedo pulgar



67.Movimiento del dedo pulgar

4.5.2 Medidas de las falanges que conforman el diseño

Para la toma de medidas para diseño de la prótesis nos basamos en nuestras referencias vista en (Pg. 35) y (Pg. 36) sumando el criterio del autor con el fin de obtener las dimensiones más estéticas posibles. Dentro de los parámetros del autor

Longitud (mm)				
Dedos	Metacarpo	Falange proximal	Falange media	Falange distal
Pulgar I	50	34	-----	29
Índice II	74	43	28	20
Medio III	70	48	31	22
Anular IV	64	44	30	22
Meñique V	60	35	22	20

38.longitud de los huesos de los dedos fuente propia

ARTICULACIONES (mm)								
Dedos	ANCHO				ESPESOR			
	MCF	IFP	IFD	PUNTA	MCF	IFP	IFD	PUNTA
Pulgar I	23	-----	21	20	20	----	16	15
Índice II	20	17	16	15	18	15	13	12
Medio III	20	18	16	15	18	15	13	12
Anular IV	19	16.5	15	14	17	14	12	11
Meñique V	17	14.5	13	12	15	13	11	10

39.Longitud de las articulaciones fuente propia

Medidas de la palma (mm)						
Distancia entre metacarpos (MC)			Base de los MC		Ancho de la palma	Espesor de la palma
	MC2	MC4	Radio Arco	Flecha	70	24
MC1	18					
MC 3	12	12	45	29		
MC 5		12				

40. medidas para la palma fuente propia

4.5.3 Proporciones de las falanges que conforman el diseño

Se establecieron las proporciones de las longitudes ya mencionadas con el fin de tener una regla la cual defina nuestra prótesis para una longitud total de la mano que iría desde la punta del dedo medio hasta la base de la muñeca comenzando con una longitud de 200 mm

Porcentajes de longitud (%)				
Dedos	Metacarpo	Falange proximal	Falange media	Falange distal
Pulgar I	25	17	----	14.5
Índice II	37	21.5	14	10
Medio III	35	24	15.5	11
Anular IV	32	22	15	11
Meñique V	30	17.5	11	10

41. Porcentaje de longitud de los huesos de los dedos

Porcentaje de Articulaciones (%)								
Dedos	ANCHO				ESPESOR			
	MCF	IFP	IFD	PUNTA	MCF	IFP	IFD	PUNTA
Pulgar I	11.5	----	10.5	10	10	----	8	7.5
Índice II	10	8.5	8	7.5	9	7.5	6.5	6
Medio III	10	9	8	7.5	9	7.5	6.5	6
Anular IV	9.5	8.25	7.5	7	8.5	7	6	5.5
Meñique V	8.5	7.25	6.5	6	7.5	6.5	5.5	5

42. Porcentaje de longitud de las articulaciones de los dedos

Porcentaje de la palma (%)						
Distancia entre metacarpos (MC)			Base de los MC		Base de la palma	Espesor de la palma
	MC2	MC4	Radio Arco	Flecha	35	12
MC1	9					
MC 3	6	6				
MC 5		6				
			22.5	14.5		

43. porcentaje para las medidas de la palma

4.5.4 Ángulos de movimiento de las falanges

Para definir los Angulo de movimiento de nuestra prótesis nos basamos en (Pg.31), (Pg.32) y (Pg.34), todo esto sumado a los ángulos establecidos para el funcionamiento del mecanismo de 4 barras en las falanges

Dedos	Ángulos de apertura			Ángulos de cierre		
	Falange proximal	Falange media	Falange distal	Falange proximal	Falange media	Falange distal
Pulgar	50°	----	50°	140°		222°
Índice	0°	0°	6°	80	170	260
Medio	0	0	3.7°	90	180	270
Anular	0	0	3.8	100	190	280
Meñique	0	0	30	110	200	230

44.Ángulos de apertura y cierre de los dedos fuente propia

4.5.5 Diseño de biblioteca de componentes

Se dibujaron los componentes del diseño de la prótesis establecidos en la selección de componentes cual figura en (Pg.89)

Se establecieron las dimensiones según indicaciones del fabricante, tienda comercial.

Se trabajaron con las siguientes normas técnicas

- IEC 60228: Para conductores aislados (Pg.46)
- ISO 7045: Para tornillería h-philips (Pg.44)
- ISO 8752: Para pasadores elásticos ranurados (Pg.44)

la información recolectada de los distribuidores y fabricantes para su dimensionamiento será categorizada en familias de configuraciones y

parámetros, para ello nos basaremos en la información recolectada en (Pg. 10). y en nuestro antecedente visto en (pg.5) en donde establecemos.

nivel configuraciones: establecimos las el nivel de configuración de cada componente ya sea de nivel 1 si está conformada por un solo parámetro o nivel 2 si está conformada por dos parámetros

parámetros constantes: Establecimos como los parámetros que no cambian en ninguna reconstrucción o configuración.

parámetros funcionales: Establecimos como parámetros funcionales aquellos cambian según lo solicite el diseñador en base a sus necesidades de ensamble que como regla general deberá desvincular el elemento de la biblioteca

parámetros constructivos: establecimos como parámetros constructivos a todos aquellos parámetros que dependen de la combinación de los parámetros constantes y funcionales y forman las ecuaciones necesarias para cambiar en base a los parámetros funcionales

Restricciones: son condiciones establecidas por el diseñador con el fin de evitar errores en las reconstrucciones.

Estableceremos las ecuaciones de diseño visto en (Pg.11) con el fin de poder reconstruir nuestros componentes según las necesidades del diseñador.

Establecimos tablas de diseño visto en (Pg.13) de los componentes seleccionados según el fabricante, para que nuestro diseño permita tener una amplia gama de opciones a escoger en la inserción de las piezas al ensamble

Nos sostendremos en los parámetros de SolidWorks para reconocer cotas, operaciones, ecuaciones, etc. Para la realización de las tablas de diseño Véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Así mismo configuramos los componentes dibujados para que funcionen como componentes inteligentes dentro de nuestra biblioteca de diseño (Pg.14) con el objetivo de facilitar el ensamble de toda la prótesis.

CONECTORES DUPONT

Se dibujaron los conectores tipo DUPONT (Pg.49) según dimensiones del fabricante, (véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), para lo cual se dibujaron 2 variantes para nuestra biblioteca siendo esta macho y hembra

- **Dupont hembra**

Nivel de configuración	2 NIVELES	Sección de cable (AWG)
		Numero de pines (P)
Parámetros constantes	Espesor (E)	
	Altura (A)	
	Diámetro del conector hembra D_CON_H	
	Longitud entre conectores (L_C)	
Parámetros funcionales	Numero de pines (P)	
Parámetros constructivos	Ancho= espesor(E)	
	Profundidad del conector hembra P_CON= A*0.75	
Restricciones	Matriz a condición Si = ("P" =1, MATRIZ OFF, MATRIZ ON) Estado de punto de conexión Activado o desactivado según tabla	

45. Selección de parámetros Conector Dupont Hembra

- **Dupont macho**

Nivel de configuración	2 NIVELES	Sección de cable (AWG)
		Numero de pines (P)
Parámetros constantes	Espesor (E)	
	Altura (A)	
	Diámetro del conector macho D_CON_M	
	Longitud entre conectores (L_C)	
	Longitud del conector macho L_C_M	
Parámetros funcionales	Numero de pines (P)	
Parámetros constructivos	Ancho= espesor(E)	
Restricciones	Matriz a condición Si = ("P" =1, MATRIZ OFF, MATRIZ ON) Estado de punto de conexión Activado o desactivado según tabla	

46. Selección de parámetros conector Dupont Macho

Se seleccionaron 4 dimensiones de cableado para la creación de la tabla de diseño de los conectores DUPONT desde AWG 24 hasta A WG 27 vistos en (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)

Numero AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm 2)	Numero de espiras (cm.)	Kg. Por Km.	Resistencia (O/Km.)	Capacidad (A)
24	0.510	0.2	18	1.82	85	0.58
25	0.4547	0.16	20	1.44	106.2	0.46
26	0.4049	0.13	22.8	1.14	130.7	0.37
27	0.3606	0.10	25.6	0.91	170.0	0.29

47. Valores normalizados A.W.G DEL 24 AL 27 (Electrónica Fácil, 2022)

Se realizaron las tablas de diseño en base a los parámetros seleccionados véase (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)

HEADERS

Se dibujaron conectores HEADERS (Pg.50) hembra y macho según las dimensiones del fabricante (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)

- **HEADER hembra**

Nivel de configuración	2 NIVELES	Numero de contactos (N_CONT)
		Grados de inclinación 90° y 180 °
Parámetros constantes	Espesor (E)	
	Altura (A)	
	Diámetro del conector hembra D_CON_H	
	Diámetro del pin (D_P)	
	Largo del pin inferior (L_P_IN)	
Parámetros funcionales	Numero de Contactos (N_CONT)	
	Grado de inclinación	
Parámetros constructivos	Ancho(A)= espesor(E)	
	Longitud entre pines (L_E_P) = espesor(E)	
	Longitud (L)= (N_CONT * E) +0.2	
	Largo exterior del pin(L_EXT) =(((E) +0.2) /2)	
	Profundidad del conector hembra P_CON= A*0.75	
Restricciones	Matriz a condición Si = ("N_CONT" =1, MATRIZ OFF, MATRIZ ON) Estado de operación para extrusiones de 180° y 90° Activado o desactivado según tabla	

48. Selección de parámetros header hembra

- **HEADER macho**

Nivel de configuración	2 NIVELES	Numero de contactos (N_CONT) Grados de inclinación 90° y 180 °
Parámetros constantes	Espesor (E)	
	Altura (A)	
	Longitud (L)	
	Diámetro del pin (D_P)	
	Altura Total (A_T)	
Parámetros funcionales	Numero de Contactos (N_CONT)	
	Grado de inclinación	
Parámetros constructivos	Longitud entre pines (L_E_P) = espesor(E)	
	Largo del pin inferior(L_P_I) =((A_T/2) –(E))	
	Largo del pin superior (L_P_S) =(A_T / 2)	
Restricciones	Matriz a condición Si = ("N_CONT" =1, MATRIZ OFF, MATRIZ ON) Estado de operación para extrusiones de 180° y 90° Activado o desactivado según tabla	

49. Selección de parámetros Header macho

se crearon las tablas de diseño para ambos componentes véase **(¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)**

CONECTORES JST

Para efecto de nuestra investigación se dibujaron conectores del tipo PH de 2mm de separación según especificaciones técnicas véase **(¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)**

- **JST PH MACHO**

Nivel de configuración	1 nivel	Por número de pines
Parámetros constantes	Altura = 6.35 mm	
	Espesor = 4.5 mm	
	Distancia entre pines (D_e)= 2mm	
	Diámetro del agujero =0.6 mm	
Parámetros funcionales	Numero de pines = N_p	
Parámetros constructivos	$A=(N_p - 1) * 2$	
	$B=(A + 3.8mm)$	
	Ancho del socket Para más de dos pines= $(A_s) = (A - 2.5mm)$	
	Ancho del socket Para dos pines= $(A_s) = 0.7mm$	
Restricciones	Extrusión socket 1mm a condición Si = (" N_p " =2, extrusión ON, extrusión OFF)	
	Extrusión socket para más de dos pines a condición Si = (" N_p " >2, extrusión ON, extrusión OFF)	
	Matriz de separador de cables Si = (" N_p " =2, matriz OFF, matriz OFF)	

50. Selección de parámetros conector jst ph macho

Se creo la tabla de diseño para **JST PH MACHO** véase **(¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)**

- **JST PH HEMBRA**

Nivel de configuración	1 nivel	Por número de pines
Parámetros constantes	Altura = 6 mm	
	Espesor = 4.5 mm	
	Distancia entre pines (D_e) = 2mm	
	Diámetro del pin = 0.5 mm	
	Distancia inferior del pin = 3.4 mm	
	Distancia frontal del pin = 1.7 mm	
	Espesor de pared = 0.7mm	
Parámetros funcionales	Numero de pines = N_p	
Parámetros constructivos	$A = (N_p - 1) * 2$	
	$B = (A + 3.9mm)$	
	Ancho del socket Para más de dos pines = (A_s) = $(A - 2mm)$	
	Ancho del socket Para dos pines = (A_s) = $1mm$	
Restricciones	Corte extruir socket 1mm a condición Si = (" N_p " = 2, Corte extruir ON, Corte extruir OFF)	
	Corte extruir socket para más de dos pines a condición Si = (" N_p " > 2, Corte extruir ON, Corte extruir n OFF)	

51. Selección de parámetros Conector jstph hembra

Se creo la tabla de diseño para **JST PH HEMBRA** véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

CONECTORES ADAPTADOR BORNERA JACK DE ALIMENTACIÓN DC 5.5 X 2.1MM

Se dibujo un adaptador de bornera a Jack de alimentación de corriente continua para cargar la fuente de energía mediante un transformador, el dibujo fue hecho con información del proveedor véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** , ya que fue imposible conseguir especificaciones técnicas del fabricante.

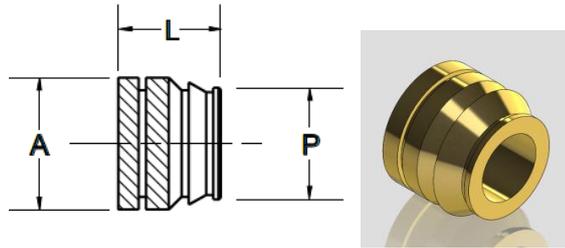
COMPONETES MECANICOS

- **Insertos para la instalación por calor / ultrasonido**

Para nuestro diseño seleccionamos dos tipos de insertos que varían en la longitud de rosca corta para ser instalados en lugares de poco tamaño véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) la cual viene siendo una de las características de nuestro diseño. Estos insertos están fabricados de material según norma ASTM B16 UNS 36000 (pagina)

Se realizaron las tablas de diseño según la información de los fabricantes por lo que no se requiera de una selección de parámetros.

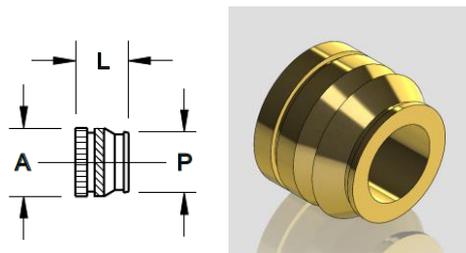
Inserto serie 19 corto



Inserto serie 19 corto				
	L (mm)	A (mm)	P (mm)	D_AGU (mm)
M2	3.2	3.6	3.1	3.2
M2.5	3.5	4.6	3.9	4
M3	3.5	4.6	3.9	4
M3.5	3.8	5.4	4.7	4.75
M4	4.7	6.2	5.5	5.6
M5	6.3	7	6.3	6.4
M6	7.9	8.6	7.9	8

52. Dimensiones del fabricante serie 19

Inserto serie 14 corto

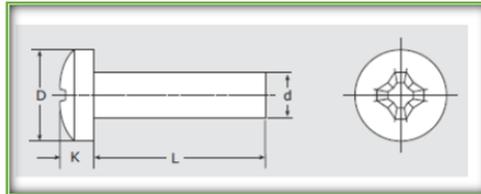


Inserto serie 14 corto				
	L (mm)	A (mm)	P (mm)	D_AGU (mm)
M2	2.9	3.6	3.0	3.2
M2.5	3.4	4.4	4.0	4
M3	3.8	5.6	5.1	4
M3.5	3.8	5.6	5.1	4.75
M4	4.7	6.3	5.8	5.6
M5	6.7	8.4	7.8	6.4
M6	7.6	9.6	9.0	8

53. Dimensiones del fabricante serie 14 corto

- **Tornillo H-PHILLIPS**

Para nuestro diseño se dibujaron los tornillos tipo philips en tamaño milimétrico según especificaciones técnicas véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** con el objetivo de poder tener estandarizado el espacio donde estos se insertan, fueron dibujados los tornillos en norma ISO 7045 (marco teórico)



68. *dimensiones tornillo h-philips*

Se diseñaron las tablas de diseño para las distintas configuraciones del tornillo véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

- **Resortes de torsión a 180 ° (marco teórico)**

Para nuestro diseño se optó por usar resortes de torsión para regresar los dedos a su posición original, en muchas empresas se fabrican los resortes a pedido, más sin embargo para nuestro diseño optamos por seguir las especificaciones técnicas de un distribuidor internacional véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y mantener un estándar para posteriormente ser fabricados a pedido.

Se diseñaron las tablas de diseño para las distintas configuraciones de los resortes véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



54. *diseño de resorte de torsión 180° fuente propia*

- **Pasadores elásticos**

Los pasadores elásticos ranurados con norma ISO 8752 (Pg.) en nuestro diseño cumplen la función de articulación, es decir es la articulación de revoluta que permitirá el movimiento de los dedos se dibujó en base a catalogo del distribuidor ESPIROL véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) quien establece unas especificaciones mínimas y máximas.

Nivel de configuración	2 NIVELES	diámetro nominal
		Largo
Parámetros constantes	Largo (L)	
	Espesor de pared (S)	
	Chaflán (C)	
	Tamaño recomendado del orificio (TRO)	
Parámetros funcionales	Diámetro nominal (D_NOM)	
Parámetros constructivos	Diámetro del pasador D = (D_NOM X 1.133)	

55. Selección de parámetros Pasador ranurado ISO 8752

En base a los parámetros construimos una tabla de diseño con las medidas más utilizadas por nuestro diseño véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

- **Engranajes rectos**

Para el cálculo de los engranajes rectos para un diseño a nivel de ensamble en donde necesitamos optimizar el mejor espacio posible establecimos nos basamos en la distancia disponible y las velocidades que se desean alcanzar siendo el engranaje conductor el engranaje de entrada y el conducido el de salida, además se consideró un Angulo de presión según norma din867 de 20°

Nivel de configuración	2 nivel	Modulo estandarizado (M)
		Engranaje de entrada y salida
Parámetros constantes	Angulo de presión(θ)= (20°)	
	juego de flancos (S_f)	
Parámetros funcionales	Distancia entre ejes (D_E)	
	Rpm de entrada (RPM_E)	
	Rpm de salida (RPM_S)	
	Diámetro del eje (D_{eje})	
	Diámetro del cubo (D_{cu})	
Parámetros constructivos	Espesor (E)	
	Relación de engranajes(i) = (RPM_E/RPM_S)	
	Diámetro primitivo de entrada (DP_E)= ($(D_E) * (1 + i) * 2$)	

	Diámetro primitivo de salida $(DP_s) = ((D_s * i) / (1 + i)) * 2$
	Numero de dientes de entrada $(z_e) = (DP_e / M)$
	Número de dientes de salida $(z_s) = (DP_s / M)$
	Diámetro de la base de entrada $(DB_e) = (DP_e * \cos(\theta))$
	Diámetro de la base de salida $(DB_s) = (DP_s * \cos(\theta))$
	Paso diametral $(P_D) = (1 / M)$
	Paso circular $(P_c) = (\pi * M)$
	Juego periférico $(S_u) = (S_f) / (\cos(\theta))$
	Arco del diente $(T) = \frac{P_c}{2} - 0.5 S_u$
	Arco del hueco del diente $(w) = \frac{P_c}{2} + 0.5 S_u$
	Angulo de separación del diente de entrada $(T^{\circ}_e) = \left(\frac{T}{DP_e/2}\right) * (180/\pi)$
	Angulo de separación del diente de salida $(T^{\circ}_s) = \left(\frac{T}{DP_s/2}\right) * (180/\pi)$
	Addendo cabeza del diente $(A) = (M)$
	Deddendo raíz del diente $(R) = 1.25 * (M)$
	Diámetro de cabeza entrada $(DC_e) = (DP_e + (2 * M))$
	Diámetro de cabeza salida $(DC_s) = (DP_s + (2 * 1.25 * M))$
	Diámetro De raíz de entrada $(DR_e) = (DP_e - (2 * R))$
	Diámetro De raíz de salida $(DR_s) = (DP_s - (2 * R))$
	Radio de entalle $(C) = (A - R)$
Restricciones	Restricción de Extrusión de la base del diente Si = $(DR > DB, EXTRUCCION OFF, EXTRUCCION ON)$
	Restricción de matriz circular con base de del diente Si = $(DR > DB, MATRIZ OFF, MATRIZ ON)$
	Restricción de matriz circular sin base de del diente Si = $(DR > DB, MATRIZ ON, MATRIZ OFF)$

56. Selección de parámetros de engranajes rectos

se estableció la siguiente ecuación generando una curva involuta antihoraria (Pg. 59)

$$x = (D_b / 2) * (\cos(t) + ((t) * \sin(t)))$$

$$x = (D_b / 2) * (\sin(t) - ((t) * \cos(t)))$$

Se dibujaron las tolerancias según el juego de flancos visto en (Pg-59)

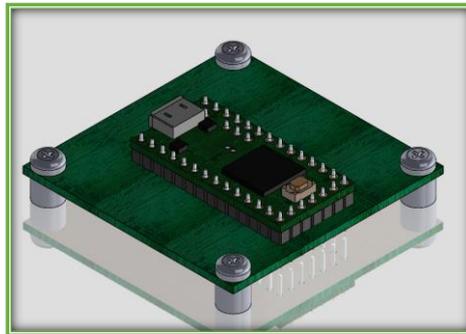
COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Todos los componentes electrónicos seleccionados en la tabla de selección de muestra (Pg.89) fueron dibujados según especificaciones técnicas del fabricante o del comerciante.

- **Placas controladoras**

Teensy 3.2

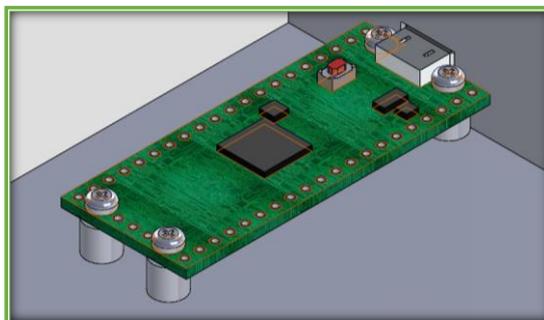
Se siguieron las medidas del fabricante véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para el diseño básico con el fin de poder insertar automáticamente las conexiones y la ubicación de los agujeros para ser soldado, para luego ser convertido en un componente inteligente que permitió la inserción de otros componentes ubicados en mi biblioteca.



69. diseño de placa controladora como componente inteligente fuente propia

Raspberry pi pico

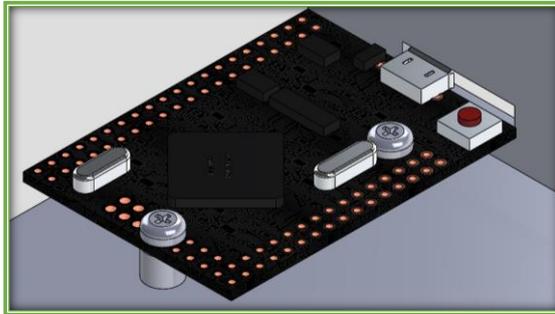
Se siguieron las medidas del fabricante véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** con el fin de posicionar los agujeros de los tornillos, tornillería y conexiones con el objetivo de crear el componente inteligente que permita arrastrar operaciones y componentes de mi biblioteca.



70. diseño de placa controladora Raspberry pi como componente inteligente fuente propia

Arduboard mega 2560

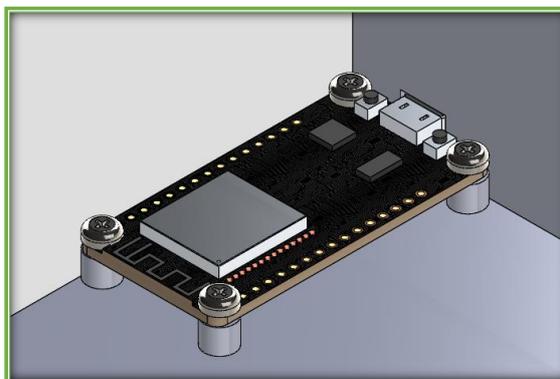
Se siguieron las medidas del fabricante según ficha técnica véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) con el fin de posicionar la placa en la base de instalación con los agujeros y tornillerías específicas para crear el componente inteligente.



71. diseño de placa controladora Arduboard mega 2560 – embebido fuente propi

Nodemcu-32 38-pin esp32

Se siguieron las medidas propuestas por el fabricante según la ficha técnica del distribuidor véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** con el objetivo de crear un componente inteligente que arrastre operaciones y componentes de mi biblioteca.

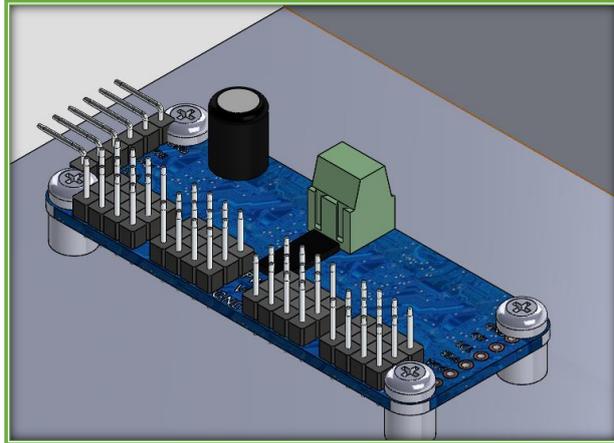


72. diseño de placa controladora Nodemcu-32 38-pin esp32 wifi fuente propia

- **Módulos electrónicos**

Módulo Controlador de Servos PCA9685

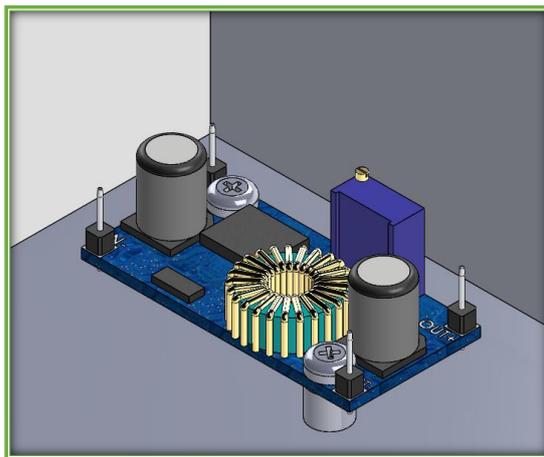
Se diseñó el componente electrónico en base a la información proporcionada véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), siendo configurada como elemento inteligente para que arrastre los componentes diseñados previamente en esta sección.



73. diseño de Módulo Controlador de Servos PCA9685 fuente propia

Modulo convertidor Voltaje DC-DC STEP-DOWN 5A XL4005

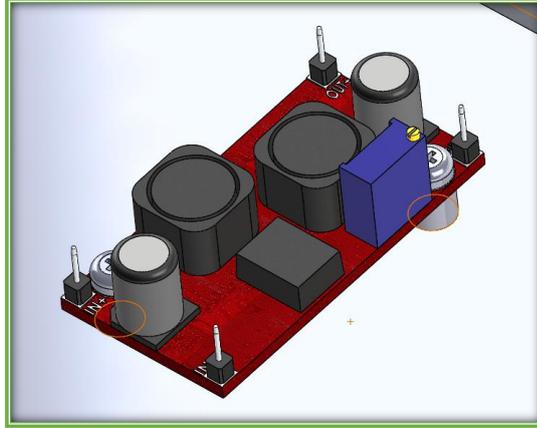
Elemento electrónico dibujado según especificaciones del distribuidor véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)



74. diseño de DC-DC STEP-DOWN 5A XL4005 fuente propia

Modulo Convertidor Voltaje DC-DC STEP-UP-DOWN 1.5A XL6009

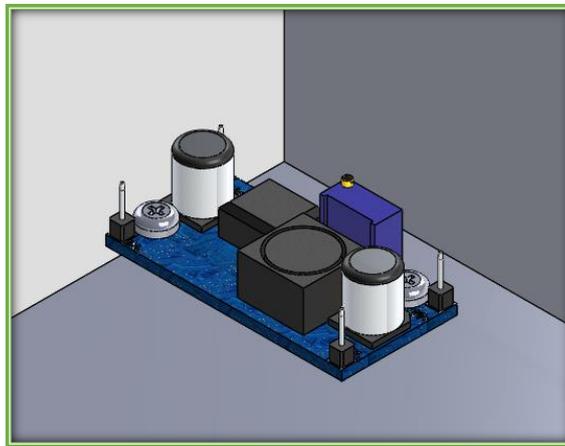
Elemento electrónico dibujado según especificaciones del distribuidor véase (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)



75. diseño de DC-DC STEP-UP-DOWN 1.5A XL6009 fuente propia

Convertidor Voltaje DC-DC STEP-DOWN 3A LM2596

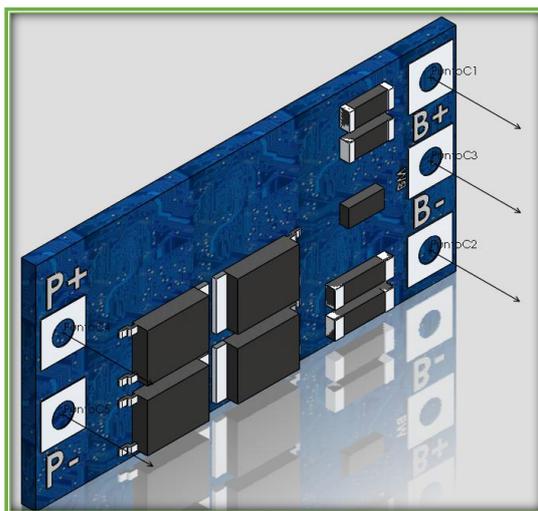
Elemento electrónico dibujado según especificaciones del distribuidor véase (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)



76. diseño de DC-DC STEP-DOWN 3A LM2596 fuente propia

Modulo BMS HX-2S-JH20 2S 7.4V 8.4V

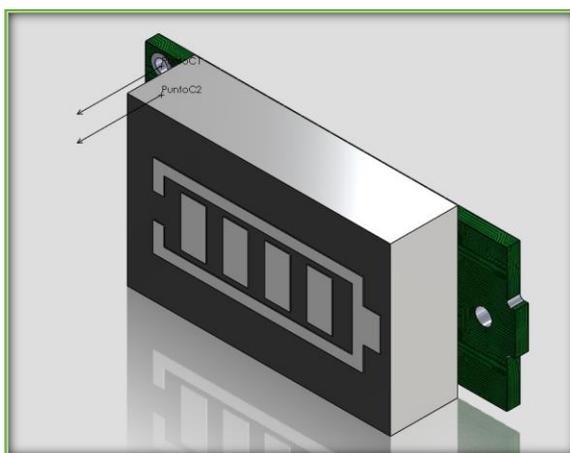
Visto en (Pg.52) este módulo permite la carga de baterías de litio de dos celdas si necesidad de que esta sea retirada y cargada por separado se dibujó según especificaciones técnicas del vendedor véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



77. Módulo de carga BMS de 2 celdas fuente propia

Modulo indicador de carga de batería de 2 celdas

visto en (Pg.52) ESTE MODULO PERMITE LA VISUALIZACION del nivel de carga de una batería en específico de 2 celdas el dibujo fue realizado según las especificaciones técnicas y dimensiones que informa el distribuidor véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



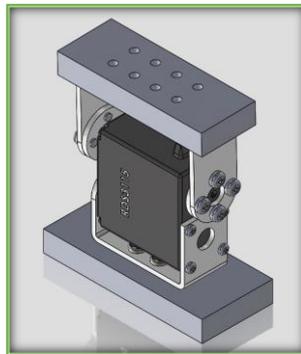
78. dibujo de modulo cargador de baterías fuente propia

Actuadores

Se seleccionaron servomotores y micromotores según tabla de selección de muestra vista en (Pg. 89)

- **Servomotor RDS3115 15KG**

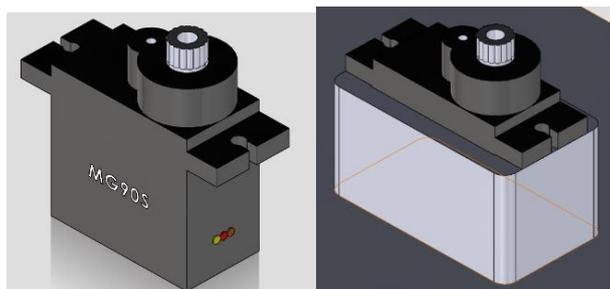
Servomotor de 15 kilos con Brackets metálicos suficientemente potente para girar el peso de toda la mano su rotación es de 135 grados en cada dirección por lo que va perfecto para el movimiento de flexión que genera, el componente se dibujó según dimensiones véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), creándolo como componente inteligente.



79. diseño inteligente de servomotor RDS3115 15KG fuente propia

Micro servo motor MG90S 2.5KG

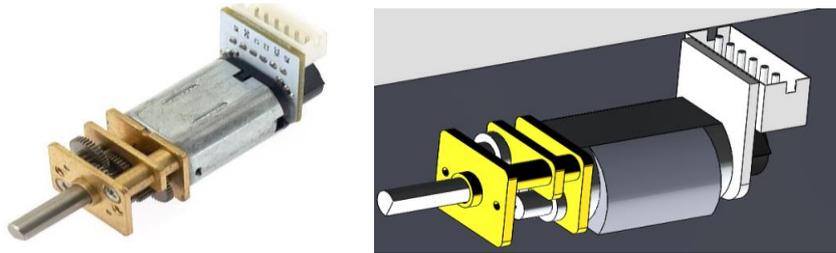
Servomotor muy versátil por su tamaño reducido de poco torque tiene con engranajes metálicos lo que le permite mayor torque que sus competidores con giros de 90° grados por lado el componente se dibujó según dimensiones del fabricante véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y fue creado como componente inteligente.



80. Diseño inteligente de micro servomotor MG90S fuente propia

Micromotor DC N20 6V/100RPM con ENCODER

Micromotor DC con caja reductora con engranajes de metal, para proyectos de control de velocidad o posición se diseñó según especificaciones técnicas del distribuidor véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) siendo este creado como componente inteligente.



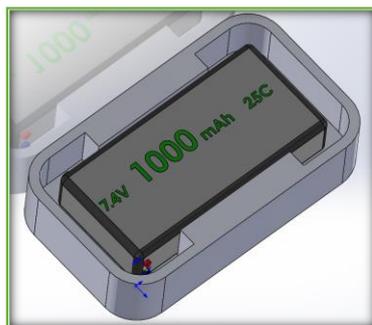
81. Diseño de micromotor N20 NC 12V 100 RPM con Encoder

FUENTES DE ENERGÍA

Se seleccionaron baterías de polímero de litio o li-po por sus siglas véase (Pg. 60), también al ser baterías de una alta tasa de descarga (Pg.61).

seleccionamos para nuestro diseño un rango baterías de no mayor a 2 celdas para tener un máximo de 7.4 volt de descarga para los actuadores y un tamaño lo más reducido posible, con una tasa de descarga máxima.

Para el dibujo nos basamos en las dimensiones establecidas por el distribuidor véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



82. Dibujo de batería li-po fuente propia

CUERPO CARCASA

Para el diseño de la carcasa de nuestra prótesis se trabajaron con los parámetros ya definidos y las proporciones establecidas para sus futuras variaciones visto en (Pg.96) y (Pg.97) respectivamente.

Se trabajo en base a plantillas donde se encontrarán las medidas ya definidas (Pg.96) en planos de croquis fuera del modelo 3d con el fin de evitar romper referencias al momento de ejecutar alguna operación dentro de estas.

Con la intención de no generar conflictos en un contexto de ensamblaje cada operación de los elementos de la carcasa, así como los croquis previos constan de un subíndice que los identifica según la pieza.

se decidió una regla de 3 porcentual en base a la longitud de la mano para la definición de las medidas que se establecen en el transcurso del modelado y sus futuros cambios

$$\text{longitud de la mano} = 100 \%$$

$$\text{"medida"} = \text{"medida\%"}$$

$$\text{"medida\%"} = \frac{\text{"medida"}}{\text{longitud de la mano}} \times 100$$

En donde “medida” es cualquier medida que no fue calculada previamente en (Pg.96) y su porcentaje (“medida%”) se define en función a la longitud de la mano en la que fue generada, para luego ser establecida en la siguiente ecuación:

$$\text{longitud de la mano} \times ((\text{medida \%})/100)$$

En donde dicha “medida” cambiara según la longitud de la mano que deseamos diseñar

Se modelo en base a la norma ANSI B4.2 para el límite métrico de piezas de acoplamiento visto en (pg.45) tablas en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

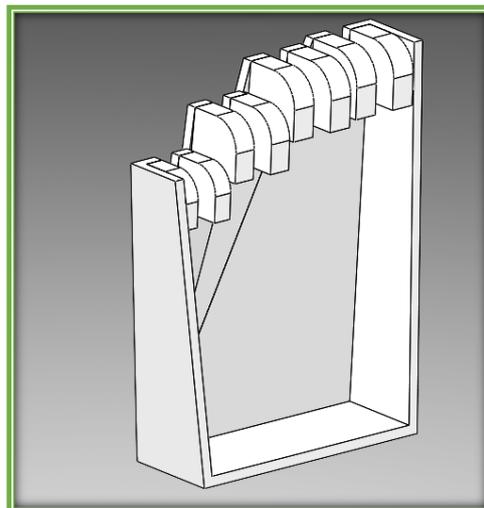
Ordenamos los parámetros según nuestra referencia vista en (Pg.5)

Se obtuvo bloques con ecuaciones muy marcadas para su variación en longitud y proporción, así como tablas de diseño modificables para agregar mayor variedad de longitudes a las piezas modeladas

Palma de la mano

Nivel de configuración	Ninguno
Parámetros constantes	Angulo entre dedos
	Angulo del pulgar
	Tolerancia máxima
Parámetros funcionales	Largo de la mano palma (L_M)
Parámetros constructivos	Tolerancia hole C11 = $L_M * ((6.145/2)/100)$
	Base de la palma $B_{pa} = L_M * (35\%/100)$
	Radio del arco $R_A = L_M * (26\%/100)$
	Flecha $F = L_M * (15.5\%/100)$
	Distancia entre MTC $D_{mtc} = L_M * (15.5\%/100)$
	Distancia entre MTC2 $D_{mtc2} = L_M * (10.7\%/100)$
	Longitud del metacarpo 2 $MTC2 = L_M * (37\%/100)$
	Longitud del metacarpo 3 $MTC3 = L_M * (35\%/100)$
	Longitud del metacarpo 4 $MTC4 = L_M * (32\%/100)$
	Longitud del metacarpo 5 $MTC5 = L_M * (30\%/100)$
	Ancho de la metacarpofalángica 1 $A_{mcf1} = L_M * (11.5\%/100)$
	Ancho de la metacarpofalángica 2 $A_{mcf2} = L_M * (10.5\%/100)$
	Ancho de la metacarpofalángica 3 $A_{mcf3} = L_M * (10.5\%/100)$
	Ancho de la metacarpofalángica 4 $A_{mcf4} = L_M * (10\%/100)$
	Ancho de la metacarpofalángica 5 $A_{mcf5} = L_M * (8.5\%/100)$
	Espesor de la metacarpofalángica 1 $E_{mcf1} = L_M * (10\%/100)$
	Espesor de la metacarpofalángica 2 $E_{mcf2} = L_M * (8.5\%/100)$
	Espesor de la metacarpofalángica 3 $E_{mcf3} = L_M * (9\%/100)$
	Espesor de la metacarpofalángica 4 $E_{mcf3} = L_M * (8.5\%/100)$
	Espesor de la metacarpofalángica 5 $E_{mcf3} = L_M * (7.5\%/100)$
Restricciones	ninguna

57. Selección de parámetros para el diseño de la palma de la mano

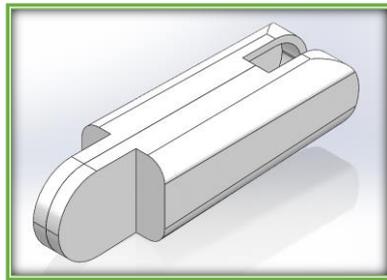


83. diseño básico de la palma de la prótesis

Falanges proximales

Nivel de configuración	2 niveles	Numero de dedo (1-5)
		Lado (A_B)
Parámetros constantes	tolerancia máxima falange proximal	
Parámetros funcionales	Largo de la mano falange proximal (L_M)	
Parámetros constructivos	Tolerancia SHAFT h11 $h_{11} = l_M * ((5.925/2)/100)$	
	Tolerancia HOLE C11 $h_{11} = l_M * ((6.145/2)/100)$	
	Longitud de la falange $l_{FP} = l_M * (L_{fp}\%/100)$	
	Ancho de la articulación (MCF) $A_{mtf} = l_M * (A_{mcf}\%/100)$	
	Ancho de la articulación (IFP) $A_{ifp} = l_M * (A_{ifp}\%/100)$	
	Espesor de la articulación (MCF) $E_{mcf} = l_M * (E_{mcf}\%/100)$	
	Espesor de la articulación (IFP) $E_{ifp} = l_M * (E_{ifp}\%/100)$	
	Radio de giro articulación (MCF) $RG_{mcf} = E_{mcf}/2$	
	Radio de giro articulación (IFP) $RG_{ifp} = E_{ifp}/2$	
Restricciones	ninguna	

58. Selección de parámetros para el diseño de las falanges Proximales

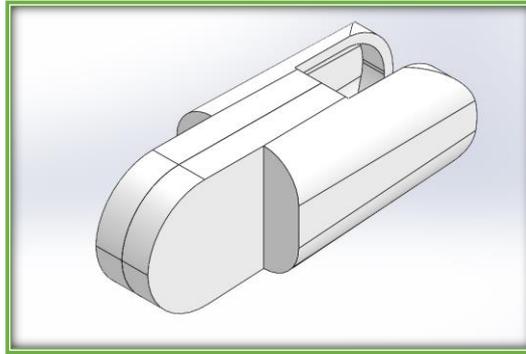


84. Diseño básico falanges proximales fuente propia

Falanges medias

Nivel de configuración	2 niveles	Numero de dedo (2-5)
		Lado (A_B)
Parámetros constantes	tolerancia máxima falange media	
Parámetros funcionales	Largo de la mano falange media (L_M)	
Parámetros constructivos	Tolerancia SHAFT h11 $h_{11} = l_M * ((5.925/2)/100)$	
	Tolerancia HOLE C11 $h_{11} = l_M * ((6.145/2)/100)$	
	Longitud de la falange $l_{FM} = l_M * (L_{FM}\%/100)$	
	Ancho de la articulación (IFP) $A_{ifp} = l_M * (A_{ifp}\%/100)$	
	Ancho de la articulación (IFD) $A_{ifd} = l_M * (A_{ifd}\%/100)$	
	Espesor de la articulación (IFP) $E_{ifp} = l_M * (E_{ifp}\%/100)$	
	Espesor de la articulación (IFD) $E_{ifd} = l_M * (E_{ifd}\%/100)$	
	Radio de giro articulación (IFP) $RG_{ifp} = E_{ifp}/2$	
	Radio de giro articulación (IFD) $RG_{ifd} = E_{ifd}/2$	
Restricciones	ninguna	

59. Selección de parámetros para el diseño de las falanges medias

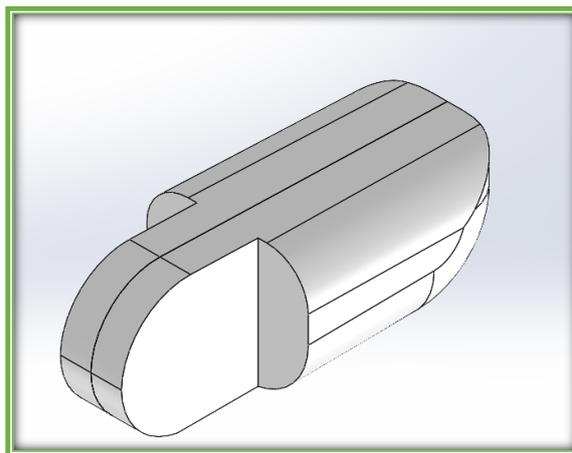


85. Diseño básico Falanges medias fuente propia

Falanges distales

Nivel de configuración	2 niveles	Numero de dedo (1-5)
		Lado (A_B)
Parámetros constantes	tolerancia máxima falange distal	
Parámetros funcionales	Largo de la mano falange distal (L_M)	
Parámetros constructivos	Tolerancia SHAFT h11 $h_{11} = L_M * ((5.925/2)/100)$	
	Tolerancia HOLE C11 $h_{11} = L_M * ((6.145/2)/100)$	
	Longitud de la falange $l_{FD} = L_M * (L_{FD}\%/100)$	
	Ancho de la articulación (IFD) $A_{ifd} = L_M * (A_{ifp}\%/100)$	
	Ancho de la punta $A_p = L_M * (A_p\%/100)$	
	Espesor de la articulación (IFD) $E_{ifd} = L_M * (E_{ifd}\%/100)$	
	Espesor de la punta $E_p = L_M * (E_p\%/100)$	
	Radio de giro articulación (IFD) $RG_{ifd} = E_{ifd}/2$	
	Redondeo de punta $R_p = (E_p/1.25)$	
Restricciones	Tolerancia eje h11 $tol_{h11} = L_M * ((h_{11}/2)/100)$	
	ninguna	

60. Selección de parámetros para el diseño de las falanges distales

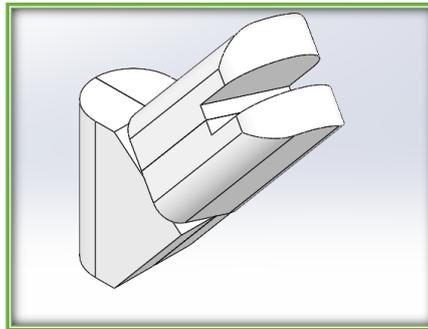


86. Diseño básico Falanges distales Fuente propia

Pulgar

Nivel de configuración	1 niveles	Lado (A-B)
Parámetros constantes	Angulo de inclinación del pulgar 40°	
	Angulo de giro de la articulación MCF 75°	
	Tolerancia máxima pulgar	
Parámetros funcionales	Largo de la mano (L_M)	
Parámetros constructivos	Tolerancia HOLE C11 $h_{11} = l_M * ((6.145/2)/100)$	
	Longitud de la falange MC1 $l_{mc} = l_M * (L_{mc}\%/100)$	
	Ancho de la articulación (MCF) $A_{mcf} = l_M * (A_{mcf}\%/100)$	
	Espesor de la articulación (MCF) $E_{mcf} = l_M * (E_{mcf}\%/100)$	
	Radio de giro de la base RGb $RG_b = l_M * (E_{mcf}\%/100)$	
	Radio de giro de la articulación MCF RGb $RG_{mcf} = l_M * (E_{mcf}\%/100)$	
	Distancia del eje $D_{eje} = l_M * ((\frac{5}{2})/100)$	
Restricciones	ninguna	

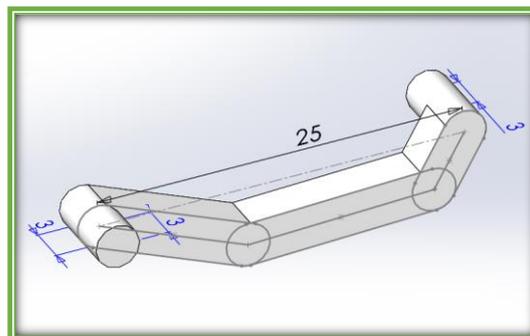
61. Selección de parámetros para el diseño del pulgar



87. Diseño básico metacarpo pulgar fuente propia

Barra articulada

Se modelo una barra articulada para el mecanismo de 4 barras de los dedos el cual consta de 3 eslabones articulados para facilitar su posicionamiento además de tener una longitud variable según lo necesite el mecanismo.



88. Diseño de barras articuladas

4.6 Análisis y evaluación de ensamblaje y de los tiempos empleados en el diseño tradicional y paramétrico

Para analizar y evaluar los ensamblajes y los tiempos empleados en el diseño tradicional y paramétrico primero debemos de entender la lógica del software para desarrollar un correcto ensamblaje paramétrico sin necesidad de llegar a tener conocimientos avanzados en diseño o en programación, teniendo como resultado un modelo con buena flexibilidad que sea interactivo fácil de modificar sobre la marcha y pulir según se va diseñando, sin la necesidad de regresar al papel o de algún análisis matemático previo, hay que tener en cuenta ciertas recomendaciones para evitar errores.

Para ello hay que entender que dentro de SolidWorks se trabajara en dos contextos de diseño diferentes, contexto de pieza y contexto de ensamblaje y que define en que método de diseño se trabajara (Pg.10)

Herramientas

4.6.1 Macros

Las herramientas macros como se vio en (Pg.11) pueden grabar operaciones repetitivas y facilitarnos en gran medida el uso de estas con un solo botón

Recomendaciones

Se deberán grabar actividades repetitivas y que no son de fácil acceso es decir que requieran de varios pasos dentro de la interfaz de SolidWorks, si deseamos actividades donde se requiere de un nivel de programación más complejo podemos usar macros de un repositorio que son totalmente gratuitas y con soporte constante como se vio en la página (Pg.11)

Para nuestro caso grabamos una actividad repetitiva y que consta de varios pasos como la de exportar un archivo en formato stl. Para su impresión 3D véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

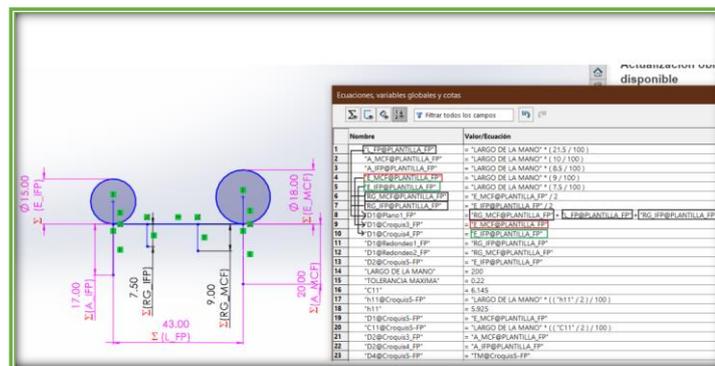
Y recurrimos a dos macros del repositorio de CodeStack el cual nos permite grabar e independizar los elementos de la biblioteca y actualizar y reconstruir todas las operaciones y configuraciones que tiene una pieza véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

4.6.2 Ecuaciones

cómo se vio en la (Pg11) la herramienta ecuaciones nos permiten generar parámetros en base a medidas y cotas ya definidas a lo que le llamamos en este documento parámetros funcionales donde a partir de ellos construimos parámetros para nuestro modelo.

Recomendaciones

El orden de las ecuaciones es importante para su reconstrucción en todas sus configuraciones las ecuaciones generadas para cada configuración y que son parte de la plantilla deben estar en primer orden en la lista de ecuaciones, luego irían las ecuaciones que dependen de estas

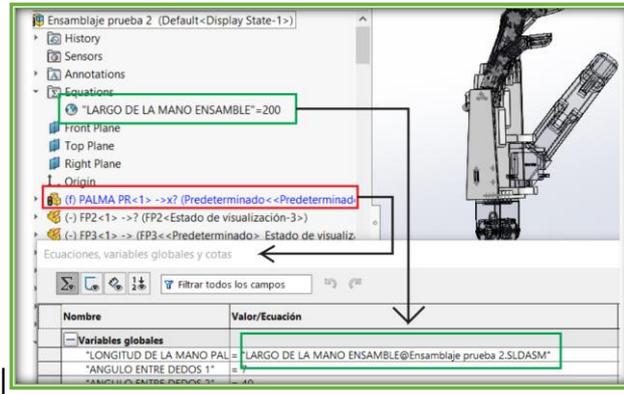


89. organización de ecuaciones fuente propia

Si se requiere cambiar los parámetros dentro del contexto de ensamblaje habrá que crear un valor o parámetro funcional que tenga una relación de igualdad con respecto a los parámetros funcionales que tienen cada pieza que permiten modificar las piezas en el contexto de ensamblaje (Pg.12)

Para ello cada pieza tiene que tener uno o dos parámetros funcionales en común que permita la relación de igualdad con el parámetro funcional del ensamblaje

Para nuestro caso utilizaremos el parámetro funcional largo de la mano que tienen los elementos de la carcasa en común



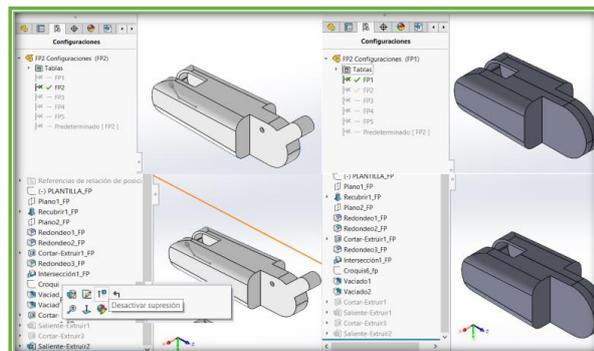
90. relación de variables globales en un ensamblaje fuente propia

4.6.3 Configuraciones

Como se vio en (Pg.13) las configuraciones nos permiten tener una gama de variaciones de la misma pieza con FP2 operaciones distintas entre cada configuración.

Recomendaciones

Para generar configuraciones que requieran de diferentes operaciones o que contengan operaciones adicionales, como regla muy importante es no eliminar la operación sino más bien suprimirla esto hace que la pieza siga dentro del gestor de operaciones, pero inactiva.



91. supresión de operaciones para cada configuración fuente propia

4.6.4 Tablas de diseño

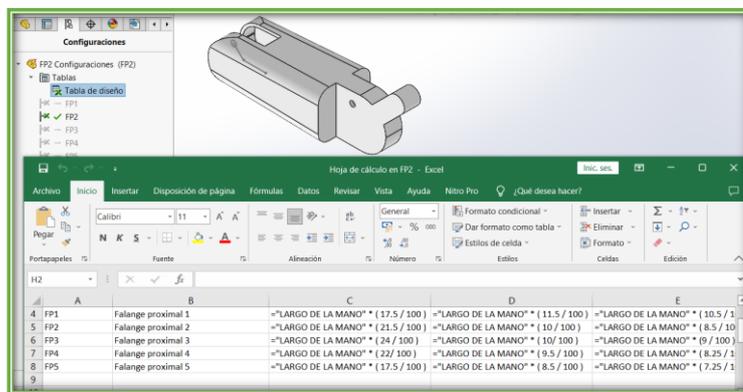
Muchas de las configuraciones no solo se distinguen por las operaciones con las que están modeladas sino también por los parámetros que tienen, para ello generamos una tabla de diseño según (Pg.13)

En donde clasificamos las medidas o ecuaciones que tendrán cada una de las configuraciones.

Recomendaciones

En **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** tenemos una recopilación de parámetros a usar en una tabla de diseño en Excel en donde señala el parámetro que deseamos cambiar ya sea una cota o una operación a nivel de ensamblaje o pieza, así como habilitar o no la supresión de operación, color, ecuaciones, etc.

Para facilitar la modificación de nuestra tabla de diseño es aconsejable usarla en un formato Excel escogiendo la opción editar tabla en una ventana nueva



92. tabla de diseño en una ventana nueva fuente propia

Con el fin de facilitar la selección de que parámetro de nuestro **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se desea usar para nuestra tabla de diseño, primero escogeremos la opción de visualización de anotaciones imagen 93. selección de cotas en tabla de diseño fuente propia y posteriormente le daremos doble clic con eso basta para que el programa agregue el parámetro a modificar en nuestra tabla de diseño

4.6.5 Componentes inteligentes

Como se vio en (Pg. 14) los componentes inteligentes permiten arrastrar elementos y operaciones de nuestra biblioteca e insertarlas directamente sobre el modelo a modificar

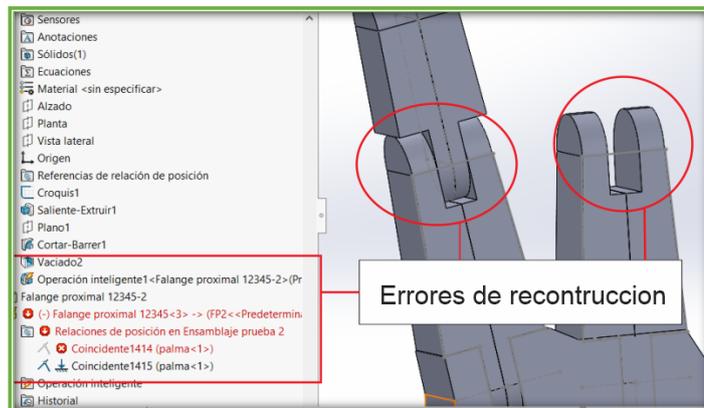
Recomendaciones

La pieza a modificar no debe contener referencias a la biblioteca por ello primero se ha de hacer independiente en un archivo externo, así como sus posibles configuraciones.



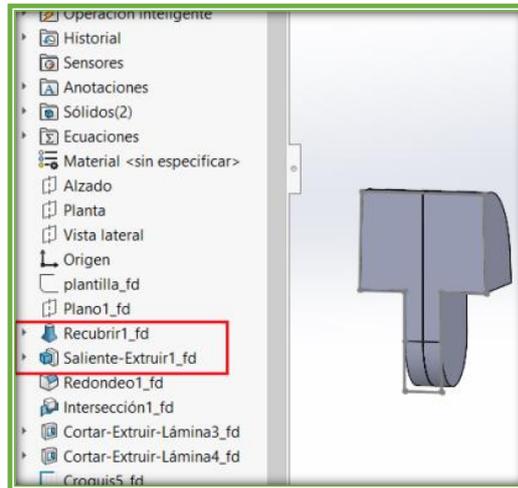
94. operación de hacer independiente.

No se debe de usar la misma pieza en diferentes configuraciones si esta pieza está sometida a diferentes operaciones o elementos inteligentes con diferentes acotaciones ya que modificaría la segunda configuración del mismo archivo.



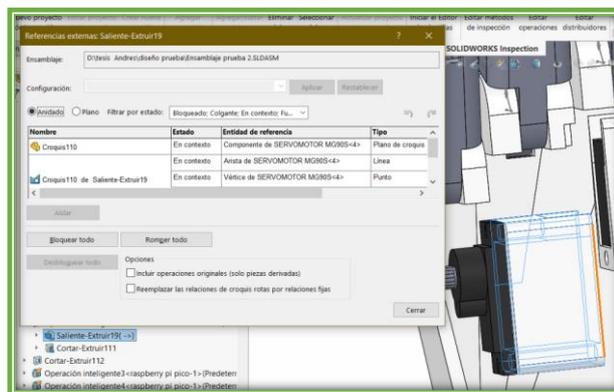
95. Error de reconstrucción fuente propia

Cada pieza que se diseña en contexto de pieza debe tener croquis y operaciones únicas con un subíndice que indique para que pieza se está realizando con el fin de que no coincidan los nombres de estos en un contexto de ensamblaje y generar errores



96. subíndice diferenciador en las operaciones. fuente propia.

Automáticamente el software actualiza la operación inteligente si el componente o pieza se desplaza así que se deberá romper las referencias de dichas operaciones si se desea quitar los elementos



97. apartado de referencias. fuente propia

4.6.6 Biblioteca de diseño

Como se vio en la (Pg.15) La biblioteca de diseño nos permite almacenar y disponer de las piezas que usualmente utilizamos en los diseños desde el panel de tareas del software.

Recomendaciones

Es muy importante categorizar nuestra biblioteca en un orden que nos permita acceder con mayor facilidad a los archivos

Es importante también independizar los componentes de cada biblioteca con el fin de no modificar los archivos originales

4.6.7 Referencias externas

Como se vio en (Pg.15) las referencias externas permiten modificar una operación y por con siguiente se modificarían los elementos de referencia en un método diseño descendente esto nos ayuda bastante al momento de modificar y que los otros componentes también se modifiquen a la par de estos, sin embargo hay que tener ciertos criterios para que no tengamos resultados indeseados.

Recomendaciones.

Es recomendable evitar que los componentes móviles que arrastren una operación a un componente fijo tengan las referencias activadas porque el movimiento del primer objeto cambiaría la orientación de la operación arrastrada.

Antes de trabajar en pulir la pieza final sin ningún componente a la vista o suprimido siempre es recomendable romper o desactivar las referencias externas para evitar errores en su reconstrucción.

Podemos crear componentes adicionales según lo requiera el diseño y modificarlos siempre y cuando estén referenciados a la geometría de los componentes, sin embargo, si es una pieza móvil primero se recomienda definirla antes de romper las relaciones.

4.6.8 Resumen de piezas modificables

En el objetivo anterior se diseñó una biblioteca en donde se evaluaron y definieron los criterios necesarios para parametrizar cada uno de los componentes de mi muestra de materiales de diseño en el cual hemos resumido cada elemento y señalado a que nivel es parametrizable y que restricciones tuvimos en el momento del diseño basándonos en la información (Pg.10)

Componente	Descripción	Tipo de parámetros	Requerimientos	Restricciones
Falanges de los dedos	Elemento parte de la estructura de los dedos	configuración Funcionales Constructivos	Dimensiones variables según tamaño de la mano	el modelo se restringe en el diseño a detalle
Palma de la mano	Elemento donde convergen las falanges	configuración Funcionales Constructivos	Longitud de metacarpos variables Angulo de separación	el modelo se restringe en el diseño de detalle
Barras articuladas	Elemento parte del mecanismo de 4 barras	ninguno	Dimensión variable según parámetros Forma variable según disposición	Espesor de la barra
Conector DuPont	Elemento de conexión entre componentes	configuración	Ninguna	Por configuración
Conector header	Elemento de conexión entre componentes	configuración	Ninguna	Por configuración
Conector jst	Elemento de conexión entre componentes	configuración	Ninguna	Por configuración
Insertos	Elementos para la sujeción de la carcasa	configuración	Elemento inteligente	Por configuración

Tornillería	Elementos para la sujeción de la carcasa	configuración	Elemento inteligente	Por configuración
Resortes	elementos de torsión para los dedos	configuración	Elemento inteligente	Por configuración
pasadores	Elementos de conexión entre falanges	configuración	Elemento inteligente	Por configuración
Engranajes rectos	Elementos para la transmisión de movimiento	Configuración Funcionales constructivos	Rpm de entrada rpm de salida distancia entre ejes	Por modulo y Angulo de ataque
Placas controladoras	Elementos electrónicos de control	Ninguno	Elemento inteligente	Por elemento
Módulos electrónicos	Elementos electrónicos de procesamiento	Ninguno	Elemento inteligente	Por elemento
actuadores	Elementos electrónicos generadores de potencia	Ninguno	Elementos inteligentes	Por elemento
batería	Elemento fuente de energía	Configuración	Elementos inteligentes	Por configuración

62. resumen de componentes y elementos modificables

4.6.9 Evaluación de tiempos

Ficha de observación			
Evaluación de tiempos			
objetivo	Registrar, medir y evaluar los tiempos totales de ensamble y operaciones para la generación de prototipos a nivel paramétrico y tradicional		
criterios	los procesos de ensamble los define el diseñador según la complejidad del diseño (tiempo de duración largos)		
	las operaciones básicas son operaciones repetitivas como de inserción de piezas y modificación de diseño (tiempos de duración cortos)		
prototipo	Concepto de prótesis biónica con mecanismo de barras rígidas		
ENSAMBLAJE A NIVEL TRADICIONAL $\bar{\mu}$			
procesos de ensamblaje	tiempos (h/m/s)	operaciones básicas de ensamble	tiempos (h/m/s)
Ensamble de la carcasa	51 min 52 s	Carcasa	51 m
		Engranés	34 m
Ensamblaje de los mecanismos	2 h 26 min 48 s	Pasadores	5 m
		Resortes	9 m
Ensamblaje de la Transmisión	3 h 9 min 27 s	Insertos y tornillos	6 m
		Placa controladora	8 m
		Motores	20 m
Ensamblaje componentes electrónicos	3 h 48 min 9 s	Módulo de carga	7m
		Indicador de carga	10 m
		Ensamble batería	4.4 m
Ensamblaje a detalle	9 h 46 min 58 s	Adaptador	9.4 m
		Convertidor de voltaje	7 m
Tiempo total diseño completo	20 h 3 min 14 s	Tiempo total de operaciones básicas	

ENSAMBLAJE A NIVEL PARAMETRICO x			
procesos de ensamblaje	tiempos (h/m/s)	operaciones básicas de ensamble	tiempos (h/m/s)
Ensamble de la carcasa	24 min 24 s	Carcasa	51 m
		Engranés	34 m
Ensamblaje de los mecanismos	2 h 8 min 40 s	Pasadores	5 m
		Resortes	9 m
Ensamblaje de la Transmisión	2 h 19 min 15 s	Insertos y tornillos	6 m
		Placa controladora	8 m
		Motores	20 m
Ensamblaje componentes electrónicos	1 h 10 min 18 s	Módulo de carga	7m
		Indicador de carga	10 m
		Ensamble batería	4.4 m
Ensamblaje a detalle	5 h 47 min 88 s	Adaptador	9.4 m
		Convertidor de voltaje	7 m
Tiempo total diseño completo	11 h 31 min 5 s	Tiempo total de operaciones básicas	

63. tabla para la evaluación de tiempos de ensamble ANEXO D

4.6.10 Análisis estadístico

- **Planteamiento de hipótesis**

Para el motivo de nuestra investigación se planteó que el diseño paramétrico en la prótesis biónica disminuirá los tiempos de desarrollo de nuestro prototipo en donde se plantea dos hipótesis

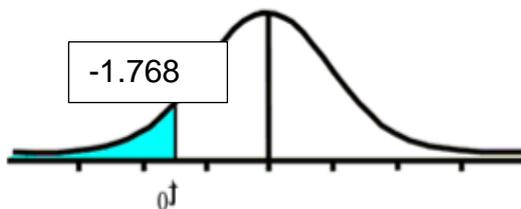
Hipótesis Alternativa H_1 tiempo de ensamble menores $x < (\mu)$

Hipótesis Nula H_0 tiempo de ensamblaje mayores o iguales $x \geq (\mu)$

- **Nivel de significancia**

Se escogió un nivel de significancia estándar del 5 % es decir 0.05

Determinamos la zona de aceptación y de rechazo para nuestro planteamiento el cual afirma que nuestra hipótesis afirmativa será menor que la muestra poblacional



Determinamos la función pivotal de para una muestra reducida con 11 Grados de libertad (GDL) para las 12 muestras en las operaciones básicas de ensamble con la distribución de t student

Definimos la distribución porcentual para nuestro límite de aceptación y de rechazo mediante a la tabla véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** siendo esta de -1.769 según la zona de aceptación determinada

- **Desviación estándar**

Cálculo de desviación estándar de los tiempos que conforman el diseño paramétrico según lo visto en (Pg.62)

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\bar{x} = \frac{24+18+3+4+3+2+16+3+5+2.3+5+4}{12} = 7.4$$

$$\sqrt{\frac{(24-7.4)^2 + (18-7.4)^2 + (3-7.4)^2 + (4-7.4)^2 + (3-7.4)^2 + (2-7.4)^2 + (16-7.4)^2 + (3-7.4)^2 + (5-7.4)^2 + (2.3-7.4)^2 + (5-7.4)^2 + (4-7.4)^2}{11}}$$

$$\sqrt{\frac{275.5 + 112.3 + 19.3 + 11.5 + 19.3 + 29 + 73.9 + 19.3 + 5.7 + 26 + 5.7 + 11.5}{11}}$$

$$\sqrt{55.36} = 7.44$$

Calculamos el promedio de la muestra poblacional $\bar{\mu}$ que serian los tiempos tradicionales

$$\bar{\mu} = \frac{51+34+5+9+6+8+20+7+10+4.4+9.4+7}{12} = 14.2$$

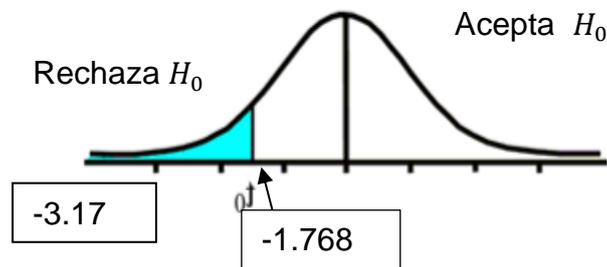
Calculamos nuestra distribución t student

$$t = \frac{x - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

$$t = \frac{7.4 - 14.2}{7.44/\sqrt{12}}$$

$$t = \frac{-6.8}{2.14}$$

$$t = -3.17$$



- **Resultado**

Nuestro resultado cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula afirmando mi hipótesis alternativa por ende se puede afirmar que los tiempos de desarrollo utilizando el diseño paramétrico resultan significativamente menores con un nivel de significancia del 5 %

4.7 Análisis y simulación del prototipo

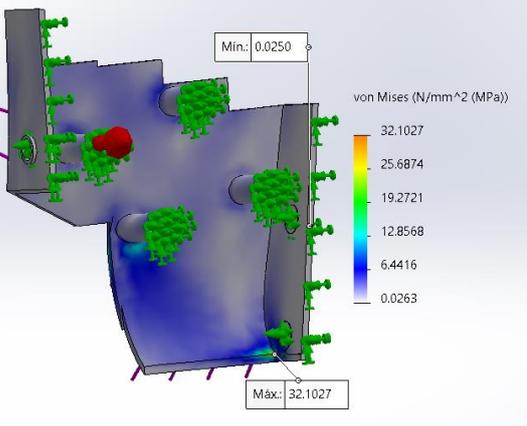
Para el análisis y simulación del prototipo de prótesis biónica Se realizo un análisis de elementos finitos visto Pg.63 con el software SolidWorks por pieza generada paramétricamente con un estilo de diseño descendente con los siguientes resultados.

4.7.1 Análisis estático preliminar

Seleccionamos el material con las siguientes especificaciones según **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y las cargas a criterio del autor en los puntos seleccionados en el análisis estático preliminar

Co poliéster de polietileno tereftalato glicol de extrusión (PET-G)	
Densidad (g/cm ³)	1.27g/c
Resistencia a la tensión	50 Mpa
Limite elástico de ruptura	60 Mpa
Módulo de Young	2150 Mpa
Resistencia al impacto	85 KJ/m ²

64. Propiedades mecánicas del material seleccionado

Tapa palmar		
	Sujeciones	En la base de la tornillería y topes con la tapa inferior
	Cargas	<ul style="list-style-type: none"> Gravedad 9.81 m/s^2 200 N vertical a la superficie
	Von-Mises	<ul style="list-style-type: none"> Min 0.025 Mpa Max 32.1 Mpa

	<p>Factor de seguridad</p>	<ul style="list-style-type: none"> Mín.: 1.29
--	----------------------------	--

65. Análisis estático tapa palmar prótesis

Tapa dorsal		
	<p>Sujeciones</p>	<p>En la base de la tornillería</p>
	<p>Von-Mises</p>	<ul style="list-style-type: none"> Min 0.002 Mpa Max 42.94 Mpa
	<p>Factor de seguridad</p>	<ul style="list-style-type: none"> Mín.: 1.33

66. Análisis estático tapa dorsal

Palma de la mano		
	Sujecciones	En la base de la palma (muñeca)
	Cargas	<ul style="list-style-type: none"> Batería 0.50 N 4 módulos electrónicos 0.15 N 2 servomotores 0.14 N tapas de 0.51 N Peso de 200 N sobre la base de los tornillos de la tapa palmar
	Von-Mises	<ul style="list-style-type: none"> Min 0.00 Mpa Max 71.38 Mpa
	Factor de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> Mín.: 0.84

67. Análisis estático palma de la mano

Falanges		
	Sujecciones	<ul style="list-style-type: none"> Sujección de bisagra en el eslabón principal Sujección fija en el eje de giro del dedo
	Cargas	<ul style="list-style-type: none"> Torsión del servomotor de 0.25 Nm Fuerza 50 N en la punta del dedo
	Von-Mises	<ul style="list-style-type: none"> Min 0.00 Mpa Max 49.18 Mpa

	<p>Factor de seguridad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mín. :1.2
--	----------------------------	---

68. Análisis estático dedos de la mano

Pulgar	
	<p>Sujeciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sujeción fija en el eje de giro del dedo
	<p>Cargas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Torsión servomotor de 0.25 Nm • 50 N en la punta del dedo • Gravedad 9.81 m/s²
	<p>Von-Mises</p> <ul style="list-style-type: none"> • Min 0.00 Mpa • Max 112.4 Mpa
	<p>Factor de seguridad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mín. :0.53

69. Análisis estático pulgar

4.7.2 Cálculo aproximado para el peso máximo

Determinaremos el peso máximo recomendado del prototipo con los resultados obtenidos en el análisis preliminar.

Para cargas de 200 newtons m/s^2 obtenemos un factor de seguridad global mínimo de 0.8 para la superficie de la palma de la mano

Para cargas de 50 newtons m/s^2 obtenemos un factor de seguridad global mínimo de 1 para el soporte de los dedos

Como se vio en la Pg. 62 el factor de seguridad establece la función entre la carga permisible y la carga de pérdida de función de las propiedades, como carga permisible para el PETG establecimos un máximo de 60 Mpa según **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Establecemos un factor de seguridad de 3 para materiales frágiles en condiciones no severas visto en Pg.63

- **Cálculo de carga permisible**

Definimos la carga permisible en base al factor de seguridad recomendado

$$f_s = \frac{\text{carga de pérdida de función}}{\text{carga permisible}} \quad 3 = \frac{60 \text{ Mpa}}{\text{carga permisible}}$$

$$20 \text{ Mpa} = \text{Carga permisible}$$

- **Cálculo del peso recomendado**

estableceremos nuevos valores que definirán el peso máximo recomendado de uso del prototipo

Tapa palmar	Tapa dorsal
Von-mises máximo 32.1 Mpa a 200 N	Von-mises máximo 42.94 Mpa a 200 N
$\frac{32.1 \text{ Mpa} = 200 \text{ N}}{20 \text{ Mpa} = X} \quad \frac{(20 \text{ Mpa})(200 \text{ N})}{32.1 \text{ Mpa}} =$	$\frac{42.94 \text{ Mpa} = 200 \text{ N}}{20 \text{ Mpa} = X} \quad \frac{(20 \text{ Mpa})(200 \text{ N})}{42.94 \text{ Mpa}} =$
124.6 N	93.15 N
$\frac{124.6 \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2} = 12.7 \text{ kg}$	$\frac{93.15 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 9.5 \text{ kg}$
Palma de la mano	Falanges
Von-mises máximo 71.38 Mpa a 200 N	Von-mises máximo 49.18 Mpa a 50 N
$\frac{71.38 \text{ Mpa} = 200 \text{ N}}{20 \text{ Mpa} = X} \quad \frac{(20 \text{ Mpa})(200 \text{ N})}{71.38 \text{ Mpa}} =$	$\frac{49.18 \text{ Mpa} = 50 \text{ N}}{20 \text{ Mpa} = X} \quad \frac{(20 \text{ Mpa})(50 \text{ N})}{49.18 \text{ Mpa}} =$
56N	20.33 N
$\frac{56 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5.7 \text{ kg}$	$\frac{20.33 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2.07 \text{ kg}$
Pulgar	
Von-Mises máximo 112.4 Mpa a 50 N	
$\frac{112.4 \text{ Mpa} = 50 \text{ N}}{20 \text{ Mpa} = X} \quad \frac{(20 \text{ Mpa})(50 \text{ N})}{112.4 \text{ Mpa}} =$	
8.9 N	
$\frac{20.33 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.9 \text{ kg}$	

70. Pesos recomendados para el prototipo

Promedio de carga máxima para la palma	Promedio de carga máxima para los dedos
$\frac{12.7 \text{ kg} + 9.5 \text{ kg} + 5.7 \text{ kg}}{3} = 9.3 \text{ kg}$	$\frac{0.9 \text{ kg} + 2.07 \text{ kg}}{2} = 1.48 \text{ kg}$

71. pesos máximos promedios para la palma y los dedos

Se procedió a iterar con los pesos máximos promedios calculados con el fin de validar los resultados con nuevos análisis de esfuerzos véase (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) obteniendo factores de seguridad aceptables.

Parte	Cargas promedias actualizadas	Esfuerzos Von-misses Mpa		Factor de seguridad
		Max	Min	
Tapa Palmar	91.23 N	14.65 Mpa	0.0115 Mpa	4.09
Tapa dorsal	91.23 N	19.7 Mpa	0 Mpa	2.9
Palma de la mano	91.23 N	31.7 Mpa	0 Mpa	1.88
Falanges	14.5 N	16.8 Mpa	0 Mpa	3.5
Pulgar	14.5 N	29.6 Mpa	0 Mpa	2.02

4.7.3 Análisis de movimiento

Se realizó una simulación de movimiento de 16 segundos **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** demostrando la funcionalidad de pinzamiento que tiene el prototipo obteniendo datos de momento de reacción y ángulos de desplazamiento y fuerzas de contacto entre los dedos.

Resumen de datos alcanzado según **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Dedos	Falanges	Momentos de reacción resultante N.M				Desplazamientos angulares grados				Fuerza de contacto resultante N			
		Max	sec	Min	Sec	max	sec	Min	sec	Max	sec	Min	sec
Pulgar	Mc	0.92	5.54	0.09	11.95	98	14.1	49.9	0.99				
Índice	Fp	0.79	5.22	0	12.45	44	2.1	5	16				
	Fm	0.26	5.22	0	12.45	53	2.1	9	16				
	Fd	0.13	1.1	0	12.45	53	2.1	8	16	22	2.06	1.3	2.2
Medio	Fp	0.45	5.22	0	7	44.1	2.1	5.2	16				
	Fm	1.92	2.32	0	7	45.7	2.1	5.9	16				
	Fd	1.02	5.53	0	7	45.1	2.1	7	16	37.1	5.54	0.8	5.4
Anular	Fp	1.9	8.6	0	14.8	25.1	8.7	22	12.5				
	Fm	0.7	8.6	0	14.8	27.1	8.7	24	12.5				
	Fd	0.5	8.6	0	14.8	27.9	8.7	25	12.5	29	8.68	1	8.63
meñique	Fp	0.7	8.6	0	14.2	25	8.7	22	12.5				

	Fm	1.7	8.7	0	14.2	28	8.7	25	12.5	7.7	11.91	0.2	11.88
--	----	-----	-----	---	------	----	-----	----	------	-----	-------	-----	-------

72. Resumen de fuerzas obtenidas en la simulación de pinzamiento

V. Discusión de resultados

5.1 Definir las necesidades de diseño básicas para el funcionamiento de la prótesis en base a entrevistas a especialistas

Teniendo en cuenta las entrevistas con los doctores especialistas feliz Eduardo Díaz y José castro obeso, se establecieron necesidades morfológicas y funcionales que fueron respaldados dentro de los parámetros que establece la teoría indicada

Primero, teniendo en cuenta el grado de importancia de los dedos según Kapandji (Pg.30) simplificamos el dedo meñique que es el de menor importancia fusionando la articulación IFD a 30 grados dentro del rango de movimientos de flexión siendo el más conveniente según simulación Matlab

Segundo, dada la prioridad del movimiento de pinzamiento pulgodigitales según kapandji (Pg.33) simplificamos el dedo pulgar fusionando la articulación MCF a 30° dentro del rango de movimientos de la articulación metacarpofalángica (MCF) que describen Hamill y otros (Pg.34) y estableciendo una separación natural de 40° según análisis grafico en AutoCAD con respecto al eje de la mano en su posición natural según kapandji (Pg.31)

Tercero, Simplificando el movimiento de la muñeca generando posición fija dorsal entre 10 y 20 ° dentro del rango de movimientos establecido por Schunke y otros (Pg.31)

Cuarto, establecimos una separación natural de los dedos dentro del rango máximo de movimiento de separación (abducción) establecidas por Hamill y otros (Pg.33) entre 0° y 20° siendo 7° el más optimo según análisis grafico en AutoCAD y siendo este el mismo que usa nuestro antecedente Loaiza Bernal

quinto las proporciones establecidas por Freivalds de las falanges con respecto a la longitud de la mano (Pg.35) fueron de referencia para realizar nuestras medidas y proporciones siendo estos muy similares a las propuestas por nuestras referencias Loaiza Bernal y Pérez Romero las cuales se verán a detalles en el objetivo 6

Para las necesidades funcionales tuvimos en cuenta las necesidades básicas de aprensión y pinzamiento que nos recomendaron los especialistas y que validamos en la información establecida por Kapandji en los movimientos de los dedos (Pg.32) dentro de los grados de movimiento que establecen Schunke y otros (Pg.32)

5.2 Determinar los grados de libertad del prototipo y calcular la cinemática directa del sistema

Discusión

Teniendo en cuenta lo establecido en el objetivo 1 se determinaron el tipo de pares cinemáticos usados, el número de grados de libertad los modelos cinemáticos dentro de los parámetros que ofrece la teoría indicada

Primero, definimos en base a Norton en pares cinemáticos visto en (Pg.42) el tipo de pares cinemáticos necesarios para nuestro diseño en base a las características funcionales establecidas en el objetivo 1 así mismo en base a las características morfológicas determinamos la cantidad de pares cinemáticos que tendrá nuestro diseño

Segundo, definimos en base a El criterio de Kutzbach-Grübler en el espacio según Avello (Pg.37) se calcularon 14 grados de libertad al igual nuestro antecedente Pérez romero (Pg 5)

Tercero, se definió los modelos cinemáticos con la combinación de características morfológicas y funcionales con el procedimiento de denavit-hatenberg visto por Reyes (Pg.38) obteniendo los parámetros y diagramas cinemáticos por dedo de la prótesis como lo hace nuestro antecedente Pérez Romero (Pg 5), a la par se realizaron las simulaciones con el programa Matlab para garantizar los valores establecidos en el objetivo 1 visto en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.,¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.,¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

5.3 Generar y evaluar los conceptos de diseño con distintas configuraciones dentro de una matriz de diseño.

Discusión

Teniendo en cuenta la información recolectada del objetivo 1 y 2 y la teoría encontrada con respecto al tema establecemos.

Primero, que, para determinar los aspectos esenciales, recolectamos información basándonos en las necesidades funcionales del diseño para generar diferentes mecanismos de movimiento siendo estos bloques consecutivos establecidos por Herdman y Sandor (Pg.43), pares cinemáticos establecido por Norton (Pg.42), actuadores vistos en (Pg.54) y (Pg.53) , y sistemas de control con microcontroladores (Pg.51).

Segundo, generamos un diagrama morfológico con estos aspectos esenciales basándonos en la teoría de Cross (Pg17.), para llegar a los tres mecanismos esenciales visto en las páginas (Pg.40), (Pg.42), (Pg.41), obteniendo un resultado muy similar a nuestro antecedente Pérez romero (Pg5)

Tercero, evaluamos cada uno de estos conceptos como nuestro antecedente Loaiza Bernal (Pg.5) con el método de objetivos ponderados descrito por Cross en la página (Pg.18), generamos 4 objetivos a evaluar según las características funcionales y morfológicas establecidas en el objetivo 1, teniendo como resultado una evaluación ponderada donde gana nuestro concepto de mecanismo de barras.

5.4 Establecer los materiales de diseño a parametrizar de la prótesis

Discusión

Teniendo en cuenta la información recolectada de nuestra muestra en la (Pg.69) y lo establecido en el objetivo 3

Primero. Que para determinar las 5 categorías de materiales propuestas establecidas en (Pg. **¡Error! Marcador no definido.**) Tuvimos que definir de que partes medibles se constituye nuestro diseño y nuestra base de estudio.

Segundo. Tuvimos que definir como seleccionar todas estas muestras para nuestro diseño paramétrico en base a las 5 categorías ya propuestas siendo estas definidas según los criterios de selección de muestra visto en (Pg.69) en

Tercero. Por último, en base a los criterios establecido seleccionamos los componentes para parametrizar resaltando también criterios adicionales de requisitos y restricciones como lo hace nuestro antecedente Hurtado silva (PG5) con el fin de reducir aún más la cantidad de componentes a parametrizar.

Cuarto de los materiales seleccionados seleccionamos alternativas y modelos para que nuestro diseño tengo mayor variedad de cambios.

5.5 Establecer los parámetros y Diseñar la biblioteca

Discusión

Teniendo en cuenta la información recolectada en el objetivo 1,2,3,4 definimos

Primero, establecemos por método grafico los ángulos y medidas de un mecanismo de 4 barras (Pg.40) por el método grafico para el movimiento de los dedos de la mano con el software SolidWorks

Segundo. Se determino las medidas de las falanges como largo ancho y espesor en base a la información (Pg.35) y nuestro antecedente visto en (Pg.5), se determinó las medidas de la palma de la mano teniendo como base las medidas de los metacarpos establecidas en base a la información (Pg.36).

Tercero se determinó las proporciones matemáticas con una regla de tres según el largo de la mano basándonos en la información en la (Pg.35) y (Pg.36).

Cuarto, se modelaron los materiales según su categoría establecidos en el objetivo 4 donde se establecieron los parámetros necesarios basándonos en la información de la (Pg.10) Y nuestro antecedente visto en (Pg.5).

5.6 Análisis y evaluación de ensamblaje y de los tiempos empleados en el diseño tradicional y paramétrico

Discusión

Teniendo en cuenta la información recolectada del objetivo 5 definimos

Primero generamos recomendaciones para las herramientas usadas en el software SolidWorks de la información recolectada en Páginas (10, 11, 13, 13, 15, 15) con el fin de evitar errores de reconstrucción como recomienda nuestro antecedente Hurtado Silva (Pg. 5)

Segundo se generó un resumen de las piezas creadas en el objetivo 5 en base a la información de (Pg.10) donde se señalaron los Tipo de parámetros, Requerimientos y Restricciones con el fin de esclarecer a que nivel son modificables

Tercero se ensamblaron y midieron los tiempos con grabaciones en pantalla de dos modelos divididos en 5 operaciones (Ensamble de la carcasa, Ensamblaje de los mecanismos, ensamblaje de la Transmisión, Ensamblaje componentes electrónicos y Ensamblaje a detalle) con un tipo de diseño descendente pero con diferencias en el uso de las herramientas y recomendaciones propuestas obteniendo una diferencia de 9 horas entre un modelo y el otro con las mismas características y necesidades de diseño establecidas en el objetivo 1. Cabe destacar como punto importante que los diseños se hicieron por una misma persona garantizando en ambos diseños el mismo nivel de experiencia, errores, y correcciones.

Cuarto para establecer un análisis estadístico y demostrar mi hipótesis alternativa se tuvo que generar operaciones de ensamblado cortas y precisas con el fin de evitar algún error proveniente del software o del equipo que ejecuta el programa, el objetivo es generar unas muestras menores a 30 para analizarlas con la distribución T STUDENT visto en Pg. 61, con un valor de significancia del 5%, pudiendo demostrar mi hipótesis alternativa.

5.7 Análisis y simulación del prototipo

Discusión

Teniendo en cuenta la información de cómo se analizó el prototipo de cada uno de nuestros antecedentes y de la complejidad del prototipo se definió

Primero seleccionamos un material de impresión 3D de fácil impresión y resistente a criterio del autor que fue el PTG-E con especificaciones técnicas vistas en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Segundo generamos un análisis de elementos finitos visto en Pg.63 con cargas preliminares a criterio con el fin de obtener un punto de referencia para establecer un valor de carga permisible máximo para nuestro diseño con un factor de seguridad recomendado visto en Pg. 63

Tercero realizamos un cálculo con una regla de tres para el peso recomendado máximo de cada elemento con los resultados obtenidos en el análisis de elementos finitos.

cuarto se procedió a iterar los pesos máximos hallados en un nuevo análisis que cuyo resultado promedio (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se encontraron dentro de los rangos establecidos del factor de seguridad recomendado visto en Pg. 63

quinto como realiza nuestro antecedente Pérez romero visto en (Pg. 5) realizamos una simulación de movimientos con el fin de demostrar el movimiento de pinzamiento entre el dedo pulgar y los demás dedos generando trazados donde se analizaron los momentos de reacción, desplazamiento y la fuerza de contactos entre los dedos al realizar los pinzamientos.

VI. Conclusiones

1. Conclusión

Concluimos que esta lista de exigencias nos dará un diseño práctico, funcional y simple con mayor facilidad de parametrización, las dimensiones realizadas en base a la información recolectada nos permitieron un modelo más estético y acorde a la fisiología de la mano humana.

2. Conclusión

Concluimos que, para determinar una buena movilidad, así como los ángulos precisos en nuestro diseño es necesario, conocer qué tipo de movimiento realizara nuestro diseño (par cinemático), con el fin calcular los grados de libertad que tiene nuestro diseño y poder simular con Matlab la posición de las falanges con respecto a la falange anterior con el algoritmo de Denavit-Hatenberg.

3. Conclusión

Concluimos que para un diseño paramétrico es básico llegar a una solución de diseño o concepto que nos dirija lo que queremos desarrollar y el criterio que establece Cross para generar y evaluar alternativas es una solución bastante práctica.

4. Conclusión

Concluimos que es importante priorizar los componentes que se componen nuestro diseño paramétrico debido al tipo de investigación que se realizó, con el objetivo de analizar como parametrizar el diseño de la prótesis biónica en su conjunto.

5. Conclusión

Concluimos que, para definir los parámetros necesarios para nuestro diseño, es importante cumplir con una serie de pasos que permitan conocer al diseñador como está conformado y que necesidades debe cumplir el diseño así mismo conocer los componentes que lo conforman y la función e interacción entre estos. También podemos afirmar que trabajar de esta manera nos permitió modificar el diseño según las necesidades de movimiento que requeríamos en el prototipo.

6. Conclusión

Concluimos que el software SolidWorks dentro de su última capa de abstracción cuenta con todas las herramientas accesibles para generar modelos y ensambles paramétricos, y que el resultado obtenido no es más que la optimización del uso de tales herramientas que juntas y usadas de manera correcta y consecuente facilitan al diseñador su labor disminuyendo tiempos de trabajo y generando alternativas eficientes.

7. Conclusión

Concluimos que un manejo adecuado del procedimiento de diseño facilita en gran medida la obtención de un diseño con necesidades y mecanismos definidos, lo que queremos decir es que si bien el procedimiento de ensamble propuesto es eficiente sigue siendo necesario definir los procedimientos básicos en diseño.

8. Conclusión

concluimos que nuestro diseño es solo un “molde” que sirve para establecer nuestro procedimiento previo de parametrización y ensamble que fue usado debido a su complejidad número de piezas y estar ubicado dentro de las características de innovación tecnológica e impresión 3d propuestas por la empresa CREAIVITY SAC. y que como este diseño se puede generar muchos más de la misma categoría.

9. Conclusión

Concluimos que un análisis computacional valida en gran medida el funcionamiento del prototipo de prótesis biónica.

10. Conclusión

Concluimos que la selección del material a pesar de ser a criterio por el autor en base a sus conocimientos, no es el procedimiento adecuado, ya que se recomienda hacer un análisis en paralelo sobre la cantidad de materiales de impresión 3d y sus pros y contras con el fin de seleccionar un material de manera precisa.

VII. Recomendaciones

1. Recomendación

recomendamos que el criterio de Cross de generación y evaluación de alternativas puede expresarse para un diseño más específico, para efectos de este documento de investigación el cual nos centramos al diseño paramétrico utilizamos lo más básico de este criterio.

2. Recomendación

Recomendamos una selección de materiales mas enfocada a definir las características y alternativas de diseño como lo hacen nuestros antecedentes con la finalidad de que nuestro prototipo sea más viable.

3. Recomendación

Recomendamos también manejar un modelo físico de pruebas ya que la impresión 3D y los resultados obtenidos nos facilitan la impresión de inmediata de modelos de prueba pudiendo exportar un archivo de forma inmediata a un slicer 3D

4. Recomendación

Recomendamos explotar más el enfoque de esta idea para agilizar no solo el diseño si no también los análisis y simulaciones, SolidWorks nos ofrece la función de crear complementos específicos para cada diseño que faciliten aún más la producción de prototipos.

5. Recomendación

Recomendamos explotar aún más lo visto con algoritmos de optimización que nos permita llegar a la mejor solución posible de diseño, generando alternativas a través de una búsqueda heurística o metaheurística fusionando esta investigación con la inteligencia artificial.

VIII. Bibliografía

Bibliografía

- Adafruit. (octubre de 2012). *Adafruit PCA9685 16-Channel Servo Driver*.
<https://learn.adafruit.com/16-channel-pwm-servo-driver/downloads>
- Arenas, M. (16 de 12 de 2020). *interempresas.net*. Tendencias tecnológicas para 2021: <https://www.interempresas.net/TIC/Articulos/321408-Tendencias-tecnologicas-para-2021.html>
- Avello Iturriagagoitia, A. (2014). *Teoría de máquinas*. navarra: Universidad de navarra.
- Aviles, O. F., Simanca, P. L., & Niño, P. A. (2005). Diseño y construcción de un dedo para grippers roboticos. *Scientia et technica Año XI N° 27*, 10.
- Aydinlioglu, A., Akpinar, F., & Tosun, N. (1998). Mathematical Relations between the lengths of the metacarpal bones and phalange: surgical Significance. *Tohoku journal of experimental medicine*, 1, 8.
- Box, G. E., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2008). *Estadística para investigadores diseño, innovación y descubrimiento*. REVERTE S.A.
- Bracsam. (2022). *MODULO PARA CARGA DE BATERÍAS DE LITIO BMS 2S 8.4V-7.4V 10A 18650 BC-2S10A*. <https://bracsan.pe/producto/modulo-para-carga-de-baterias-de-litio-bms-2s-8-4v-7-4v-10a-18650-bc-2s10a/>
- Bracsan. (2022). *INDICADOR DE CARGA DE BATERIA DE 2 CELDAS 6.8V – 8.4V PBD-2S84*. <https://bracsan.pe/producto/indicador-de-carga-de-bateria-de-2-celdas-6-8v-8-4v-pbd-2s84/>
- Bracsan. (2022). *MODULO PARA CARGA DE BATERÍAS DE LITIO BMS 2S 8.4V-7.4V 10A 18650 BC-2S10A*. <https://bracsan.pe/producto/modulo-para-carga-de-baterias-de-litio-bms-2s-8-4v-7-4v-10a-18650-bc-2s10a/>
- Budynas, R. G., & Nisbett, j. k. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*. Mexico, D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- Budynas, R., & Nsibett, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. McGraw-hill.
- Cardona Foix, S., & Clos Costa, D. (2011). *Teoría de máquinas*. Barcelona: Ediciones Universidad politécnica de catalunya.
- Carrozza, M. C., Vecchi, F., F. S., G. C., S. R., M. Z., . . . P. D. (2003). *Experimental analysis of an innovative prosthetic han with proprioceptive sensors*. pisa, la toscana , italia: IEEE International Conference on Robotics & Automation.

- CELO. (2022). *FICHA TECNICA DIN 7985*.
https://www.celofixings.es/import/tds_din_7985.pdf
- Code stack . (2022). *SOLIDWORKS API Code Examples for Macros and Add-ins*.
<https://www.codestack.net/solidworks-api/>
- Cross, N. (2021). *Engineering Design Methods Strategies for product design*.
MEXICO D.F: John Wiley & Sons.
- Dassault System. (2021). *SOLIDWORKS: El poder del modelado paramétrico y un buen intento de diseño*. Diseño Paramétrico:
<https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/solidworks/solidworks-el-poder-del-modelado-parametrico-y-un-buen-intento-de-diseno/>
- Dassault Systemes. (2019). *Resumen de parámetros de tabla de diseño*.
https://help.solidworks.com/2019/spanish/SolidWorks/sldworks/r_Summary_of_Design_Table_Parameters.htm?verRedirect=1
- Dassault Systemes. (2021). *Biblioteca de diseño*.
https://help.solidworks.com/2020/spanish/solidworks/sldworks/r_design_library.htm
- Dassault Systemes. (2021). *Componentes inteligentes*.
https://help.solidworks.com/2020/spanish/solidworks/sldworks/c_smart_components.htm
- Dassault Systemes. (2021). *Configuraciones*.
https://help.solidworks.com/2020/spanish/solidworks/sldworks/c_configurations_overview.htm
- Dassault Systemes. (2021). *Configuraciones de tabla de diseño*.
https://help.solidworks.com/2020/spanish/solidworks/sldworks/c_Design_Table_Configurations.htm
- Dassault Systemes. (2021). *Ecuaciones*.
https://help.solidworks.com/2021/spanish/SolidWorks/sldworks/HIDD_EQUATION_MANAGER.htm?id=8424e61bb64c42f49e3174a1a22a1496#Pg0
- Dassault Systemes. (2021). *Ecuaciones en Ensamblajes*.
https://help.solidworks.com/2021/spanish/SolidWorks/sldworks/c_wn_equations_in_assemblies.htm
- Dassault Systemes. (2021). *Grabar y ejecutar macros*.
https://help.solidworks.com/2021/spanish/SolidWorks/sldworks/c_recording_playing_macros.htm?verRedirect=1

- Dassault Systemes. (2021). *Metodos de diseño* .
https://help.solidworks.com/2021/spanish/SolidWorks/sldworks/c_design_methods.htm?verRedirect=1
- DASSAULT SYSTEMES. (2021). *Referencias externas*.
https://help.solidworks.com/2020/spanish/SolidWorks/sldworks/c_External_References.htm?id=7a4ce9a48d2542f693d71c3988642df2#Pg0
- Datasheetspdf. (s.f.). *MGS90 Datasheet*. <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1106582/ETC/MG90S/1>
- DUBBEL, H. (1977). *Manual del constructor de maquinas* . LABOR.
- Ebay. (2022). *5.5mm X 2.1mm DC Fuente De Alimentación Jack Terminal Conector de montaje del panel Adaptador De Enchufe-*.
https://www.ebay.com/itm/394214492681?_ul=MX&chn=ps&var=662729445635&norover=1&mkevt=1&mkrid=21565-165579-560236-2&mkcid=2&itemid=662729445635_394214492681&targetid=1924361405272&device=c&mktype=pla&googleloc=9060925&poi=&campaignid=18396028949&mkgroupid=
- Electronic Engineering Dictionary. (16 de enero de 2012). *Board Header*.
http://www.interfacebus.com/Glossary-of-Terms_header.html
- Electrónica Fácil. (23 de SEPTIEMBRE de 2022). *Valores normalizados cables A.W.G*. <https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Valores-normalizados-cables-AWG.html>
- EnM Industry. (2022). *Mega 2650PRO Datasheet*.
<https://www.enmindustry.de/WebRoot/Store31/Shops/88169453/5FFE/0DC7/1617/A559/78B1/0A0C/6D12/6D9F/Mega2650PRO-Datasheet.pdf>
- ENVISTIA . (2022). *1S 2S 3S 4S LITHIUM BATTERY CAPACITY INDICATOR VOLTMETER MODULE - BLUE DISPLAY*.
<https://envistiamall.com/products/1s-2s-3s-4s-lithium-battery-capacity-indicator-voltmeter-module-blue-display>
- Erdman, A. G., & Sandor, G. N. (1998). *Diseño de mecanimos* . Pearson Education.
- Freivalds, A. (2011). *BIOMECHANICS OF THE UPPER LIMBS*. CRC PRESS TAYLOR & FRANCIS GRUPS.
- FU, F. (2018). *Design and Analysis of Tall and Complex Structures*. Elsevier.
- Grupo XDS. (2022). *FICHA TECNICA PLASTICOS* . <https://www.grupoxds.com/>
- Hamill, J., Knutzen, K. M., & Derrick, T. R. (2015). *Biomechanical Basic of Human Movement*. Wolters Kluwer.

- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodoloia de la investigacion* . Mexico D.F: Mc Graw Hill Education .
- Hurtado Silva, P. M. (2010). *Metodología y Aplicaciones de Diseño Parametrico*. valencia, españa.
- Hyperion. (s.f.). *Guide to understanding lipo batteries*.
<https://www.robotshop.com/media/files/pdf/hyperion-g5-50c-3s-1100mah-lipo-battery-User-Guide.pdf>
- IEC Webstore. (2004). *IEC 60228:2004*. Conductors of insulated cables:
https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60228%7Bed3.0%7Db.pdf
- iTeh Standars. (15 de junio de 2009).
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/40658/df4caae79e6b4325b3bc70097ffa4274/ISO-8752-2009.pdf>
- Jaunch. (2022). *Introduction to Lithium Polymer Battery Technology* .
https://www.jauch.com/downloadfile/5c5050fa5b6510e9a8ad76299baae4e53/white_paper_introduction_to_lipo_battery_technology_11-2018_en.pdf
- JST. (2022). *PH connector*. <https://www.jst-mfg.com/product/pdf/eng/ePH.pdf?634768a0b7c8f>
- Kapandji, A. I. (2006). *fisiologia articular*. panamericana.
- KIKUU. (2022). *1S - 4S-8S Single 3.7V Lithium Battery Capacity Indicator Module 4.2V Blue Display Electric Vehicle Battery Power Tester Li-ion*.
<https://www.kikuu.com/item-2203556-1s-4s-8s-single-3-7v-lithium-battery-capacity-indicator-module-4-2v-blue-display-electric-vehicle-battery-power-tester-li-ion.html>
- Leantec. (2022). *PLACA DE DESARROLLO NODEMCU ESP32 WIFI + BLUETOOTH ESP WROOM 32 38 PINES*. <https://leantec.es/tienda/placa-esp32-wifi-bluetooth/>
- Lee spring. (2015). *Resorted de catalogo y hechos a la medida*.
[https://rcclases.jimdofree.com/app/download/13518512430/Catalogo+2014+CCompleto.pdf?t=1562646366](https://rcclases.jimdofree.com/app/download/13518512430/Catalogo+2014+Completo.pdf?t=1562646366)
- Lin , L.-R. (1998). *NTU Hand : A new desing of dexterous Hands*. Taipei: Taiwan university .
- LIPOL BATTERY Co. (2022). *RC LiPo Battery. 7.4V(2S1P) 11.1V(3S1P) 14.8V(4S1P) 15.8V(5S1P) 22.2V(6S1P) 25.9V(7S1P) 44.4V(12S1P)*:
<https://www.lipolbattery.com/RC%20LiPo%20Battery.html>
- Litvin, F. L., & Fuentes, A. (2001). *Gear Geometry and Applied Thoeory*. cambridge.

- Loaiza Bernal, J. L. (2012). *Diseño y simulacion de un prototipo de protesis de mano bioinspirada con cinco grados de libertad*. Universidad nacional de colombia .
- market.biz. (2020). *Mercado global de diseño asistido por computadora*. Segmento industrial, escenario de competencia y pronóstico para 2030:
<https://market.biz/report/global-computer-aided-design-market-gm/#details>
- MECCANISMO COMPLESSO. (5 de diciembre de 2013). *cavetti jumper DuPont: una soluzione pratica per Arduino e breadboards*.
<http://www.meccanismocomplesso.org/cavetti-jumper-dupont-arduino-breadboards/>
- Motta, E., & Zdrahal, Z. (2000). Parametric Design Problem Solving. *Knowledge Media Institute*, 23.
- Naylamp mecatronich . (Septiembre de 2022). *CONVERTIDOR VOLTAJE DC-DC STEP-UP-DOWN 1.5A XL6009*.
<https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/410-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-down-1p5a-xl6009.html>
- Naylamp Mecatronic. (26 de septiembre de 2022). *RASPBERRY PI PICO*.
<https://naylampmechatronics.com/tarjetas-raspberrypi/1036-raspberry-pi-pico.html>
- NaylamP Mecatronics . (septiembre de 2022). *CONVERTIDOR VOLTAJE DC-DC STEP-DOWN 3A LM2596*. <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-lm2596.html>
- Naylamp Mecatronics. (23 de septiembre de 2022). *HEADER 40 PINES MACHO*.
<https://naylampmechatronics.com/accesorios-y-prototipado/555-header-40-pines-macho.html>
- Naylamp Mecatronics. (24 de septiembre de 2022). *TEENSY 3.2*.
<https://naylampmechatronics.com/ardusystem-tarjetas/319-teensy-32.html>
- Naylamp Mechatronic. (2022). *CONVERTIDOR VOLTAJE DC-DC STEP-DOWN 5A XL4005*. <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/49-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-5a-xl4005.html>
- Naylamp Mechatronic. (2020). *ADAPTADOR BORNERA A JACK-DC HEMBRA*.
<https://naylampmechatronics.com/accesorios-y-prototipado/648-adaptador-bornera-a-jack-dc-hembra.html>
- Naylamp Mechatronic. (2022). *ADAPTADOR BORNERA A JACK-DC HEMBRA*.
<https://naylampmechatronics.com/accesorios-y-prototipado/648-adaptador-bornera-a-jack-dc-hembra.html>

- naylamp Mechatronic. (2022). *ÓDULO CONTROLADOR DE SERVOS PCA9685*.
<https://naylampmechatronics.com/servomotores/142-modulo-controlador-de-servos-pca9685.html>
- Naylamp Mechatronics. (2022). *MICROMOTOR DC N20 12V/100RPM CON ENCODER*. <https://naylampmechatronics.com/motores-dc/813-micromotor-dc-n20-con-encoder-12v-100rpm.html>
- Naylamp Mechatronics. (2022). *NODEMCU-32 38-PIN ESP32 WIF*.
<https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/1011-nodemcu-32-38-pin-esp32-wifi.html>
- Norton, R. L. (2005). *Diseño de maquinaria , síntesis y análisis de máquinas y mecanimos* . MC GRAW HILL.
- OBERG,, E., JONES, F. D., HORTON, H. L., & RYFFEL, H. H. (2004). *Machinery's Handbook*. INDUSTRIAL PRESS INC.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). *Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio*.
- PDFCOFFEE. (s.f.). *Servo rds3115*. <https://pdfcoffee.com/servo-rds3115-2-pdf-free.html>
- Pérez romero, M. A. (2011). *“ANÁLISIS CINEMÁTICO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MANO ROBOTICA SERVO-ARTICULADA APLICABLE COMO PROTESIS*. Mexico.
- PJRC. (24 de SEPTIEMBRE de 2022). *Teensy 3.2 Dimensions*.
<https://www.pjrc.com/teensy/dimensions.html>
- pppars. (1 de SEPTIEMBRE de 2011). *INTERNATIONL STANDAR ISO 7045*.
<https://pppars.com/wp-content/uploads/2021/07/ISO-7045-2011.pdf>
- RAE. (2021). *Desarrollo*. <https://dle.rae.es/desarrollo>
- RAE. (2022). *Biónico*. <https://dle.rae.es/bi%C3%B3nico>
- RAE. (2022). *Prótesis*. <https://dle.rae.es/pr%C3%B3tesis>
- Raspberry pi. (2022). *Raspberry pi pico datasheet*.
<https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-datasheet.pdf>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (11 de agosto de 2022). *Articulacion*.
<https://dle.rae.es/articulaci%C3%B3n>
- Reyes Cortes, F. (2011). *Robotica, control de robots manipuladores*. Mexico D.F: Alfaomega.

- Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2006). Diseño Asistido por computador. *Industrial data*, 9.
- Schunke, M., Schulte, E., Schumacher, U., voll, M., & Wesker, K. (2007). *Prometheus texto y atlas de anatomia*. panamericana.
- Sinclair, I. R., & Dunton, J. (2007). *Practical Electronic Handbook*. ELSEVIER.
- SOLIDBI. (2021). *SOLIDWORKS. Qué es y para qué sirve*. <https://solidbi.es/solidworks/>
- SPIROL. (2022). *Catálogo de Productos y Guías de Diseño. Pasadores elasticos ranurados*: <https://es.spirol.com/assets/files/sltp-guia-de-diseno-pasadores-elasticos-ranurados-es.pdf>
- SPIROL. (2022). *CATALOGO DE PRODUSCTOS Y GUIAS DE DISEÑO . INSERTOS PARA PLASTICOS* : <https://es.spirol.com/assets/files/ins-guia-de-diseno-insertos-para-plasticos-es.pdf>
- The Engineering Toolbox. (2010). *Factors of Safety*. https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d_1624.html
- Thompson, J. c. (2010). *Netter's Concise Orthopaedic Anatomy*. SAUNDER ELSEVIER.
- UNIT ELECTRONICS . (9 de SEPTIEMBRE de 2022). *Conectores Dupont Hembra 2.54mm Diferentes Pines*. <https://uelectronics.com/producto/conectores-dupont-2-54mm-diferentes-pines/>
- UNIT ELECTRONICS . (9 de SEPTIEMBRE de 2022). *Tira Header Hembra 2.54mm Diferentes Pines*. <https://uelectronics.com/producto/tira-header-hembra-2-54mm-diferentes-pines/>
- Universidad César Vallejo. (2020). *Codigo De Ética En Investigacion*.
- wikipedia . (13 de septiembre de 2021). *tiempo*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Tiempo>
- Wikipedia . (5 de septiembre de 2022). *JST connector*. https://en.wikipedia.org/wiki/JST_connector
- WIKIPEDIA. (26 de JUNIO de 2020). https://es.wikipedia.org/wiki/Resorte_de_torsi%C3%B3n
- Wikipedia. (26 de abril de 2021). *Grados de libertad*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_libertad_\(ingenier%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_libertad_(ingenier%C3%ADa))

ANEXOS

ANEXO A. Entrevista con el primer especialista

Ficha de Entrevista especialista medico

Objetivo de la entrevista:

Registrar la información sobre las partes y rangos de movimiento de la mano humana para establecer un modelo funcional.

Doctor: Feliz Eduardo Diaz Vera

Especialidad: médico cirujano especialista en ortopedia y traumatología, especialista en malformaciones congénitas y adquiridas del sistema musculoesquelético.

Numero de registro del colegio médico: CMP 15330

Numero de registro de especialidad: RNE 7819

Preguntas

1. ¿Qué información puede brindarnos sobre la fisiología de la mano humana?

El doctor Felix Eduardo Díaz nos comentó que la mano humana adopta una posición fisiológica natural la cual es necesario que nuestro brazo robótico debe adoptar ya que a partir de esta posición se deben ejercer los movimientos de flexión extensión y abducción.

Cada dedo tiene una función que le da los huesos de la mano dentro del carpo los cuales se intercalan con los huesos de los dedos. Los huesos del metacarpo se unen a los huesos del carpo los cuales tiene un movimiento de flexión de casi 90 grados en relación del carpo.

Las falanges proximales son huesos que no tocan la palma de la mano y se flexionan a 90 grados en relación a los metacarpos.

Los huesos que permiten cerrar completamente la mano son las falanges medias y distales las cuales tienen la función de aprensión.

El dedo pulgar consta de un metacarpo y dos falanges y tiene los movimientos de flexión, oposición, extensión y rotación el cual nos permite hacer la función de pinza

siendo este uno de los movimientos más importantes del ser humano siendo este completamente necesario replicar en nuestro diseño.

Los 4 dedos restantes constan de falanges proximales, medias y distales son los que nos permite hacer movimientos de agarre y movimientos de apertura además de los movimientos de abducción movimiento lateral hacia afuera y aducción movimiento lateral hacia adentro.

2. ¿Qué rangos de movimientos son más importantes para producir una prótesis de bajo costo?

Entre los movimientos más importantes se destacaron los movimientos gruesos y los movimientos finos los gruesos comprenden a la aprensión de herramientas y objetos y entre los movimientos finos comprenden el pinzamiento es decir la aprensión de utensilios que se debes de operar con cierta delicadeza.

3. ¿Qué movimientos pueden sacrificarse para simplificar el prototipo?

Se destaco un nivel de importancia de los dedos en la mano humana propuestos por el doctor en un nivel porcentual

Pulgar	100%
Índice	70%
Medio	50%
Anular	30%
Meñique	5%

Donde el meñique puede ser anulado de la ecuación y la función de la mano no cambiaría.

4. ¿Qué recomendación nos puede dar para nuestro diseño?

Como recomendaciones de diseño se destacó que es importante mantener la forma fisiológica del dedo pulgar la cual debe mantener una posición natural de 10° aproximadamente con respecto a la falange proximal, mantener la curvatura natural de la palma de la mano y que para que el diseño sea funcional se debe concentrarse en los movimientos de prensa y pinzamiento.

Se tomaron las siguientes conclusiones para el diseño

Forma fisiológica natural
Priorizar los movimientos de flexión (aprensión)
Priorizar los movimientos de pinzamiento
Conservar la curvatura de la palma de la mano para el agarre

ANEXO B. Entrevista con el segundo especialista

Ficha de entrevista N° 2 especialista medico

Objetivo de la entrevista:

Registrar la información sobre las partes y rangos de movimiento de la mano humana para establecer un modelo funcional.

Doctor: José castro obeso

Especialidad: Traumatólogo especializado en cirugía de mano y miembro superior

Numero de registro del colegio médico: CMP 64041

Numero de registro de especialidad: RNE 34005

Preguntas

1. ¿Qué rangos de movimientos son más importantes para producir una prótesis de bajo costo?

Los movimientos indispensables de la muñeca comprenden flexión, extensión, desviación cubital y desviación radial de los cuales los más funcionales son la extensión y la flexión, si se desea sacrificar más movimiento de la muñeca solo se puede dar el movimiento de flexión adaptando una posición fisiológica en neutro con una extensión de 10° a 20° y que solo tenga el movimiento de flexión.

Con respecto a los movimientos del pulgar los movimientos de flexo-extensión los realiza las articulaciones metacarpofalángica e interfalángica, los movimientos de abducción aducción y oposición los realiza los realiza la articulación trapecio-metacarpal con el hueso metacarpiano estos movimientos los realiza los distintos tendones que se encuentran en la base del pulgar.

Los movimientos del pulgar son realmente complejos de simular, si se desea simplificar un paciente teniendo los movimientos de oposición y flexión en la

interfalángica y metacarpofalángica cabe destacar que la flexión en la metacarpofalángica ayuda a generar el movimiento de oposición siendo mas que suficiente estos movimientos para un correcto funcionamiento.

2. ¿Qué movimientos pueden sacrificarse para simplificar el prototipo?

Si aún se desea sacrificar más movimientos se puede sacrificar el movimiento de flexión metacarpofalángica y dar solo oposición y flexión en la articulación interfalángica, generando una posición fisiológica en la articulación metacarpofalángica.

Ya que la articulación metacarpofalángica del dedo pulgar no necesita tener movimiento se genera como una extensión de la muñeca y una pequeña extensión de la metacarpofalángica siendo esta funcional para el agarre de objetos

Con respecto a los 4 dedos restantes se puede optar por una posición de artrodesis en las falanges distales es decir sin articulación interfalángica distal teniendo una posición fisiológica natural, Los movimientos de abducción y aducción pueden ser sacrificados, si en caso se desea dar más naturalidad a la mano se puede optar por un movimiento accionado mecánicamente

3. ¿Qué recomendación nos puede dar para nuestro diseño?

Se recomendó tener en cuenta una posición fisiológica de extensión en la muñeca de 10 a 20 grados porque da más fuerza a la mano y da más chance de cargar objetos

Se recomendó si la forma de controlar el brazo robótico llega a ser muy compleja se puede optar por accionamiento por botones para facilitar el uso del paciente.

ANEXO C. Tabla de selección de muestra y validación

Ficha de registro			
OBJETIVO	identificar una muestra de componentes aptos para el diseño del prototipo que sirva como base de datos para otros prototipos de las mismas características		
CRITERIOS DE INCLUSION	Componentes con la función que requiere el diseño		
	Componentes con la capacidad que requiera el diseño		
	Componentes con disponibilidad en el mercado		
CRITERIOS DE EXCLUSION	Componentes demasiados grandes		
	Precio de adquisición alto		
	No disponibles en el mercado		
PROTOTIPO		Prótesis biónica	
Tipo de componente	función	Capacidad/ cualidad	Modelos disponibles
Identifica que tipo de componente es	Identifica la función que cumple	Identifica la capacidad o cualidad de selección	Enumera la cantidad de modelo disponibles

VALORACION DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
El instrumento contiene instrucciones claras para su respuesta	X	
El número de ítems es el adecuado.	X	
Los ítems responden a los objetivos de la investigación (en el supuesto de contestar NO, por favor, indique inmediatamente abajo cuáles)	X	

ítems que el experto considera no cumplen o faltan a la exigencia de la investigación	
N.º de la(s) ítems(s)	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

	Evaluación general del Instrumento			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del Instrumento		X		

Observaciones y recomendaciones en general de la ficha de registro:	
Motivos por los que se considera no adecuada	
Motivos por los que se considera no pertinente	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

Identificación del experto

Nombre y apellidos	Luis Julca Verástegui
Filiación (ocupación, grado académico y lugar de trabajo):	Ingeniero Mecánico Magister Universidad César Vallejo
e-mail	julcal@ucvvirtual.edu.pe
Teléfono o celular	978686809
Fecha de la validación (día, mes y año):	07-12-2022
Firma	

Muchas gracias por su valiosa contribución a la validación de este instrumento.

Ficha de Observación			
Evaluación de tiempos			
objetivo	Registrar, medir y evaluar los tiempos totales de ensamble y operaciones para la generación de prototipos a nivel paramétrico y tradicional		
criterios	los procesos de ensamble los define el diseñador según la complejidad del diseño (tiempo de duración largos)		
	las operaciones básicas son operaciones repetitivas como de inserción de piezas y modificación de diseño (tiempos de duración cortos)		
prototipo	Concepto de prótesis biónica con mecanismo de barras rígidas		
ENSAMBLAJE A NIVEL TRADICIONAL			
procesos de ensamblaje	tiempos (h/m/s)	operaciones básicas de ensamble	tiempos (h/m/s)
Tiempo total diseño completo		Tiempo total de operaciones básicas	
ENSAMBLAJE A NIVEL PARAMETRICO			
procesos de ensamblaje	tiempos (h/m/s)	operaciones básicas de ensamble	tiempos (h/m/s)
Tiempo total diseño completo		Tiempo total de operaciones básicas	

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
El instrumento contiene ítems claros a observar	X	
El número de ítems es el adecuado.	X	
Los ítems responden a los objetivos de la investigación (en el supuesto de contestar NO, por favor, indique inmediatamente abajo cuáles)	X	

ítems que el experto considera no cumplen o faltan a la exigencia de la investigación	
N.º de la(s) ítems(s)	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

	Evaluación general del Instrumento			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del Instrumento		X		

Observaciones y recomendaciones en general de la ficha de observación:	
Motivos por los que se considera no adecuada	
Motivos por los que se considera no pertinente	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

Identificación del experto

Nombre y apellidos	Luis Julca Verástegui
Filiación (ocupación, grado académico y lugar de trabajo):	Ingeniero Mecánico Magister Universidad César Vallejo
e-mail	julcal@ucvvirtual.edu.pe
Teléfono o celular	978686809
Fecha de la validación (día, mes y año):	07-12-2022
Firma	

Muchas gracias por su valiosa contribución a la validación de este instrumento.

Ficha de Entrevista especialista medico

Objetivo de la entrevista:

Registrar la información sobre las partes y rangos de movimiento de la mano humana para establecer un modelo funcional.

Doctor:

Especialidad:

Numero de registro del colegio médico:

Numero de registro de especialidad:

Preguntas

1. ¿Qué información puede brindarnos sobre la fisiología de la mano humana?

2. ¿Qué rangos de movimientos son más importantes para producir una prótesis de bajo costo?

3. ¿Qué movimientos pueden sacrificarse para simplificar el prototipo?

4. ¿Qué recomendación nos puede dar para nuestro diseño?

VALORACION DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
El instrumento contiene ítems claros a observar	X	
El número de ítems es el adecuado.	X	
Los ítems responden a los objetivos de la investigación (en el supuesto de contestar NO, por favor, indique inmediatamente abajo cuáles)	X	

Ítems que el experto considera no cumplen o faltan a la exigencia de la investigación	
N.º de la(s) ítem(s)	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

	Evaluación general del Instrumento			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del Instrumento		X		

Observaciones y recomendaciones en general de la ficha de entrevista:	
Motivos por los que se considera no adecuada	
Motivos por los que se considera no pertinente	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

Identificación del experto

Nombre y apellidos	Luis Julca Verástegui
Filiación (ocupación, grado académico y lugar de trabajo):	Ingeniero Mecánico Magister Universidad César Vallejo
e-mail	julcal@ucvvirtual.edu.pe
Teléfono o celular	978686809
Fecha de la validación (día, mes y año):	07-12-2022
Firma	

Muchas gracias por su valiosa contribución a la validación de este instrumento.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LUIS ALBERTO JULCA VERASTEGUI, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Diseño de Prótesis biónica mediante aplicaciones de diseño paramétrico para disminuir los tiempos de desarrollo en la empresa CREAIVITY S.A.C", cuyo autor es LOZANO MANTILLA VICTOR ANDRES, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 8.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 25 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUIS ALBERTO JULCA VERASTEGUI DNI: 19336932 ORCID: 0000-0001-5158-2686	Firmado electrónicamente por: JULCAL el 19-12- 2022 16:11:17

Código documento Trilce: TRI - 0454462