

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA



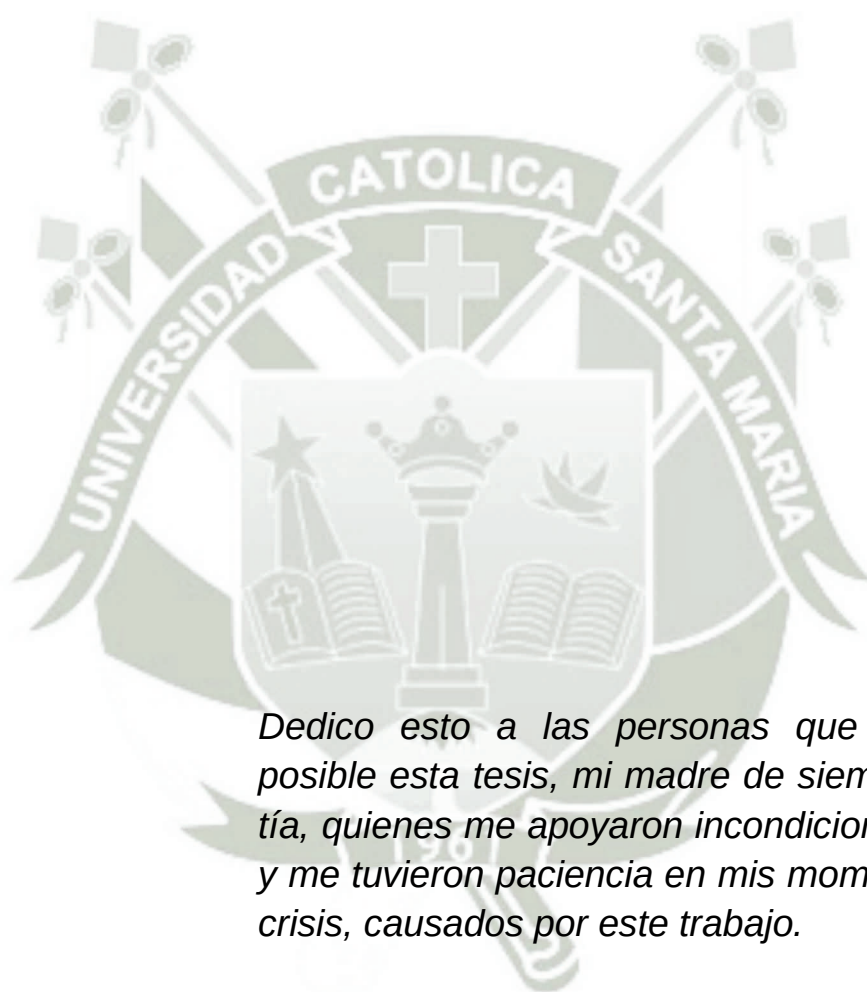
“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MANO PROTESICA”

Tesis para Optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecatrónico

Presentado por el Bachiller:
VALDEIGLESIAS OLIVEIRA, José Enrique

Arequipa – Peru

2015



Dedico esto a las personas que hicieron posible esta tesis, mi madre de siempre y mi tía, quienes me apoyaron incondicionalmente y me tuvieron paciencia en mis momentos de crisis, causados por este trabajo.

A mis amigos que me brindaron sus conocimientos y consejos, para poder terminar este proyecto lo antes posible.

A los ingenieros que me aconsejaron de la mejor manera para encaminar mi trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo muestra una prótesis articulable basado en relaciones geométricas de eslabonamiento de 4 eslabones, sistema móvil más simple de cadena cerrada, que le permitirá moverse solidariamente con solo un motor por dedo, dando a la mano la capacidad de extenderse completamente o empuñarse.

La manufacturación de las piezas se realiza con la tecnología de la impresión 3D, que brinda la facilidad de poder hacer varios prototipos de prueba, sin necesidad de una producción en serie, ahorrando tiempo y dinero, y aprovechando un material en auge como es el PLA, que está ganando terreno al plástico ABS, por tener ventajas sobre este tales como la carencia de emisiones de gases nocivos en su fundición o poder ser reciclado, haciéndolo amigable al medio ambiente.

El control de los motores eléctricos responsables del movimiento de las falanges de los dedos cuenta con un puente H optimizado con transistores MOSFET, que se encargan de cambiar de dirección a los motores, y con un circuito comparador que funciona como final de carrera para evitar rupturas.

Esta tesis plantea además promover y continuar con la investigación y creación de tecnologías orientadas a mejorar la calidad de vida de personas discapacitadas, usando herramientas que permiten acelerar la manufacturación de las piezas y haciendo prótesis a la medida del paciente.

ABSTRACT

This paper presents an articulable prosthetic based on geometric relationships linkage 4 links, the simplest closed mobile chain system, allowing you to move jointly with only one engine per finger, giving the ability to fully extend or wielded.

The manufacturing of parts is done with the technology of 3D printing, which provides the facility to make several test prototypes without mass production, saving time and money, with booming building material as is the PLA , which is gaining ground to ABS plastic, having advantages over this such as lack of harmful gas emissions in smelting or being recyclable, making it eco-friendly.

The control of the responsible electric motors for the movement of the phalanges of the fingers has a H bridge with MOSFETs optimized, which change the direction of the engine, and a comparator circuit that functions as limit switch to prevent breakage .

This thesis also proposes to promote and continue the research and development of technologies aimed at improving the quality of life of disabled people, using tools to speed up the manufacturing of parts and making prostheses to fit patients.

INTRODUCCIÓN

La utilización de las impresoras 3D en una amplia variedad de campos se vuelve cada día de mayor relevancia y aún más cuando es empleado en la rama de la biomecánica. Estemos recién en el inicio de un nuevo paradigma de la manufacturación, que se podría comparar con las computadoras a finales de los años 80s, pero en este caso ya no es en el mundo virtual, sino son elementos tangibles. Pero todos los avances tecnológicos solo quedan como simples objetos inútiles en las manos de un niño, si no se aplican en beneficio de las personas, o para ser más específico, de las personas con limitaciones físicas, como por ejemplo la falta de alguna extremidad. Con los conocimientos y técnicas adquiridos por los ingenieros, que lo hacen apto para solucionar problemas complejos, se puede mejorar la calidad de vida de estas personas, sacrificando una parte de la apariencia de la mano por una mayor funcionalidad, pues la estética y belleza de una herramienta tan sofisticada como la mano humana, se encuentra en su funcionalidad. Adicionalmente ya se cuenta con mejores opciones que los clásicos sensores mioelectricos utilizados, como la reinervación dirigida, o los implantes neuronales, que exigen la ayuda de médicos cirujanos, pero mejoran enormemente el desempeño de los miembros mecatrónicos, desde hacer el control más intuitivo hasta respuestas hapticas.

INDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO I: MARCO METODOLOGICO.....	14
1.1. PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. JUSTIFICACIÓN	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. Objetivos generales.....	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	15
1.4. ALCANCES	16
1.5. LIMITACIONES	16
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	17
2.1. PRÓTESIS	17
2.1.1. ¿Qué es una prótesis?	17
2.1.2. Breve Historia.....	17
2.1.3. Tipos:.....	25
2.1.4. Protesis Transradial.....	25
2.1.5. Características:.....	26
2.1.6. Tipos de Prensa Manual.....	27
2.2. IMPRESIÓN 3D.....	33
2.2.1. Principios generales.	34
2.2.1.1. Modelamiento:.....	34
2.2.1.2. Impresión:.....	34
2.2.1.3. Acabado.	37
2.2.2. Procesos.....	38
2.2.3. Modelado por deposición fundida.....	40
2.2.3.1. Funcionamiento:	41
2.2.4. Uso del PLA en la impresión 3D	41
2.3. MOVILIDAD.....	42
2.3.1. Ley de Grashof	43
2.4. ELECTRONICA	46
2.4.1. Motor de Corriente Continua	46

2.4.1.1.	Fuerza electromotriz de un motor.....	47
2.4.1.2.	Variaciones en el diseño de un motor	48
2.4.2.	Comparadores.....	50
2.4.2.1.	Electrónica analógica	51
2.4.2.2.	Funcionamiento	52
2.4.3.	MOSFET.....	53
2.4.3.1.	Simbología.....	54
2.4.3.2.	Funcionamiento	54
2.4.3.3.	Modos de operación	55
2.4.3.4.	Ventajas con respecto a transistores bipolares	61
CAPITULO III: MARCO PROCEDIMENTAL		62
3.1.	DISEÑO DEL MECANISMO DEL DEDO.....	62
3.2.	MODELAMIENTO	72
3.2.1.	Motor, tornillo de gusano y engrane	72
3.2.2.	Diseño de la muñeca.....	78
3.2.2.1.	Muñeca con engranaje cónico.....	78
3.2.2.2.	Muñeca con fajas síncronas.....	79
3.2.2.3.	Muñeca con servomotor	82
3.3.	PRENSIÓN DE LA MANO.....	83
3.4.	SIMULACIONES	85
3.4.1.	Reporte del dedo medio extendido con carga en la gema de la falange distal.	85
3.4.1.1.	Análisis de diseño.....	85
3.4.1.2.	Información de los parámetros del análisis.....	86
3.4.1.3.	Informe.	87
3.4.1.4.	Imágenes de la representación de los resultados	88
3.4.2.	Reporte del dedo medio flexionado con carga en la gema de la falange distal.	99
3.4.2.1.	Análisis de diseño.....	99
3.4.2.2.	Información de los parámetros del análisis.....	99
3.4.2.3.	Informe	101
3.4.2.4.	Imágenes de la representación de los resultados	102
3.4.3.	Reporte de impacto de dedo medio flexionado	112

3.4.3.1. Análisis de diseño.....	113
3.4.3.2. Imágenes de la representación de los resultados	114
CAPITULO IV: CONTROL DE MOVIMIENTO.....	148
4.1. CONTROL DE FINAL DE CARRERA	149
4.2. CAMBIO DE SENTIDO DE GIRO	154
4.3. FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO CONTROLADOR	157
4.3.1. Resistencia de Contención	161
CAPITULO V: COSTOS DE FABRICACIÓN.....	165
5.1. DETALLES POR PARTES	165
5.1.1. Dedo índice	165
5.1.2. Dedo anular	165
5.1.3. Dedo medio	166
5.1.4. Dedo meñique	166
5.1.5. Dedo pulgar	167
5.1.6. Otros.....	167
5.1.7. Motores.....	167
5.1.8. Mano	168
5.2. MANO DE OBRA.....	168
5.3. SUPERVISION Y CONTROL	168
CONCLUSIONES.....	169
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	170
BIBLIOGRAFÍA	172
PLANOS	174
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Tecnologías de impresión 3D	39
Tabla 3. 1: Medidas del tornillo infinito	73
Tabla 3. 2 Cargas	87
Tabla 3. 3 Multiplicadores de cargas	100
Tabla 3. 4 Aceleración debido a cargas	100
Tabla 3. 5 Cargas	101
Tabla 3. 6 Información del evento	113
Tabla 3. 7 Aceleración	113
Tabla 3. 8 Curva de carga 1.....	114
Tabla 3. 9 Curva de carga 2.....	114
Tabla 3. 10 Velocidad inicial	114
Tabla 4. 1 Pulsadores	160
Tabla 4. 2 Pulsadores Cerrados	161
Tabla 4. 3 Prueba de resistencias	163
Tabla 4. 4 Resistencias finales	164
Tabla 5. 1 Costos del dedo índice.....	165
Tabla 5. 2 Costos del dedo anular	165
Tabla 5. 3 Costos del dedo medio	166
Tabla 5. 4 Costos del dedo meñique	166
Tabla 5. 5 Costos del dedo pulgar	167
Tabla 5. 6 Costos otros.....	167
Tabla 5. 7 Costos de motores	167
Tabla 5. 8 Costo total de la mano protésica.....	168

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Prótesis del antiguo Egipto	17
Figura 2. 2 Prótesis de hierro de Götz von Berlichingen	18
Figura 2. 3 Prótesis de acero con sujetador de cuero	19
Figura 2. 4 Croquis de mano protésica.....	20
Figura 2. 5 Prótesis con conexión al muñón.....	21
Figura 2. 6 Prótesis del laboratorio John Hopkings	22
Figura 2. 7 Prótesis i-limb ultra.	23
Figura 2. 8 Prótesis Dextrus 3D.....	24
Figura 2. 9 Presión por oposición terminal.	28
Figura 2. 10 La prensión por oposición subterminal	29
Figura 2. 11 Prensión por oposición subterminolateral.....	30
Figura 2. 12 Prensión palmar «a manos llenas».	31
Figura 2. 13 Prensión por oposición digito palmar.....	32
Figura 2. 14 Prensión interdigital latero lateral	33
Figura 2. 15 Modelado por deposición fundida.....	40
Figura 2. 16 Cuadro articulado	43
Figura 2. 17 a) Cuatro inversiones del cuadro articulado. b) Mecanismos de manivela oscilador. c) Mecanismo de eslabón de arrastre. d) Mecanismo de doble oscilador	45
Figura 2. 18 Esquema del funcionamiento de un motor de c.c.....	47
Figura 2. 19 Esquema de OPAMP	51
Figura 2. 20 Simbología de MOSFET.....	54
Figura 2. 21 NMOS en modo de corte.....	56
Figura 2. 22 NMOS en la región lineal.....	58
Figura 2. 23 NMOS en la región de saturación.....	59
Figura 2. 24 Voltaje de drenado	60
Figura 3. 1 Vectores en el dedo.....	62
Figura 3. 2 Placas articuladas extendidas	63
Figura 3. 3 Placas articuladas flexionando	64
Figura 3. 4 Placas articuladas flexionadas	64
Figura 3. 5 Esquema de Grashof y sistema de articulación.....	65
Figura 3. 6 Trayectoria del sistema de 4 eslabones	66
Figura 3. 7 Sistema de 4 eslabones en medio de la trayectoria	66
Figura 3. 8 Sistema de 4 eslabones al final de la trayectoria	67
Figura 3. 9 Disposicion del sistema eslabonamiento de 4 eslabones.....	67
Figura 3. 10 Dedo de arcrilico armado basado en el sistema de eslabonamientode 4 eslabones.....	68
Figura 3. 11 Disposicion del sistema de 4 eslabones en medio de la trayectoria	68
Figura 3. 12 Dedo de acrilico basado en el sistema de 4 eslabones en medio de la trayectoria.....	69

Figura 3. 13	Disposicion del sistema de 4 eslabones al final de la trayectoria	69
Figura 3. 14	Dedo de acrilico basado en el sistema de 4 eslabones al final de la trayectoria.....	70
Figura 3. 15	Disposicion del sistema eslabonamiento de 4 eslabones en el prototipo de dedo	70
Figura 3. 16	Prototipo del dedo basado en el sistema de 4 eslabones en medio de la trayectoria	71
Figura 3. 17	Prototipo del dedo basado en el sistema de 4 eslabones al final de la trayectoria.....	71
Figura 3. 18	Superficies previas al diseño de la falange distal del dedo medio	72
Figura 3. 19	Diseño de tornillo infinito y engrane.....	74
Figura 3. 20	Diseño de tonillo infinito montado en el motor pololu con el engrane fusionado al actuador proximal del dedo medio.	74
Figura 3. 21	Motor pololu.....	75
Figura 3. 22	Engrane fusionado al actuador proximal de la falange distal del dedo medio.....	75
Figura 3. 23	Impresión 3D del engrane fusionado al actuador proximal de la falange distal del dedo medio.....	76
Figura 3. 24	Diseño del tornillo infinito.....	76
Figura 3. 25	Impresión del tornillo infinito	77
Figura 3. 26	Unión del dedo pulgar con la palma iniciando la trayectoria.....	77
Figura 3. 27	Unión del dedo pulgar con la palma terminando la trayectoria...	78
Figura 3. 28	Diseño del ensamblaje de la muñeca con engranajes conicos ...	79
Figura 3. 29	Ensamblaje de la muñeca con engranajes cónicos.....	79
Figura 3. 30	Polea para la faja síncrona.....	80
Figura 3. 31	Faja síncrona.....	80
Figura 3. 32	Diseño del ensamblaje de la muñeca con fajas síncronas	81
Figura 3. 33	Impresión del ensamblaje de la muñeca con fajas síncronas	81
Figura 3. 34	acercamiento de los lugares de sujeción de la faja síncrona.	81
Figura 3. 35	Servomotor.....	82
Figure 3. 36	Prótesis con prensión por oposición terminal	83
Figure 3. 37	Prótesis con prensión por oposición subterminolateral	83
Figure 3. 38	Prótesis con prensión palmar «a manos llenas».	84
Figure 3. 39	Prótesis con Prensión por oposición digito palmar	84
Figura 3. 40	dedo medio extendido con carga en la gema de la falange distal	85
Tabla 3. 41	Multiplicadores de carga	86
Tabla 3. 42	Aceleración	87
Figura 3. 43	Deformación del dedo medio extendido con carga en la gema de la falange dista	88
Figura 3. 44	Esfuerzos del dedo medio extendido con carga en la gema de la falange dista	89
Figura 3. 45	Factor de seguridad del dedo medio extendido con carga en la gema de la falange dista	89

Figura 3. 46	Esfuerzos de la palma	90
Figura 3. 47	Factor de seguridad de la palma	90
Figura 3. 48	Esfuerzos del tornillo de gusano.....	91
Figura 3. 49	factor de seguridad del tornillo de gusano.....	91
Figura 3. 50	Esfuerzos de la falange media	92
Figura 3. 51	Factor de seguridad de la falange media	92
Figura 3. 52	Esfuerzos de la falange distal.....	93
Figura 3. 53	Factor de seguridad de la falange distal.....	93
Figura 3. 54	Esfuerzos de la falange metacarpiana	94
Figura 3. 55	Factor de seguridad de la falange metacarpiana.....	94
Figura 3. 56	Esfuerzos de la falange proximal.....	95
Figura 3. 57	Factor de seguridad de la falange proximal.....	95
Figura 3. 58	Esfuerzos del actuador distal.....	96
Figura 3. 59	Factor de seguridad del actuador distal.....	96
Figura 3. 60	Esfuerzos del actuador proximal	97
Figura 3. 61	Factor de seguridad del actuador proximal	97
Figura 3. 62	Esfuerzos del motor pololu	98
Figura 3. 63	Factor de seguridad del motor pololu	98
Figura 3. 64	Dedo medio flexionado con carga en la gema de la falange distal.....	99
Figura 3. 65	Deformación dedo medio flexionado con carga en la gema de la falange distal	102
Figura 3. 66	Deformación dedo medio flexionado con carga en la gema de la falange distal.....	102
Figura 3. 67	Factor de seguridad dedo medio flexionado con carga en la gema de la falange distal	103
Figura 3. 68	Esfuerzo de la palma.....	103
Figura 3. 69	Factor de seguridad de la palma	104
Figura 3. 70	Esfuerzo del tornillo de gusano	104
Figura 3. 71	Factor de seguridad del tornillo de gusano.....	105
Figura 3. 72	Esfuerzo la falange medial	105
Figura 3. 73	Factor de seguridad la falange medial.....	106
Figura 3. 74	Esfuerzo de la falange distal	106
Figura 3. 75	Factor de seguridad de la falange distal.....	107
Figura 3. 76	Esfuerzo de la falange metacarpiana	107
Figura 3. 77	Factor de seguridad de la falange metacarpiana.....	108
Figura 3. 78	Esfuerzo de la falange proximal	108
Figura 3. 79	Factor de seguridad de la falange proximal.....	109
Figura 3. 80	Esfuerzo del actuador distal	109
Figura 3. 81	Factor de seguridad del actuador distal.....	110
Figura 3. 82	Esfuerzo del actuador proximal	110
Figura 3. 83	Factor de seguridad del actuador proximal	111
Figura 3. 84	Esfuerzo del motor pololu	111
Figura 3. 85	Factor de seguridad del motor pololu	112

Figura 3. 86 de impacto de dedo medio flexionado	113
Figura 3. 87 iteración 1 de caída libre	116
Figura 3. 88 iteración 2 de caída libre	117
Figura 3. 89 iteración 3 de caída libre	118
Figura 3. 90 iteración 4 de caída libre	119
Figura 3. 91 iteración 5 de caída libre	120
Figura 3. 92 iteración 6 de caída libre	121
Figura 3.93 iteración 7 de caída libre	122
Figura 3. 94 iteración 8 de caída libre	123
Figura 3. 95 iteración 8 de caída libre	124
Figura 3. 96 iteración 1 de impacto	126
Figura 3. 97 iteración 2 de impacto	127
Figura 3. 98 iteración 3 de impacto	128
Figura 3. 99 iteración 4 de impacto	129
Figura 3. 100 iteración 5 de impacto	130
Figura 3. 101 iteración 6 de impacto	131
Figura 3. 102 iteración 7 de impacto	132
Figura 3. 103 iteración 8 de impacto	133
Figura 3. 104 iteración 9 de impacto	134
Figura 3. 105 iteración 10 de impacto	135
Figura 3. 106 iteración 11 de impacto	136
Figura 3. 107 iteración 1 de deflexión.....	138
Figura 3. 108 iteración 2 de deflexión.....	139
Figura 3. 109 iteración 3 de deflexión.....	140
Figura 3. 110 iteración 4 de deflexión.....	141
Figura 3. 111 iteración 5 de deflexión.....	142
Figura 3. 112 iteración 6 de deflexión.....	143
Figura 3.113 iteración 7 de deflexión.....	144
Figura 3. 114 iteración 8 de deflexión.....	145
Figura 3. 115 iteración 9 de deflexión.....	146
Figura 3. 116 iteración 10 de deflexión.....	147
Figura 4.1. Resistencia shunt	150
Figura 4. 2 Circuito de compensación por offset de tensión.....	152
Figura 4. 3 Potenciómetro	153
Figura 4. 4 Disposición del comparador	154
Figura 4. 5 Puente H con transistores	154
Figura 4. 6 Puente H con MOSFET.....	155
Figura 4. 7 Circuito completo de un dedo	157
Figura 4. 8 Funcionamiento de transistores MOSFET.....	159
Figura 4. 9. Funcionamiento de transistores MOSFET.....	161
Figura 4. 10 Puente H	162

CAPITULO I: MARCO METODOLOGICO

1.1. PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se intenta diseñar una prótesis de bajo costo capaz de ayudar a restablecer cierta funcionalidad de la mano ausente. Para eso se utilizara una impresora 3D para poder obtener los prototipos con mayor facilidad y rapidez, además de ser el medio por el cual se pretende hacer la producción en serie. Además cada dedo debe ser independiente y el pulgar debe tener más libertad de movimiento que el resto de dedos, ya que este es el más importante. También se tendrá en cuenta la parte estética, ya que, la parte emocional de un ser humano es importante y aún más en una persona con discapacidad, así que le ayudara al individuo a tener una mejor autoestima.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Gracias a que la proliferación de las impresoras 3D ha creado un nuevo paradigma en la creación, producción, difusión y personalización de productos, ahora ya no solo disponemos de herramientas virtuales gracias a las computadoras, sino que con este nuevo instrumento, podemos crear e inventar objetos tangibles y funcionales, pero ahora de manera independiente e incluso apoyado por el crowdfunding o financiamiento colectivo. Con todo esto, los desarrolladores están innovando el mercado con artículos más efectivos y de menor precio al alcance de la población. Últimamente hay una nueva ola de diseñadores de prótesis de bajo costo, un rubro prácticamente ignorado por no ser la

mayoría, pero no por eso un número reducido y por lo tanto con mucho potencial, además que se mejoraría la calidad de vida de muchas personas ayudándolas en su rehabilitación.

Este trabajo busca ser el inicio de nuevas investigaciones en el área de la bioingeniería, se diseñara una mano protésica imprimible de bajo costo movida por motores de corriente continua para articular los dedos y abierto a mejoras tales como un futuro control mioeléctrico.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivos generales

- Diseñar el conjunto estructural de una mano protésica capaz de realizar funciones básicas de maniobrabilidad, manteniendo un bajo costo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Implementar un modelo adecuado generado por computadora, capaz de articularse, que permita abrir y cerrar cada dedo en su totalidad a semejanza de una mano real.
- Modelar las falanges, palma y muñeca en un software de diseño asistido por computadora (CAD/Solidworks).
- Implementar un sistema electrónico adecuado para controlar el movimiento de los motores eléctricos de la mano protésica.

1.4. ALCANCES

- 1) La prótesis será creada utilizando el software solidworks 2014, los actuadores y las falanges tendrán movimientos conjuntos diseñados previamente utilizando relaciones geométricas modificadas de mecanismos de eslabonamiento.
- 2) La mano será capaz de agarrar objetos con cierta presión, y sostenerlo sin soltarlos.
- 3) Se imprimirá una tarjeta con toda la circuitería que tendrá alimentación externa, y que será capaz de controlar los motores cambiando las direcciones con un puente H.

1.5. LIMITACIONES

- 1) La principal limitación es el material utilizado, que a pesar de su versatilidad, actualmente no hay muchas opciones en el mercado peruano, tales como filamentos reforzados, para aumentar su resistencia. Además los motores de corriente continua tiene una caja de transmisión con piezas delicadas que se rompen cuando hace mucha resistencia en el eje.
- 2) Los modelos irán variando según se vayan imprimiendo, dado que en las simulaciones se omiten muchos factores que en el mundo real son parte del entorno.
- 3) No se contempla el sistema de control y software para el enlace con sensores mioeletricos o de contacto.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. PRÓTESIS

2.1.1. ¿Qué es una prótesis?

Las prótesis son partes artificiales que reemplazan miembros faltantes del cuerpo debido a un trauma, accidente, enfermedad o defecto congénito.

2.1.2. Breve Historia

Las prótesis han sido mencionadas a través de la historia. El dato registrado más antiguo es de la reina guerrera Voshpala en la Rigveda. Los egipcios fueron precursores de la idea, como se expone en el dedo del pie hecho de madera encontrado en un cuerpo del Imperio Nuevo de Egipto. Se han encontrado coronas de dientes romanas, pero su uso pudo haber sido más estético que funcional.



Figura 2. 1 Prótesis del antiguo Egipto
Fuente: www.wikipedia.org

En la segunda guerra púnica el general romano Marcus Sergius se elaboró una mano la cual sostenía su espada, y así cada vez la innovación tenía buenos resultados es por lo que para el año de 1400 se crea una mano denominada "altRuppin" que fue fabricada de hierro con el pulgar rígido y dedos flexibles, los cuales eran flexionados pasivamente, éstos se podían asegurar mediante un mecanismo de trinquete y además tenía una muñeca movable.



Figura 2. 2 Prótesis de hierro de Götz von Berlichingen
Fuente: www.wikipedia.org

Una famosa y bastante refinada prótesis de mano fue la que Götz von Berlichingen hizo a inicios del siglo XVI.

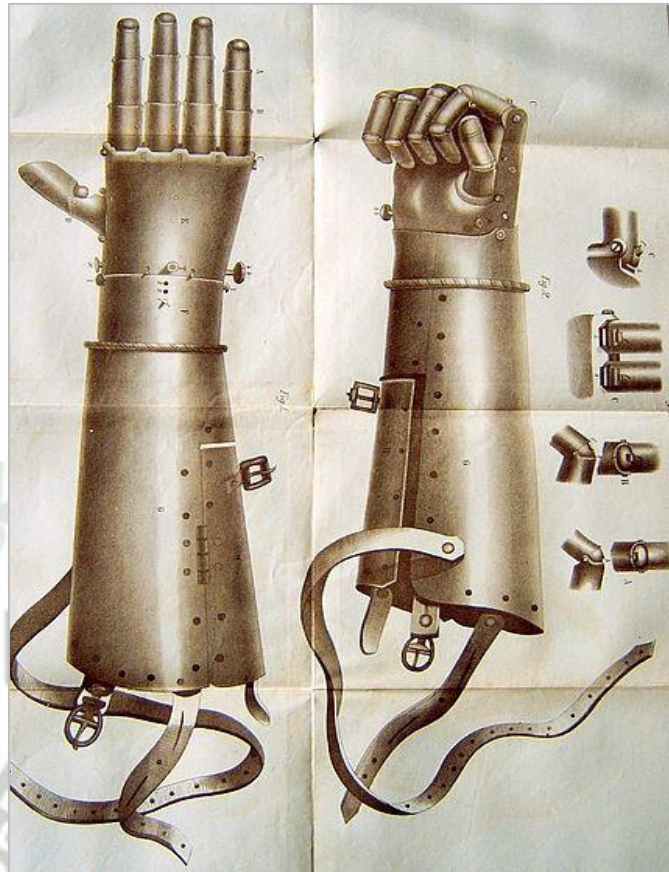


Figura 2. 3 Prótesis de acero con sujetador de cuero
Fuente: www.wikipedia.org

No es sino hasta el siglo XVI, que el diseño del mecanismo de las prótesis de miembro superior se ve mejorado ampliamente, gracias al médico militar francés Ambroise Paré, quien desarrolló el primer brazo artificial móvil al nivel de codo, llamado Le petitLorraine el mecanismo era relativamente simple tomando en cuenta la época, los dedos podían abrirse o cerrarse presionando o traccionando, además de que consistía de una palanca, por medio de la cual, el brazo podía realizar la flexión o extensión a nivel de codo. Esta prótesis fue realizada para un desarticulado de codo. Paré también lanzó la primera mano estética de cuero, con lo que da un nuevo giro

a el uso de materiales para el diseño de prótesis de miembro superior.

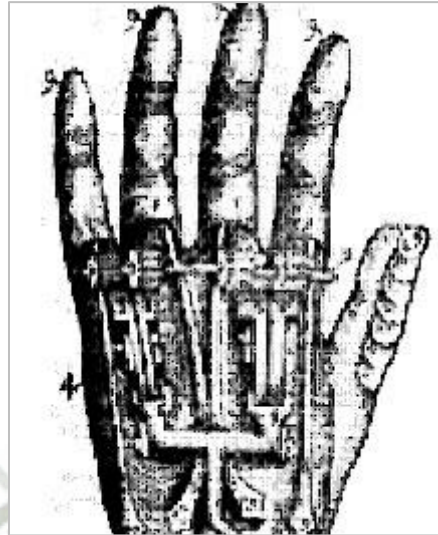


Figura 2. 4 Croquis de mano protésica.
Fuente: www.wikipedia.org

En el siglo XIX se emplean el cuero, los polímeros naturales y la madera en la fabricación de prótesis; los resortes ayudaban también al avance de nuevos mecanismos para la fabricación de componentes de transmisión de la fuerza, para la sujeción, entre las innovaciones más importantes al diseño de las prótesis de miembro superior, se encuentra la del alemán *Peter Beil*. El diseño de la mano cumple con el cierre y la apertura de los dedos pero, es controlada por los movimientos del tronco y hombro contra lateral, dando origen a las prótesis autopropulsadas. Más tarde el Conde *Beafort* da a conocer un brazo con flexión del codo activado al presionar una palanca contra el tórax, aprovechando también el hombro contra lateral como fuente de energía para los movimientos activos del

codo y la mano. La mano consistía de un pulgar móvil usando un gancho dividido sagitalmente, similar a los actuales ganchos *Hook*. El origen de las prótesis activadas por los músculos del muñón se da en Alemania gracias a *Sauerbruch*, el cual consigue idear como enlazar la musculatura flexora del antebrazo con el mecanismo de la mano artificial, mediante varillas de marfil que hacía pasar a través de túneles cutáneos, haciendo posible que la prótesis se moviera de forma activa debido a la contracción muscular.

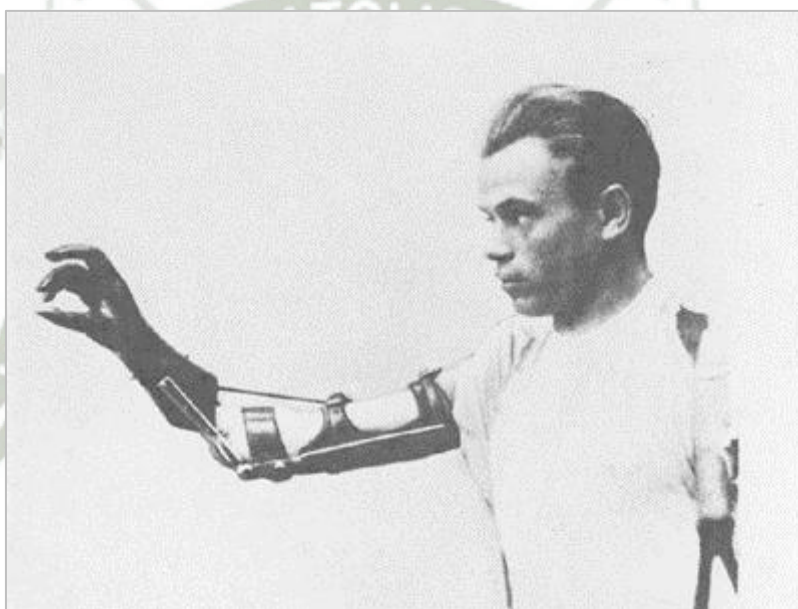


Figura 2. 5 Prótesis con conexión al muñón.
Fuente: www.wikipedia.org

Miembros artificiales más modernos están unidos al muñón del amputado por correas y puños o por succión. El muñón encaja bien directamente en un zócalo de la prótesis, un revestimiento que se utiliza a continuación, se fija a la toma ya sea por vacío (tomas de succión) o un pasador de bloqueo. Los revestimientos son suaves y con esto, pueden crear una mejor forma de succión de toma difícil. Forros de silicona se pueden obtener en tamaños estándar, en su

mayoría, con una sección transversal circular (redonda), pero para cualquier otra forma de muñón, revestimientos de encargo se pueden hacer.

Actualmente se está masificando la creación de modelos más eficientes, óptimos y de mayor accesibilidad, tales como la prótesis desarrollada por los laboratorios John Hopkins que se enfoca a veteranos de guerra que hayan perdido sus miembros en conflictos armados, y que tiene una conexión directa con el cerebro, obviando la conexión mioeléctrica; y por ende, haciendo su control muchísimo más intuitivo e inconsciente.



Figura 2. 6 Prótesis del laboratorio John Hopkins
Fuente: www.jhuapl.edu

El i-LIMB Hand es el nombre de marca de la primera mano biónica disponible en el mercado del mundo inventado por David Gow y su equipo en el Centro de Bioingeniería del Hospital Princess Margaret Rose en Edimburgo, y fabricada por Touch Bionics. La mano protésica articular ha impulsado de forma individual dígitos y el pulgar y tiene una opción de apretones. Fue lanzado en Vancouver en julio de 2007. El i-LIMB Hand ganó el Premio al producto de innovación en prótesis de la Asociación sin extremidades de 2008, se enumeran en el número catorce en la lista de la época de los Top 50 mejores inventos de 2008, y Touch EMAS / Touch Bionics fue galardonado con el Premio de la Reina para la Empresa: Innovación (Tecnología) (2010) para el i-LIMB Hand.



Figura 2. 7 Prótesis i-limb ultra.
Fuente: www.touchbionics.com

También tenemos la mano del proyecto sin fines de lucro Dextrus 3D, que consiste en una prótesis que se puede obtener con la ayuda

de una impresora 3D, y que costaría 600 libras, llegando a reducir el costo de producción en 99%.

Se utiliza motores eléctricos en lugar de los músculos y los cables de acero en lugar de los tendones. Piezas 3D de plástico impresa funcionan como huesos y un revestimiento de caucho actúa como la piel. Todas estas piezas son controladas por electrónica para darle un movimiento natural que puede manejar de diferentes objetos.

La mano se puede conectar a una prótesis existente utilizando un conector estándar. Utiliza electrodos revestidos para leer las señales de sus músculos restantes, que puede controlar la mano, diciéndole para abrir o cerrar.



Figura 2. 8 Prótesis Dextrus 3D
Fuente: www.openhandproject.org

2.1.3. Tipos:

- Prótesis craneofaciales incluyen prótesis intraorales y extraorales. Prótesis extra-orales se dividen en hemifacial, auricular (oreja), nasal, ocular y orbitaria. Prótesis intraorales son prótesis dentales como dentaduras, obturadores y los implantes dentales.
- Somato prótesis incluyen prótesis mamarias y de integridad física. Las prótesis de mama incluyen dispositivos de mama completa y prótesis de pezón. Las prótesis de miembros incluyen extremidades superiores y prótesis de extremidades inferiores.

2.1.4. Prótesis Transradial

Una prótesis transradial es un miembro artificial que reemplaza un brazo faltante por debajo del codo. Tres tipos principales de prótesis están disponibles. Extremidades operadas por cables que trabajan unidas por un arnés y el cable alrededor del hombro opuesto del brazo dañado. Otra forma de prótesis disponibles son brazos mioeléctricos. Éstos trabajan por la detección, por medio de electrodos, cuando los músculos de la parte superior del brazo se mueven, provocando que la mano artificial se abra o cierre. Y por último tenemos las más recientes que son las de control mental que de acuerdo al estudio publicado por la Universidad Chalmers de Tecnología son basadas en un sistema de “*oseointegración humano-máquina*”. El sistema también contempla la instalación de electrodos

neuromusculares, mucho más precisos que los electrodos superficiales, y resistentes al “*ruido*” proveniente de otras partes del cuerpo al moverse, como por ejemplo el hombro.

2.1.5. Características:

Una prótesis de mano robótica tiene modos en los que puede funcionar, esto dependiendo ya que algunas son más desarrolladas que otras. A continuación se puede ver un ejemplo de los modos de funcionamiento de una mano robótica tipo i-LIMB:

- **Modo de Presión:** Este modo el dedo pulgar y el índice se unen para cuando se necesita precisión.
- **Modo Índice:** Este modo es aplicado para tener en una posición deseada un dedo para realizar alguna aplicación como por ejemplo para pulsar teclas.
- **Modo Posicionamiento del Pulgar:** el cual trata sobre la función para abrir y cerrar la palma de la mano.
- **Modo Potencia:** En este modo la mano forma un puño que se utiliza para llevar objetos.
- **Modo Llave:** En este modo el pulgar cierra sobre el dedo índice, para poder agarrar objetos como platos o tarjetas.

2.1.6. Tipos de Presión Manual

Toda la compleja organización anatómica y funcional de la mano tiene como meta la presión. Pero no hay un tipo único de presión, sino que existen varios: por lo menos seis, en cuatro de los cuales interviene el pulgar.

1) Presión por oposición terminal. Es la más fina y de mayor precisión. Permite sujetar un objeto de calibre muy reducido o recoger objetos muy finos: una cerilla o un alfiler. El pulgar y el Índice (o el medio) se oponen con la punta del pulpejo y en el caso de ciertos objetos de delgadez extrema (asir un cabello) incluso con el borde de la uña. Por tanto se precisa un pulpejo elástico y con un soporte correcto por parte de la uña cuya intervención es primordial en esta modalidad de presión, que es la que se compromete con más facilidad por la menor alteración de la mano; en efecto, necesita que las articulaciones funcionen con regularidad total (la flexión está llevada al máximo) y sobre todo precisa de la integridad de los grupos musculares y de los tendones, en particular:

- El flexor profundo (del lado del índice) que estabiliza la falangeta en flexión.
- El flexor largo propio del pulgar (del lado del pulgar), por la misma razón.

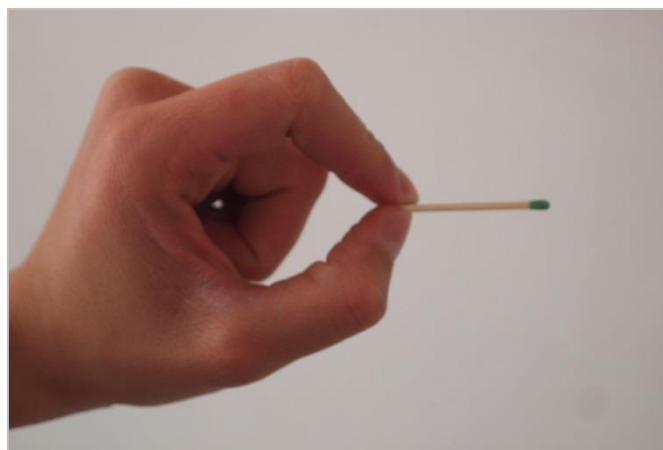


Figura 2. 9 Presión por oposición terminal.
Fuente: Elaboración propia

2) La presión por oposición subterminal. Es la modalidad más corriente. Permite sujetar objetos de mayor grosor relativo: un lápiz o una hoja de papel, la prueba de la eficacia de los pulpejos en la presión subterminal consiste en el intento de arrebatarse una hoja de papel sujeta con fuerza entre el pulgar y el Índice. Si la oposición es buena, no lo conseguiremos.

En esta modalidad de presión, pulgar e índice (u otro dedo) se oponen por la cara palmar del pulpejo. Por tanto, es importante el estado del mismo, pero la articulación interfalángica distal puede estar en extensión o incluso bloqueada en semiflexión por una artrodesis. Los músculos esenciales para este tipo de presión son:

- El flexor superficial (del lado del índice) para que la segunda falange quede fija en flexión.
- Los, músculos tenares flexores de la primera falange del pulgar: flexor corto, primer interóseo palmar, abductor corto y, sobre todo, el aductor.

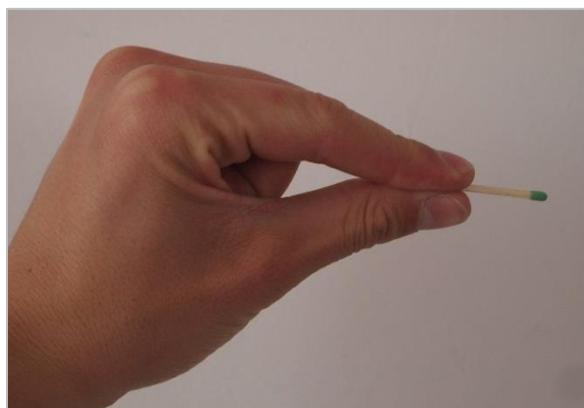


Figura 2. 10 La presión por oposición subterminal
Fuente: Elaboración propia

3) La presión por oposición subterminolateral. Como cuando sostenemos una moneda o una hoja de papel. Esta modalidad de presión puede suplir en la oposición terminal o subterminal cuando las dos últimas falanges del índice han sido amputadas: la presa, aunque menos fina, es sólida. La cara palmar del pulpejo del pulgar se apoya en la cara externa de la primera falange del índice. Los músculos esenciales para esta modalidad de presión son:

- El primer interóseo dorsal (del lado del índice) para la fijación lateral del índice (está apoyado, además, por los otros dedos).
- El flexor coto, el primer interóseo palmar y, sobre todo, el aductor del pulgar.



Figura 2. 11 Presión por oposición subterminolateral
Fuente: Elaboración propia

4) La prensión palmar «a manos llenas». Es la prensión de fuerza para los objetos pesados y relativamente voluminosos: objetos cilíndricos alrededor de los cuales la mano se enrolla literalmente. El eje del objeto tiene la misma dirección que el eje del canal palmar, es decir oblicuo desde la base de la eminencia hipotenar a la base del índice, esta oblicuidad, en relación con el eje de la mano y del antebrazo, halla su correspondencia en la inclinación del asidero de los instrumentos que forma un ángulo de 100 a 110°. No es difícil observar que podemos compensar con mayor facilidad un ángulo demasiado abierto (120 a 130°), gracias a la inclinación cubital de la muñeca, que un ángulo cerrado en exceso (90°) ya que la inclinación radial es mucho menos amplia.

El volumen del objeto asido condiciona la fuerza de prensión.

Es óptimo cuando permite que el pulgar esté en contacto, o casi en contacto, con el Índice. En efecto, el pulgar opone a la fuerza de los

otros cuatro dedos el obstáculo que el mismo representa y su eficacia aumenta con la flexión. El diámetro de los asideros y de los mangos de los instrumentos se deriva de este criterio.

La forma del objeto asido ha debido de ser indiferente y, en la actualidad, se fabrican empuñaduras que reproducen las marcas de los dedos.

Los músculos esenciales para esta modalidad de prensión son:

- Los flexores superficiales y profundos y sobre todo, los interóseos, para la flexión potente de la primera falange;
- Todos los músculos de la eminencia tenar (sobre todo el aductor) y el flexor largo propio del pulgar, para asegurar la presa gracias a la flexión de la segunda falange.



Figura 2. 12 Prensión palmar «a manos llenas».
Fuente: Elaboración propia

5) La prensión por oposición digito palmar. Es una modalidad de prensión accesoria derivada de la prensión palmar, pero de uso bastante corriente: manejar una palanca, sujetar un volante, etc. El

objeto, de un diámetro bastante reducido (3 a 4 cm), está asido entre los dedos flexionados y la palma de la mano; el pulgar no interviene. La presa, sólida hasta cierto punto, no es segura más que en dos sentidos. El objeto puede escapar con facilidad en la dirección de la muñeca. En esta modalidad de prensión, el eje de la presa es perpendicular al eje de la mano y del antebrazo.



Figura 2. 13 Prensión por oposición digito palmar
Fuente: Elaboración propia

6) La prensión interdigital latero lateral. Es una modalidad de prensión muy accesoria: sostener un cigarrillo, por ejemplo. En general, se efectúa entre los dedos índice y el medio, el pulgar no interviene. El diámetro del objeto asido debe ser reducido.

Los músculos que intervienen son:

- Los interóseos (segundo interóseo palmar y dorsal). La presa es débil y sin precisión, pero las personas que han sufrido

amputación del pulgar llegan a desarrollarla de manera asombrosa.



Figura 2. 14 Prensión interdigital latero lateral
Fuente: Elaboración propia

2.2.IMPRESIÓN 3D.

La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material. Las impresoras 3D son por lo general más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos. Las tecnologías avanzadas de impresión 3D, pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto.

2.2.1. Principios generales.

2.2.1.1. Modelamiento:

Los modelos para imprimir en 3D pueden ser creados con paquetes orientados al diseño asistido por computadora (CAD) o a través de un escáner 3D o a través de una cámara digital y un software de fotogrametría.

El proceso manual de modelamiento de los datos geométricos para la generación de gráficos 3d generados por computadora es similar a las artes plásticas, como la escultura. El Escaneo 3D es un proceso de análisis y recolección de datos digitales en la forma y apariencia de un objeto real. Basándose en estos datos, los modelos tridimensionales del objeto escaneado a continuación, pueden ser producidos.

Independientemente del software de modelado 3D utilizado, el modelo 3D, debe convertirse ya sea a un formato .OBJ o .STL , para permitir al software de impresión, también llamada CAM, para poder leerlo.

2.2.1.2. Impresión:

Antes de imprimir un modelo 3D a partir de un archivo STL, debe examinarse en primer lugar para los "múltiples errores", este paso se le llama el "fixup". Especialmente los archivos STL que se han producido a partir de un modelo adquirido a través de la digitalización con un escáner 3D a menudo tienen muchos errores

múltiples en los que deben ser corregidos. Entre los ejemplos más comunes de errores múltiples son superficies que no se conectan e insuficiencias de los modelos. Algunos programas que pueden arreglar estos errores son: netfabb y Meshmixer, incluso Cura, o Slic3r.

Una vez hecho esto, el archivo STL necesita ser procesada por un software llamado "slicer" que convierte al modelo en una serie de capas delgadas y produce un archivo en G-code que contiene instrucciones adaptadas a un tipo específico de impresora 3D (impresoras FDM-modelado por deposición fundida). Este archivo de G-code se puede imprimir con el software del cliente de la impresora de 3D, que carga el archivo G-code, y lo utiliza para instruir a la impresora 3D durante el proceso de impresión. Cabe señalar que, a menudo, el software de cliente y el slicer se combinan en un solo programa en la práctica. Tenga en cuenta que hay otra pieza de software que se utiliza a menudo por personas que utilizan la impresión en 3D, llamado visor de G-code. Este software permite a uno examinar la ruta de desplazamiento de la boquilla de la impresora. Mediante este examen, el usuario puede decidir modificar el G-code para imprimir el modelo de una manera diferente. Por ejemplo en una relación entre la velocidad de desplazamiento vertical y la temperatura de extrusión para así poder ahorrar plástico. Algunos programas que hacen esto son: Gcode Viewer de Blender y Pleasant3D.

La impresora 3D sigue las instrucciones de G-code para colocar capas sucesivas de líquido, polvo, papel o material de lámina para construir el modelo de una serie de secciones transversales. Estas capas, que corresponden a las secciones transversales virtuales a partir del modelo de CAD, se unen o fusionan de forma automática para crear la forma final. La principal ventaja de esta técnica es su capacidad para crear casi cualquier forma o característica geométrica.

La resolución de la impresora describe espesor de la capa y la resolución XY en puntos por pulgada (dpi) o micrómetros (micras). El espesor típico de la capa es alrededor de 100 micras (250 DPI), aunque algunas máquinas, tales como la serie Objet Connex y la serie ProJet 3D Systems pueden imprimir capas tan delgadas como 16 micras (1.600 dpi). Resolución XY es comparable a la de impresoras láser. Las partículas (puntos 3D) son alrededor de 50 a 100 micras (510 a 250 DPI) de diámetro.

La construcción de un modelo con métodos contemporáneos puede tomar de varias horas a varios días, dependiendo del método utilizado, el tamaño y la complejidad del modelo. Los sistemas de adición de material típicamente pueden reducir este tiempo a unas pocas horas, aunque varía ampliamente dependiendo del tipo de máquina utilizada, tamaño y número de modelos que se producen simultáneamente.

Las técnicas tradicionales como el moldeo por inyección pueden ser menos costosas para la fabricación de productos de polímero en grandes cantidades, pero la fabricación aditiva puede ser más rápida, más flexible y menos costosa cuando se produce cantidades relativamente pequeñas de las partes. Las impresoras 3D dan a los diseñadores y equipos de desarrollo el concepto de la capacidad de producir piezas y modelos de concepto utilizando una impresora del tamaño de un escritorio.

2.2.1.3. Acabado.

Aunque la resolución de la impresora de producción es suficiente para muchas aplicaciones, la impresión de una versión ligeramente sobredimensionada del objeto deseado en resolución estándar y una posterior eliminación de material sobrante con un proceso sustractivo de mayor resolución puede lograr una mayor precisión.

Algunas técnicas de fabricación de aditivos son capaces de utilizar múltiples materiales en el curso de la construcción de partes. Algunos son capaces de imprimir en varios colores y combinaciones de colores simultáneamente. Algunos también utilizan soportes en la construcción. Los soportes son extraíbles o solubles tras la finalización de la impresión, y se utilizan para admitir las características sobresalientes durante la construcción.

2.2.2. Procesos

Un gran número de procesos aditivos están ahora disponibles. Las principales diferencias entre los procesos son en la forma en capas se depositan para crear piezas y en los materiales que se utilizan. Algunos métodos de funden o reblandecen el material para producir las capas, por ejemplo, fusión selectivo por láser (SLM) o sinterizado directo de metal por láser (LMD), sinterizado selectivo por láser (SLS), el modelado por deposición fundida (FDM), mientras que otros se solidifican materiales líquidos utilizando diferentes tecnologías sofisticadas, por ejemplo, estereolitografía (SLA). Con manufacturación de objetos laminados (LOM), finas capas se cortan para dar forma y ser unidas entre sí (por ejemplo, papel, polímeros, metal). Cada método tiene sus propias ventajas y desventajas, por lo que algunas empresas, en consecuencia ofrecen una elección entre polvo y polímero para el material utilizado para construir el objeto. Otras veces las empresas utilizan papel estándar, como material de construcción para producir un prototipo duradero. Las principales consideraciones en la elección de una máquina son generalmente velocidad, coste de la impresora 3D, el costo del prototipo impreso, el coste y elección de los materiales, y capacidades de color.

Las impresoras que trabajan directamente con metales son caras. En algunos casos, sin embargo, las impresoras menos costosas pueden ser utilizadas para hacer un molde, que luego se utiliza para hacer piezas de metal.

Tipo	Tecnologías	Materiales
Extrusión	Modelado por deposición fundida(FDM)	Termoplastos (abs,pla,etc), HDPE, metales eutécticos, materiales comestibles, hule, greda, plastilina, silicona RTV, porcelana,
	Robocasting	Materiales cerámicos, aleaciones, cermet, compositos.
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF)	Casi cualquier aleación
Granulado	Sinterizado directo de metal por láser (DMLS)	Casi cualquier aleación.
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico.
	Sinterizado selectivo por láser (SLM)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos.
	Proyección aglutinante (DSPS)	Yeso
Cabeza de inyección a tinta	Impresión 3D basada en yeso o cera	Yeso o cera
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, papel aluminio, papel de plástico.
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	fotopolimero
	Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)	Fotopolimero

Tabla 2. 1 Tecnologías de impresión 3D
Fuente: www.wikipedia.org

2.2.3. Modelado por deposición fundida

El modelado por deposición fundida (MDF) es un proceso de fabricación utilizado para el modelado de prototipos y la producción a pequeña escala.

El modelado por deposición fundida utiliza una técnica aditiva, depositando el material en capas, para conformar la pieza. Un filamento plástico o metálico que inicialmente se almacena en rollos, aunque se están empezando a usar pellets, es introducido en una boquilla. La boquilla se encuentra por encima de la temperatura de fusión del material y puede desplazarse en tres ejes controlada electrónicamente. La boquilla normalmente la mueven motores a pasos o servomotores. La pieza es construida con finos hilos del material que solidifican inmediatamente después de salir de la boquilla.

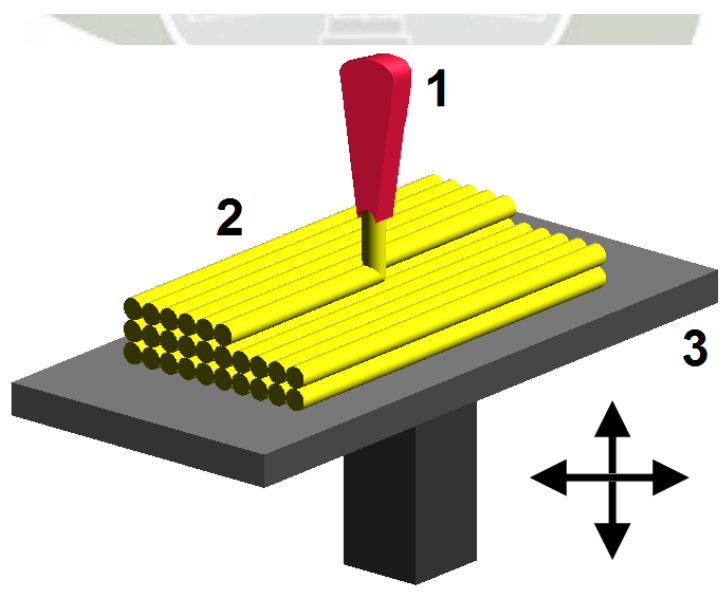


Figura 2. 15 Modelado por deposición fundida
Fuente: www.wikipedia.org

2.2.3.1. Funcionamiento:

El modelado por deposición fundida comienza con un proceso de software, que parte de un fichero estereolitografico (stl). El fichero es orientado para poder ser impreso, dividido en capas y se calculan las trayectorias que la boquilla deberá seguir para depositar el material, capa a capa, para conformar la pieza. Si son necesarias, se pueden generar estructuras de soporte que, si la máquina es capaz, imprimirá en otro material que tras finalizar la creación de la pieza, será retirado.

El termoplástico es fundido y depositado por la boquilla en capas del grosor requerido (capas más finas implican mejor calidad en la pieza final) una a una. Las capas se depositan de abajo hacia arriba.

A pesar de que el modelado por deposición fundida es una tecnología muy flexible, y es capaz de realizar piezas muy diversas, existen algunas restricciones sobre las características de lo que se puede fabricar con esta técnica, especialmente en lo referente a la pendiente de los voladizos.

2.2.4. Uso del PLA en la impresión 3D

El poliláctico (PLA o ácido poliláctico) es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además es biodegradable.

Es uno de los dos materiales de impresión 3D de escritorio más utilizados (siendo el otro ABS). El PLA es el material recomendado por defecto para muchas impresoras 3D de escritorio, y con buena razón, es útil en una amplia gama de aplicaciones de impresión y tiene la virtud de ser inodoro y liso. Es también uno de los materiales de impresión 3D más amigables con el medio ambiente; que está hecho de recursos renovables anualmente (almidón de maíz) y requiere menos energía para procesar que los plásticos (a base de petróleo) tradicionales. Fuera de la impresión en 3D, PLA se utiliza a menudo en envases de alimentos, tales como envoltorios de caramelos, e implantes médicos biodegradables, tales como suturas. PLA está disponible en una amplia gama de colores, tanto en filamentos de 1.75mm como de 3mm.

2.3. MOVILIDAD

Además de los puntos muertos posibles en el mecanismo de cuatro barras articuladas, es necesario tener en cuenta el ángulo de transmisión, que es el ángulo entre el eslabón conector 3 (acoplador) y el eslabón de salida (oscilador).

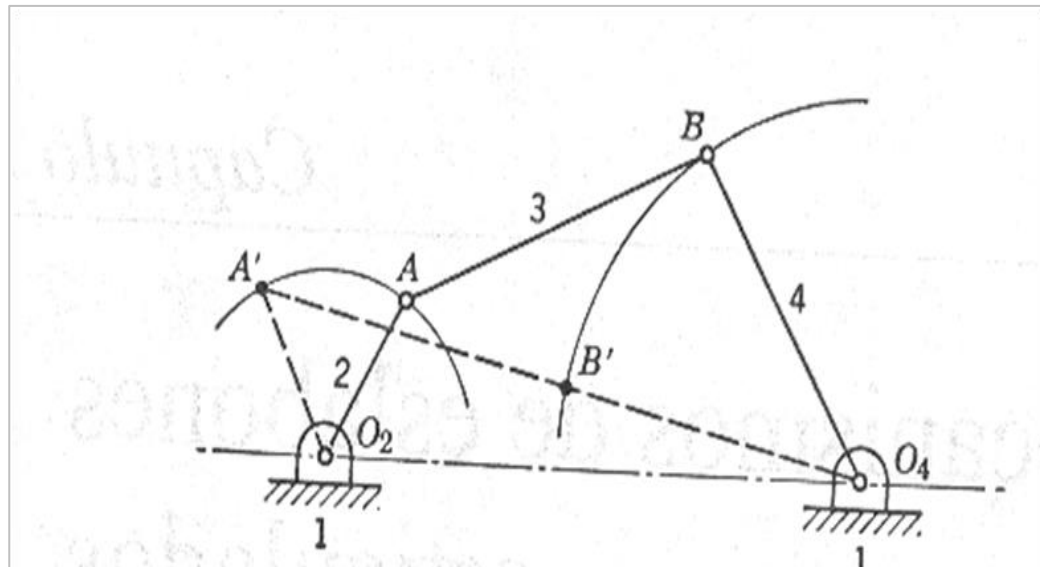


Figura 2. 16 Cuadro articulado

Fuente: fundamentosdemaquinaswmn.blogspot.com

2.3.1. Ley de Grashof

Evidentemente, una de las consideraciones de mayor importancia cuando se diseña un mecanismo que se impulsara con un motor, es asegurarse de que la manivela de entrada pueda realizar una revolución completa. Los mecanismos en los que ningún eslabón describe una revolución completa no serían útiles para estas aplicaciones. Cuando se trata de un eslabonamiento de cuatro barras, existe una prueba muy sencilla para saber si se presenta este caso.

La ley de Grashof afirma que, para un eslabonamiento plano de cuatro barras, la suma de las longitudes más corta y más larga de los eslabones no puede ser mayor que la suma de las longitudes de los dos eslabones restantes, si se desea que exista una rotación

relativa continua entre dos elementos. Esto se ilustra en la figura 2.16(a) en donde el eslabón más largo es (l), el más corto es (s) y los otros dos tienen longitudes p y q . siguiendo esta notación, la ley de Grashof especifica que uno de los eslabones, en particular el más pequeño, girara continuamente en relación con otros tres solo cuando:

$$S + l \leq p + q$$

Si no se satisface esta desigualdad, ningún eslabón efectuara una revolución completa en relación con otro. Conviene hacer notar el hecho de que nada en la ley de Grashof especifica el orden en el que los eslabones se conectan, o cual de los eslabones de la cadena de cuatro barras es el fijo. En consecuencia, se está en libertad de fijar cualquiera de los cuatro que se crea conveniente.

Cuando se hace esto se crean las cuatro inversiones del eslabonamiento de cuatro barras ilustrado en la figura 2.2. Las cuatro se ajustan a la ley de Grashof y en cada una de ellas el eslabón s describe una revolución completa en relación con otros eslabones. Las diferentes inversiones se distinguen por la ubicación del eslabón s en relación con el fijo. Si el eslabón más cortos es adyacente al fijo, como se consigna en la figura 2.17, se obtiene lo que se conoce como eslabonamiento de manivela-oscilados. Por supuesto, el eslabón s es la manivela ya que es capaz de girar continuamente, y el eslabón p , que solo puede oscilar entre ciertos límites, es el oscilador. El mecanismo de eslabón de arrastre,

llamado también eslabonamiento de doble manivela, se obtiene seleccionando al eslabón más corto s como el de referencia. En esta inversión, que se muestra en la figura 2.17 (c) los dos eslabones adyacentes a s pueden girar en forma continua y ambos se describen adecuadamente como manivelas y, por lo común, el más corto de los dos se usa como entrada.

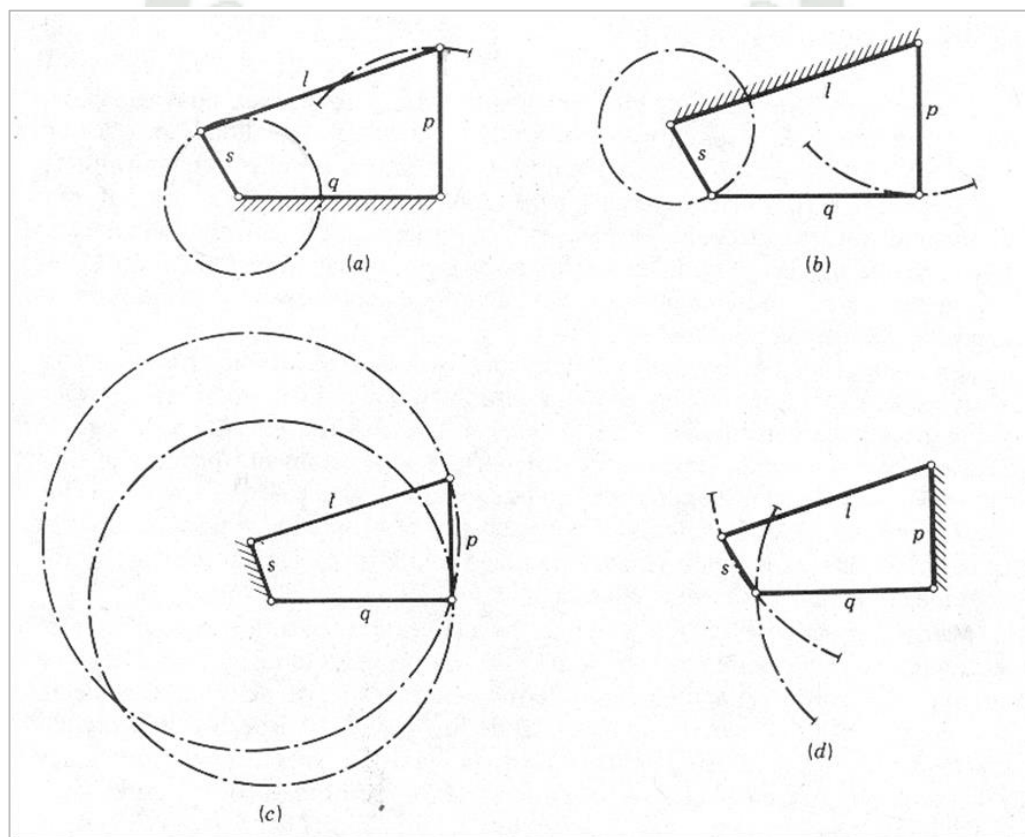


Figura 2. 17 a) Cuatro inversiones del cuadro articulado. b) Mecanismos de manivela oscilador. c) Mecanismo de eslabón de arrastre. d) Mecanismo de doble oscilador
Fuente: fundamentosdemaquinaswmn.blogspot.com

2.4.ELECTRONICA

2.4.1. Motor de Corriente Continua

El motor de corriente continua (llamado también motor de corriente directa, motor CC o motor DC) es una máquina que transforma la energía eléctrica en mecánica, produciendo un movimiento rotatorio, gracias a la acción del campo magnético.

Una máquina de corriente continua (generador o motor) consta esencialmente de dos partes. El estator da soporte mecánico al aparato y comprende los devanados principales de la máquina, conocidos también con el nombre de polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor por lo general son de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, alimentado con corriente directa mediante escobillas fijas (conocidas también como carbones).

Principio de funcionamiento

Según la ley de Fuerza simplificada, cuando un conductor por el que transmite una corriente eléctrica se sumerge en un campo magnético, el conductor sufre una fuerza perpendicular al plano formado por el campo magnético y la corriente, aplicando la regla de la mano derecha. Es fundamental recordar que para un generador se usará la regla de la mano derecha mientras que para un motor se usará la regla de la mano izquierda para calcular el sentido de la fuerza.

$$F = B \cdot l \cdot I$$

F: Fuerza en newtons

I: Intensidad que recorre el conductor en amperios

l: Longitud del conductor en metros

B: Densidad de campo magnético o densidad de flujo teslas

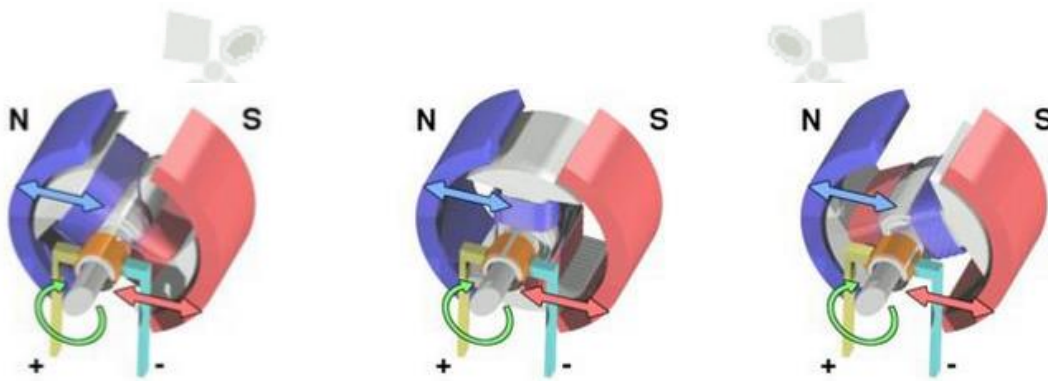


Figura 2. 18 Esquema del funcionamiento de un motor de c.c.
Fuente: sliderplayer.es

2.4.1.1. Fuerza electromotriz de un motor

Es la tensión que se crea en los conductores de un motor como efecto del corte de las líneas de fuerza, es el efecto generador de pines.

Las fuertes puntas de corriente de un motor en el arranque son debidas a que con la máquina parada no hay fuerza contraelectromotriz y el bobinado se comporta como una resistencia pura del circuito.

La fuerza contraelectromotriz en el motor obedece directamente a la velocidad de giro del motor y del flujo magnético del sistema inductor.

2.4.1.2. Variaciones en el diseño de un motor

a) Motores con escobillas

El motor eléctrico de CC con escobillas genera un par directamente de la alimentación de la corriente continua surtida al motor mediante el uso de la conmutación interna, imanes estacionarios (permanentes o electroimanes), y la rotación de los imanes eléctricos. Las ventajas de un motor de corriente continua con escobillas incluyen bajo costo inicial, alta fiabilidad y un control sencillo de la velocidad del motor. Las desventajas son el alto mantenimiento y baja esperanza de vida para los usos de alta intensidad. El mantenimiento consiste en reemplazar periódicamente las escobillas y los resortes que llevan la corriente eléctrica, así como la limpieza o sustitución del colector. Estos componentes son necesarios para la transferencia de energía eléctrica desde fuera del motor a los bobinados de alambre de giro del rotor en el interior del motor. Las escobillas consisten en conductores.

b) Motores sin escobillas

Los típicos motores de corriente continua sin escobillas utilizan un imán giratorio permanente en el rotor, y los imanes estacionarios de bobina eléctrica en la carcasa del motor para el estator. Un

controlador de motor convierte corriente continua a corriente alterna. Este diseño es mecánicamente más simple que la de los motores de escobillas, ya que elimina la complicación de la transferencia de energía desde fuera del motor al rotor de hilado. El controlador del motor puede detectar la posición del rotor a través de sensores de efecto Hall o similar y controlar de forma precisa la temporización, fase, etc., de la corriente en las bobinas del rotor para optimizar el par, conservar la energía, regular la velocidad, e incluso aplicar un poco de frenado. Las ventajas de los motores sin escobillas son de larga vida útil, poco o ningún mantenimiento, y alta eficiencia. Las desventajas incluyen el alto costo inicial y controladores de velocidad del motor más complicados.

c) Motores de imán permanente.

Estos motores no tienen un devanado de campo en el bastidor del estator, en lugar de eso, confían en un imán permanente para proveer el campo magnético contra el que el campo del rotor interactúa para producir un par. La compensación de los devanados en serie con el inducido puede utilizarse en motores grandes para mejorar la conmutación bajo carga. Debido a que este campo es fijo, no se puede ajustar para controlar la velocidad. Los campos de los imanes permanentes (estatores) son ideales en motores en miniatura para suprimir el consumo de energía del devanado de campo.

d) Servomotor

Un servomotor es un accionador giratorio que permite un control preciso de la posición angular, velocidad y aceleración. Consta de un motor adecuadamente acoplado a un sensor para la retroalimentación de posición. También se requiere un controlador relativamente sofisticado, a menudo un módulo dedicado específicamente diseñado para su uso con servomotores. Los servomotores no son una clase específica de motor aunque el término servomotor se utiliza a menudo para referirse a un motor adecuado para su uso en un sistema de control de bucle cerrado. Los servomotores se utilizan en aplicaciones tales como la robótica, maquinaria CNC o la fabricación automatizada.

2.4.2. Comparadores

En electrónica, un comparador es un dispositivo que compara dos voltajes o intensidades y saca una señal digital indicando cual es mayor. Tiene dos terminales de entrada analógicas V_+ y V_- , y una entrada digital binaria V_0 : La salida es idealmente

$$V = \begin{cases} 1, & \text{si } V_+ > V_- \\ 0, & \text{si } V_+ < V_- \end{cases}$$

Un comparador consiste en un amplificador diferencial especializado de alta ganancia. Se utilizan comúnmente en dispositivos que miden y digitalizan señales analógicas, tales como convertidores analógico-digitales (ADC), así como osciladores de relajación.

2.4.2.1. Electrónica analógica

En un circuito electrónico, se llama comparador a un amplificador operacional en lazo abierto (sin realimentación entre su salida y su entrada) y suele usarse para comparar una tensión variable con otra tensión fija que se utiliza como referencia.

Como todo amplificador operacional, un comparador estará alimentado por dos fuentes de corriente continua (+Vcc, -Vcc). El comparador hace que, si la tensión de entrada en el borne positivo (en la figura 2.19, V1) es mayor que la tensión conectada al borne negativo (en la figura 2.19, V2), la salida (Vout en la figura 2.19) será igual a +Vcc. En caso contrario, la salida tendrá una tensión -Vcc. Lo podemos resumir de la siguiente manera:

si $V1 > V2 \Rightarrow (V1 - V2) > 0 \Rightarrow V_{out} = +V_{cc}$.

si $V1 < V2 \Rightarrow (V1 - V2) < 0 \Rightarrow V_{out} = -V_{cc}$.

(Suponiendo que V2 es la tensión de referencia)

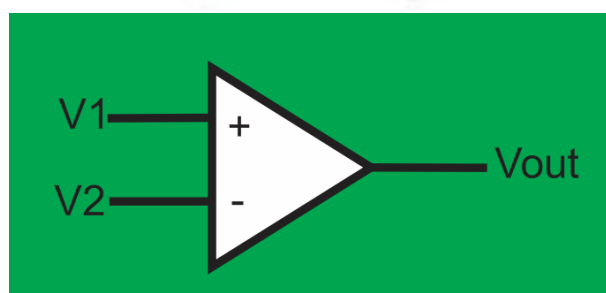


Figura 2. 19 Esquema de OPAMP

Fuente: Elaboración propia

2.4.2.2. Funcionamiento

Se alimenta el amplificador operacional con dos tensiones $+V_{cc} = 15V$ y $-V_{cc} = -15V$. Se conecta la entrada V_+ del amplificador a tierra para que sirva como voltaje de referencia, en este caso $0V$. A la entrada V_- del amplificador se conecta una fuente de tensión (V_i) variable en el tiempo, en este caso es una tensión sinusoidal.

La tensión de referencia no tiene necesariamente que estar en la entrada V_+ , también puede conectarse a la entrada V_- , en este caso, se conectaría la tensión que queremos comparar con respecto a la voltaje de referencia, a la entrada V_+ del amplificador operacional.

A la salida (V_o) del amplificador operacional puede haber únicamente dos niveles de voltaje que son en este caso $15V$ o $-15V$ (considerando el AO como ideal, si fuese real los voltajes de salida serían algo menores).

Cuando la tensión sinusoidal V_i toma valores positivos, el amplificador operacional se *satura a negativo*; esto significa que como la tensión es mayor en la entrada V_- que en la entrada V_+ , el amplificador entrega a su salida un voltaje negativo de $-15V$.

2.4.3. MOSFET

El transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor o MOSFET (en inglés *Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor*) es un transistor utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas. Es el transistor más utilizado en la industria microelectrónica, ya sea en circuitos analógicos o digitales, aunque el transistor de unión bipolar fue mucho más popular en otro tiempo. Prácticamente la totalidad de los microprocesadores comerciales están basados en transistores MOSFET.

El MOSFET es un dispositivo de cuatro terminales llamados surtidor (S), drenador (D), compuerta (G) y sustrato (B). Sin embargo, el sustrato generalmente está conectado internamente al terminal del surtidor, y por este motivo se pueden encontrar dispositivos MOSFET de tres terminales.

El término 'metal' en el nombre MOSFET es actualmente incorrecto ya que el material de la compuerta, que antes era metálico, ahora se construye con una capa de silicio policristalino. De manera similar, el 'óxido' utilizado como aislante en la compuerta también se ha reemplazado por otros materiales con el propósito de obtener canales fuertes con la aplicación de tensiones más pequeñas.

2.4.3.1. Simbología

El diseño básico consiste en una línea recta para dibujar el canal, con líneas que salen del canal en ángulo recto y luego hacia afuera del dibujo de forma paralela al canal, para dibujar el surtidor y el drenador. En algunos casos, se utiliza una línea segmentada en tres partes para el canal del MOSFET de enriquecimiento, y una línea sólida para el canal del MOSFET de empobrecimiento. Otra línea es dibujada en forma paralela al canal para destacar la compuerta.

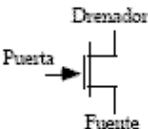
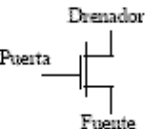
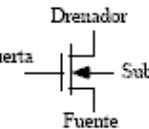
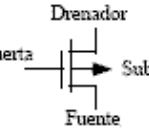
N M O S				
				

Figura 2. 20 Simbología de MOSFET
Fuente: www.unicrom.com

2.4.3.2. Funcionamiento

Existen dos tipos de transistores MOSFET, ambos basados en la estructura MOS.

Los MOSFET de *enriquecimiento* se basan en la creación de un canal entre el drenador y el surtidor, al aplicar una tensión en la compuerta. La tensión de la compuerta atrae portadores minoritarios hacia el canal, de manera que se forma una región de inversión, es decir, una región con dopado opuesto al que tenía el sustrato

originalmente. El término *enriquecimiento* hace referencia al incremento de la conductividad eléctrica debido a un aumento de la cantidad de portadores de carga en la región correspondiente al canal. El canal puede formarse con un incremento en la concentración de electrones (en un nMOSFET o NMOS), o huecos (en un pMOSFET o PMOS). De este modo un transistor NMOS se construye con un sustrato tipo p y tiene un canal de tipo n, mientras que un transistor PMOS se construye con un sustrato tipo n y tiene un canal de tipo p.

Los MOSFET de *empobrecimiento* tienen un canal conductor en su estado de reposo, que se debe hacer desaparecer mediante la aplicación de la tensión eléctrica en la compuerta, lo cual causa una disminución de la cantidad de portadores de carga y una disminución respectiva de la conductividad.

2.4.3.3. Modos de operación

El funcionamiento de un transistor MOSFET se puede dividir en tres diferentes regiones de operación, dependiendo de las tensiones en sus terminales. En la presente discusión se utiliza un modelo algebraico que es válido para las tecnologías básicas antiguas, y se incluye aquí con fines didácticos. En los MOSFET modernos se requieren modelos computacionales que exhiben un comportamiento mucho más complejo.

a) Corte

NMOS en modo de corte. La región blanca indica que no existen portadores libres en esta zona, debido a que los electrones son repelidos del canal.

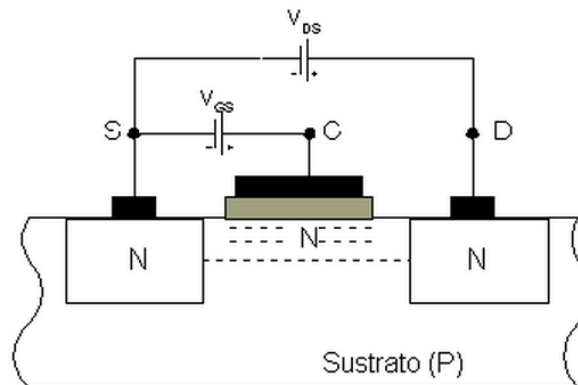


Figura 2. 21 NMOS en modo de corte.
Fuente: www.profesormolina.com.ar

Cuando $V_{GS} < V_{th}$, donde V_{th} es la tensión de umbral del transistor.

De acuerdo con el modelo básico del transistor, en esta región el dispositivo se encuentra apagado. No hay conducción entre el surtidor y el drenador, de modo que el MOSFET se comporta como un interruptor abierto.

Un modelo más exacto considera el efecto de la energía térmica descrita por la distribución de Boltzmann para las energías de los electrones, en donde se permite que los electrones con alta energía presentes en el surtidor ingresen al canal y fluyan hacia el drenador. Esto ocasiona una corriente subumbral, que es una función

exponencial de la tensión entre compuerta-surtidor. La corriente subumbral sigue aproximadamente la siguiente ecuación:

$$I_D = I_{D0} e^{\frac{V_{GS} - V_{th}}{n V_T}}$$

Donde I_{D0} es la corriente que existe cuando $V_{GS} = V_{th}$,

$V_T = kT/q$ es el voltaje térmico,

$$n = 1 + C_D/C_{OX}$$

Donde C_D es la capacidad de la región de agotamiento, y

C_{OX} es la capacidad de la capa de óxido.

b) Región lineal u óhmica

NMOS en la región lineal. Se forma un canal de tipo n al lograr la inversión del sustrato, y la corriente fluye de drenador a surtidor.

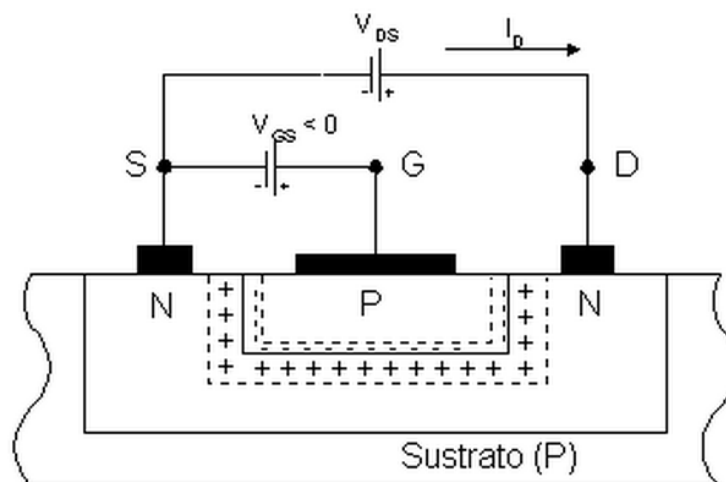


Figura 2. 22 NMOS en la región lineal.

Fuente: www.profesormolina.com.ar

Cuando $V_{GS} > V_{th}$ y $V_{DS} < (V_{GS} - V_{th})$

Al polarizarse la puerta con una tensión mayor que la tensión de umbral, se crea una región de agotamiento en la región que separa el surtidor y el drenador. Si esta tensión crece lo suficiente, aparecerán portadores minoritarios (huecos en PMOS, electrones en NMOS) en la región de agotamiento, que darán lugar a un canal de conducción. El transistor pasa entonces a estado de conducción, de modo que una diferencia de potencial entre drenador y surtidor dará lugar a una corriente. El transistor se comporta como una resistencia controlada por la tensión de compuerta.

La corriente que entra por el drenador y sale por el surtidor es modelada por medio de la ecuación:

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} ((V_{GS} - V_{th})V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2})$$

Donde μ_n es la movilidad efectiva de los portadores de carga,

C_{ox} es la capacidad del óxido por unidad de área,

W es el ancho de la compuerta,

L es la longitud de la compuerta.

c) Saturación o activa

NMOS en la región de saturación. Al aplicar una tensión de drenador más alta, los electrones son atraídos con más fuerza hacia el drenador y el canal se deforma.

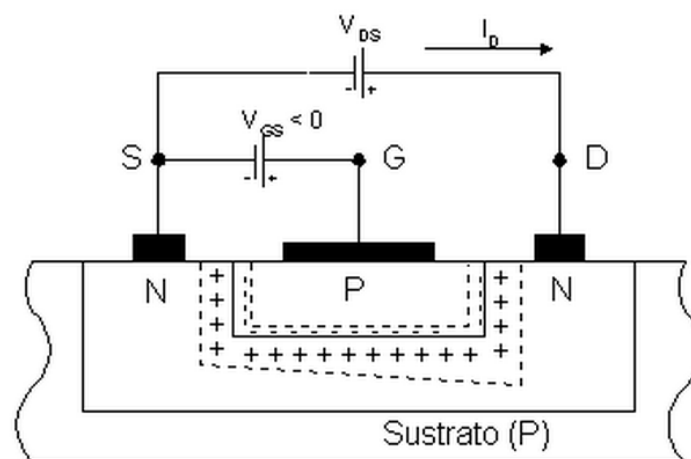


Figura 2. 23 NMOS en la región de saturación.
Fuente: www.profesormolinea.com.ar

Cuando $V_{GS} > V_{th}$ y $V_{DS} > (V_{GS} - V_{th})$

Cuando la tensión entre drenador y surtidor supera cierto límite, el canal de conducción bajo la puerta sufre un estrangulamiento en las cercanías del drenador y desaparece. La corriente que entra por el drenador y sale por el surtidor no se interrumpe, ya que es debida al campo eléctrico entre ambos, pero se hace independiente de la diferencia de potencial entre ambos terminales.

En esta región la corriente de drenador se modela con la siguiente ecuación:

$$I_D = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda(V_{DS} - V_{DSsat}))$$

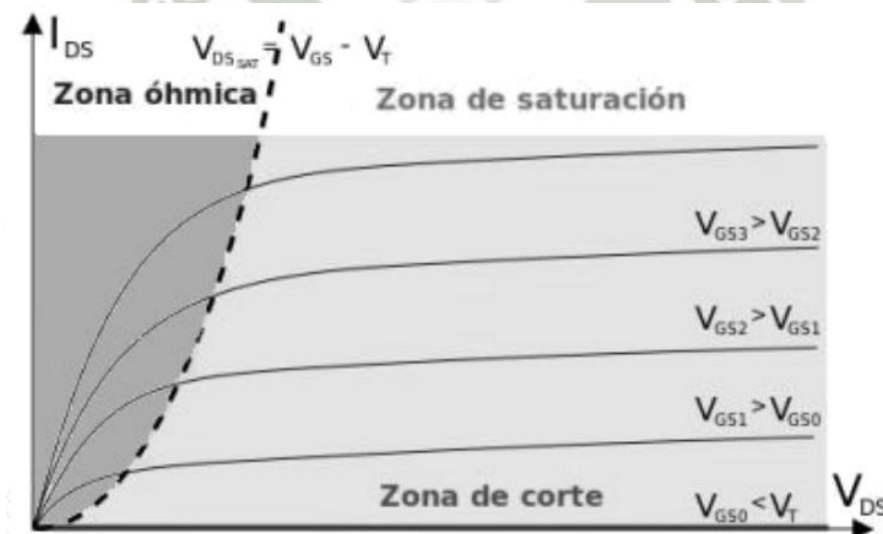


Figura 2. 24 Voltaje de drenado
Fuente: Transistor MOSFET de V. Garcia.

Corriente de drenaje vs voltaje de drenaje a fuente para varios valores de $V_{GS} - V_{th}$; el límite entre los modos lineal (óhmico) y

saturación (activo) está indicado por la parábola que curva hacia arriba.

2.4.3.4. Ventajas con respecto a transistores bipolares

La principal aplicación de los MOSFET está en los circuitos integrados PMOS, NMOS y CMOS, debido a las siguientes ventajas de los transistores de efecto de campo con respecto a los transistores bipolares:

- Consumo en modo estático muy bajo.
- Tamaño muy inferior al transistor bipolar (actualmente del orden de media micra).
- Gran capacidad de integración debido a su reducido tamaño.
- Funcionamiento por tensión, son controlados por voltaje por lo que tienen una impedancia de entrada muy alta. La intensidad que circula por la puerta es del orden de los nanoamperios.
- Los circuitos digitales realizados con MOSFET no necesitan resistencias, con el ahorro de superficie que conlleva.
- La velocidad de conmutación es muy alta, siendo del orden de los nanosegundos.
- Cada vez se encuentran más en aplicaciones en los convertidores de alta frecuencia y baja potencia.

CAPITULO III: MARCO PROCEDIMENTAL

3.1.DISEÑO DEL MECANISMO DEL DEDO

Antes de modelar el dedo como un volumen, se requiere un diseño efectivo para poder articular. Así que primero se simplifica el dedo a un concepto vectorial extremadamente elemental de desarrollar: tres líneas rectas consecutivas.

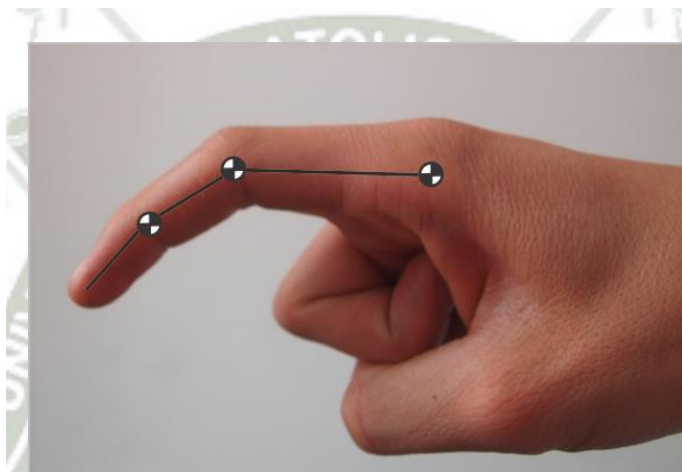


Figura 3. 1 Vectores en el dedo

Fuente: Elaboración propia

Basándose en varios videos de pruebas del robot, se advierte que con un solo motor puede mover todas las falanges, localizado en donde vendría a ser el metacarpo, además se puede encontrar dos formas de lograrlo.

El primero es mediante el uso de un hilo metálico que pasa a través de poleas internas de los dedos, dando la opción de que el dedo pueda acomodarse hasta cierto punto alrededor del objeto. El otro es mediante eslabonamientos dispuestos como actuadores de tal manera que puedan mover las falanges. Debido a que la primera opción podría elevar el precio

del prototipo y por ende, del producto, por el uso de componentes especiales como poleas que puedan resistir la fuerza cortante del cable metálico y el mismo cable metálico; se optó la segunda opción por ser más práctica por la facilidad de no necesitar tantas piezas en el mercado, sino ser uno mismo el que las diseña, además de mantener una uniformidad en la composición de los componentes y por lo tanto mantener un precio asequible.

El primer diseño tenía un simple objetivo: Poder mover las falanges media y distal con actuadores sin concentrarse en cerrar completamente el dedo, tampoco se prestó atención al motor, eso se dejaría para el último.

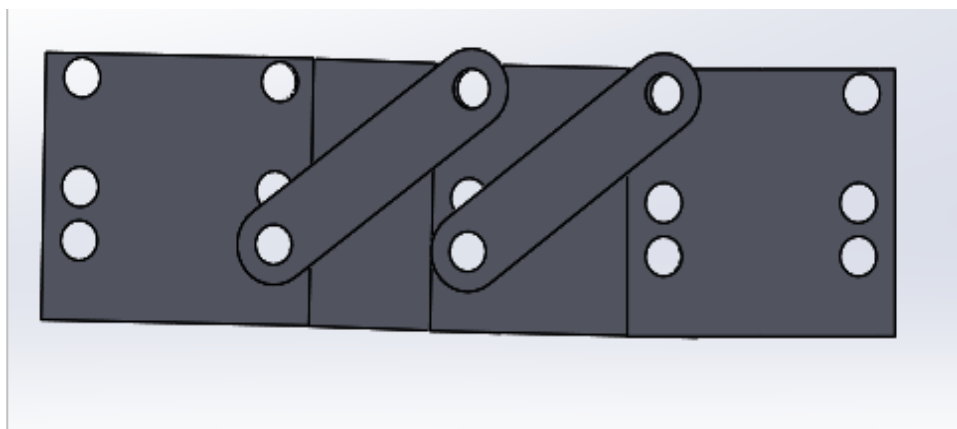


Figura 3. 2 Placas articuladas extendidas
Fuente: Elaboración propia

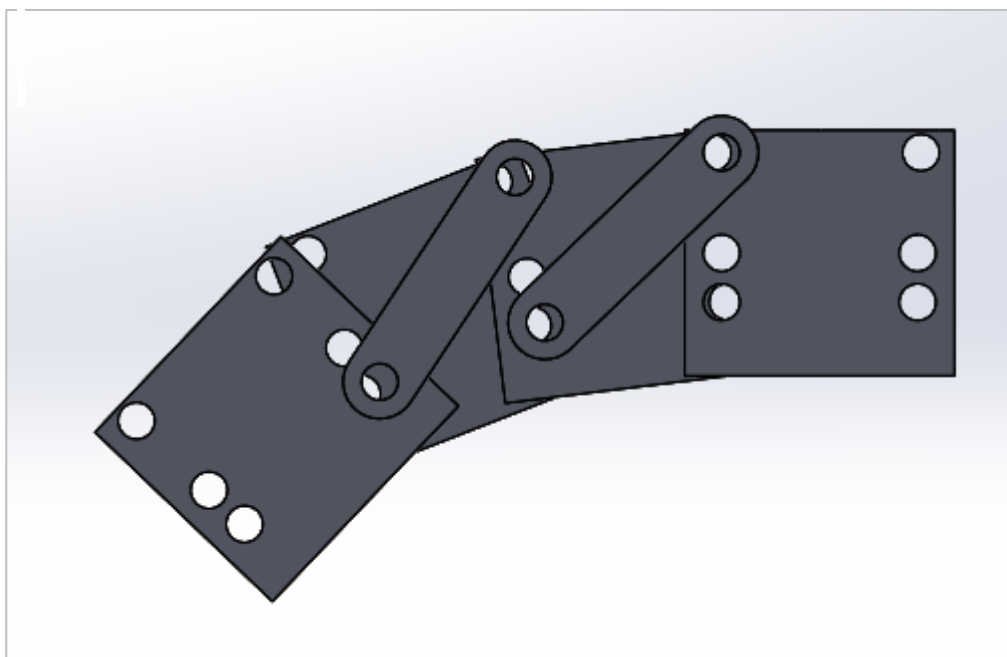


Figura 3. 3 Placas articuladas flexionando
Fuente: Elaboración propia

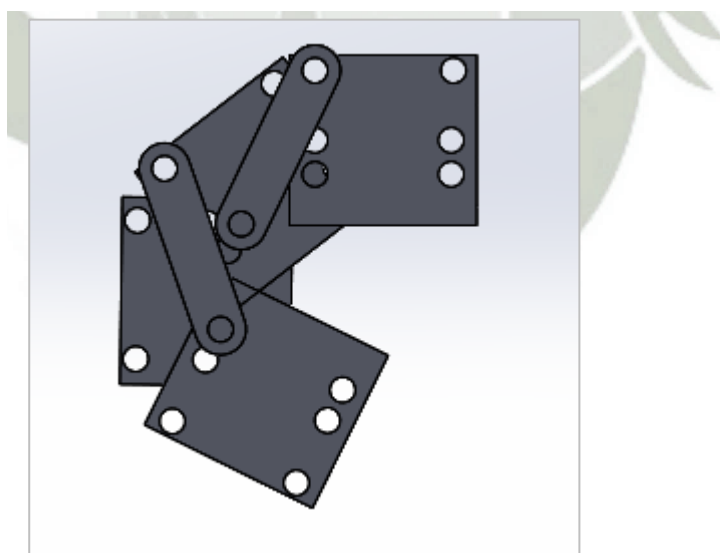


Figura 3. 4 Placas articuladas flexionadas
Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta de la ley de Grashof, se mejoró el eslabonamiento de 4 eslabones, pero debido a que su función es articular los dedos protésicos rotando el eslabón s , sin necesidad de dar una vuelta completa se cambia la configuración de estos cruzando los eslabones l y q .

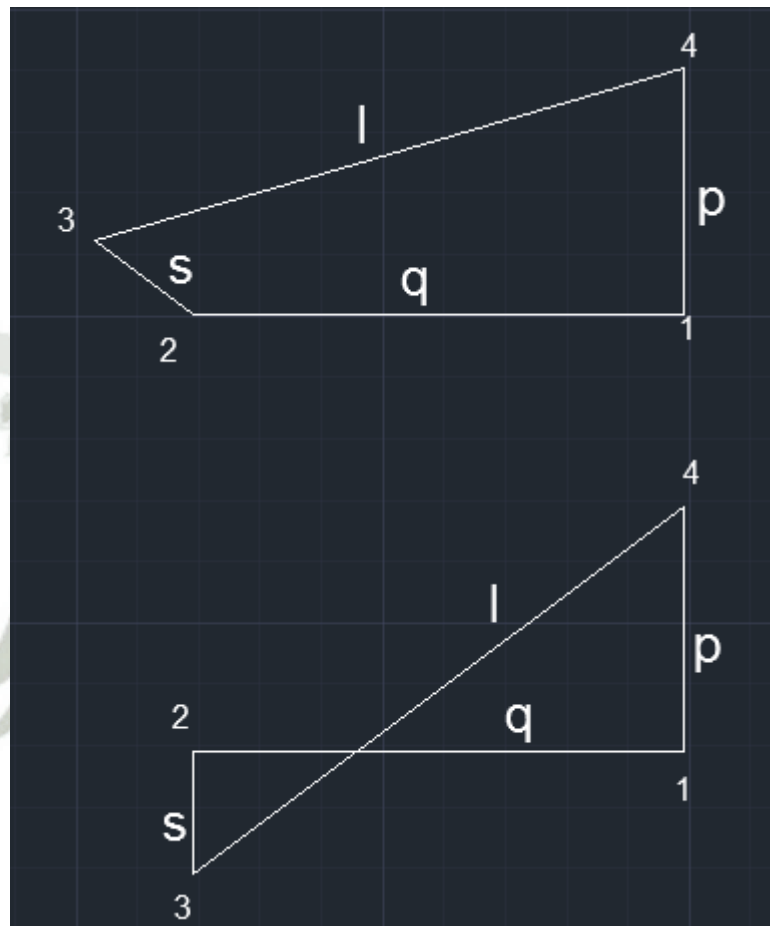


Figura 3. 5 Esquema de Grashof y sistema de articulación de 4 eslabones diseñado para el dedo
Fuente: Elaboración propia

Se mantiene la ecuación:

$$.s+l=p+q$$

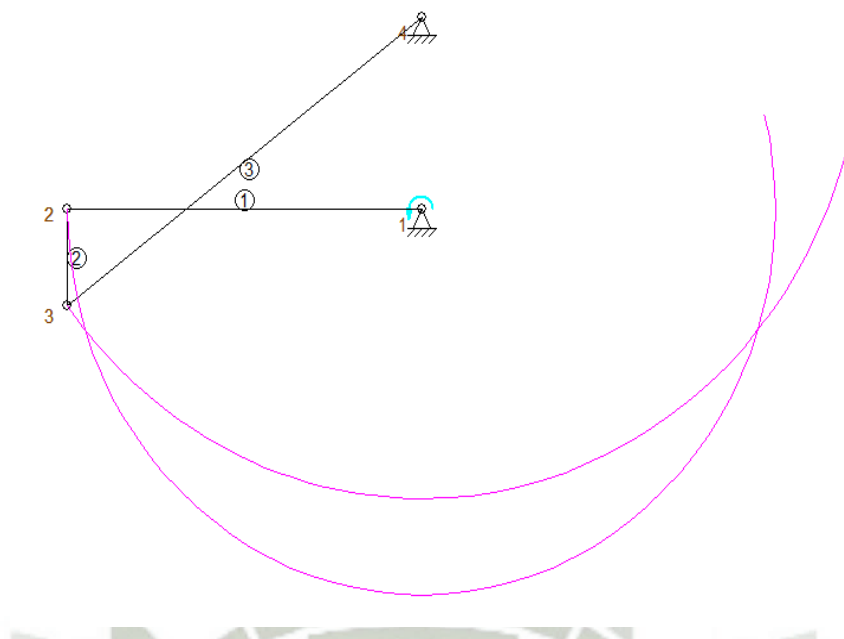


Figura 3. 6 Trayectoria del sistema de 4 eslabones
Fuente: Elaboración propia

Al rotar la bases, en el punto 1 y en el punto 4, el actuador / tirara del punto 3 debido a que el radio de rotation esta mas elevado; por esta razon, se le considerara como actuador.

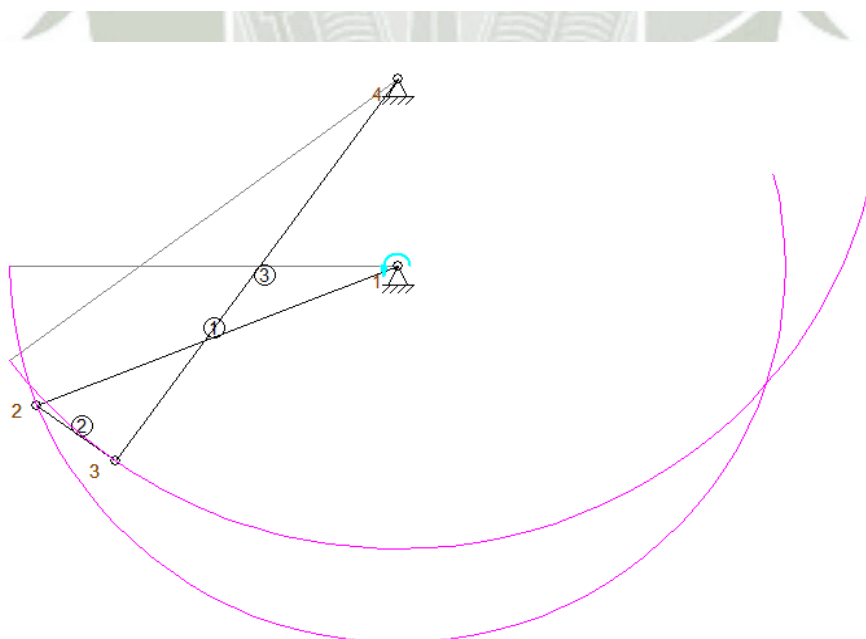


Figura 3. 7 Sistema de 4 eslabones en medio de la trayectoria
Fuente: Elaboración propia

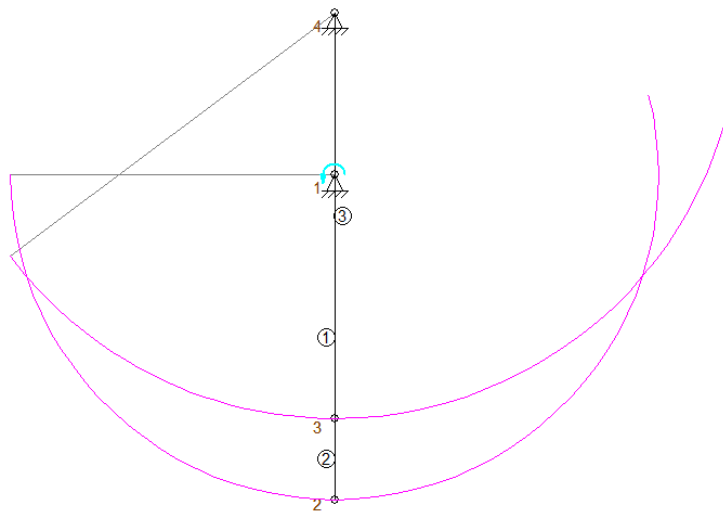


Figura 3. 8 Sistema de 4 eslabones al final de la trayectoria
Fuente: Elaboración propia

Cuando llega a su punto final de rotación, se aprecia la importancia de la ecuación $s+l=p+q$, ya se solo así pueden llegar a superponerse formando una línea recta, girando el eslabón s en 180° . Este principio se aplica a las falanges media y proximal haciendo que con solo rotar un punto en la base del sistema, todo gire conjuntamente.

Posteriormente viene el diseño en planchas de acrílico para verificar la funcionalidad.

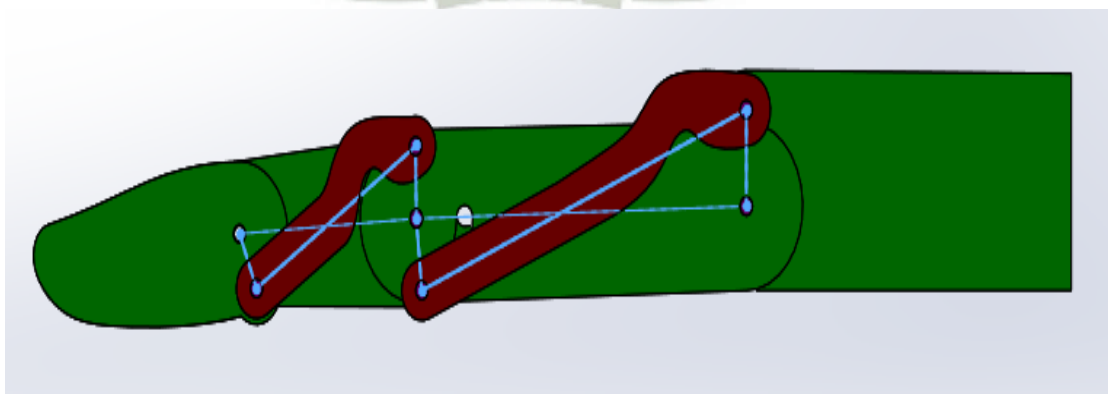


Figura 3. 9 Disposición del sistema eslabonamiento de 4 eslabones
Fuente: Elaboración propia



Figura 3. 10 Dedo de acrílico armado basado en el sistema de eslabonamiento de 4 eslabones
Fuente: Elaboración propia

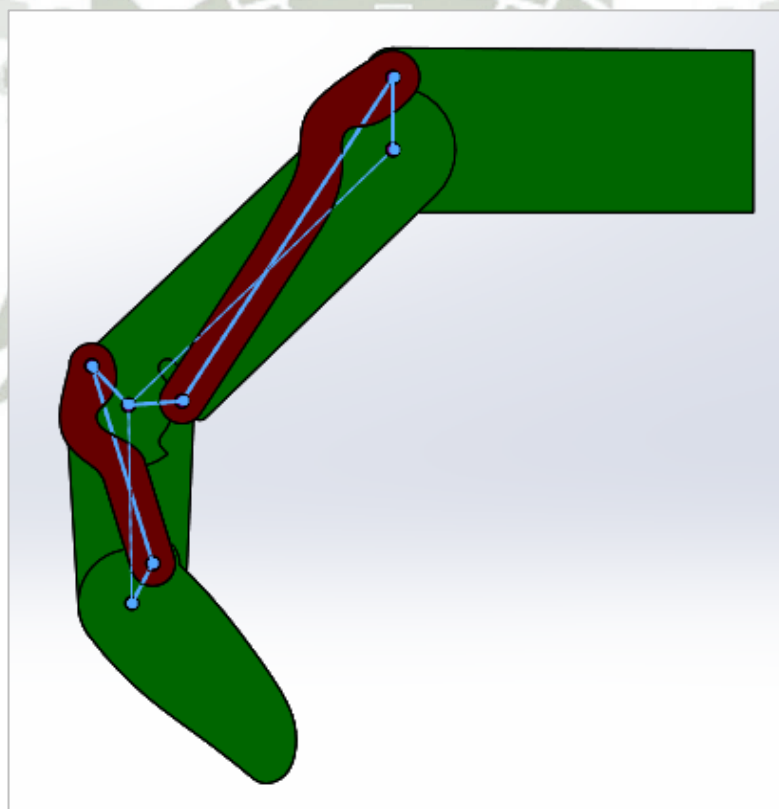


Figura 3. 11 Disposición del sistema de 4 eslabones en medio de la trayectoria
Fuente: Elaboración propia



Figura 3. 12 Dedo de acrilico basado en el sistema de 4 eslabones en medio de la trayectoria
Fuente: Elaboración propia

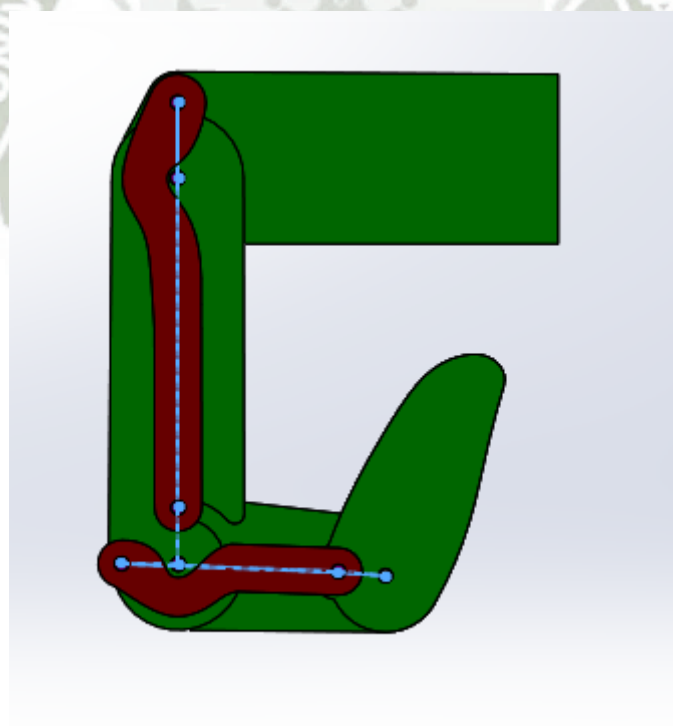


Figura 3. 13 Disposicion del sistema de 4 eslabones al final de la trayectoria
Fuente: Elaboración propia

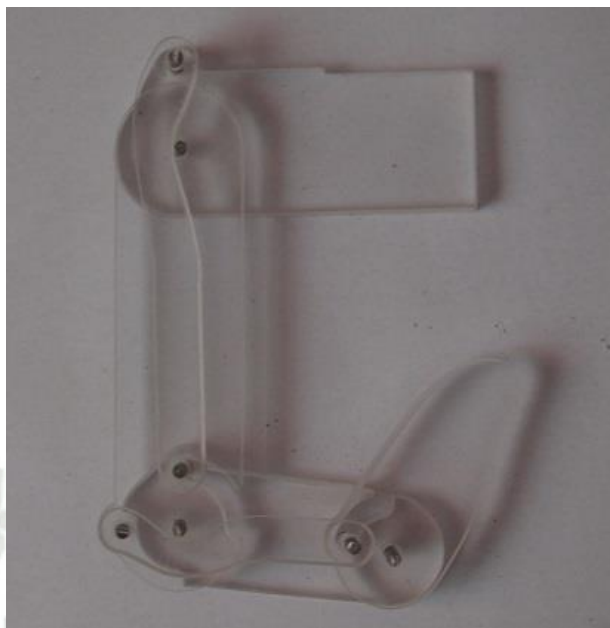


Figura 3. 14 Dedo de acrílico basado en el sistema de 4 eslabones al final de la trayectoria

Fuente: Elaboración propia

Las piezas fueron cortadas a laser en planchas de 4mm de espesor y se usaron de ejes el alma de electrodos para soldadura INOX AW de 1.5 mm de diametro.

Lo siguiente fue modelar las falanjes en un CAD para su posterior impresión. Las medidas fueron basadas en la mano del autor de esta tesis siguiendo los mismos diseños de eslabonamiento.

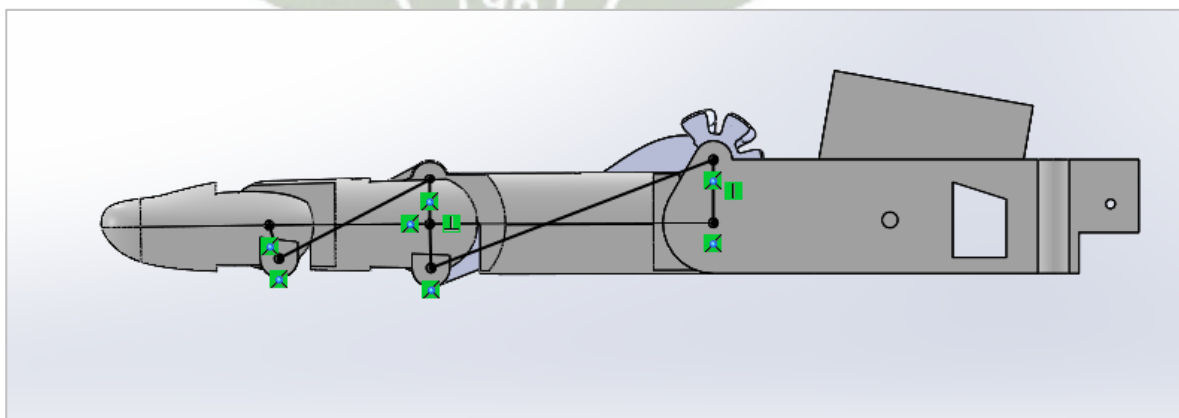


Figura 3. 15 Disposición del sistema eslabonamiento de 4 eslabones en el prototipo de dedo

Fuente: Elaboración propia

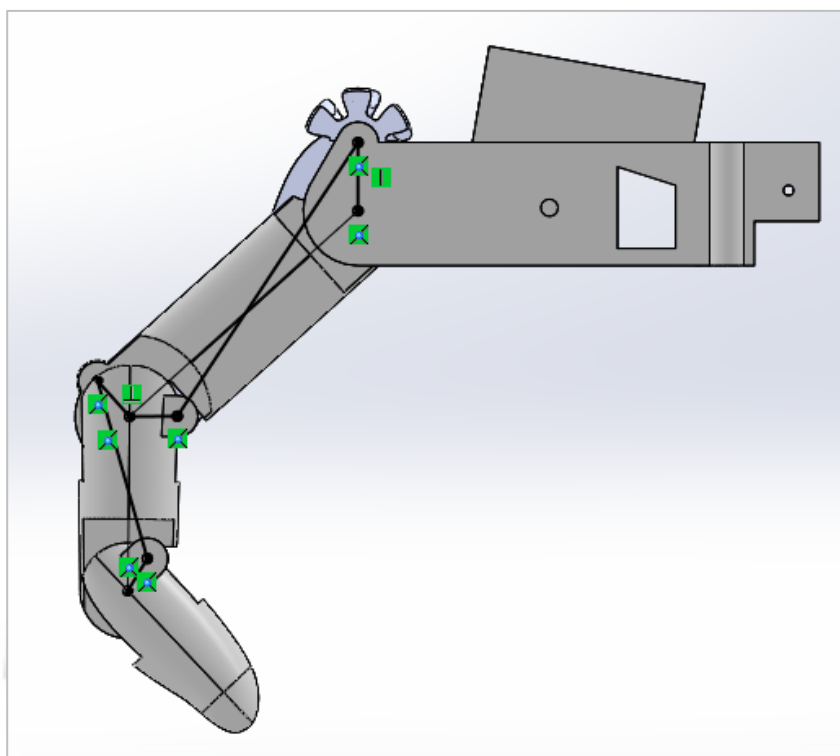


Figura 3. 16 Prototipo del dedo basado en el sistema de 4 eslabones en medio de la trayectoria
Fuente: Elaboración propia

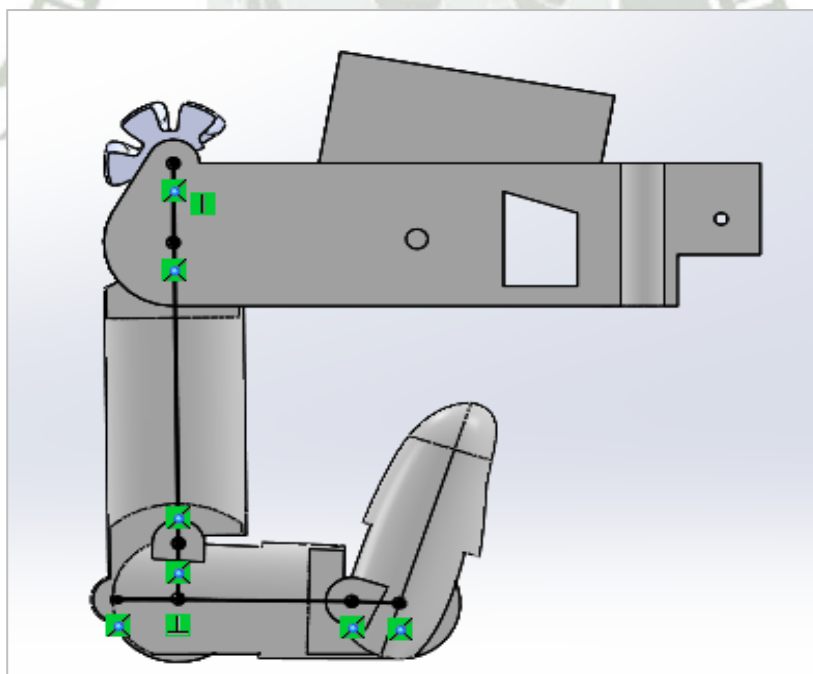


Figura 3. 17 Prototipo del dedo basado en el sistema de 4 eslabones al final de la trayectoria
Fuente: Elaboración propia

3.2. MODELAMIENTO

El diseño de las piezas de acrílico se inició con la medición de toda la mano, largos y altos, tomando eso como referencia, el modelo de los detalles fue más libre. El dedo por excelencia para hacer todo los prototipos fue el medio, por ser el más largo.

Este modelo tenía el problema que por el hecho de ser plano, las piezas tenían un poco de juego, y era necesario articularlas evitando pandearlas, sobre una superficie de preferencia.

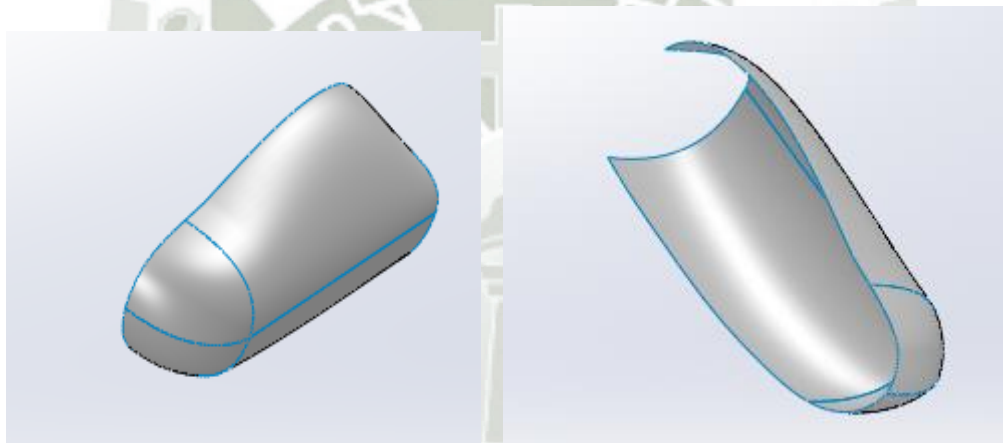


Figura 3. 18 Superficies previas al diseño de la falange distal del dedo medio
Fuente: Elaboración propia

Cada pieza fue hecha con superficies que luego fueron “cosidas” para volverlas volúmenes.

3.2.1. Motor, tornillo de gusano y engrane

El motor encargado de mover el dedo está localizado en la falange metacarpiana, debe transferir el torque al actuador más cercano, este vendría a ser el actuador proximal, teniendo en cuenta que el

eje de rotación del elemento mecánico y el eje del motor no están coincidiendo, se procedió a incluir un sistema de engranaje de tornillo de gusano.

Pitch Data Diametral pitches 13.2994 Diametral Pitch Standards Coarse Pitch Involute 20 deg Diametral pitch: 13.2994 Modular pitch: 1.90986	Worm Threads 1 Worm gear lead 6.00000mm Direction Right Hand	Gear Data Number of teeth: 6 Pressure angle: 20.0000deg Gear pitch dia.: 11.4592mm Gear O.D.: 15.8911mm Gear face width: 6.0000mm ? Addendum: 1.9099mm Dedendum: 2.3873mm Center distance: 9.7296mm Fillet radius: 0.5730mm
Create Worm w/Gear Worm only Gear only	Tooth Pattern ☒ Create Tooth Pattern Teeth to draw: 6 ☐ Create Assembly	Worm Data Worm pitch dia.: 8.0000mm Worm length: 16.0000mm Worm O.D.: 11.8197mm Worm lead angle: 13.4270deg ? Worm lead: 6.00000mm

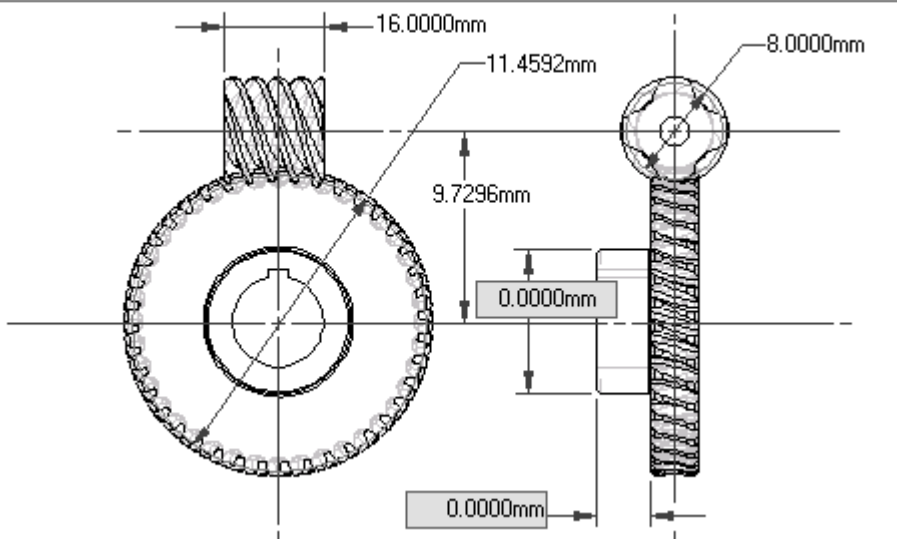


Tabla 3. 1:Medidas del tornillo infinito

Fuente: Elaboración propia

Para esbozar el engranaje, se tomaron en cuenta los siguientes puntos:

- No se consideraron estándares de tornillos existentes, ya que estos condicionarían el modelado.

- La distancia entre el eje del actuador y el eje del motor debe ser la mínima
- El número de dientes del engrane no debe ser muy reducido, la relación de transmisión sería muy baja y fracturaría sus dientes.
- El prototipo de tornillo de gusano final será fundido en bronce a partir de una matriz de cera hecho por sinterizado selectivo por láser (SLM).

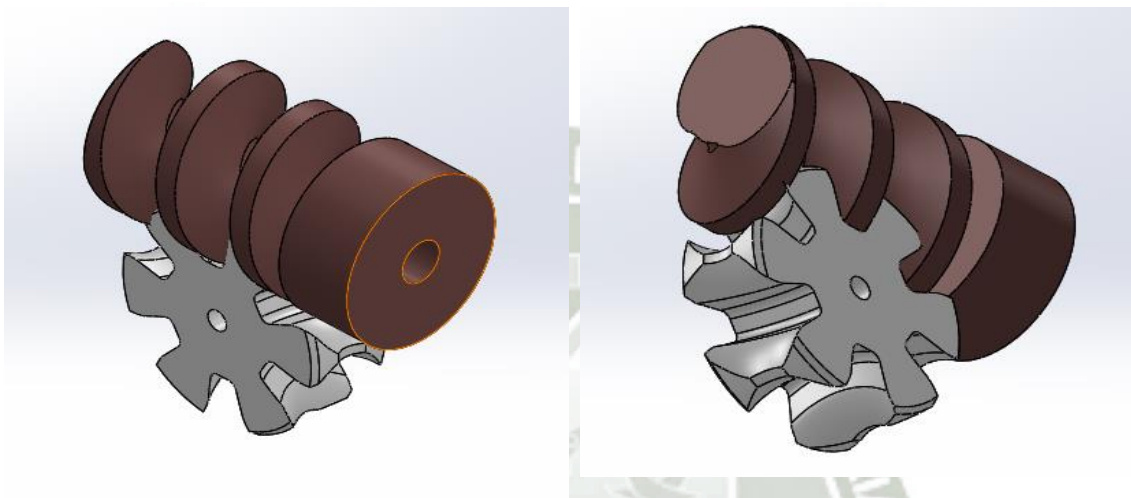


Figura 3. 19 Diseño de tornillo infinito y engrane.
Fuente: Elaboración propia

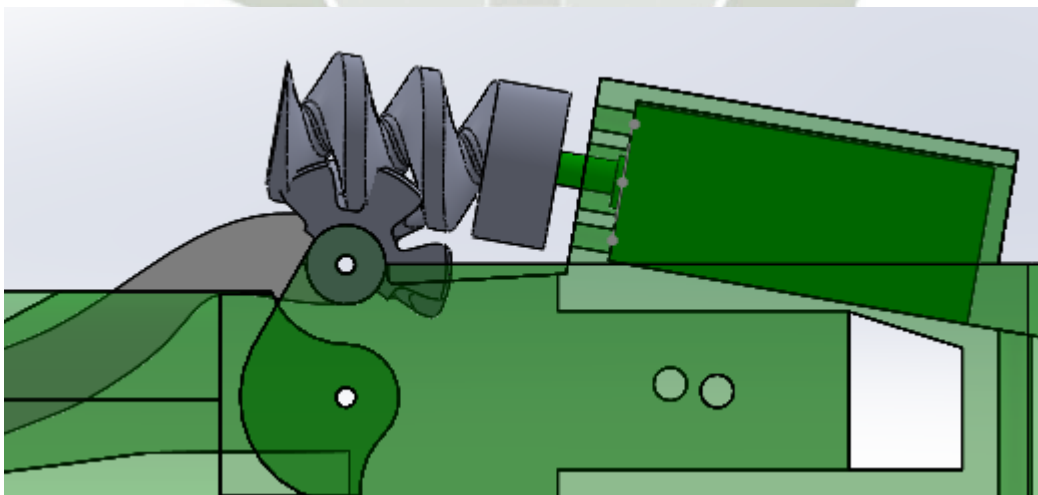


Figura 3. 20 Diseño de tonillo infinito montado en el motor pololu con el engrane fusionado al actuador proximal del dedo medio.
Fuente: Elaboración propia

El engrane se funciona con el actuador y el tornillo de gusano ira alojado en el eje del motor.



www.pololu.com

Figura 3. 21 Motor pololu
Fuente: www.pololu.com

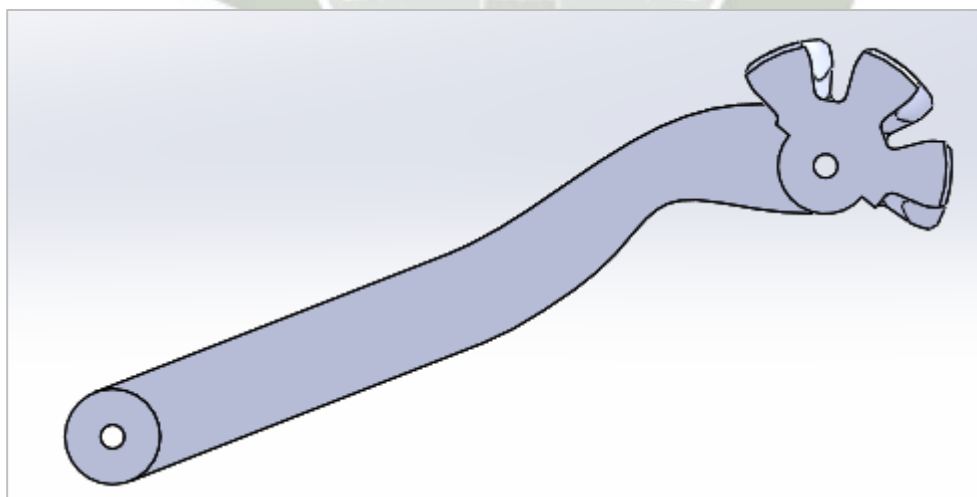


Figura 3. 22 Engrane fusionado al actuador proximal de la falange distal del dedo medio
Fuente: Elaboración propia



Figura 3. 23 Impresión 3D del engrane fusionado al actuador proximal de la falange distal del dedo medio

Fuente: Elaboración propia

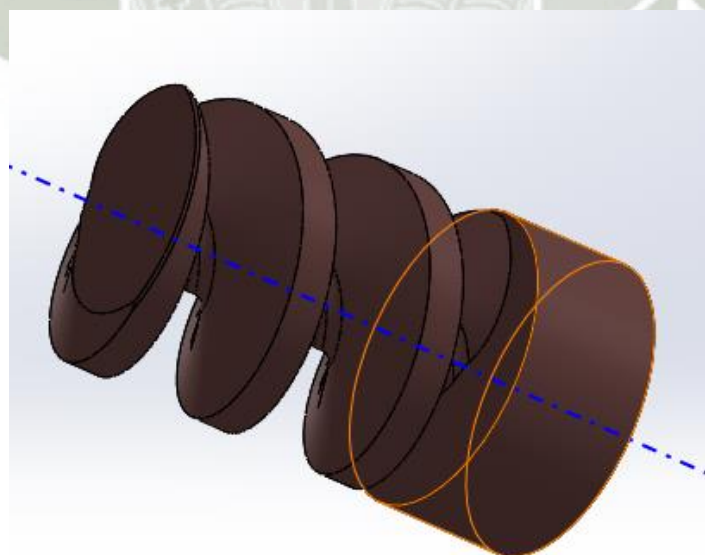


Figura 3. 24 Diseño del tornillo infinito

Fuente: Elaboración propia



Figura 3. 25 Impresión del tornillo infinito
Fuente: Elaboración propia

El pulgar tiene un diseño especial, ya que, por ser el dedo más importante de la mano, necesita un grado más de libertad. Este tendrá un movimiento radial en una unión con la palma de la mano.

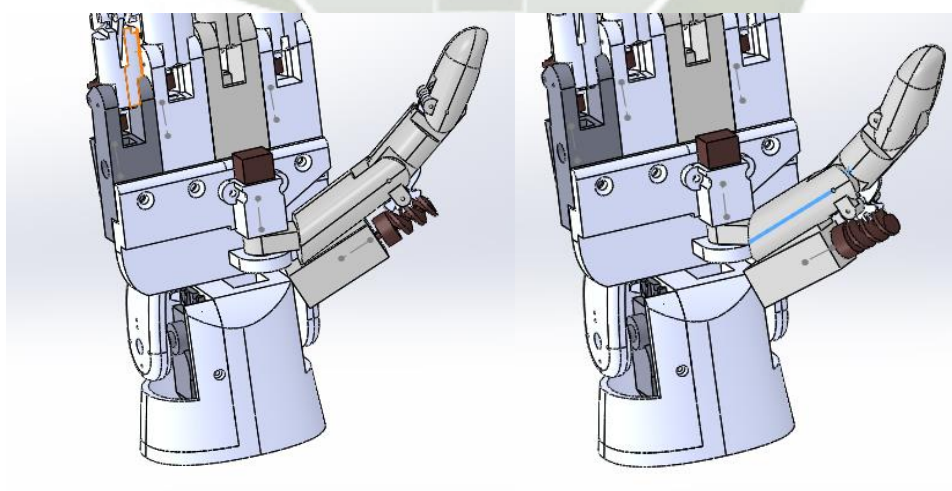


Figura 3. 26 Unión del dedo pulgar con la palma iniciando la trayectoria
Fuente: Elaboración propia

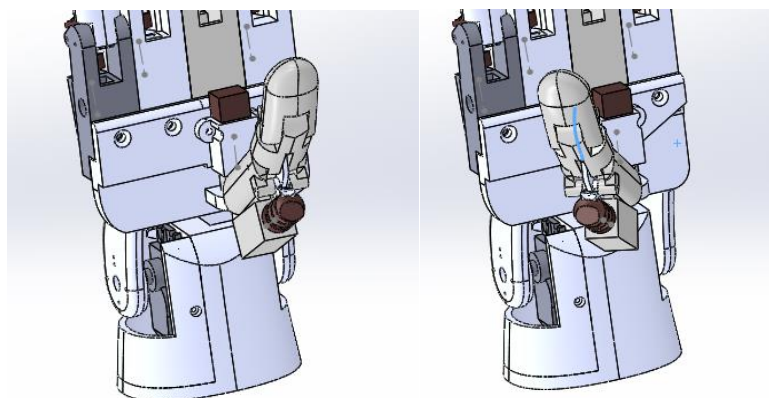


Figura 3. 27 Unión del dedo pulgar con la palma terminando la trayectoria
Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Diseño de la muñeca

La muñeca tuvo varias iteraciones, debido a que esta parte del brazo tiene que soportar el peso de la mano, además de lo que este sujetando. Las primeras pruebas fueron hechas con los mismos motores de los dedos.

3.2.2.1. Muñeca con engranaje cónico

Para transmitir el torque del motor a la muñeca se usaron engranes cónicos, el de menor tamaño ubicado en el eje del motor y el mayor en la cruceta. El problema de este diseño radica en que los dientes tenía que ser pequeños para que los discos fueran delgados, y que ocuparan demasiado espacio, pero estos empezaban a robar al aumentar la carga, la única manera de solucionarlo era con dientes más grandes, pero tendría que aumentar el tamaño de las dos “U” que se unen a la cruceta.

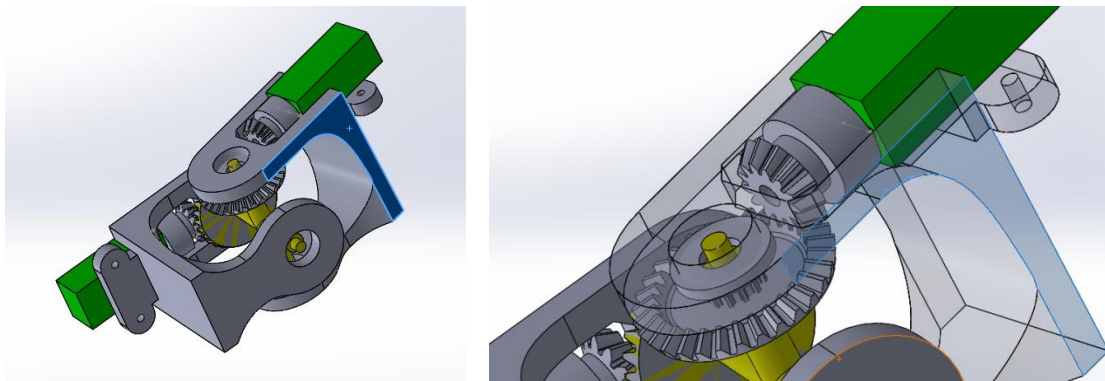


Figura 3. 28 Diseño del ensamblaje de la muñeca con engranajes conicos
Fuente: Elaboración propia

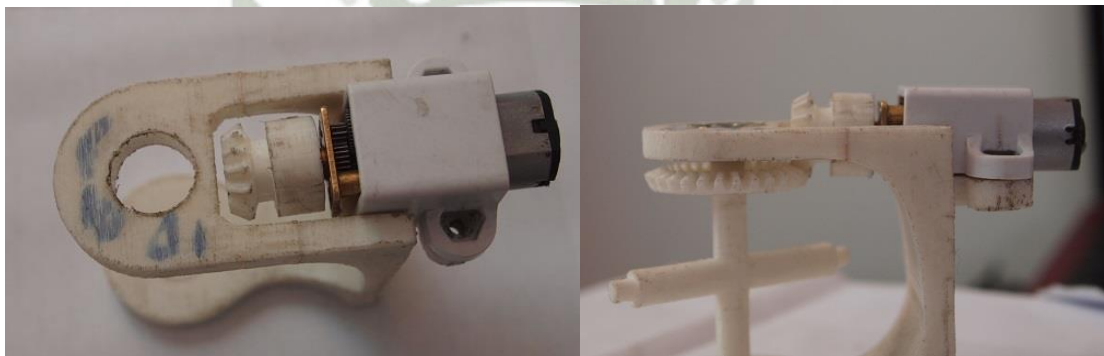


Figura 3. 29 Ensamblaje de la muñeca con engranajes cónicos
Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2. Muñeca con fajas síncronas

La siguiente opción fue utilizar fajas síncronas MXL, por tener dientes cuadrados y mejor agarre para piezas pequeñas, además de ser el más recomendado para el diseño de robots móviles con motores paso a paso. Este sistema tuvo dos problemas, debido a que la ubicación de una de las poleas era dentro de la cruceta, esta debía más delgada que el mínimo en fajas mxl (las fajas síncronas MXL se fabrican con un grosor mínimo de 9mm, mientras que el canal de una polea es 4.5mm), y eso no ayuda a tener mejor agarre

con la faja, haciendo que esta resbalara, y la forma de solucionarlo aplicando más tensión, y ahí es donde aparece el segundo problema, el motor recibe directamente la carga, a diferencia de dedos, que lo recibe el eje como una fuerza radial, y debido a la potencia del motor, la caja de transmisión interna queda destruida completamente.

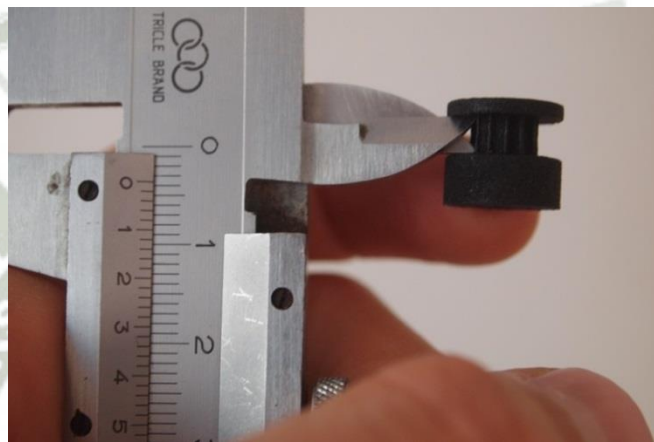


Figura 3. 30 Polea para la faja síncrona
Fuente: Elaboración propia

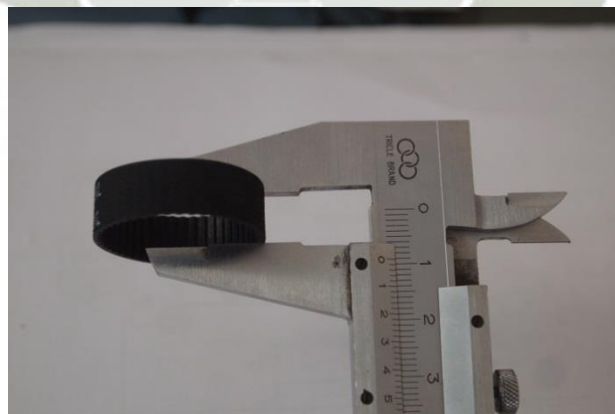


Figura 3. 31 Faja síncrona
Fuente: Elaboración propia

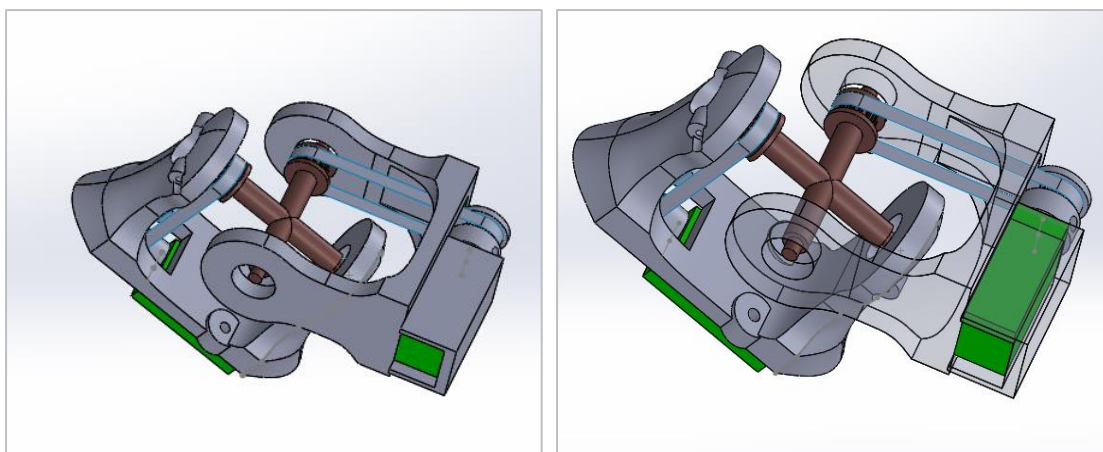


Figura 3. 32 Diseño del ensamblaje de la muñeca con fajas síncronas
Fuente: Elaboración propia



Figura 3. 33 Impresión del ensamblaje de la muñeca con fajas síncronas
Fuente: Elaboración propia



Figura 3. 34 acercamiento de los lugares de sujeción de la faja síncrona.
Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3. Muñeca con servomotor

Los servomotores de aeromodelismo de radiocontrol son muy utilizados en robots SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm o Selective Compliant Articulated Robot Arm) didácticos, en las articulaciones cilíndricas orientadas verticalmente. Lastimosamente cuando carga más de 400 gramos empiezas a vibrar demasiado, al punto de descalibrar algunas piezas entornilladas. Cuando el eje de la articulación cilíndrica está orientada horizontalmente, el peso de la mano sobrepasa el torque de la mano, impidiendo que gire



Figura 3. 35 Servomotor
Fuente: www.servodatabase.com

3.3. PRENSIÓN DE LA MANO

a) Prensión por oposición terminal

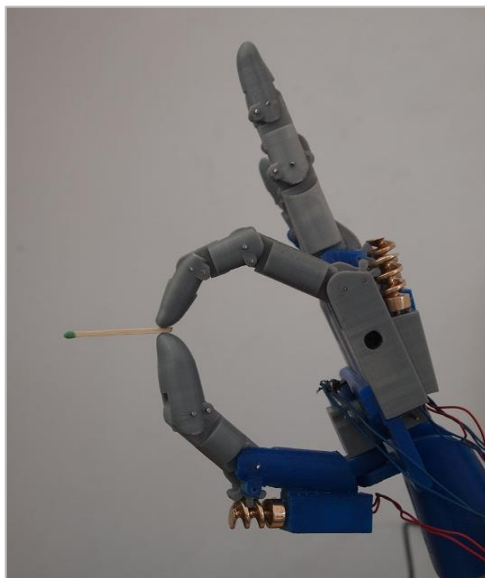


Figure 3. 36 Prótesis con prensión por oposición terminal
Fuente: Elaboración propia

b) Prensión por oposición subterminolateral



Figure 3. 37 Prótesis con prensión por oposición subterminolateral
Fuente: Elaboración propia

c) Prensión palmar «a manos llenas».

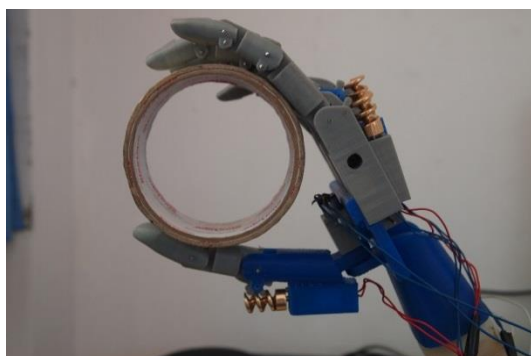


Figure 3. 38 Prótesis con prensión palmar «a manos llenas».
Fuente: Elaboración propia

d) Prensión por oposición digito palmar.

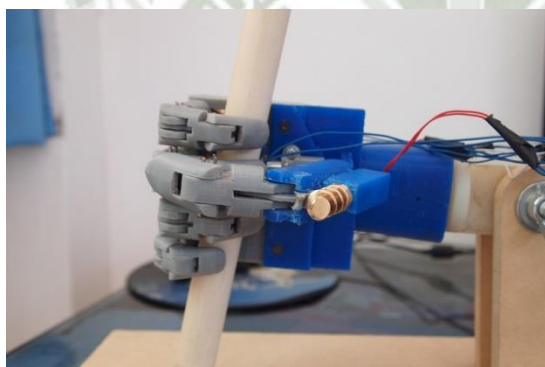


Figure 3. 39 Prótesis con Prensión por oposición digito palmar
Fuente: Elaboración propia

3.4. SIMULACIONES

3.4.1. Reporte del dedo medio extendido con carga en la gema de la falange distal.

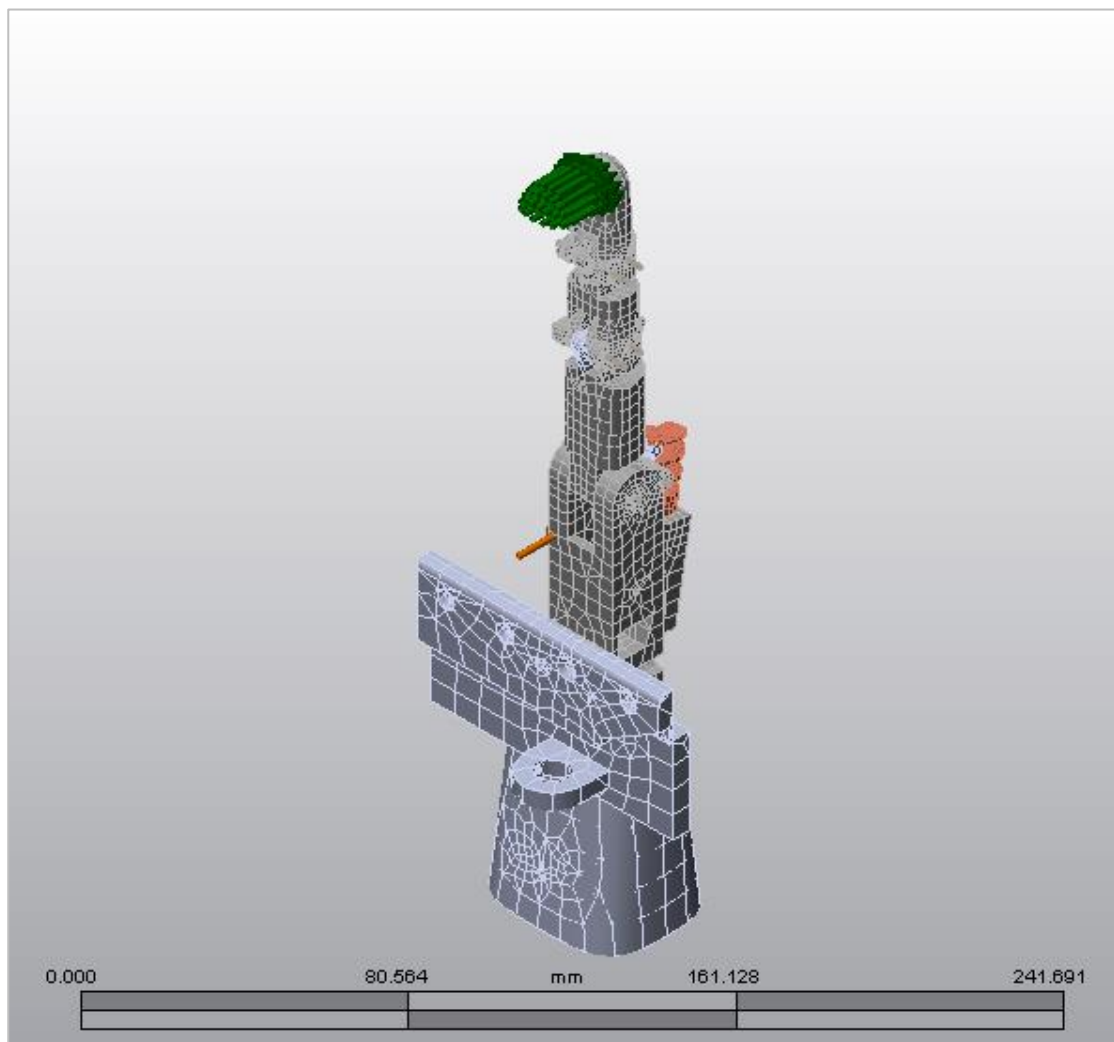


Figura 3. 40 dedo medio extendido con carga en la gema de la falange distal
Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1. Análisis de diseño

- Tipo de análisis: Estático de esfuerzo con modelos lineales de materiales.
- Unidades: (N, mm, s, °C, K, V, ohm, A, J).

3.4.1.2. Información de los parámetros del análisis

a) Multiplicadores de caso de carga

El estrés estático con modelos lineales de material puede tener múltiples casos de carga. Esto permite un modelo a analizar con varias cargas, mientras se resuelve las ecuaciones de una sola vez. La siguiente es una lista de los multiplicadores de casos de carga que fueron analizadas con este modelo.

Caso de carga	Descripción	Presión/ fuerzas superficiales	Gravedad/ aceleración	Velocidad angular (omega)	Aceleración angular	Desplazamiento	Térmico	Eléctric o
1	Caso de carga	1	1	0	0	1	0	0

Tabla 3. 41 Multiplicadores de carga
Fuente: Elaboración propia

b) Información de gravedad.

A continuación se enumeran los valores utilizados si la gravedad se incluyó en el análisis. La dirección del multiplicador de la gravedad se multiplica por la aceleración debida a la fuerza del cuerpo, que se multiplica por la aceleración de caso de carga multiplicador.

c) Aceleración debido a la fuerza del cuerpo: 9814.56 mm/s²

Aceleración en el multiplicador X	Aceleración en el multiplicador Y	Aceleración en el multiplicador z
0	1	0

Tabla 3. 42 Aceleración
Fuente: Elaboración propia

d) Cargas

Fuerza superficial

Pieza	Magnitud (N)	Vx	Vy	Vz
Medio distal	3	1	0	0

Tabla 3. 2 Cargas
Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3. Informe.

Se eligió esta posición extendida por ser proclive a un mayor número de impactos por tener más área que cuando esta contraído. Se empotro el ensamblaje en la muñeca y la carga se puso en el extremo del dedo, que multiplicado por la distancia hasta la unión entre la falange proximal y metacarpiana, lo vuelve altamente crítico.

El elemento con el menor factor de seguridad es el actuador proximal, su área transversal no es mayor, debido a que necesita estar dentro la

falange proximal, este va ser el segundo elemento en fracturarse. La carga multiplicada por esa gran distancia hace que el torque es muy alto, además que el tornillo de gusano hecho de bronce pulido le imposibilita rotar.

3.4.1.4. Imágenes de la representación de los resultados

Deformación

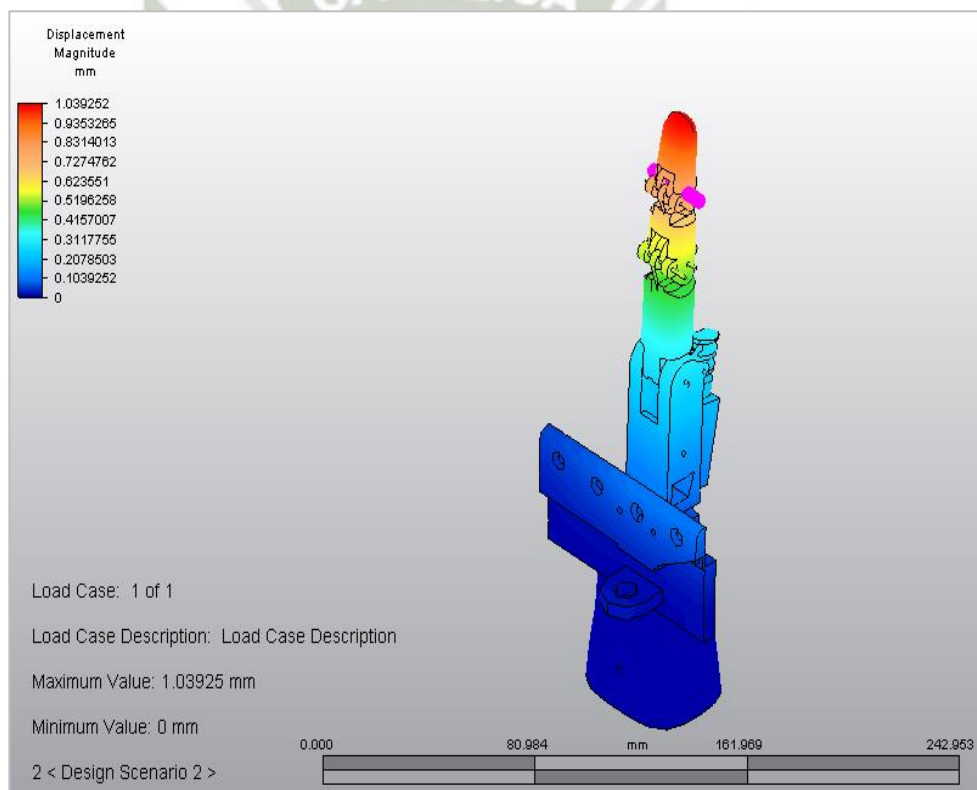


Figura 3. 43 Deformación del dedo medio extendido con carga en la gema de la falange dista

Fuente: Elaboración propia

Esfuerzos

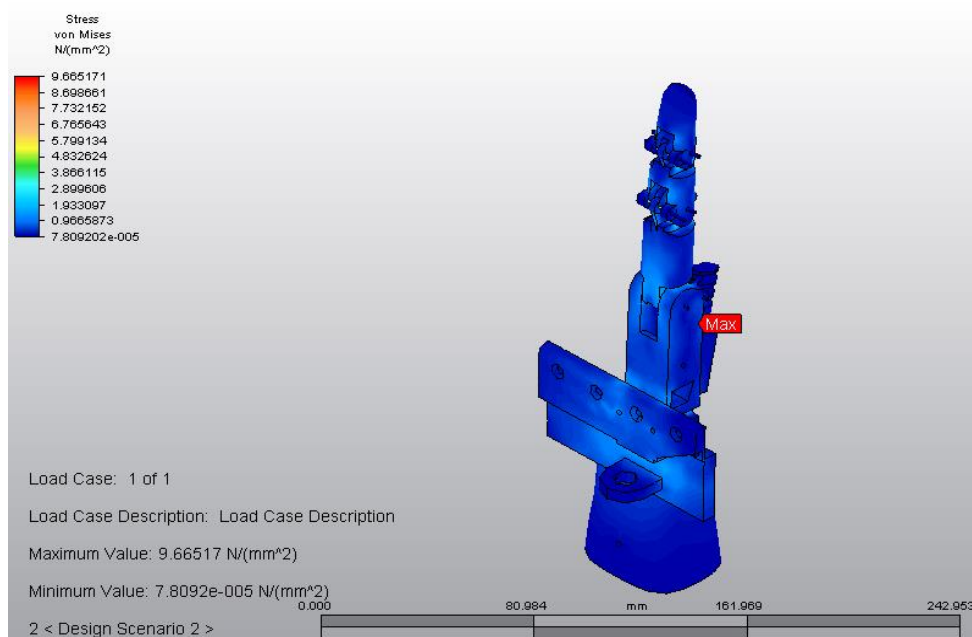


Figura 3. 44 Esfuerzos del dedo medio extendido con carga en la gema de la falange dista

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

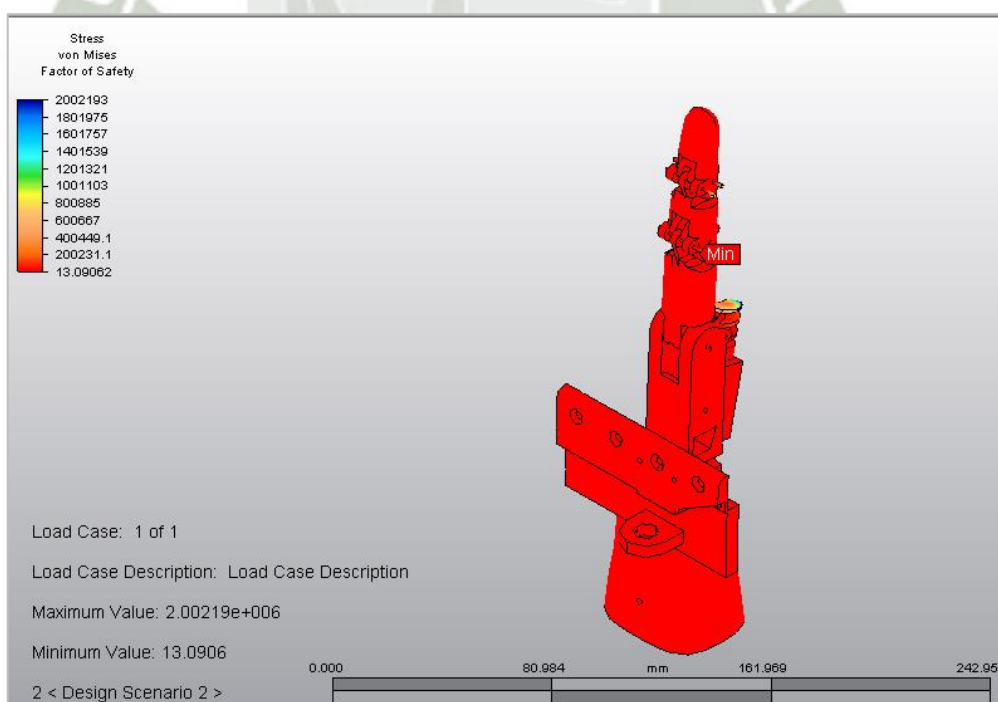


Figura 3. 45 Factor de seguridad del dedo medio extendido con carga en la gema de la falange dista

Fuente: Elaboración propia

Palma

Esfuerzos

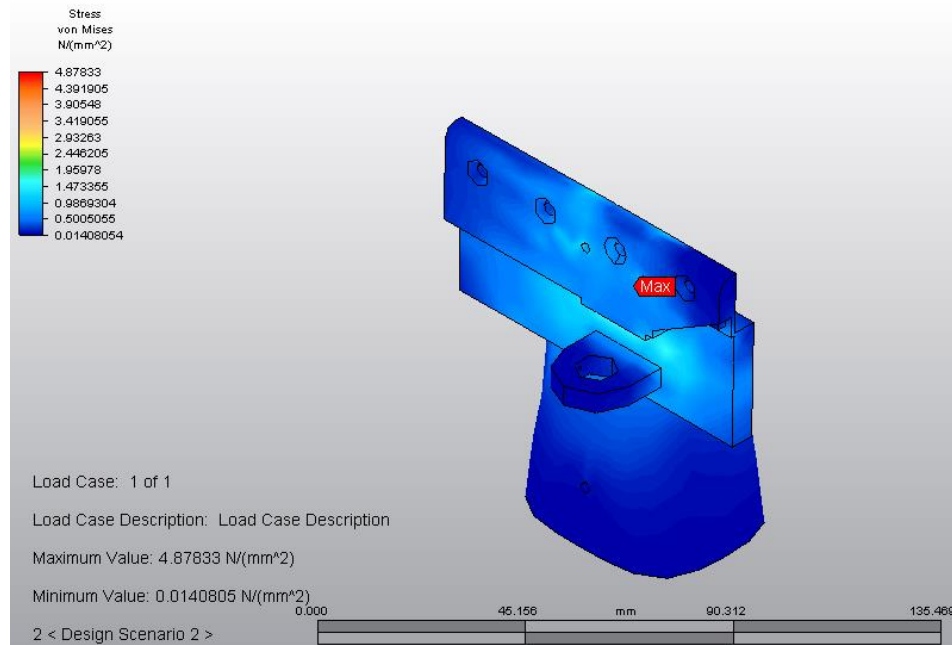


Figura 3. 46 Esfuerzos de la palma
Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

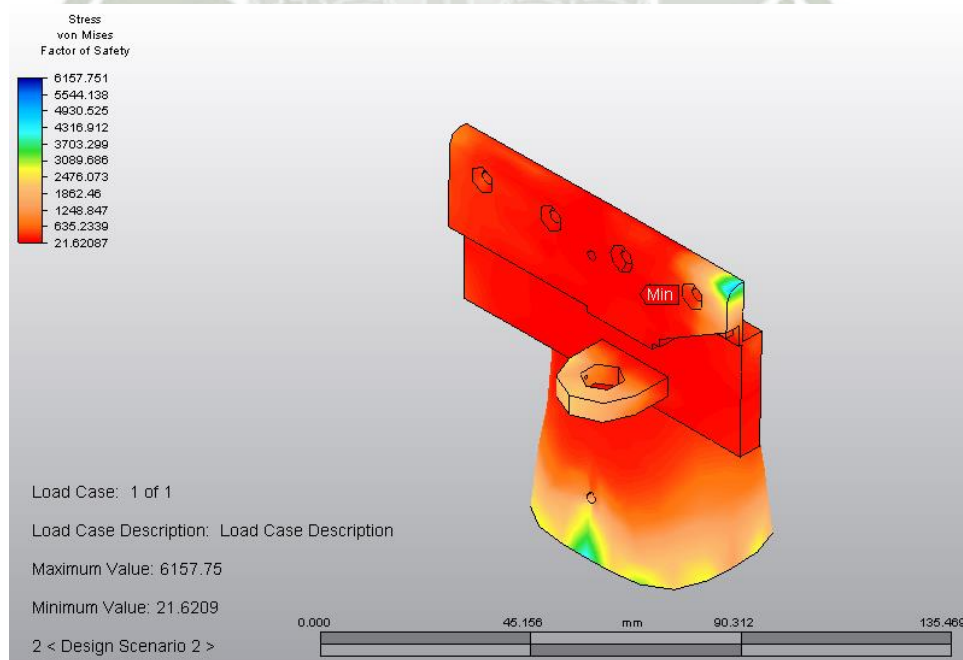


Figura 3. 47 Factor de seguridad de la palma
Fuente: Elaboración propia

Tornillo de gusano

Esfuerzos

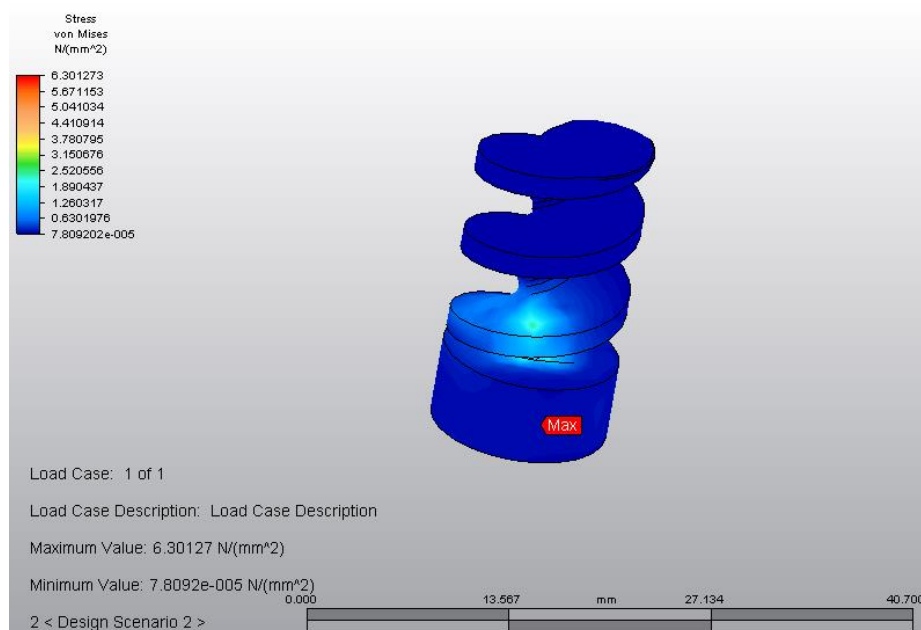


Figura 3. 48 Esfuerzos del tornillo de gusano

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

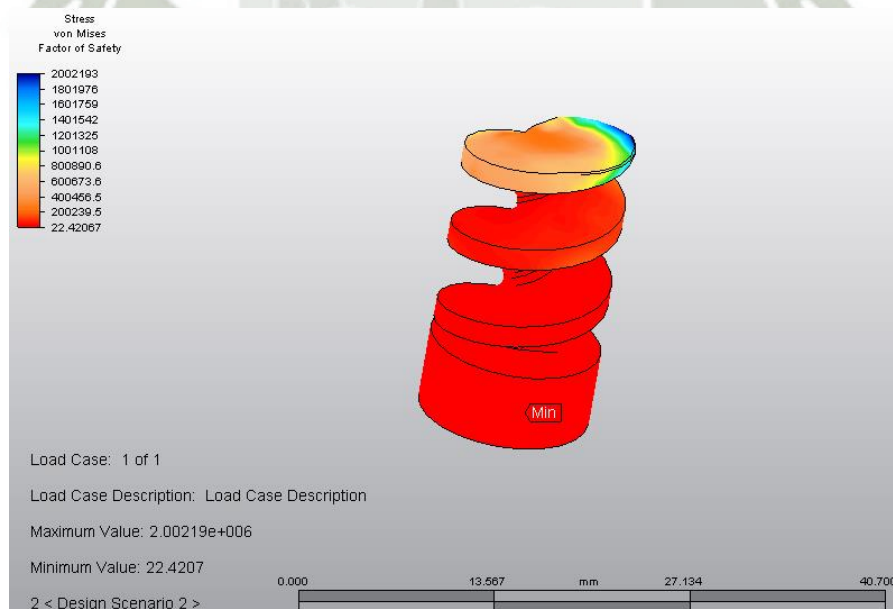


Figura 3. 49 factor de seguridad del tornillo de gusano

Fuente: Elaboración propia

Medio medio

Esfuerzos

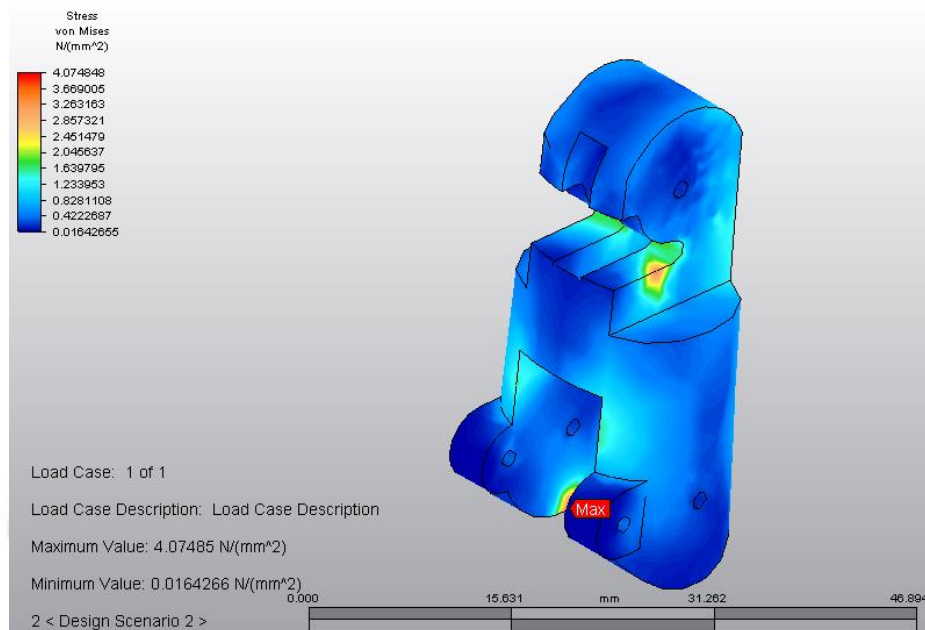


Figura 3. 50 Esfuerzos de la falange media

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

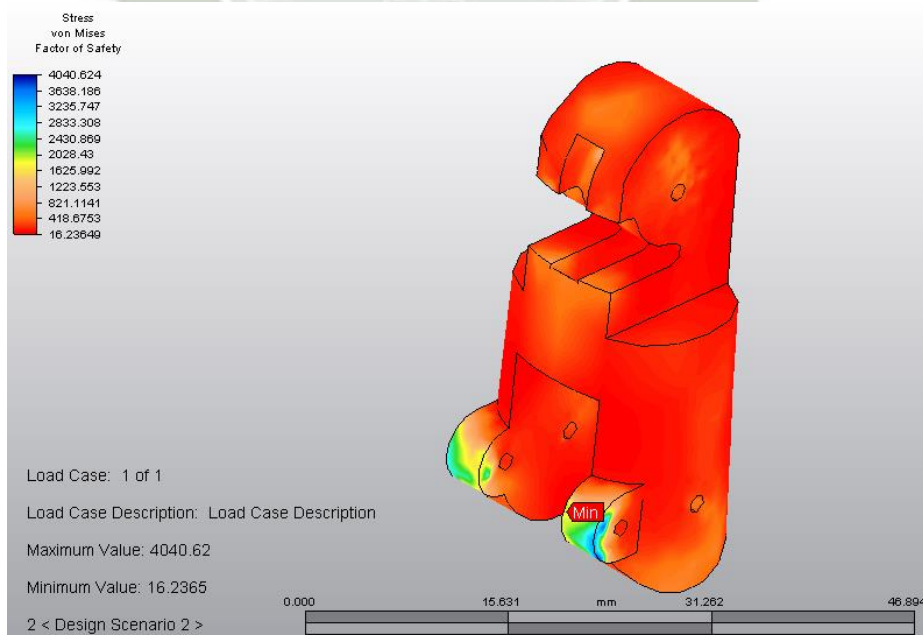


Figura 3. 51 Factor de seguridad de la falange media

Fuente: Elaboración propia

Medio distal

Esfuerzos

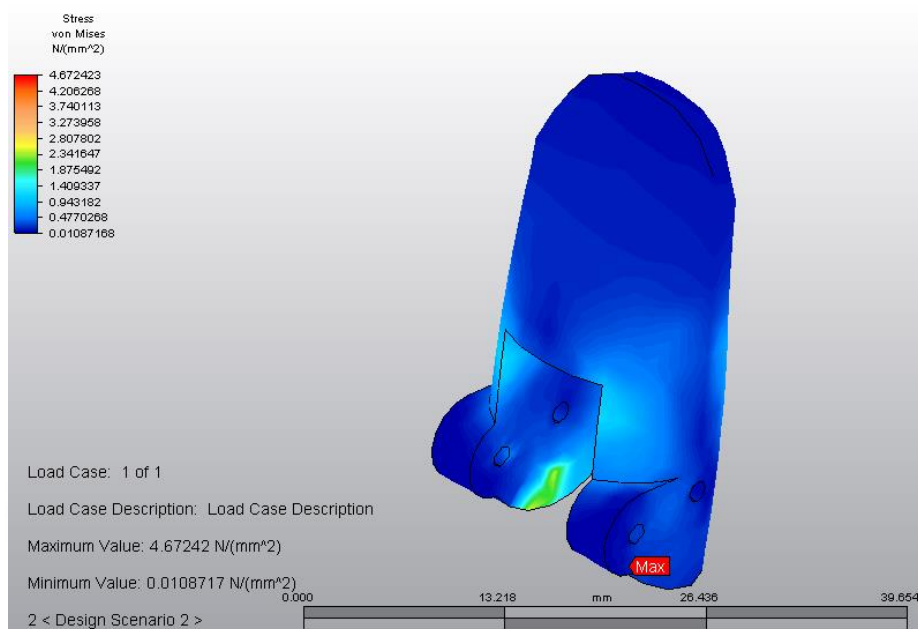


Figura 3. 52 Esfuerzos de la falange distal

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

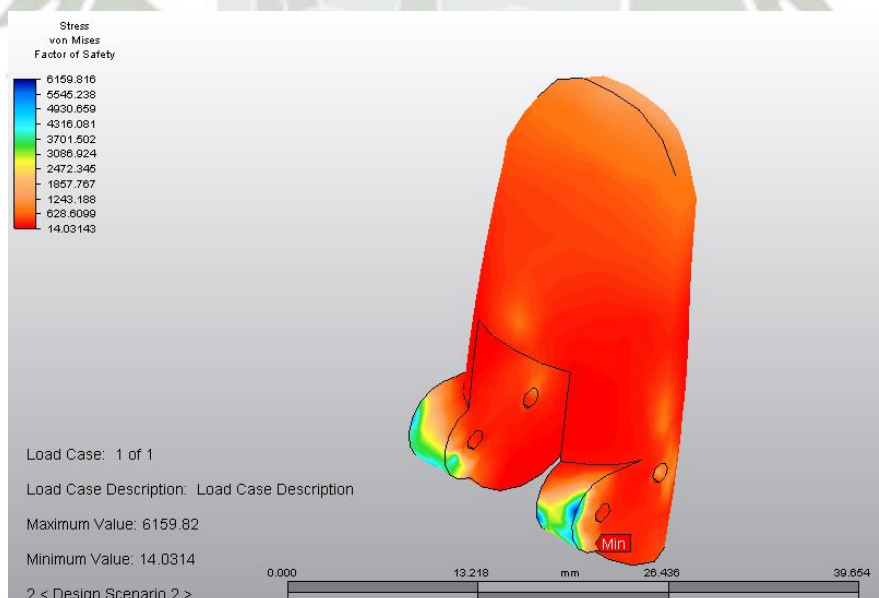


Figura 3. 53 Factor de seguridad de la falange distal

Fuente: Elaboración propia

Medio metacarpiano

Esfuerzos

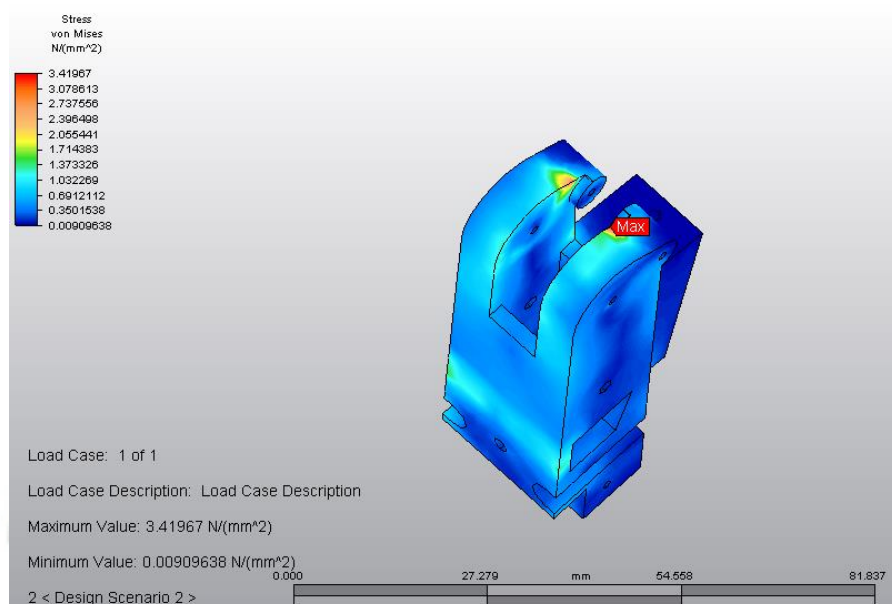


Figura 3. 54 Esfuerzos de la falange metacarpiana

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

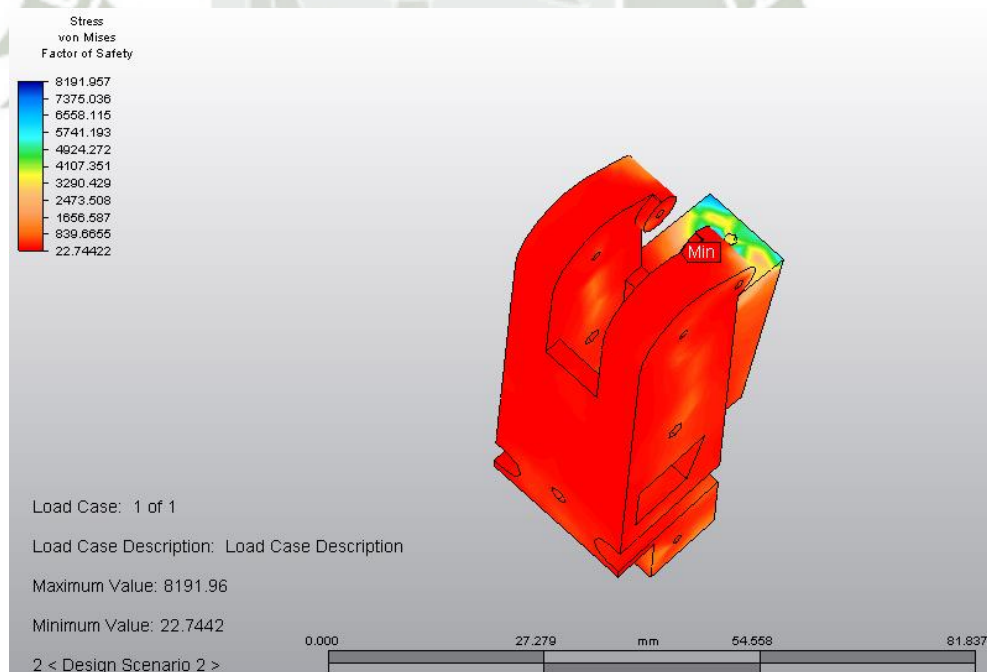


Figura 3. 55 Factor de seguridad de la falange metacarpiana

Fuente: Elaboración propia

Medio proximal

Esfuerzos

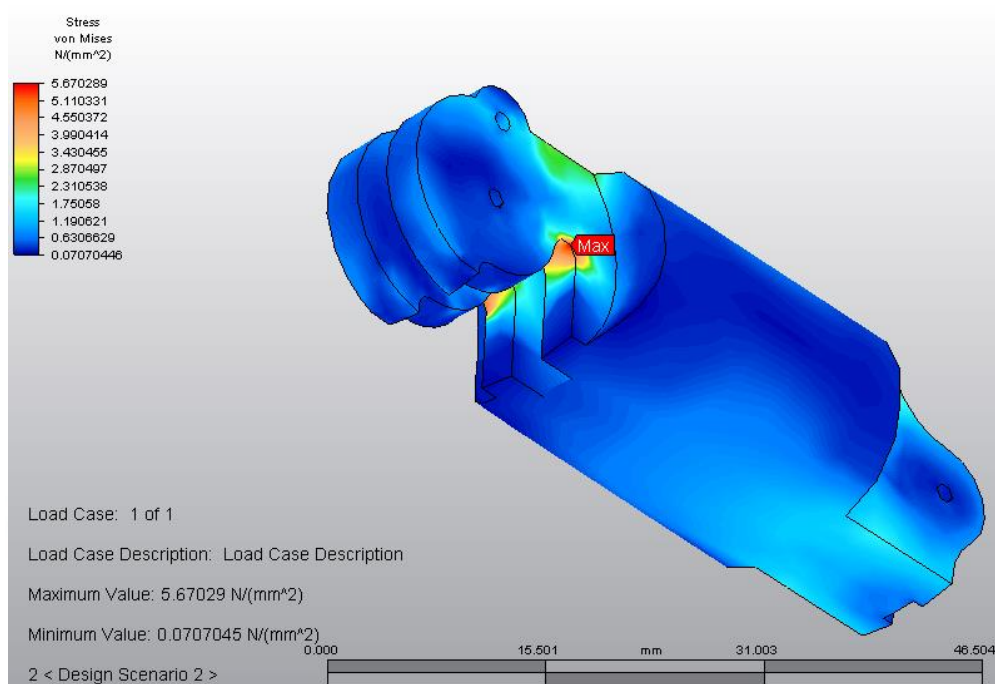


Figura 3. 56 Esfuerzos de la falange proximal
Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

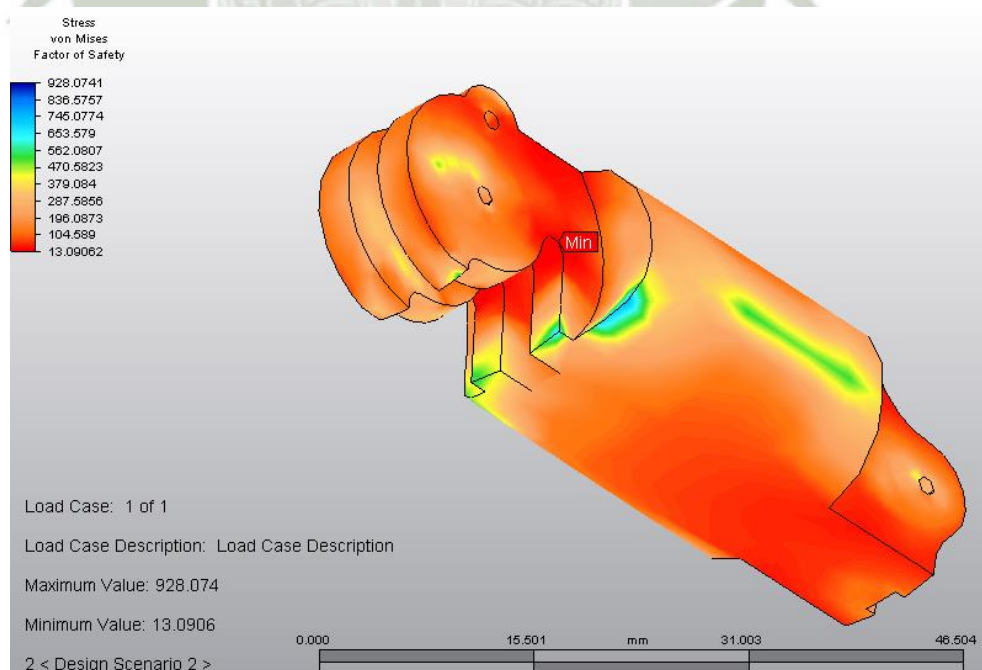


Figura 3. 57 Factor de seguridad de la falange proximal
Fuente: Elaboración propia

Medio actuador distal

Esfuerzos

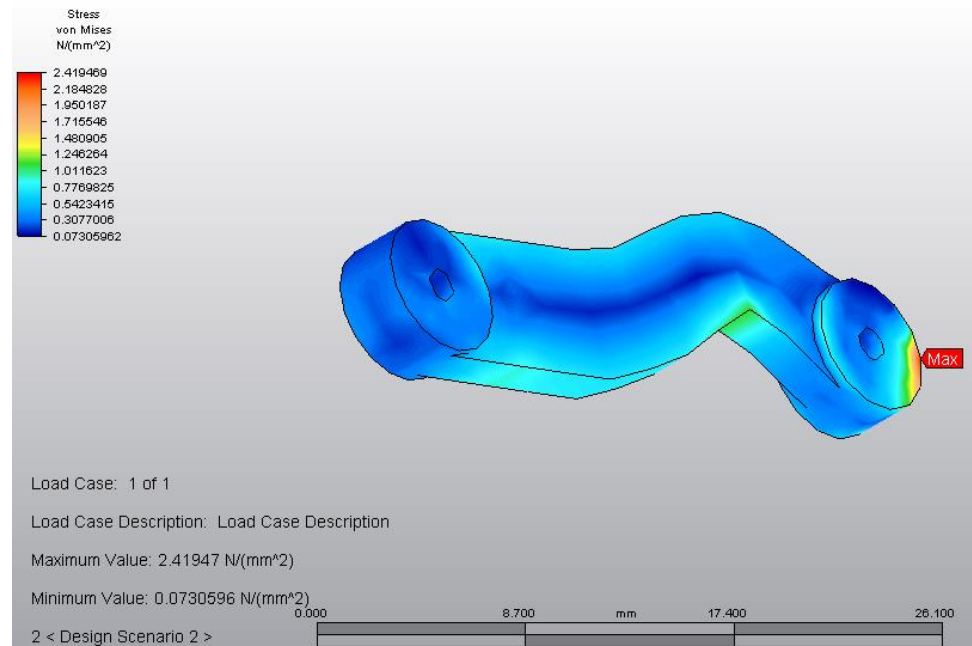


Figura 3. 58 Esfuerzos del actuador distal

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

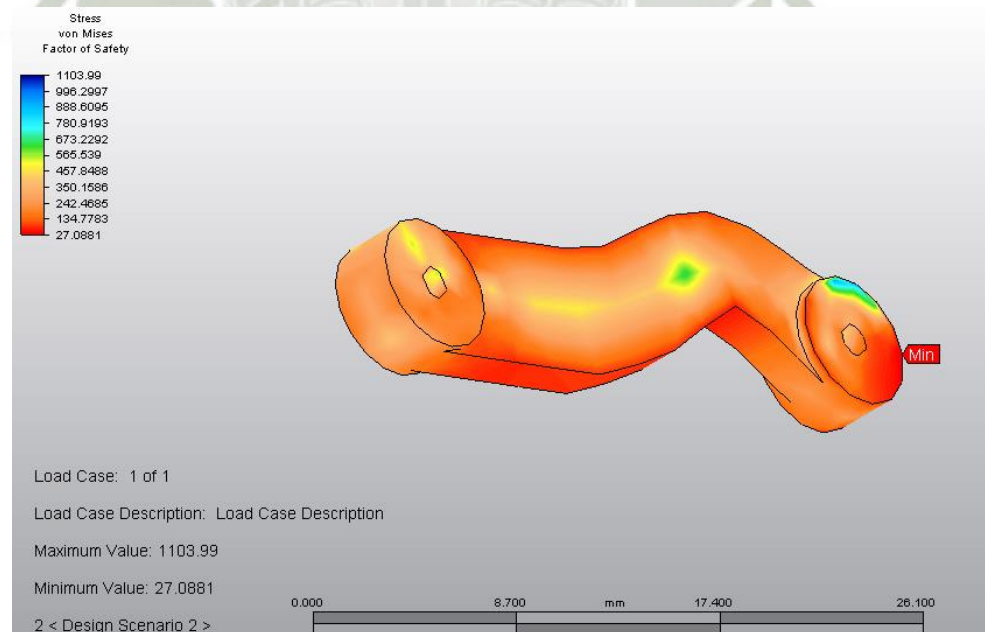


Figura 3. 59 Factor de seguridad del actuador distal

Fuente: Elaboración propia

Medio actuador proximal

Esfuerzos

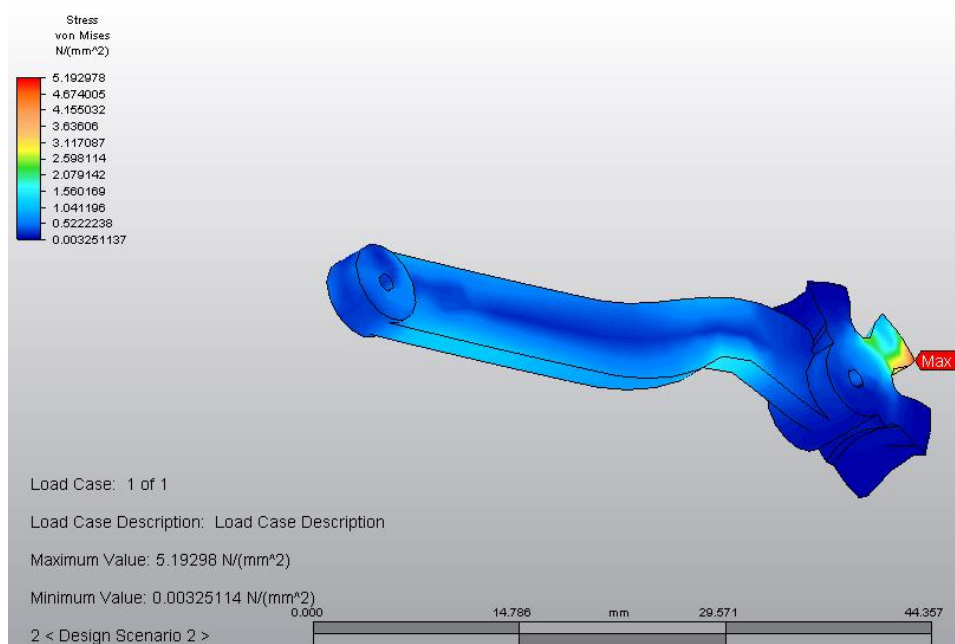


Figura 3. 60 Esfuerzos del actuador proximal

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

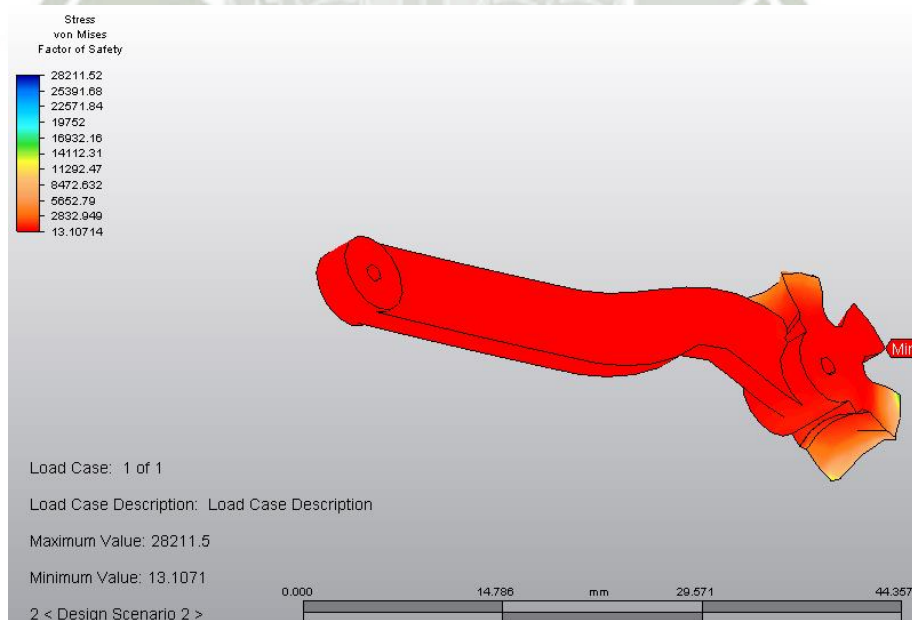


Figura 3. 61 Factor de seguridad del actuador proximal

Fuente: Elaboración propia

Motor pololu

Esfuerzos

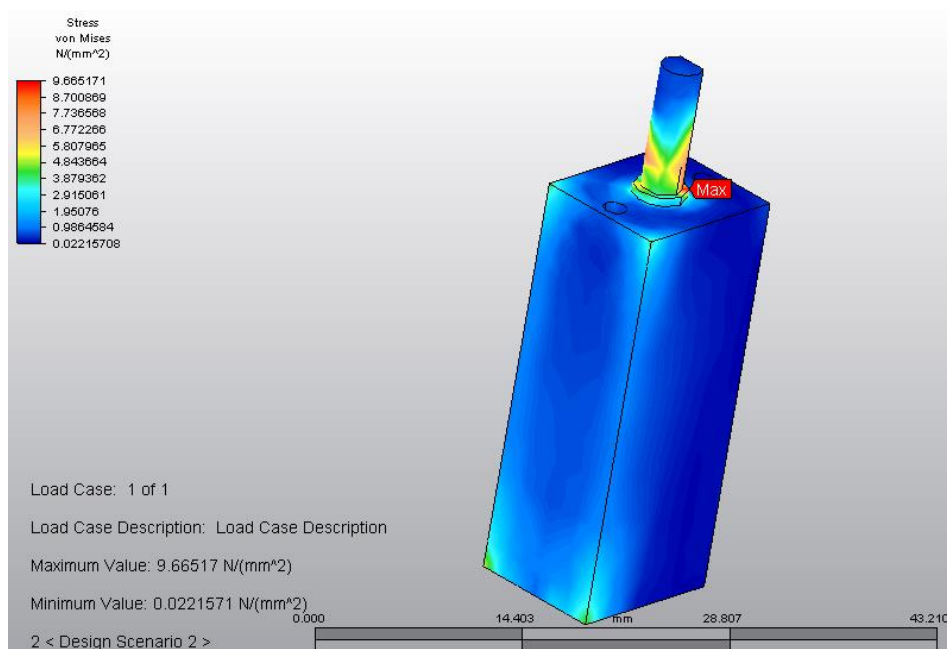


Figura 3. 62 Esfuerzos del motor pololu

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

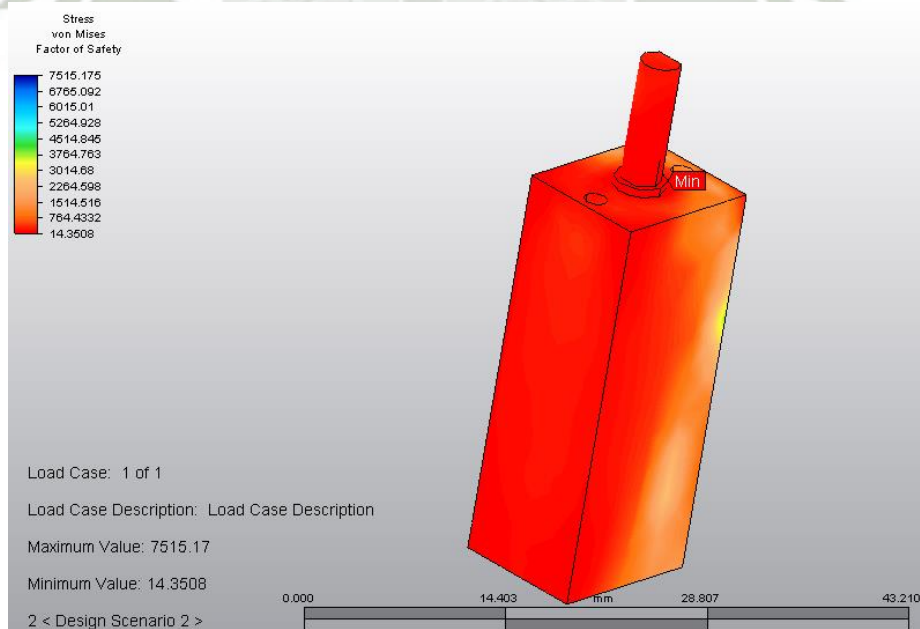


Figura 3. 63 Factor de seguridad del motor pololu

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Reporte del dedo medio flexionado con carga en la gema de la falange distal.

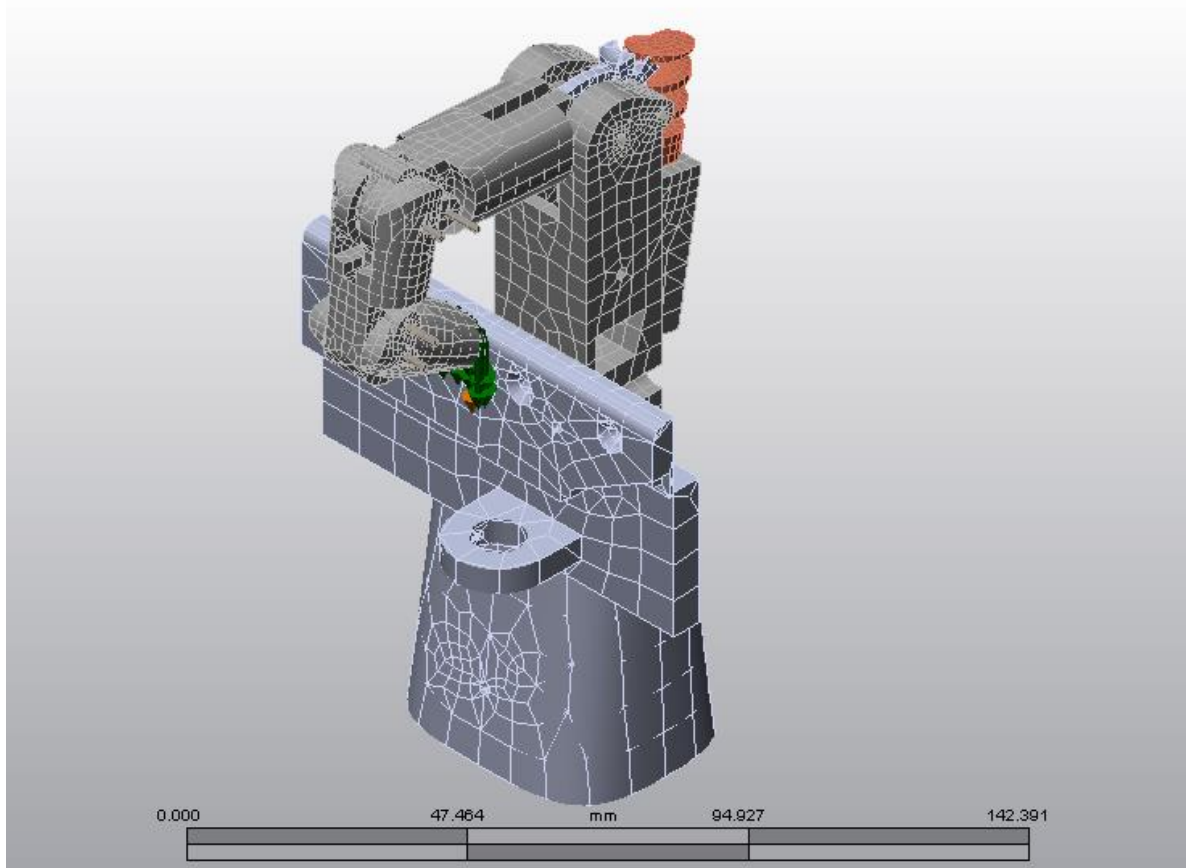


Figura 3. 64 Dedo medio flexionado con carga en la gema de la falange distal
Fuente: Elaboración propia

3.4.2.1. Análisis de diseño

Tipo de análisis: Estático de esfuerzo con modelos lineales de materiales.

Unidades: (N, mm, s, °C, K, V, ohm, A, J).

3.4.2.2. Información de los parámetros del análisis

a) Multiplicadores de caso de carga

El estrés estático con modelos lineales de material puede tener múltiples casos de carga. Esto permite un modelo a analizar con

varias cargas, mientras se resuelve las ecuaciones de una sola vez.

La siguiente es una lista de los multiplicadores de casos de carga que fueron analizadas con este modelo.

Caso de carga	Descripción	Presión/ fuerzas superficiales	Gravedad/ aceleración	Velocidad angular (omega)	Aceleración angular	Desplazamiento	Termico	Electrico
1	Caso de carga	1	1	0	0	1	0	0

Tabla 3. 3 Multiplicadores de cargas
Fuente: Elaboración propia

b) Información de gravedad.

A continuación se enumeran los valores utilizados si la gravedad se incluyó en el análisis. La dirección del multiplicador de la gravedad se multiplica por la aceleración debida a la fuerza del cuerpo, que se multiplica por la aceleración de caso de carga multiplicador.

Aceleración debido a la fuerza del cuerpo: **9814.56 mm/s²**

Aceleración en el multiplicador X	Aceleración en el multiplicador Y	Aceleración en el multiplicador z
1	0	0

Tabla 3. 4 Aceleración debido a cargas
Fuente: Elaboración propia

Cargas

Fuerza superficial

Pieza	Magnitud (N)	Vx	Vy	Vz
Medio distal	5	0	-1	0

Tabla 3. 5 Cargas

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.3. Informe

La falange proximal sigue siendo un elemento bastante crítico, por la disposición que tiene, pero su factor de seguridad es superior a 2, así que no hay peligro de fractura. La falange distal es otro elemento con un bajo factor de seguridad, debido a su grosor, pero igual que el caso anterior no hay peligro que se rompa. Al estar contraído, las distancias de la fuerza aplicada a cada punto son menores, haciendo de esta, una posición más segura.

3.4.2.4. Imágenes de la representación de los resultados

Deformación

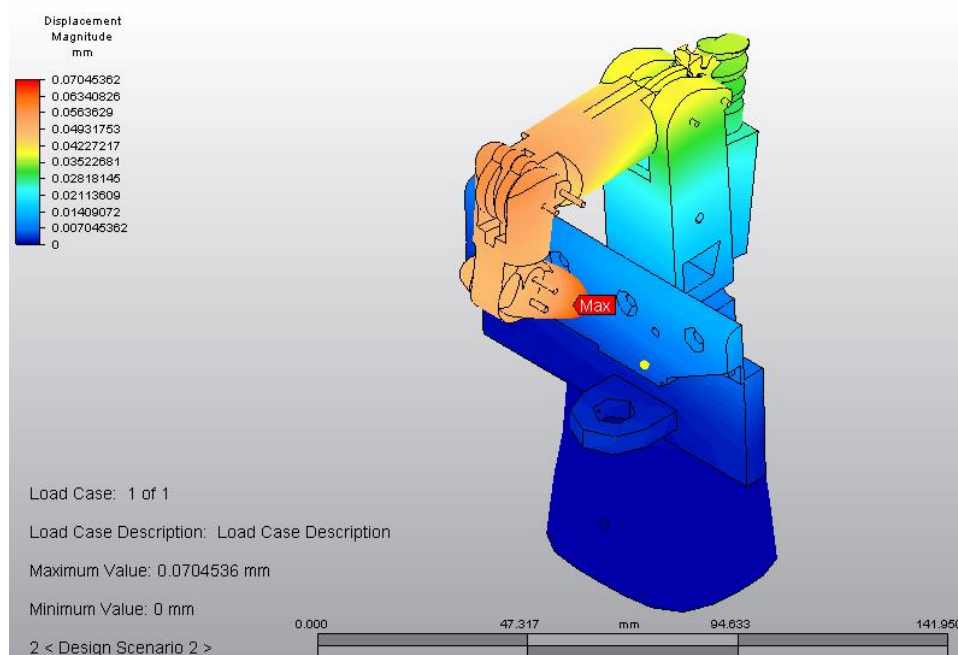


Figura 3. 65 Deformación dedo medio flexionado con carga en la gema de la falange distal
Fuente: Elaboración propia

Esfuerzo

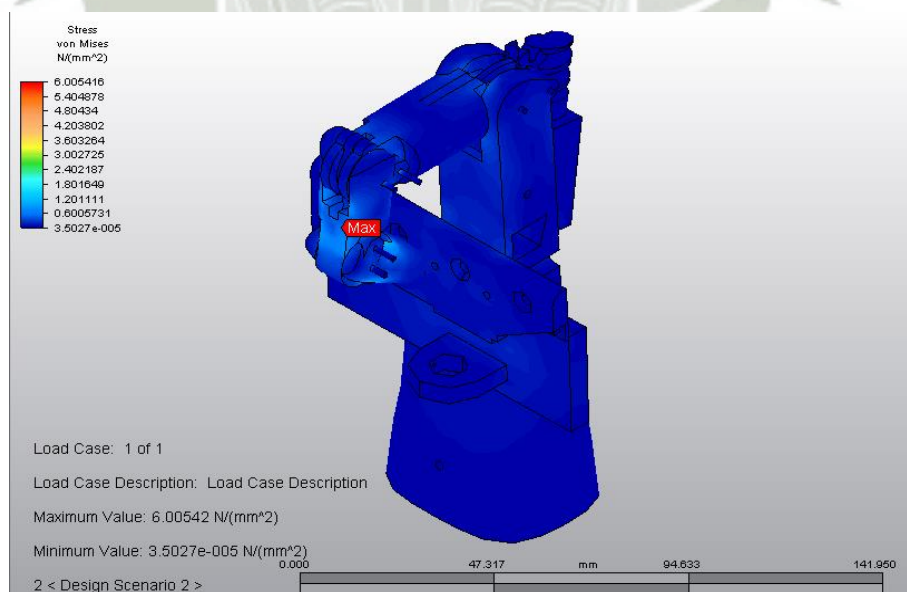


Figura 3. 66 Deformación dedo medio flexionado con carga en la gema de la falange distal
Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

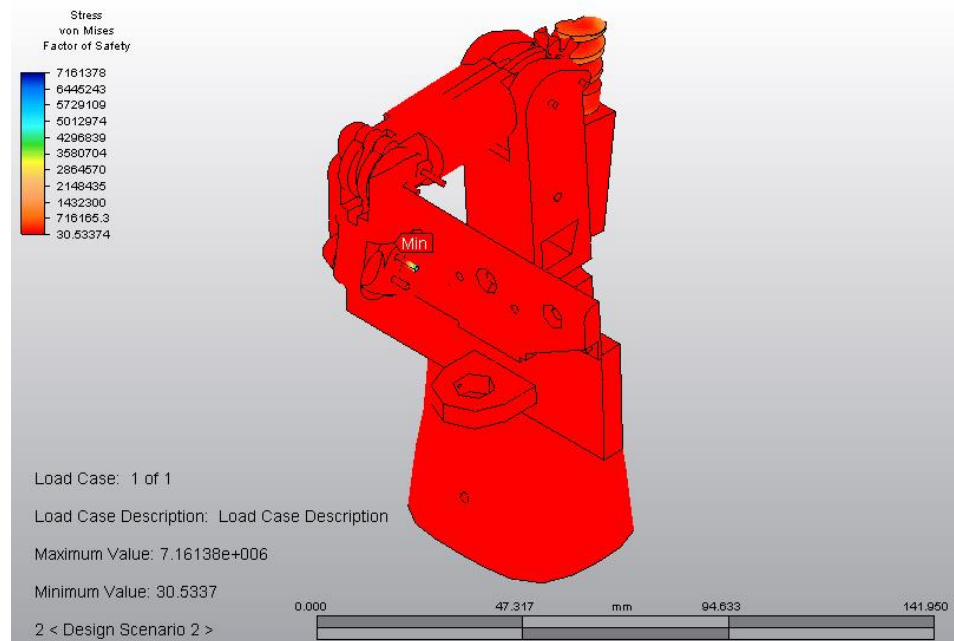


Figura 3. 67 Factor de seguridad dedo medio flexionado con carga en la gema de la falange distal
Fuente: Elaboración propia

Palma Esfuerzo

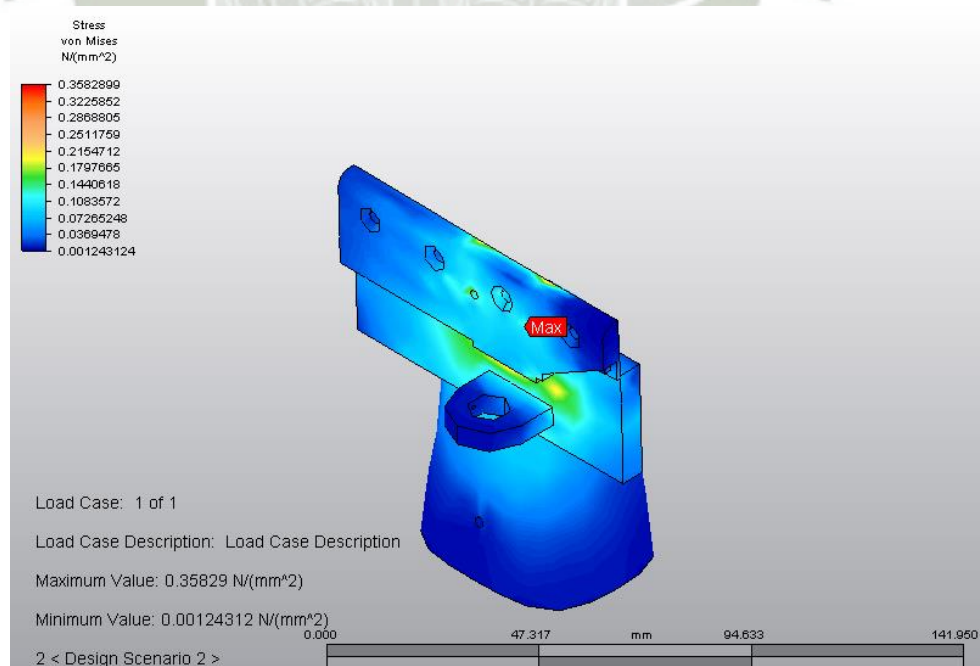


Figura 3. 68 Esfuerzo de la palma
Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

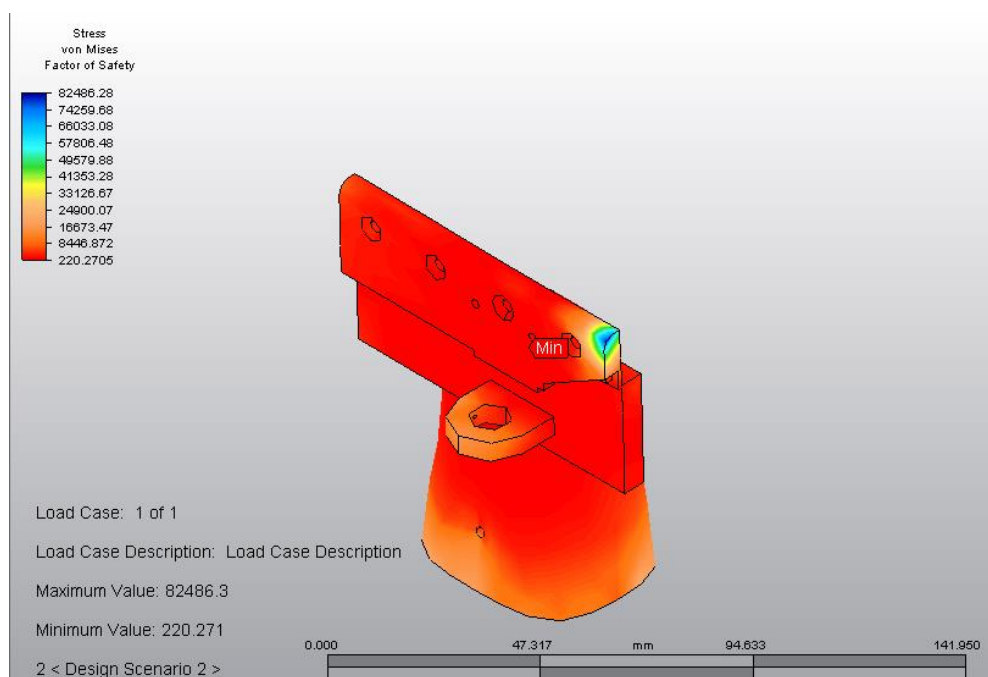


Figura 3. 69 Factor de seguridad de la palma
Fuente: Elaboración propia

Tornillo de gusano

Esfuerzo

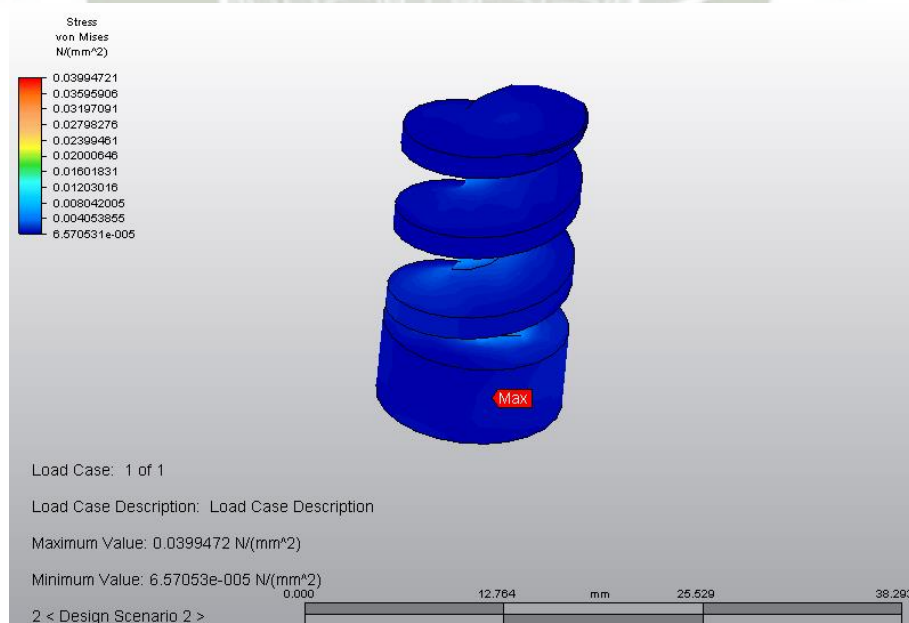


Figura 3. 70 Esfuerzo del tornillo de gusano
Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

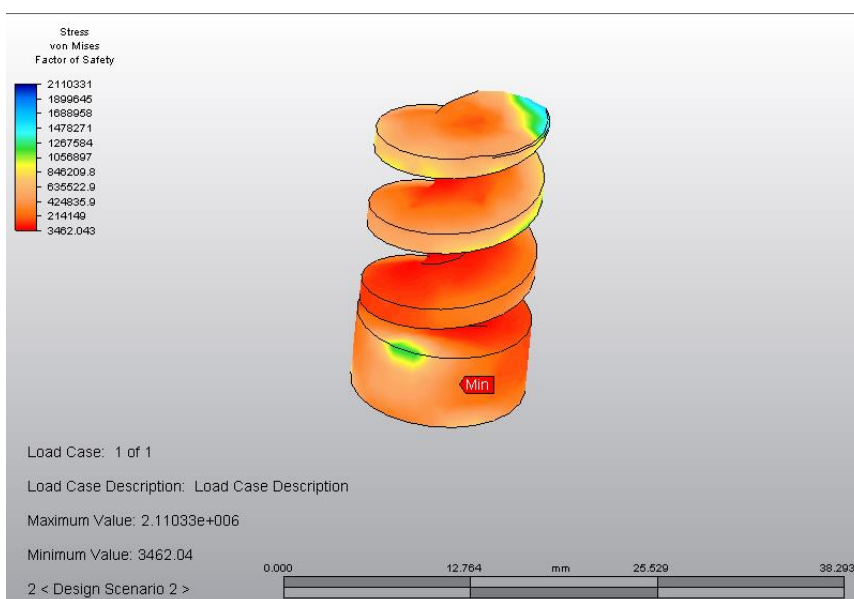


Figura 3. 71 Factor de seguridad del tornillo de gusano
Fuente: Elaboración propia

Medio medio

Esfuerzo

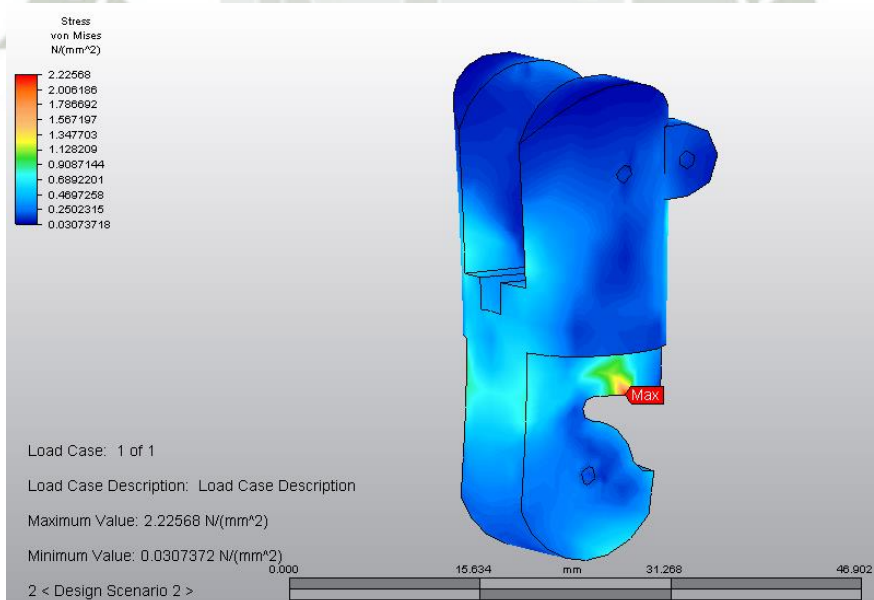


Figura 3. 72 Esfuerzo la falange medial
Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

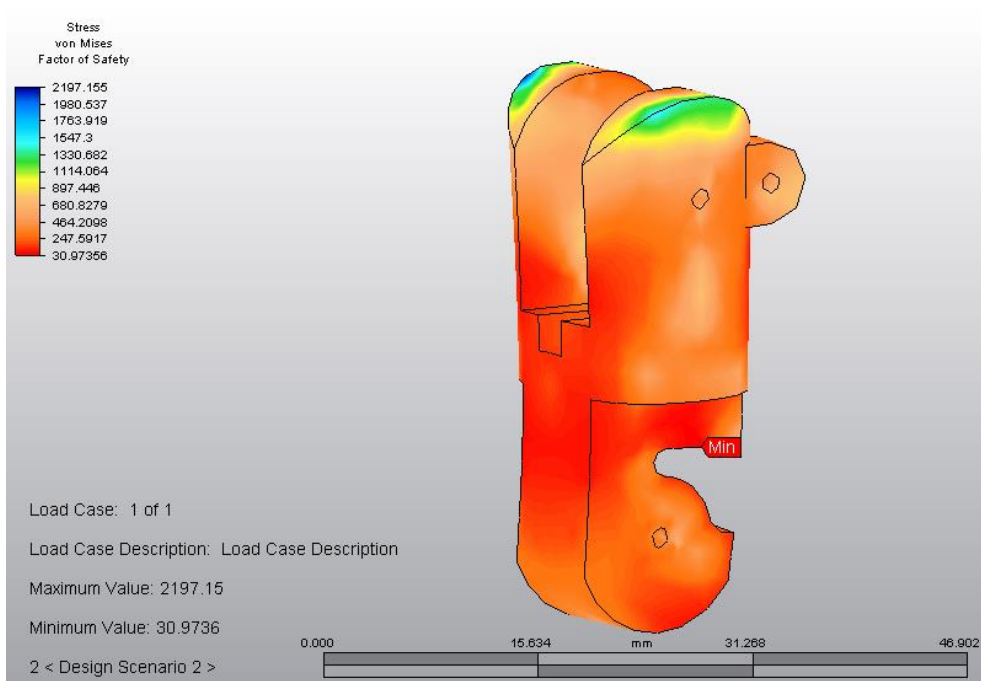


Figura 3. 73 Factor de seguridad la falange medial
Fuente: Elaboración propia

Medio distal

Esfuerzo

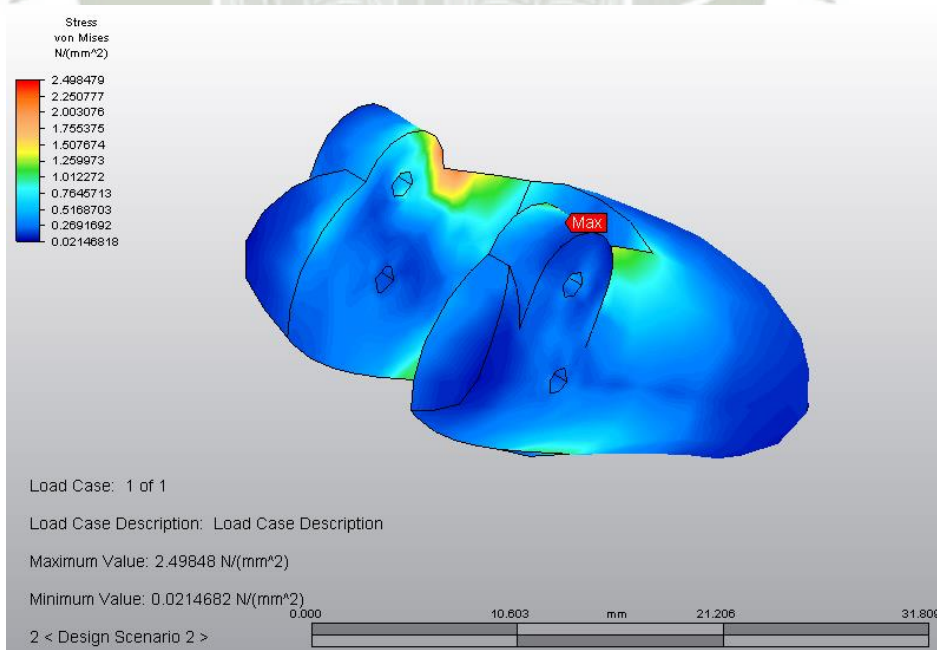


Figura 3. 74 Esfuerzo de la falange distal
Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

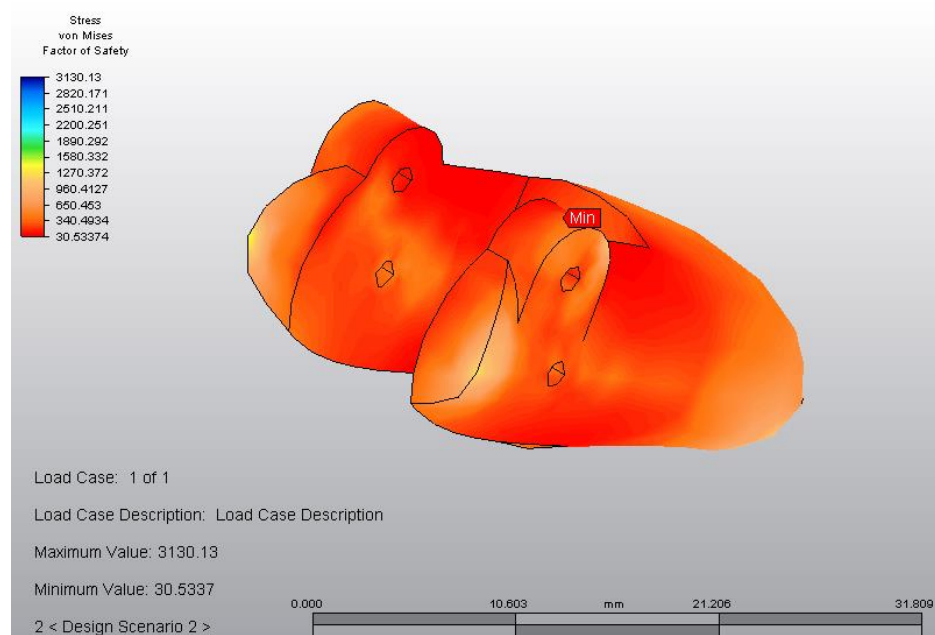


Figura 3. 75 Factor de seguridad de la falange distal
Fuente: Elaboración propia

Medio metacarpiano

Esfuerzo

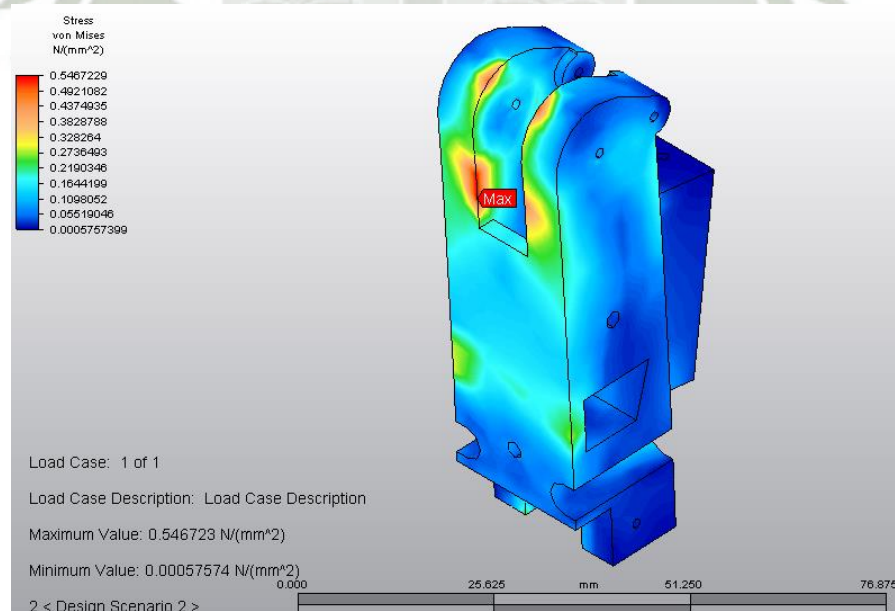


Figura 3. 76 Esfuerzo de la falange metacarpiana
Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

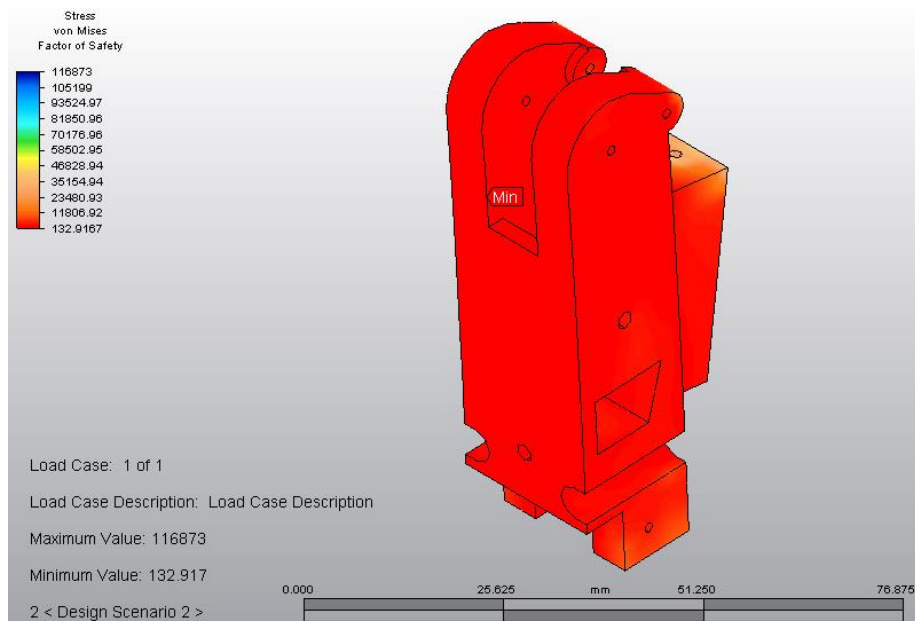


Figura 3. 77 Factor de seguridad de la falange metacarpiana
Fuente: Elaboración propia

Medio proximal

Esfuerzo

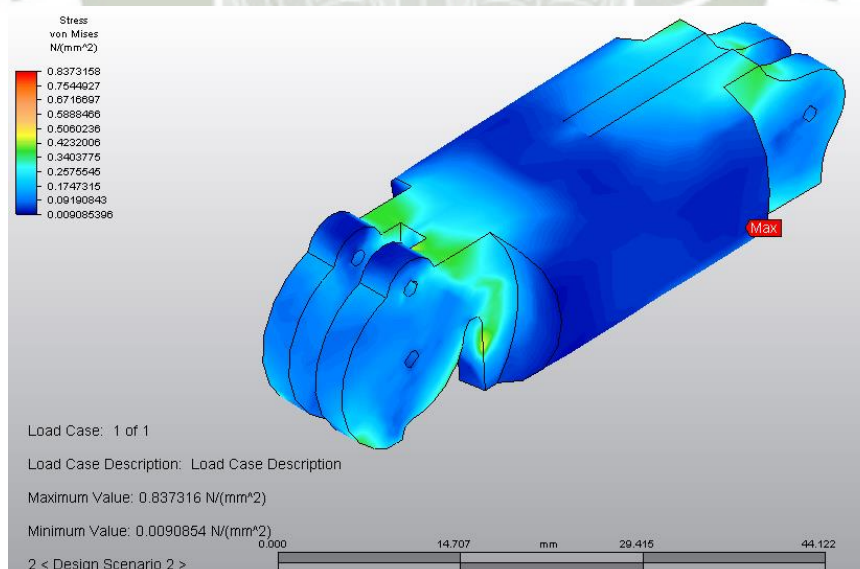


Figura 3. 78 Esfuerzo de la falange proximal
Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

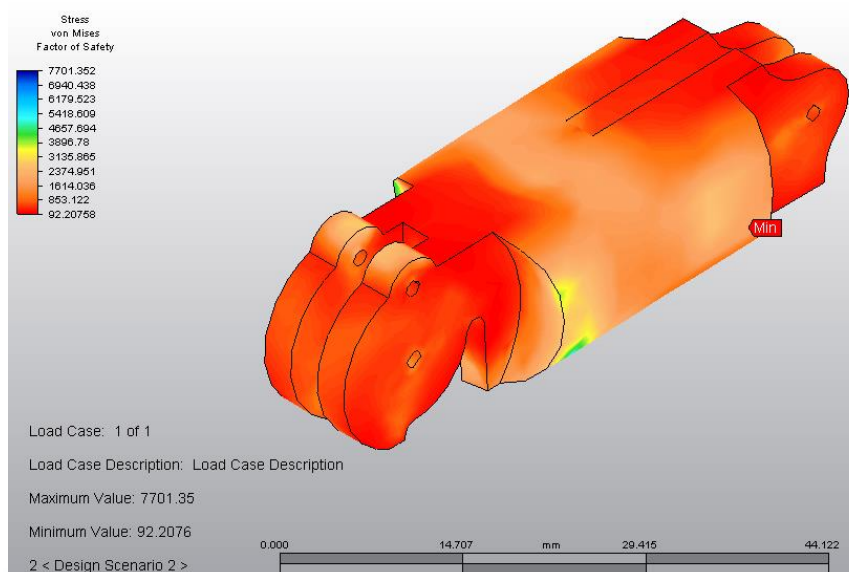


Figura 3. 79 Factor de seguridad de la falange proximal
Fuente: Elaboración propia

Medio actuador distal

Esfuerzo

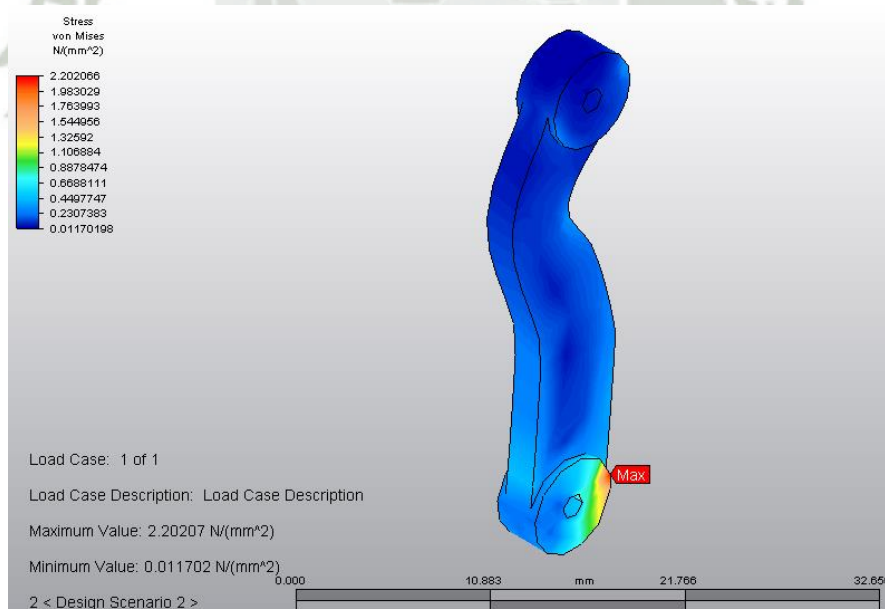


Figura 3. 80 Esfuerzo del actuador distal
Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

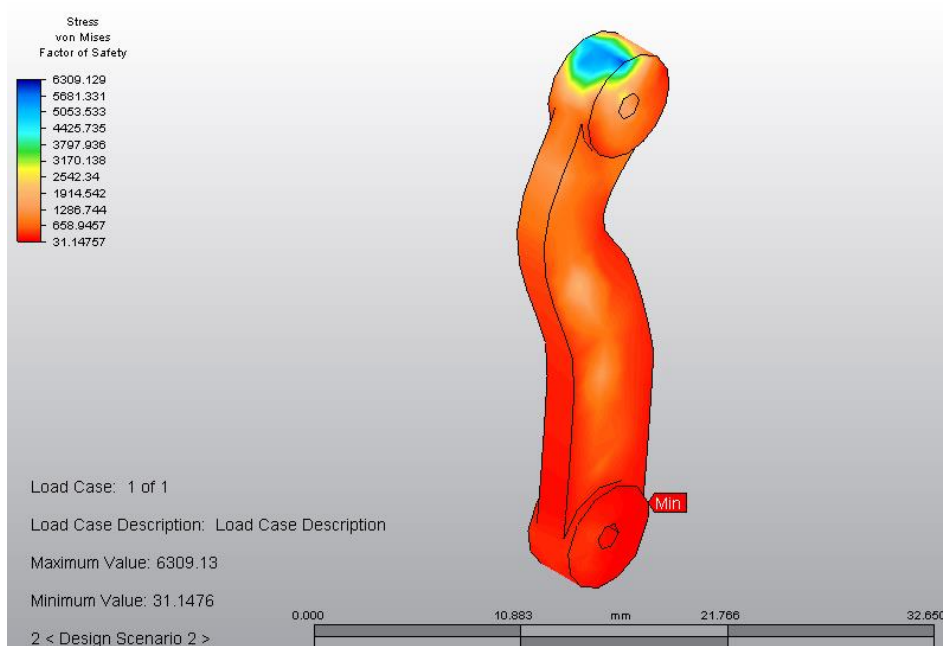


Figura 3. 81 Factor de seguridad del actuador distal

Fuente: Elaboración propia

Medio actuador proximal

Esfuerzo

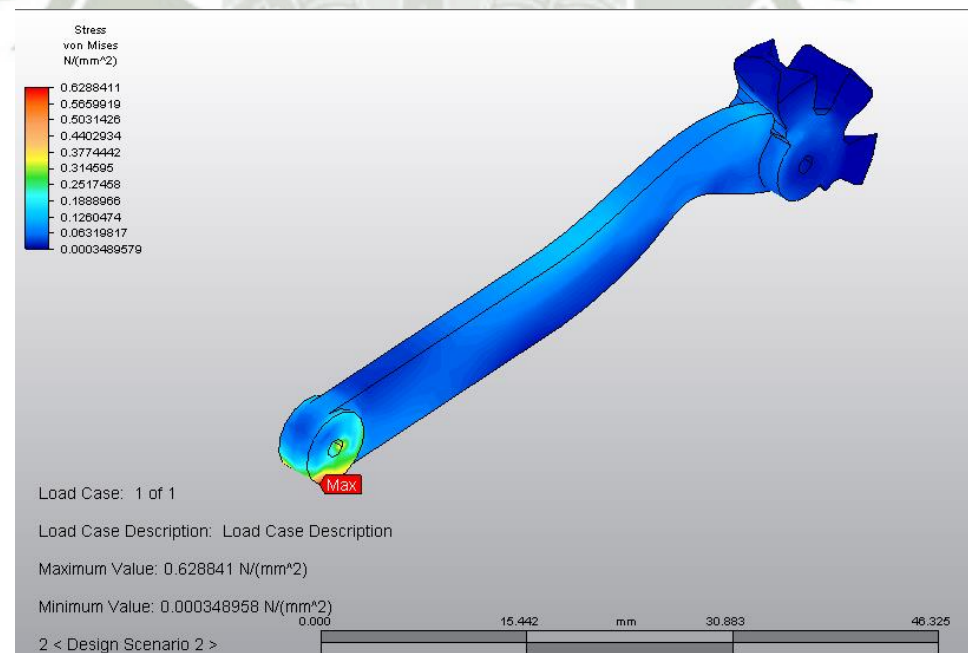


Figura 3. 82 Esfuerzo del actuador proximal

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

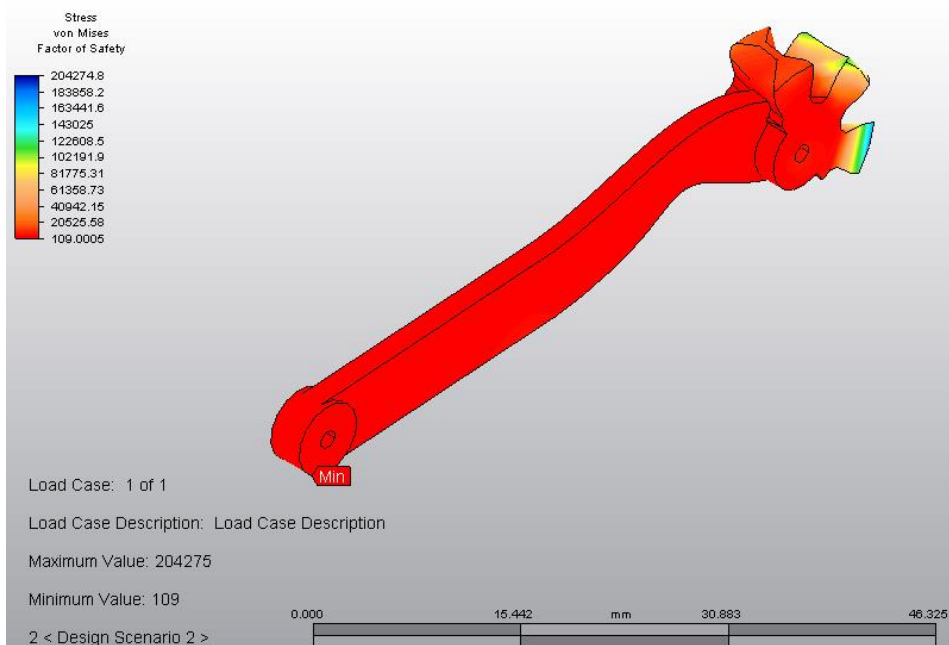


Figura 3. 83 Factor de seguridad del actuador proximal
Fuente: Elaboración propia

Motor pololu

Esfuerzo

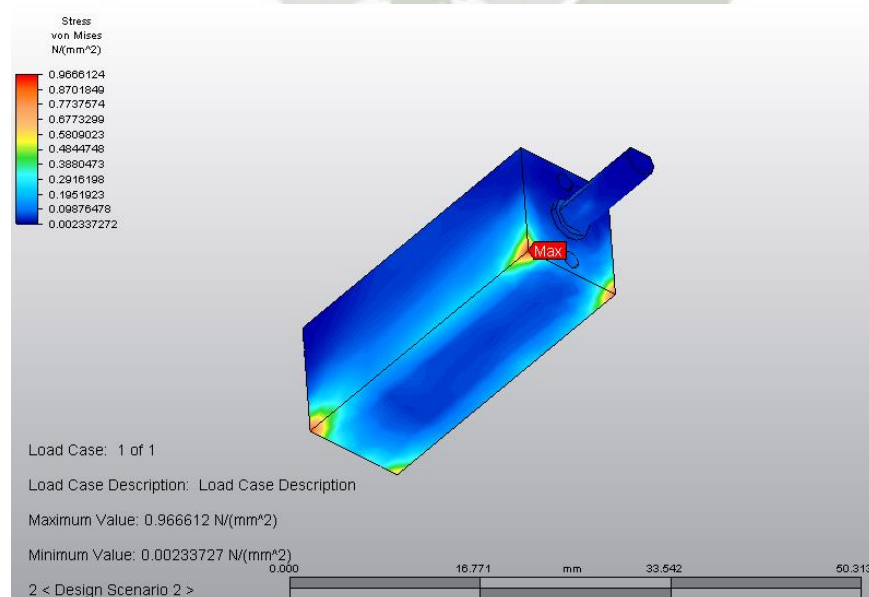


Figura 3. 84 Esfuerzo del motor pololu

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad

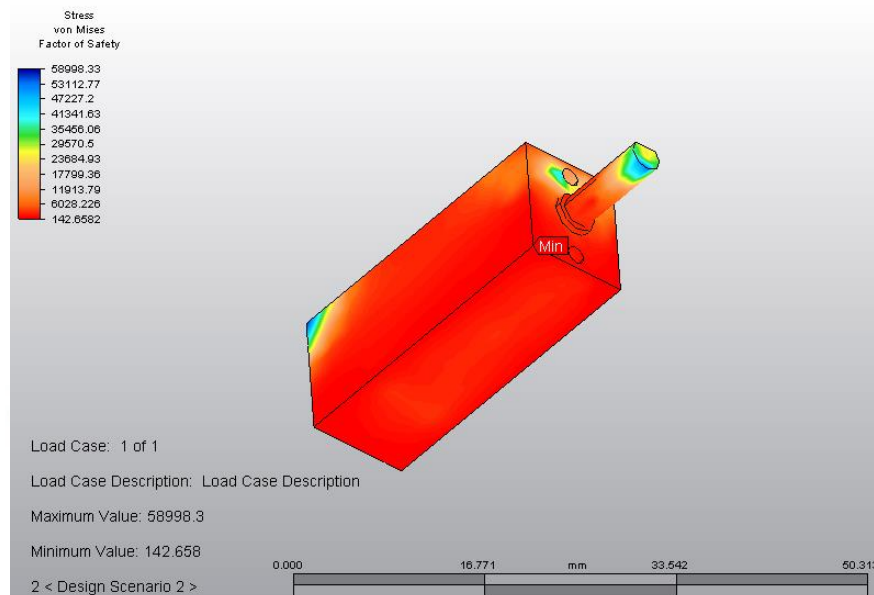


Figura 3. 85 Factor de seguridad del motor pololu

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Reporte de impacto de dedo medio flexionado

3.4.4.

3.5.

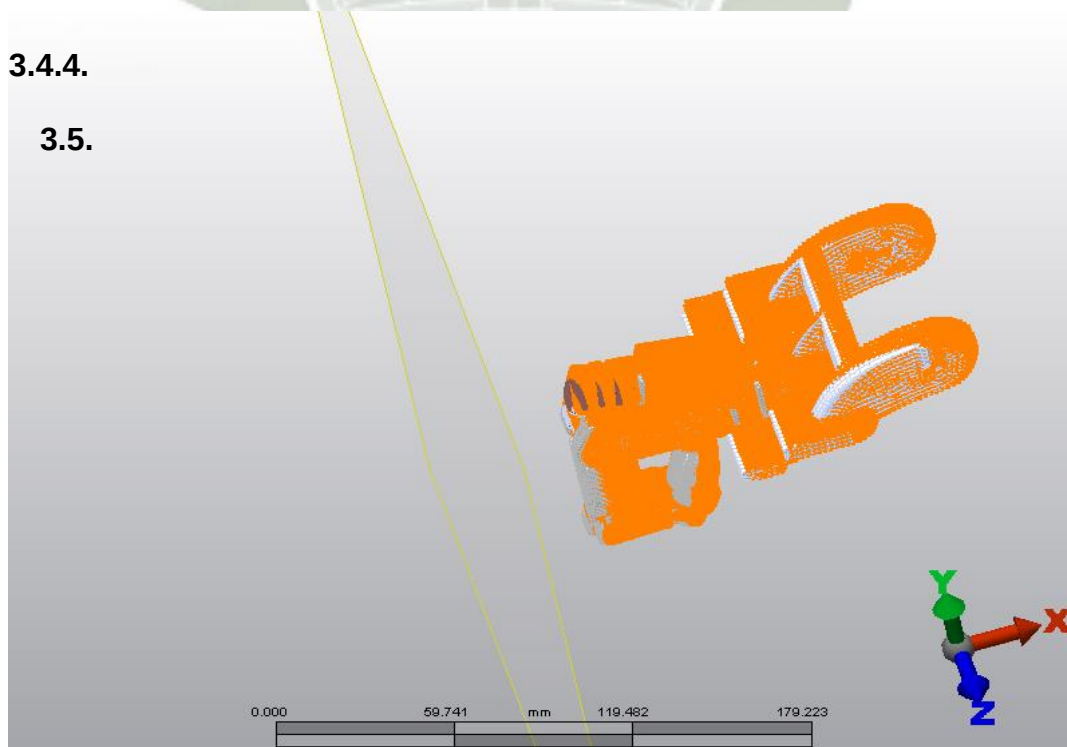


Figura 3. 86 de impacto de dedo medio flexionado

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.1. Análisis de diseño

a) Información del evento

Índice de la zona de tiempo	Duración (s)	Numero de pasos de tiempo
1	0.143265298828443	5
2	0.005	20
3	0.01	5

Tabla 3. 6 Información del evento

Fuente: Elaboración propia

b) Información de gravedad

Aceleración respecto a la fuerza del cuerpo = **9814.56 mm/s²**

Número de curvas de la carga para la carga de la gravedad= 2

Aceleración en el multiplicador X	Aceleración en el multiplicador Y	Aceleración en el multiplicador z
-1	0	0

Tabla 3. 7 Aceleración

Fuente: Elaboración propia

Curva de carga 1: Curva de carga

Tiempo (s)	Multiplicador
0	0
1	1

Tabla 3. 8 Curva de carga 1

Fuente: Elaboración propia

Curva de carga 2: curva de carga gravitatoria

Tiempo (s)	Multiplicador
0	1
0.158265298828443	1

Tabla 3. 9 Curva de carga 2

Fuente: Elaboración propia

c) Cargas

Velocidad inicial

Parte	Vx	Vy	Vz	ω_x	ω_y	ω_z	Centro de rotación X	Centro de rotación Y	Centro de rotación Z
Falange metacarpiana	500	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 3. 10 Velocidad inicial

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.2. Imágenes de la representación de los resultados

a) Caída libre:

En el inicio de simulación, ningún elemento recibe ningún tipo de esfuerzo y por lo tanto no sufre ninguna deformación.

Cuando el ensamblaje inicia su proceso de caída libre, el factor de seguridad es muy elevado debido a que el mayor esfuerzo que puede producirse en esta etapa es la de los elementos rompiendo su estado de inercia, que está muy lejano de su punto de fallo. El elemento más crítico es el actuador distal.

Al seguir cayendo, el actuador distal es aun el más crítico, por ubicarse en la falange media que trata de cerrarse con el resto de la mano y tiende a pandear el actuador.

El esfuerzo va a tener una acción de “ping-pong”, va a pasar de un actuador a otro, pues estos son los más susceptibles a ruptura ya que son los que más se mueven y los que tienen menor área transversal.



Iteración 1

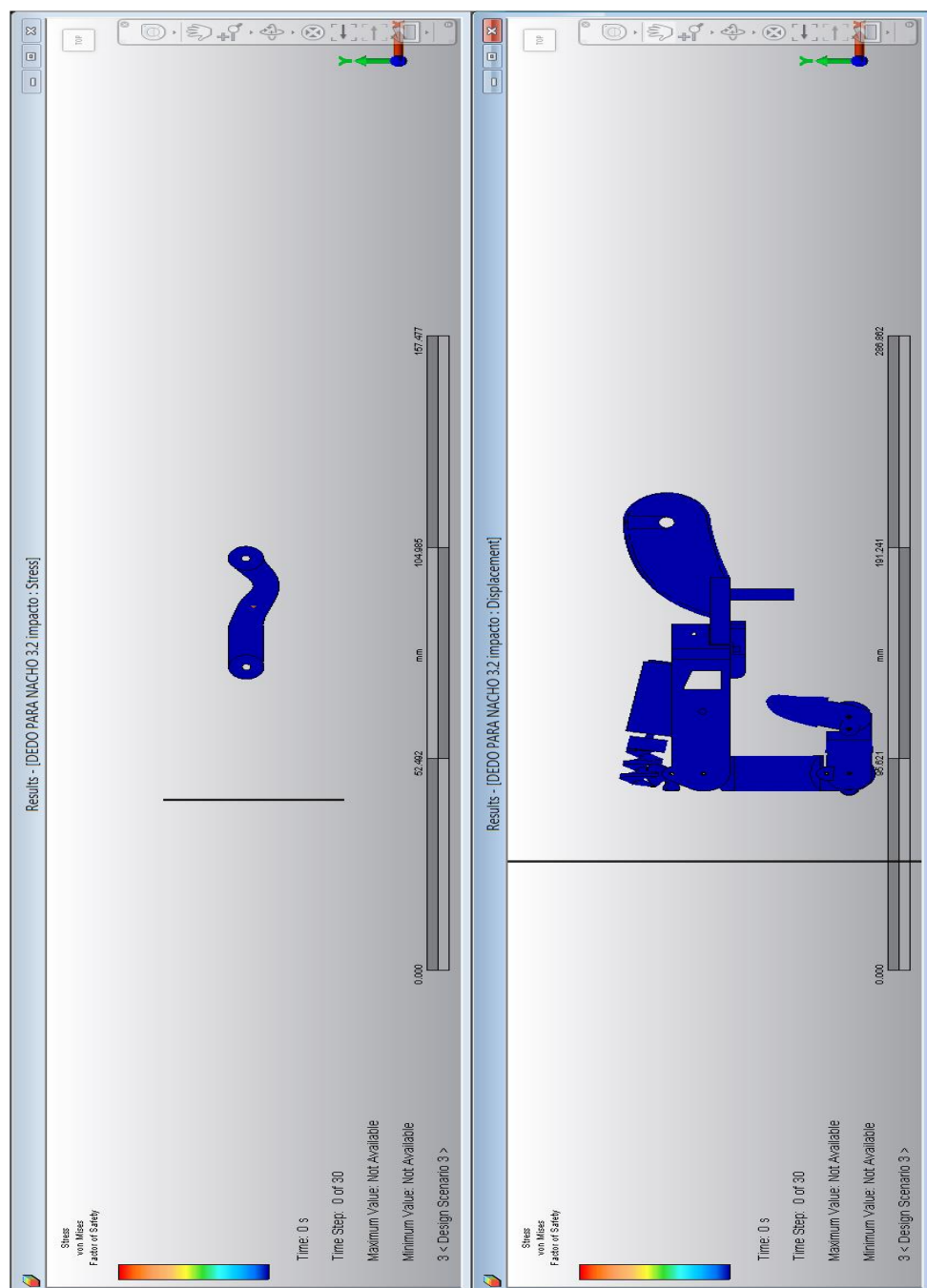


Figura 3. 87 iteración 1 de caída libre
Fuente: Elaboración propia

Iteración 2

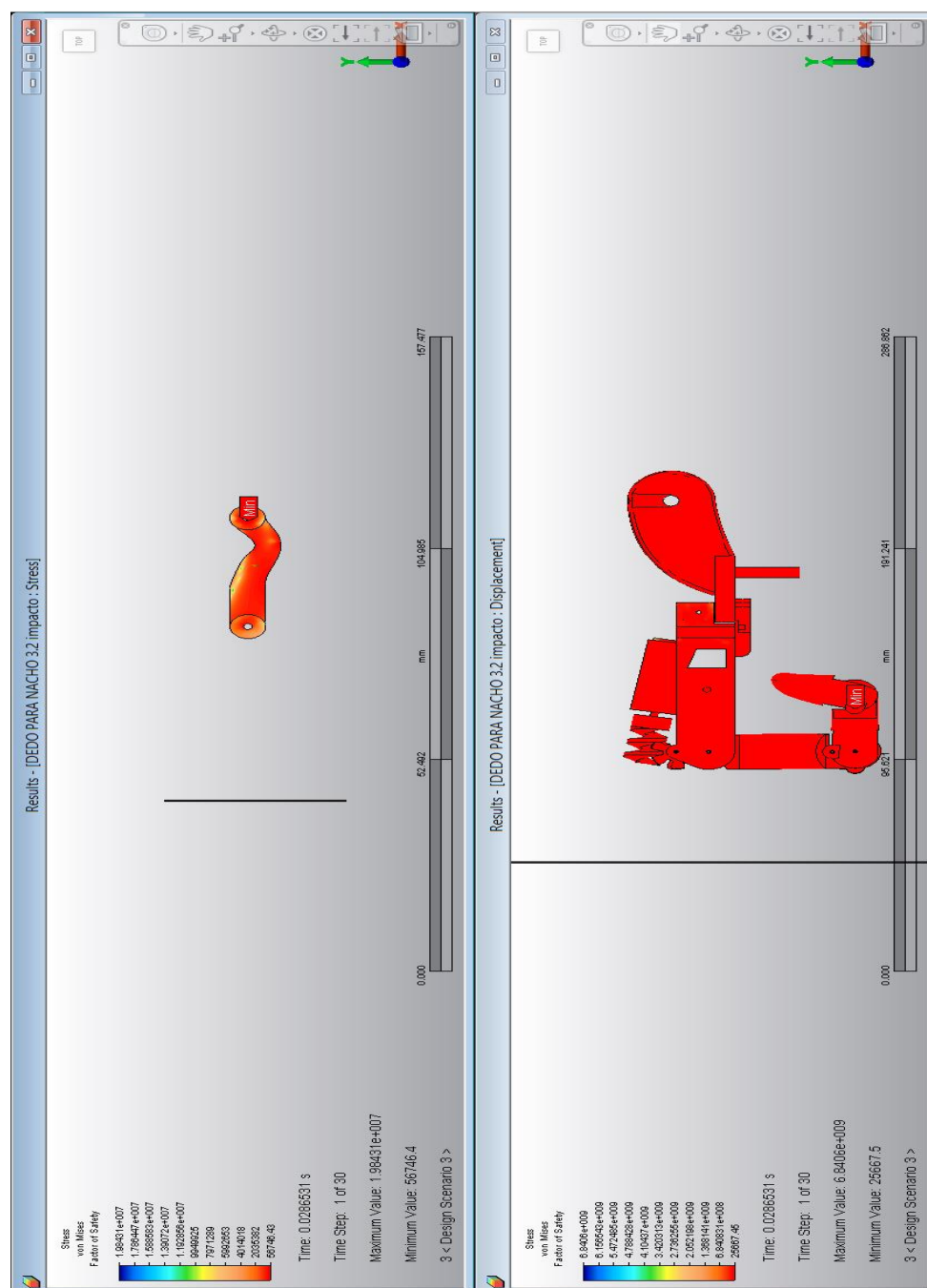


Figura 3. 88 iteración 2 de caída libre
Fuente: Elaboración propia

Iteración 3

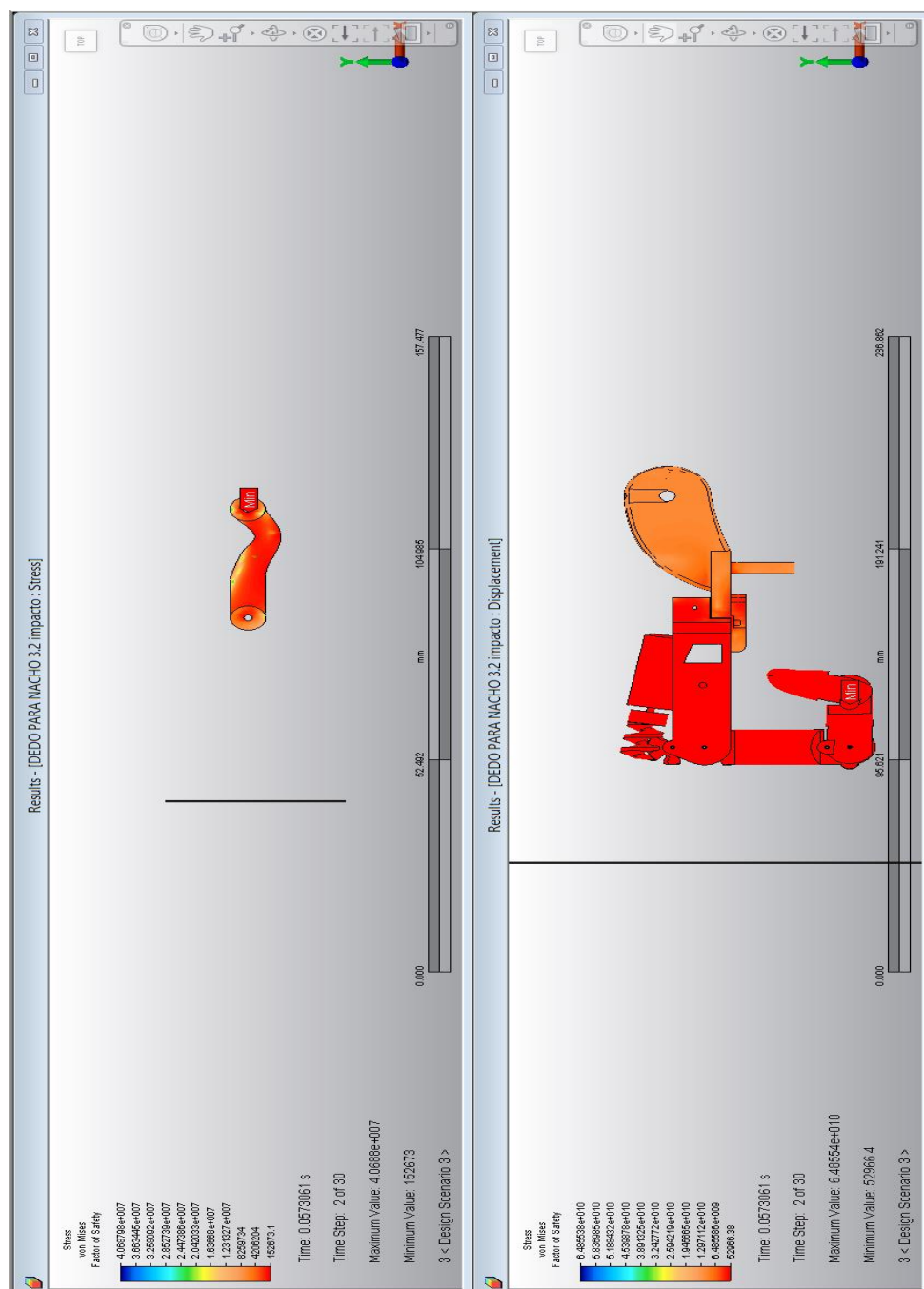


Figura 3. 89 iteración 3 de caída libre
Fuente: Elaboración propia

Iteración 4

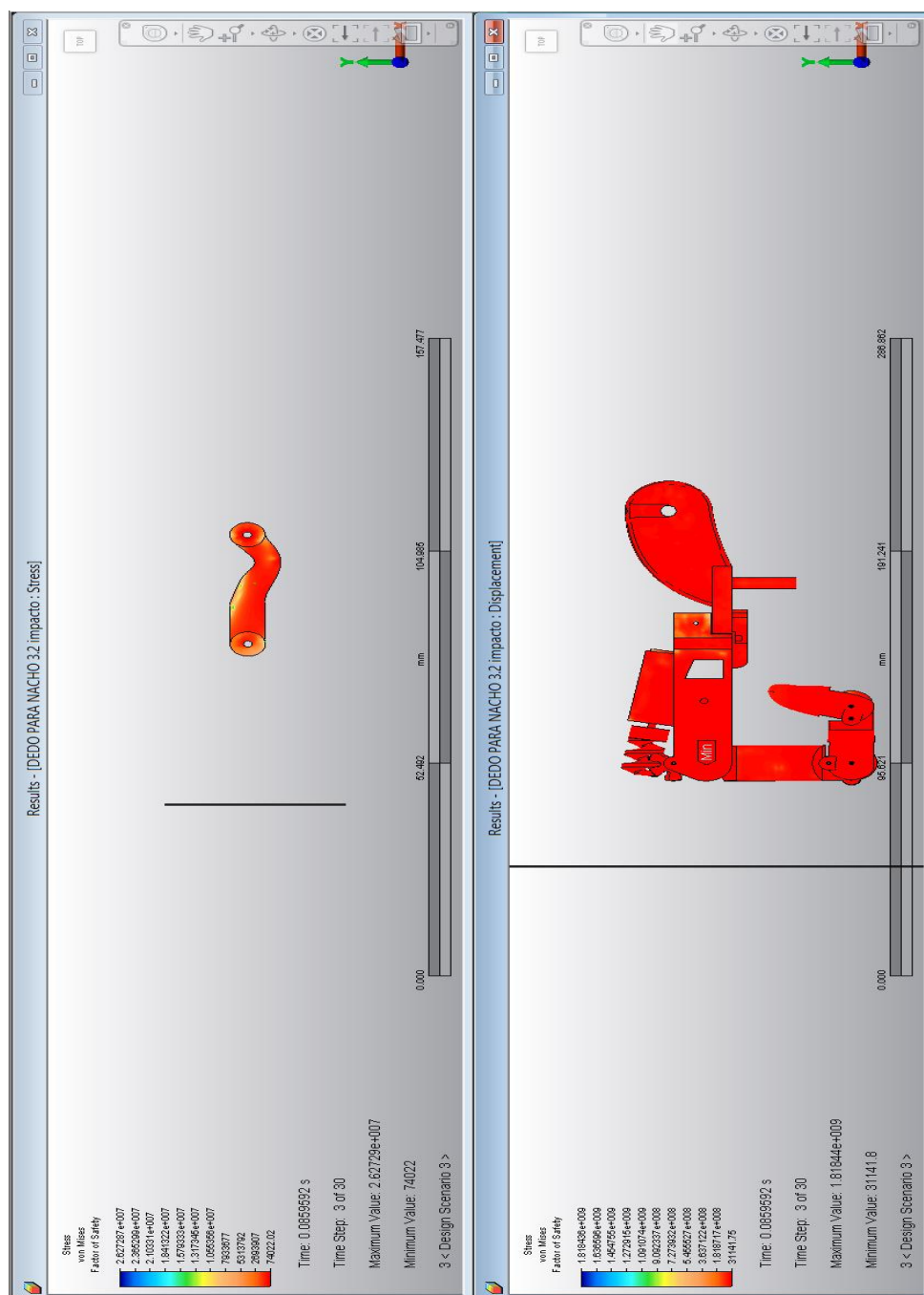


Figura 3. 90 iteración 4 de caída libre
Fuente: Elaboración propia

Iteración 5

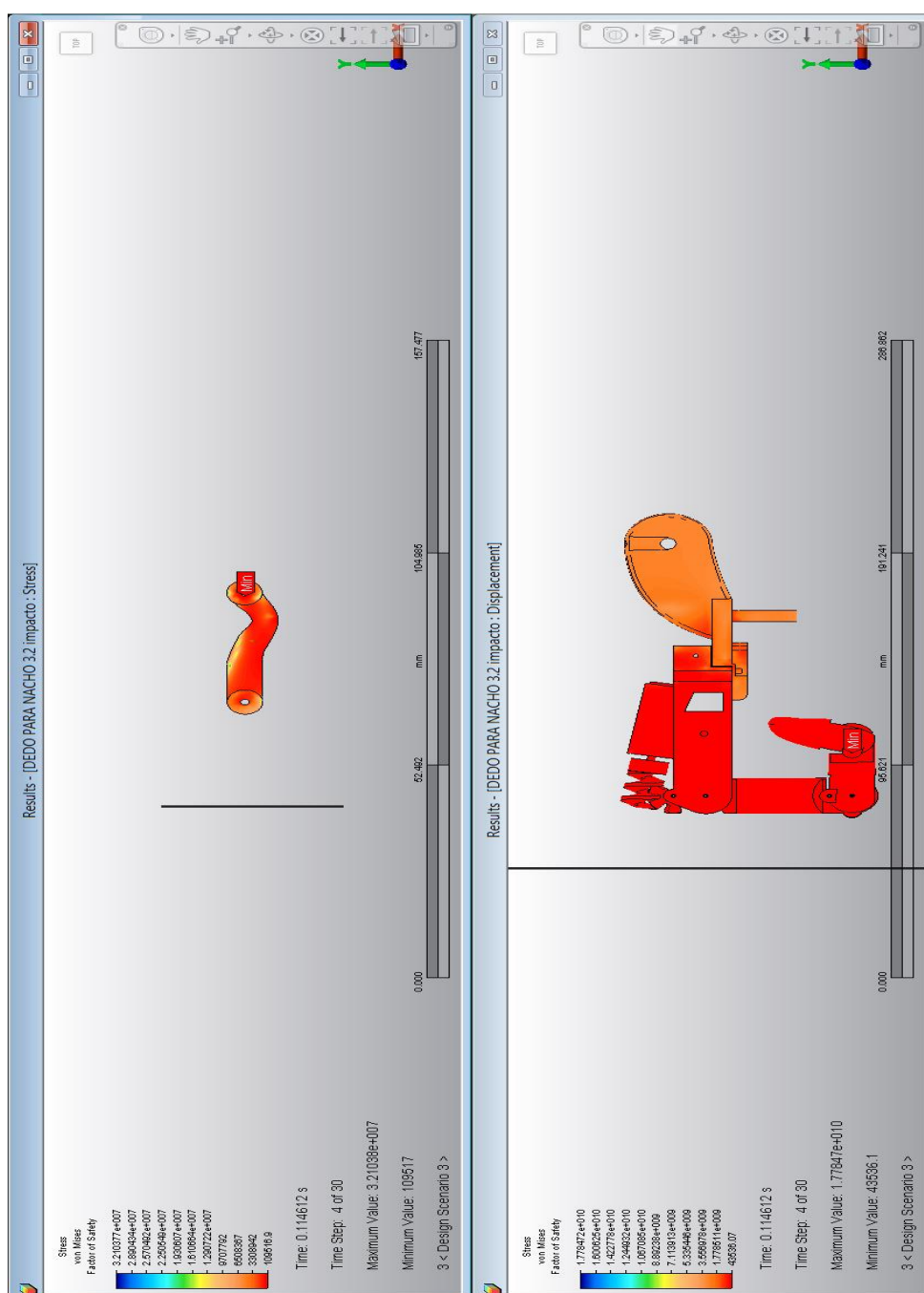


Figura 3. 91 iteración 5 de caída libre
Fuente: Elaboración propia

Iteración 6

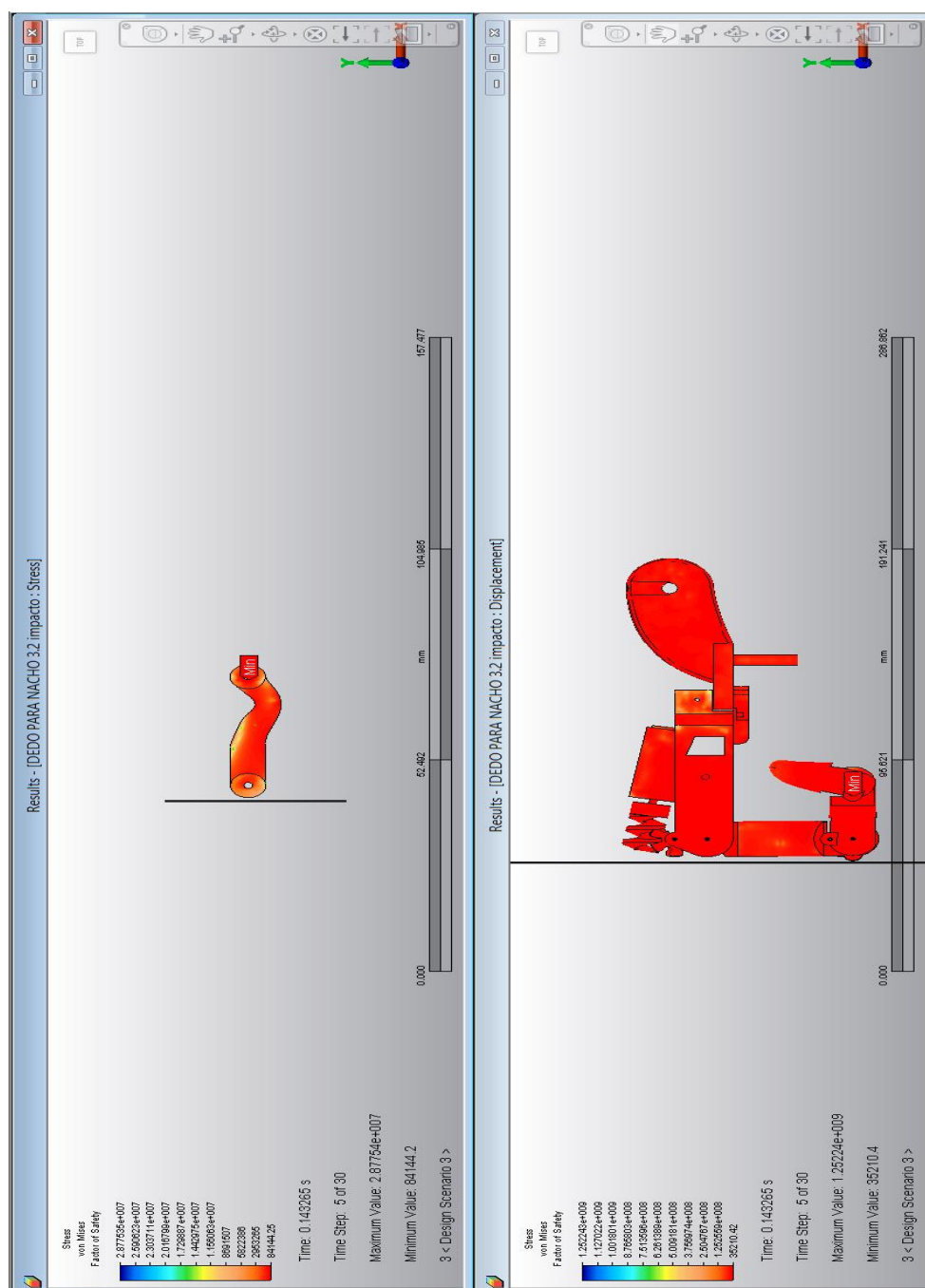


Figura 3. 92 iteración 6 de caída libre
Fuente: Elaboración propia

Iteración 7

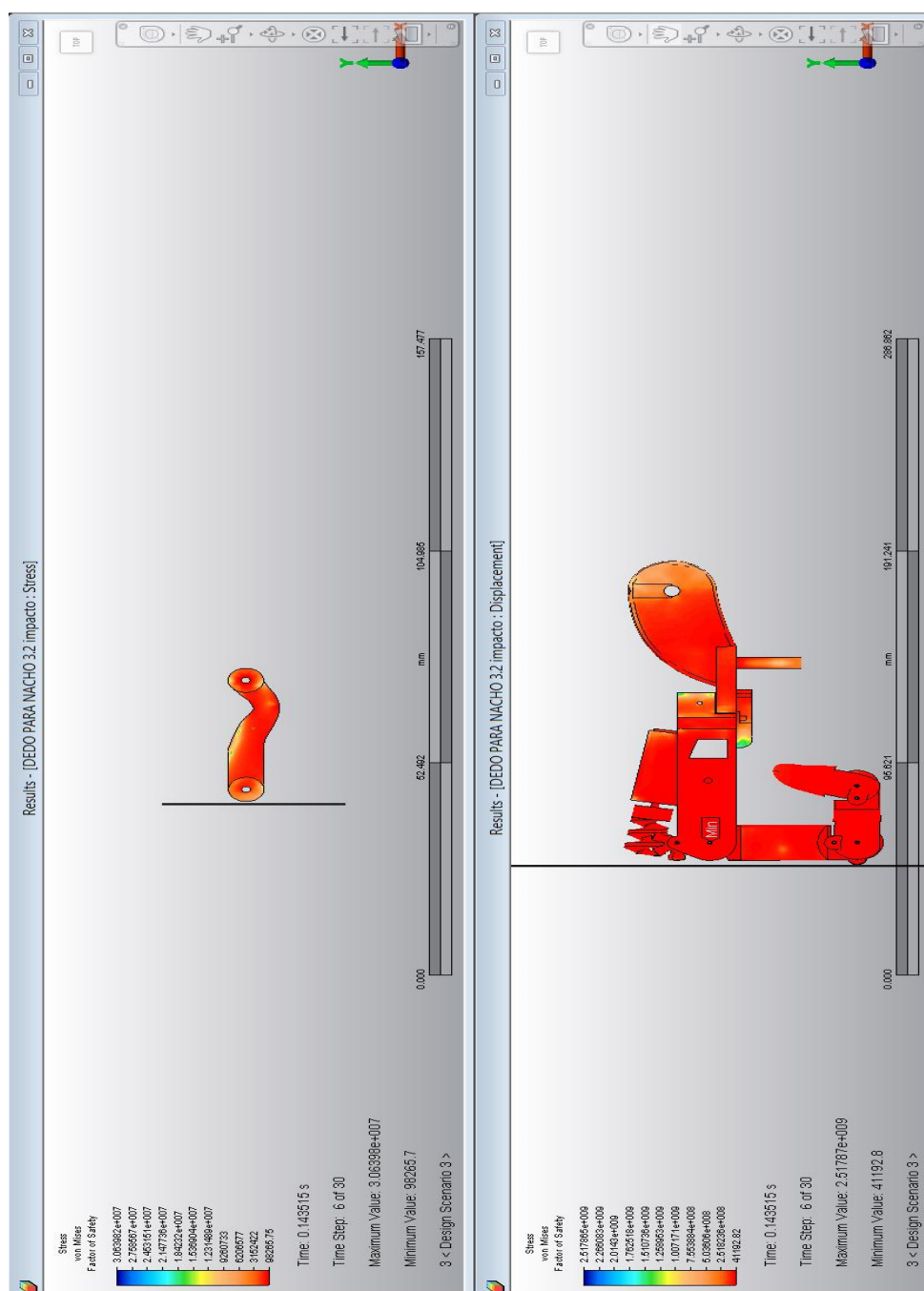


Figura 3.93 iteración 7 de caída libre
Fuente: Elaboración propia

Iteración 8

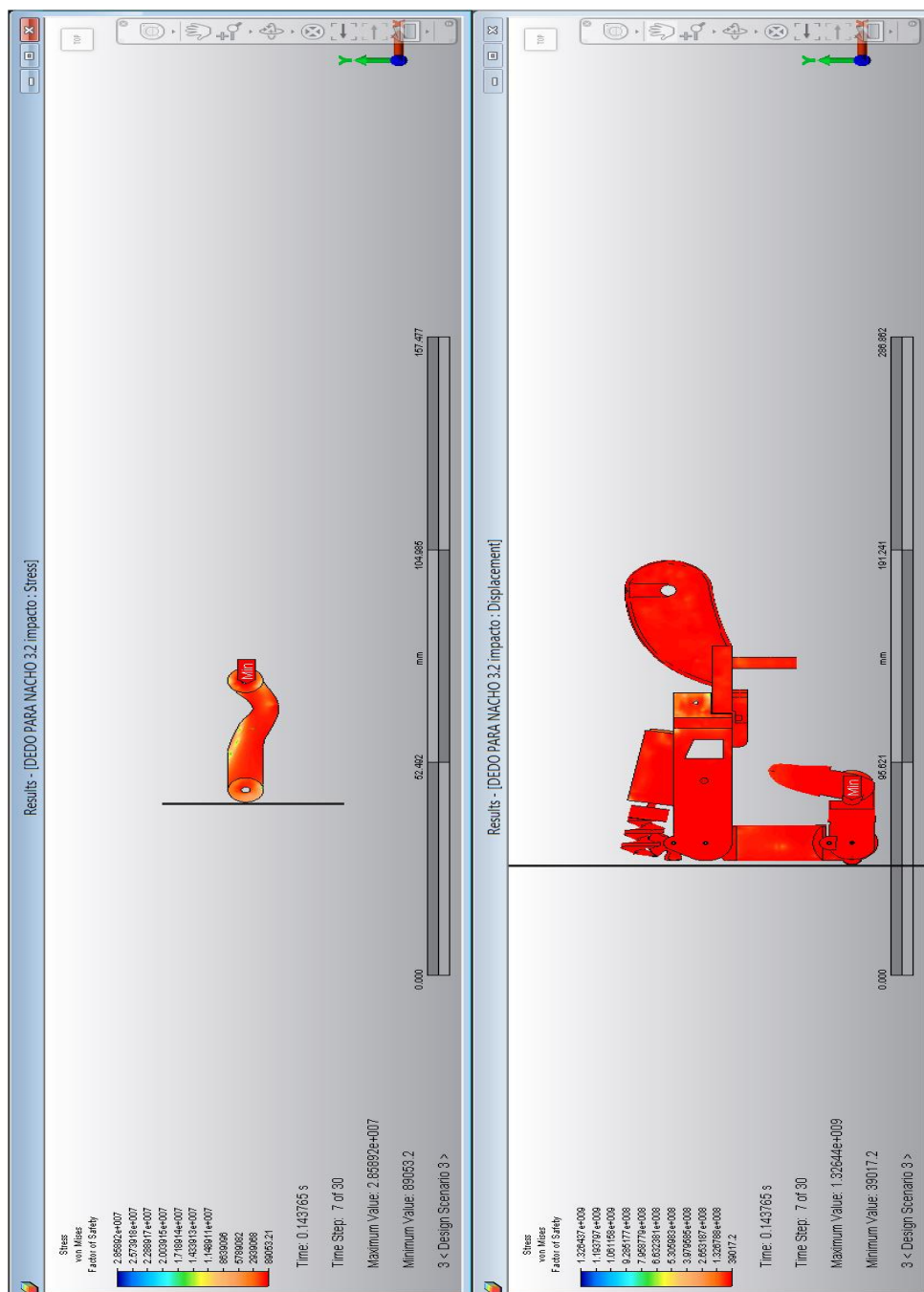


Figura 3. 94 iteración 8 de caída libre
Fuente: Elaboración propia

Iteración 9

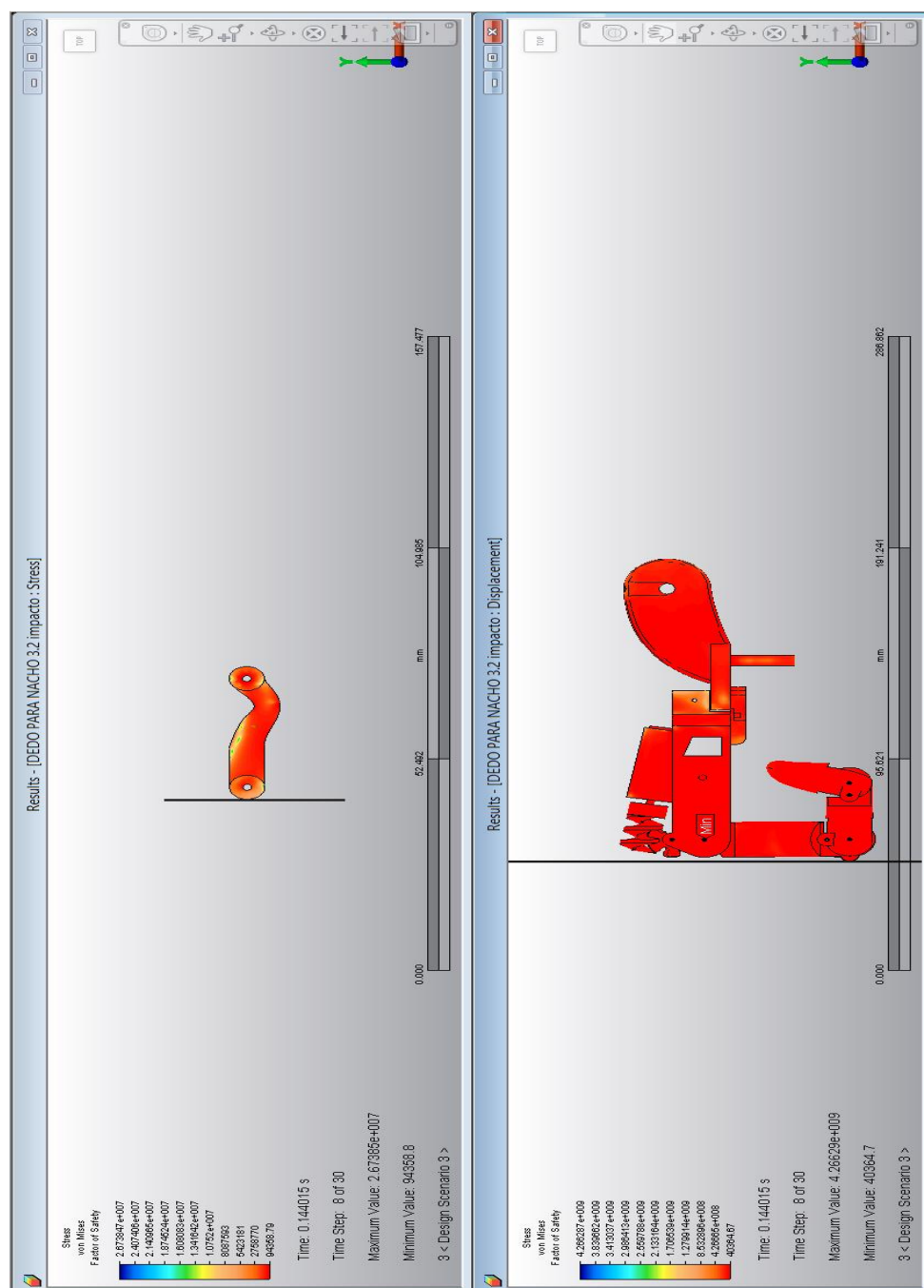


Figura 3. 95 iteración 8 de caída libre
Fuente: Elaboración propia

b) Impacto:

El ensamblaje ya hizo contacto con la superficie de impacto, en este instante aun no afecta los elementos. Solo se están “tocando”. Al seguir su trayectoria contra la superficie, afecta el factor de seguridad del actuador proximal debido al torque que ejerce uno de los extremos de la falange distal contra la zona de impacto.

Al instante siguiente el actuador distal tiene un factor de seguridad menor a uno, quiere decir que se fracturó y seguirá desgarrándose hasta terminar de romperse. Según las pruebas hechas con falanges reales, la zona de falla es la concavidad de esta.

Otra pieza en sufrir una ruptura en la falange proximal, en la unión con la falange metacarpiana, por el bajo grosor que tiene esa zona que se tuvo que reducir por el espacio que el engrane del actuador proximal necesitaba para rotar.

El ensamblaje tiende a rotar en su centro de gravedad en sentido antihorario, por el peso del tornillo de gusano.

Iteración 10

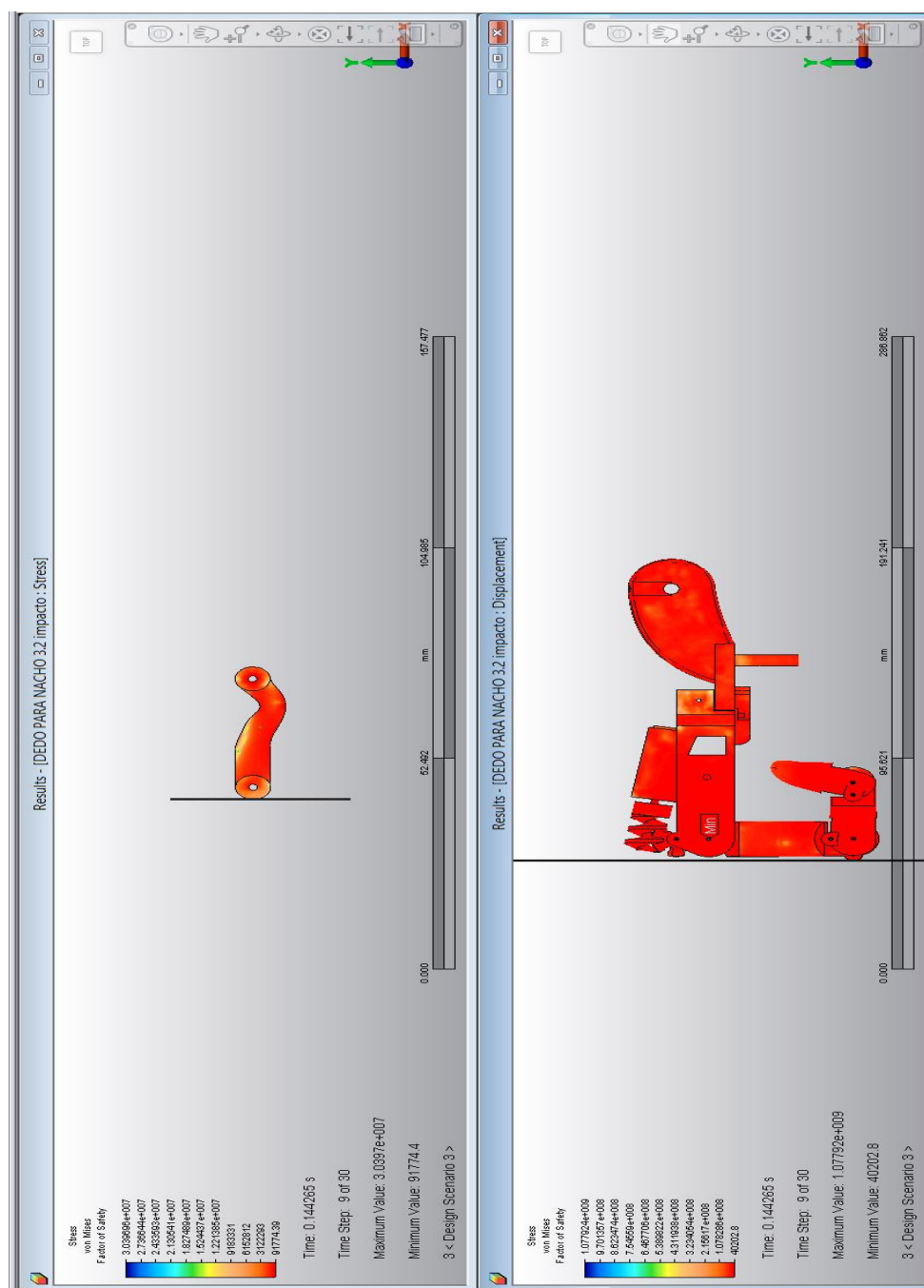


Figura 3. 96 iteración 1 de impacto
Fuente: Elaboración propia

Iteración 11

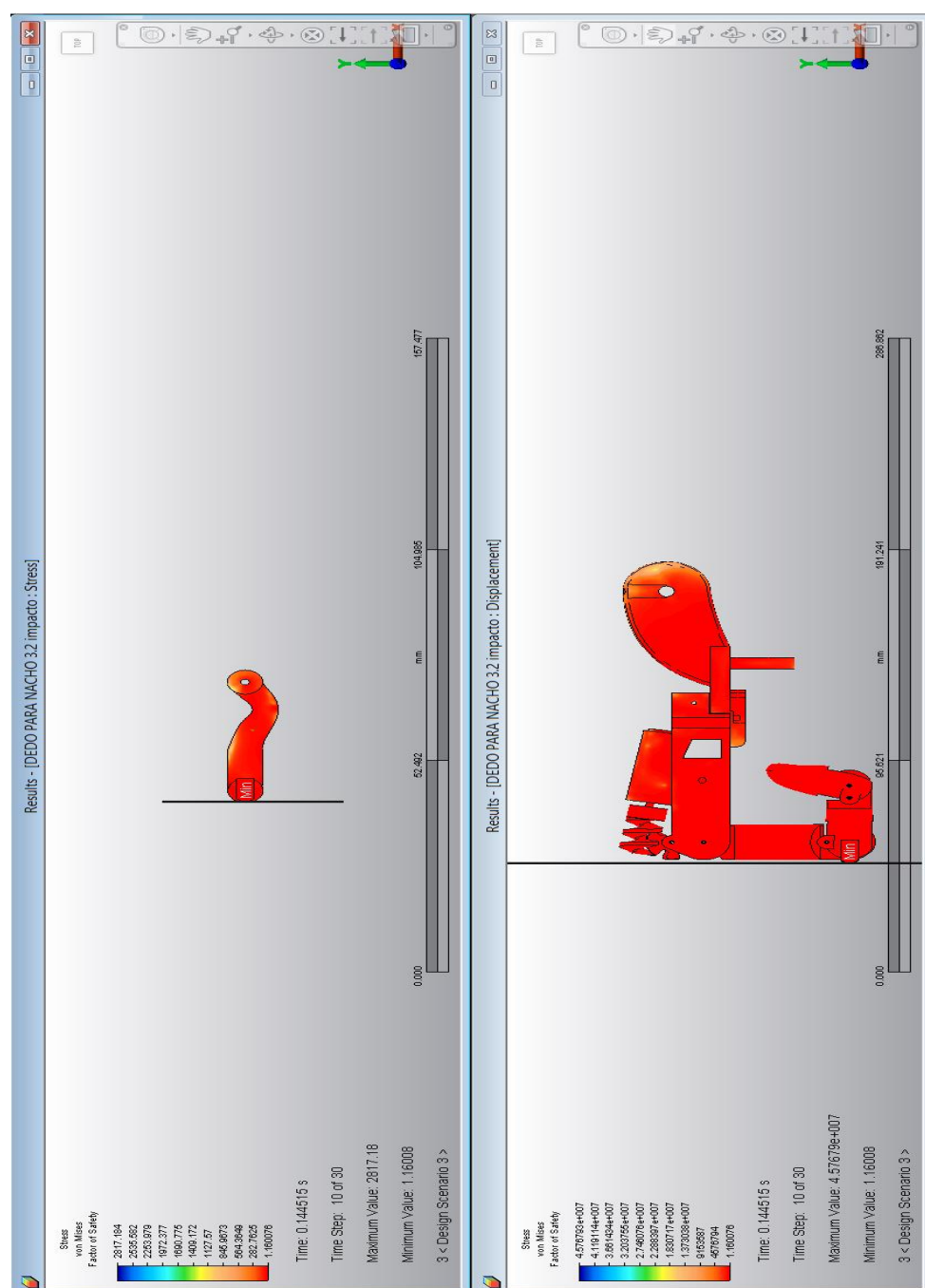


Figura 3. 97 iteración 2 de impacto
Fuente: Elaboración propia

Iteración 12

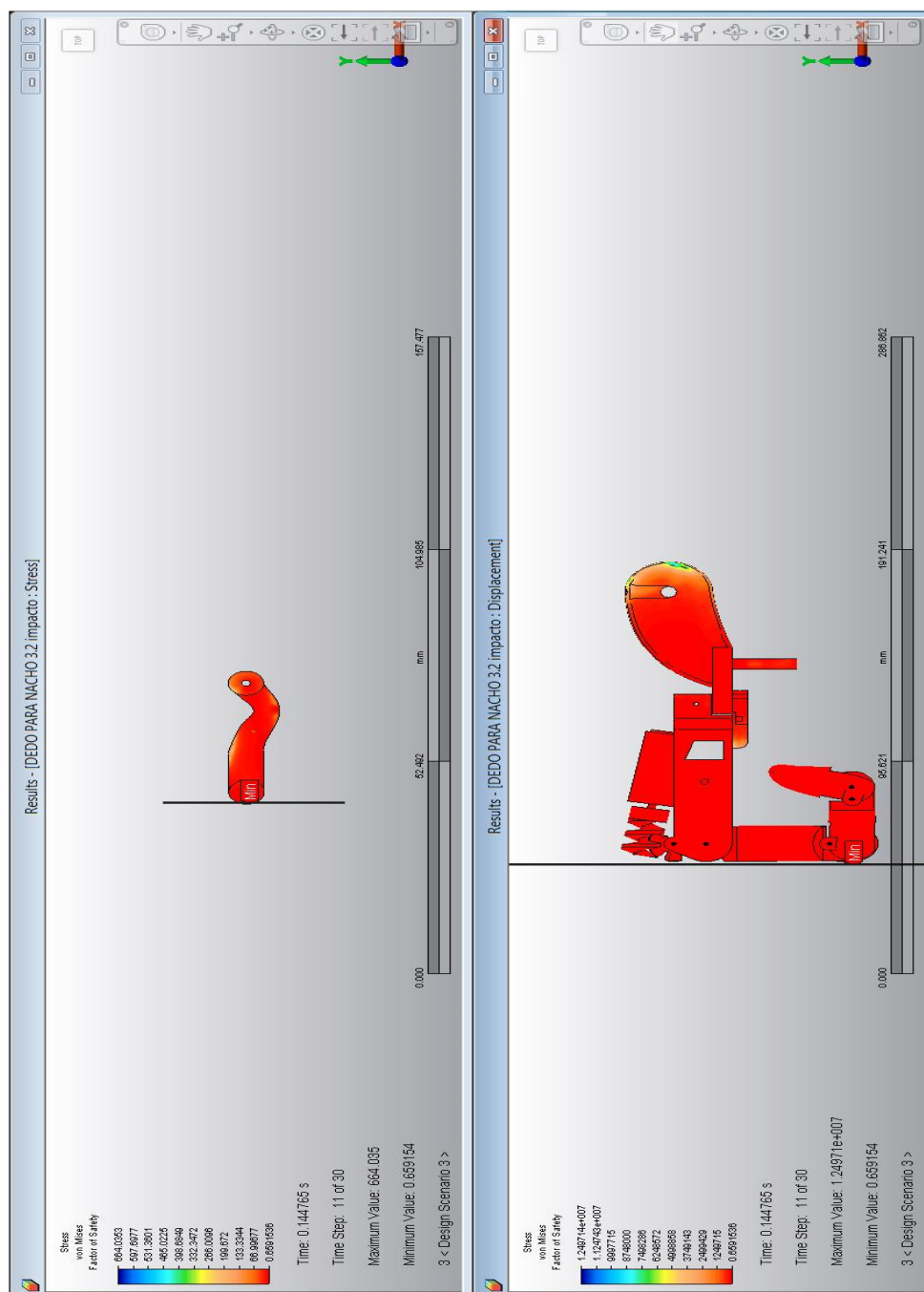


Figura 3. 98 iteración 3 de impacto
Fuente: Elaboración propia

Iteración 13

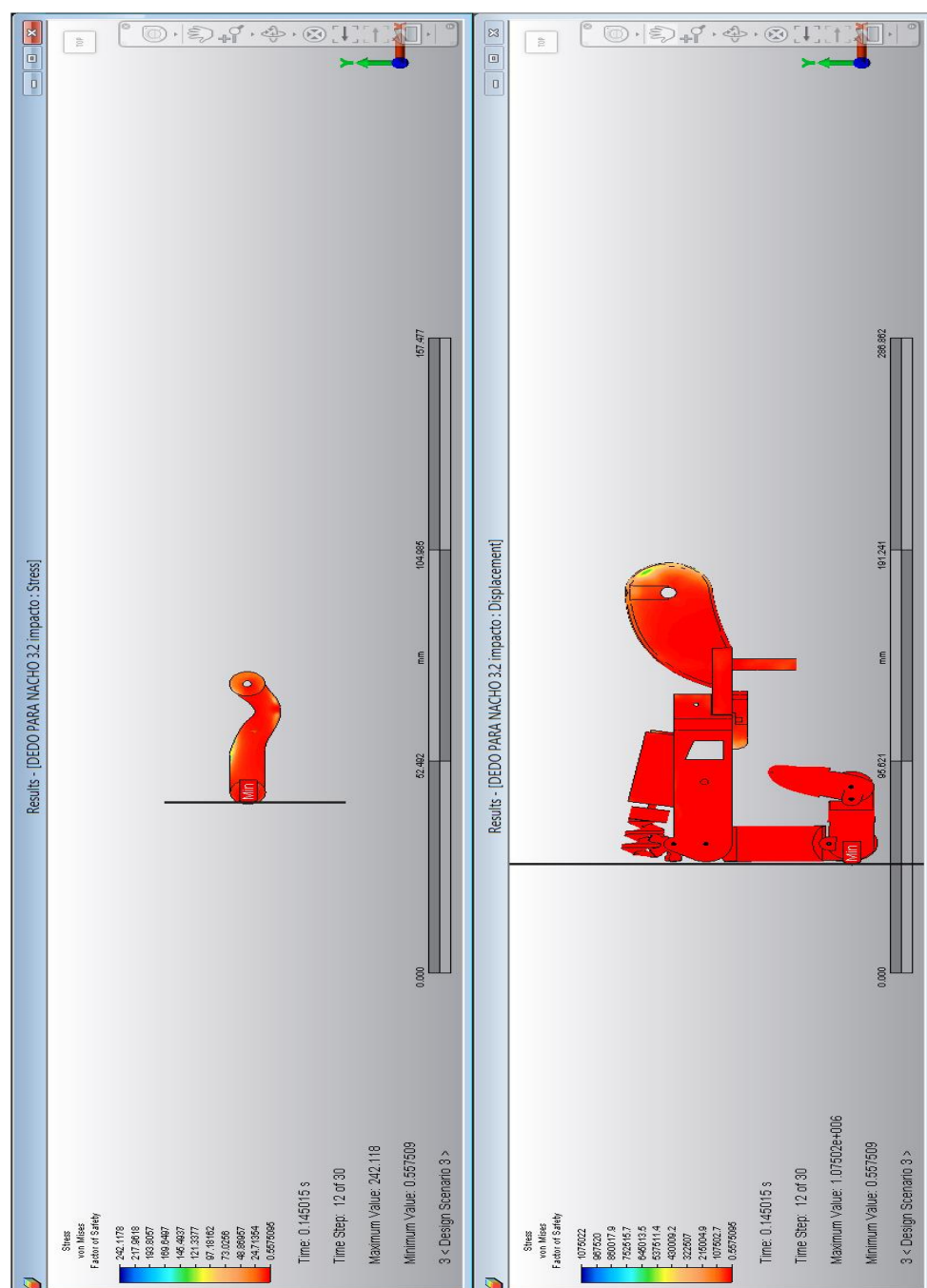


Figura 3. 99 iteración 4 de impacto
Fuente: Elaboración propia

Iteración 14

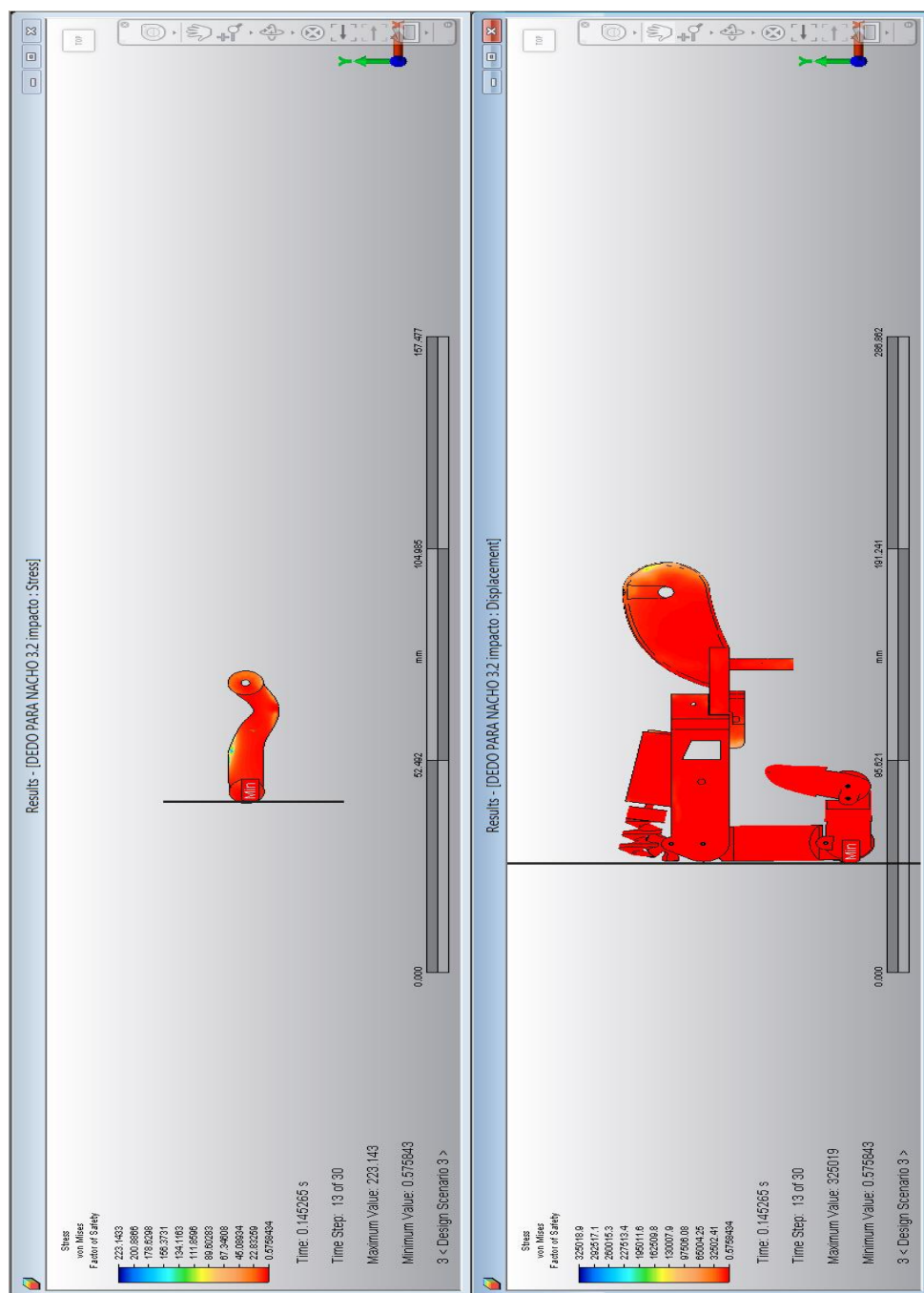


Figura 3. 100 iteración 5 de impacto
Fuente: Elaboración propia

Iteración 15

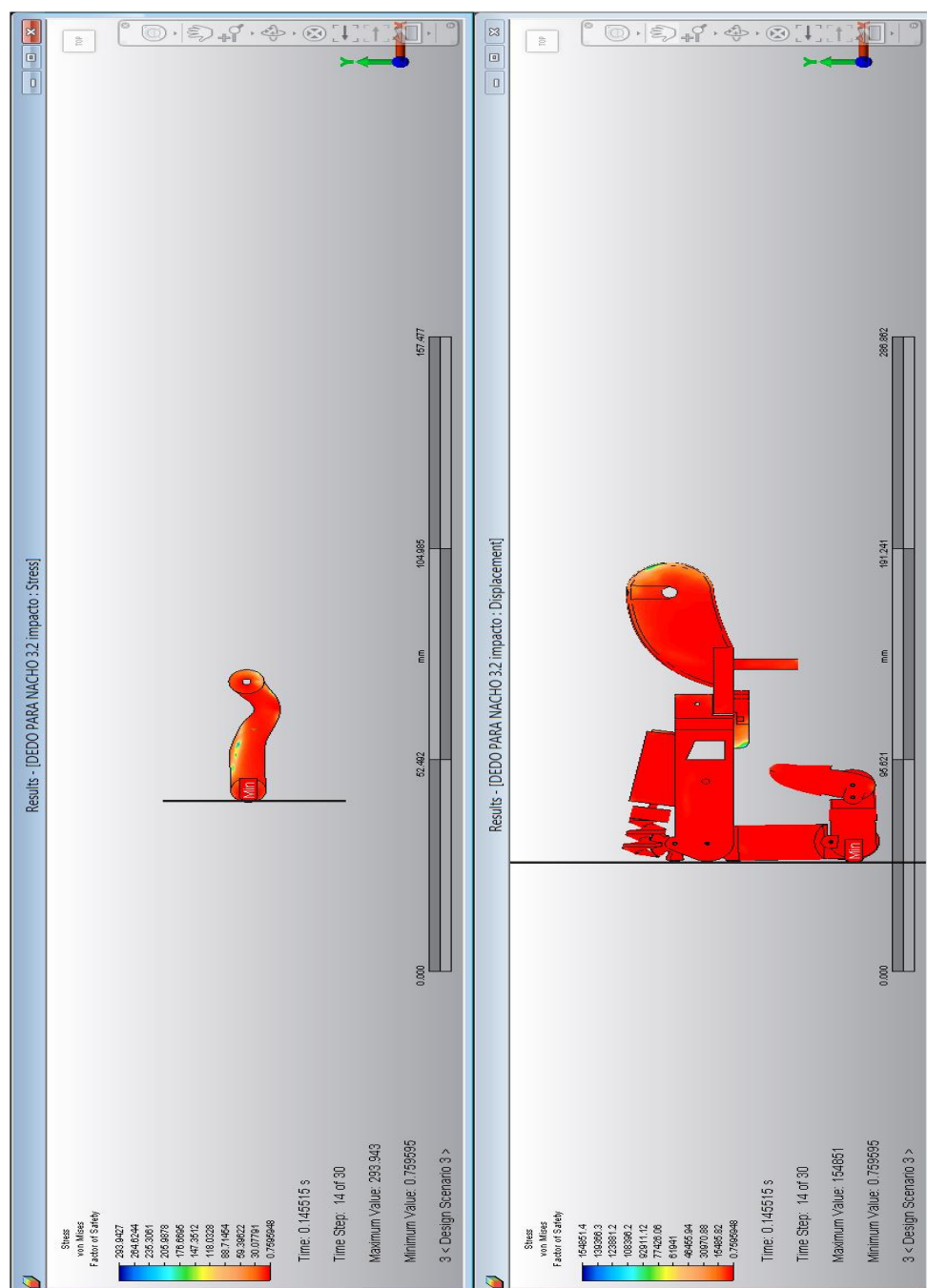


Figura 3. 101 iteración 6 de impacto
Fuente: Elaboración propia

Iteración 16

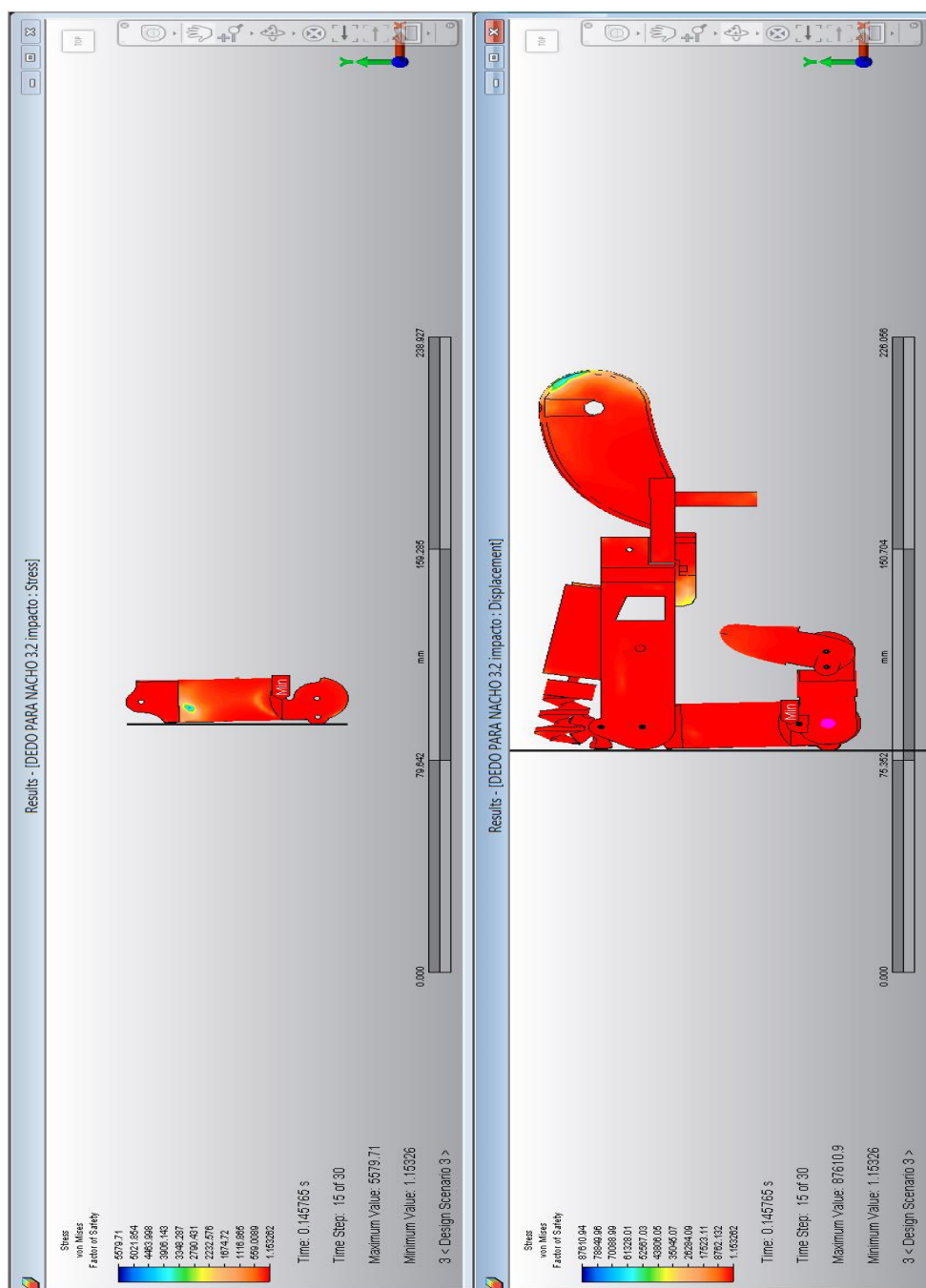


Figura 3. 102 iteración 7 de impacto
Fuente: Elaboración propia

Iteración 17

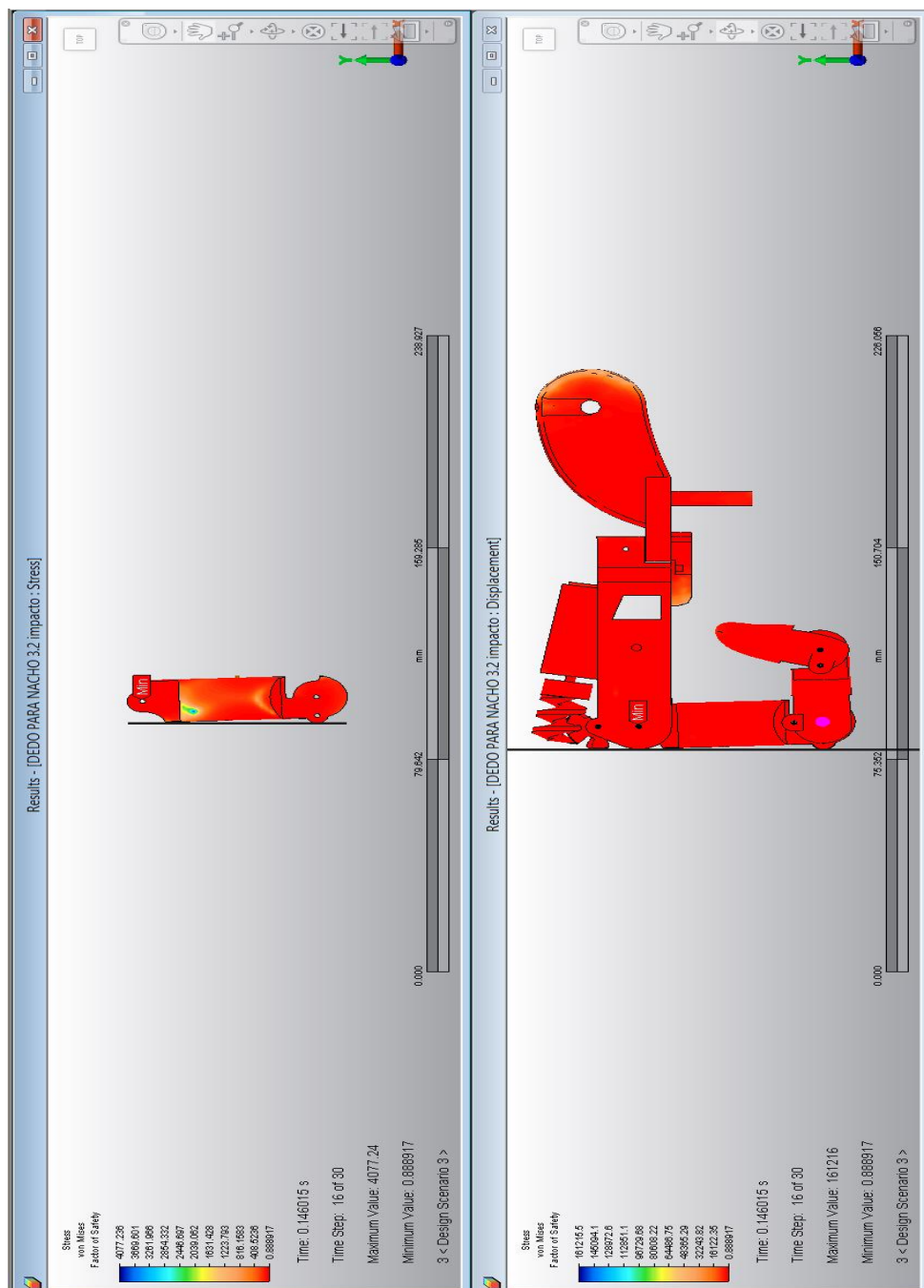


Figura 3. 103 iteración 8 de impacto
Fuente: Elaboración propia

Iteración 18

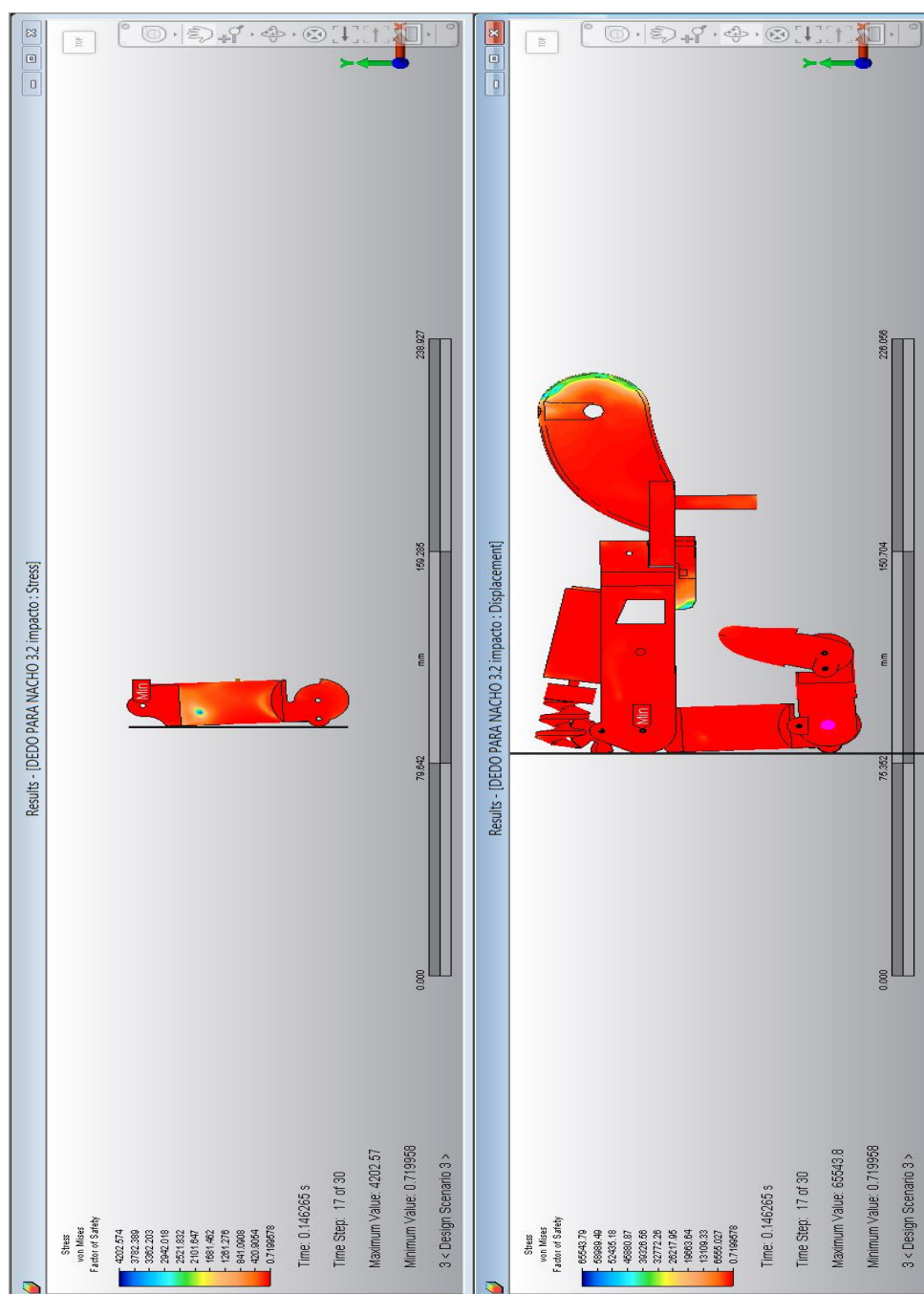


Figura 3. 104 iteración 9 de impacto
Fuente: Elaboración propia

Iteración 19

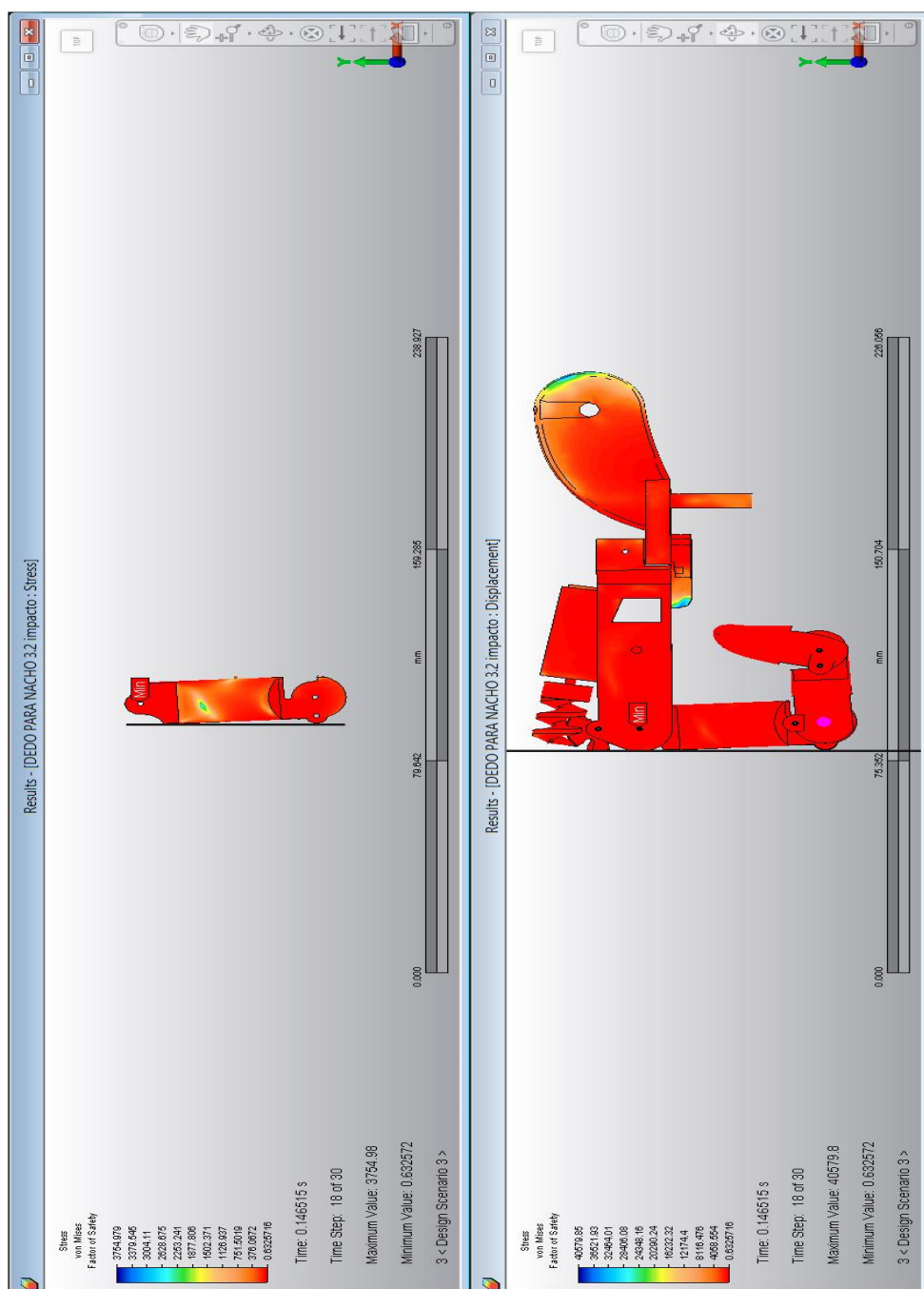


Figura 3. 105 iteración 10 de impacto
Fuente: Elaboración propia

Iteración 21

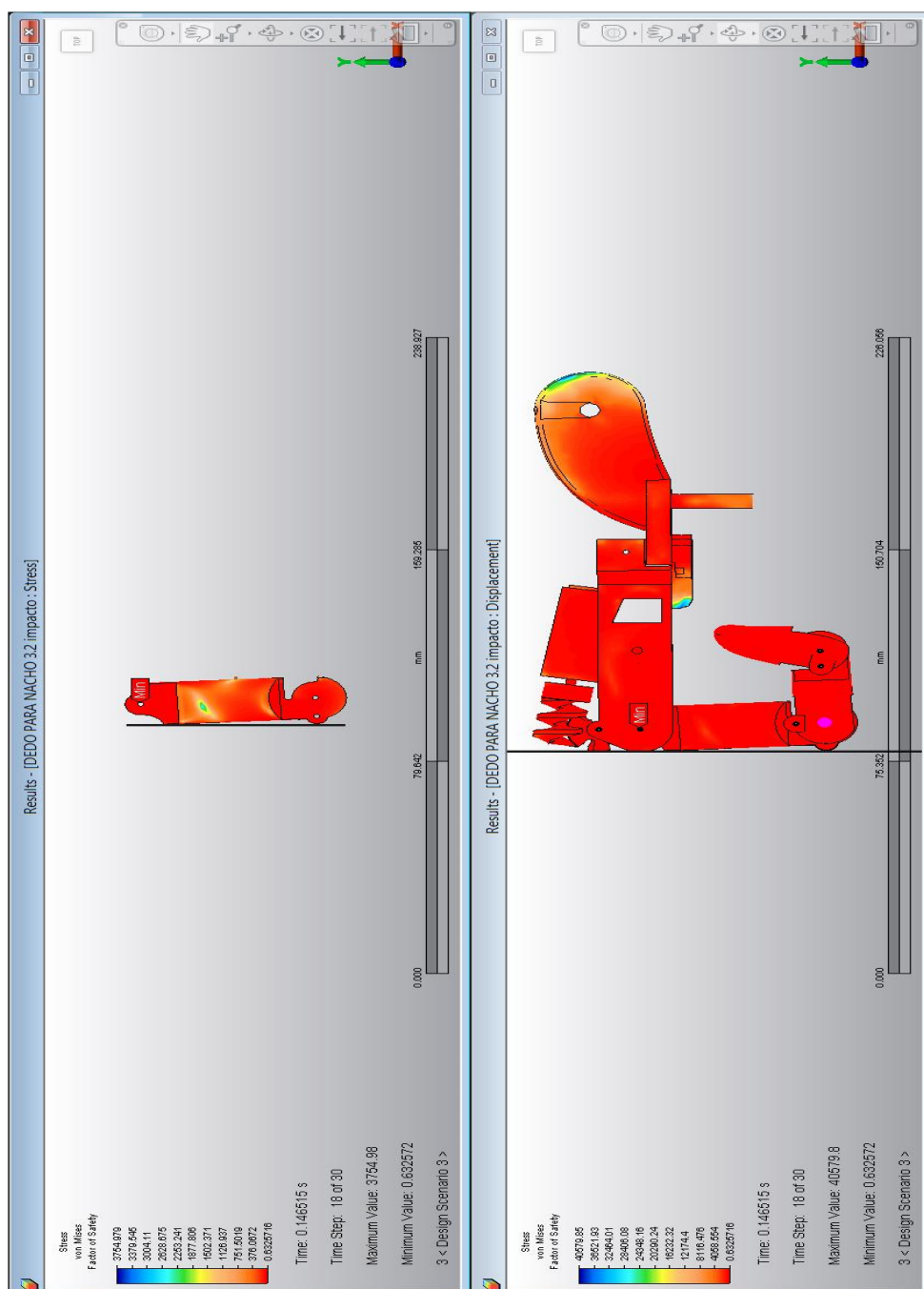


Figura 3. 106 iteración 11 de impacto
Fuente: Elaboración propia

c) Deflexión:

Después de que el cuerpo colisiona contra el plano de impacto, que es rígido y no absorbe el impacto, este rebota por su restitución elástica.

A estas alturas la falange proximal ya no puede unirse a la falange metacarpiana, puesto que la parte donde está el eje que la une a la falange metacarpiana esta desgarrada.

El siguiente elemento en tener un factor de seguridad menor a 1, y por ende, presentar una falla es la falange media. La zona de fractura se encuentra en la en la cavidad que la une el actuador proximal.

Por último, la falange proximal se termina de romper por la zona donde el eje de la falange media recorre su trayectoria.

Al terminar todo estas iteraciones, se puede apreciar que el dedo queda inutilizado, ya que no fue diseñado para estas cargas.

Iteración 21

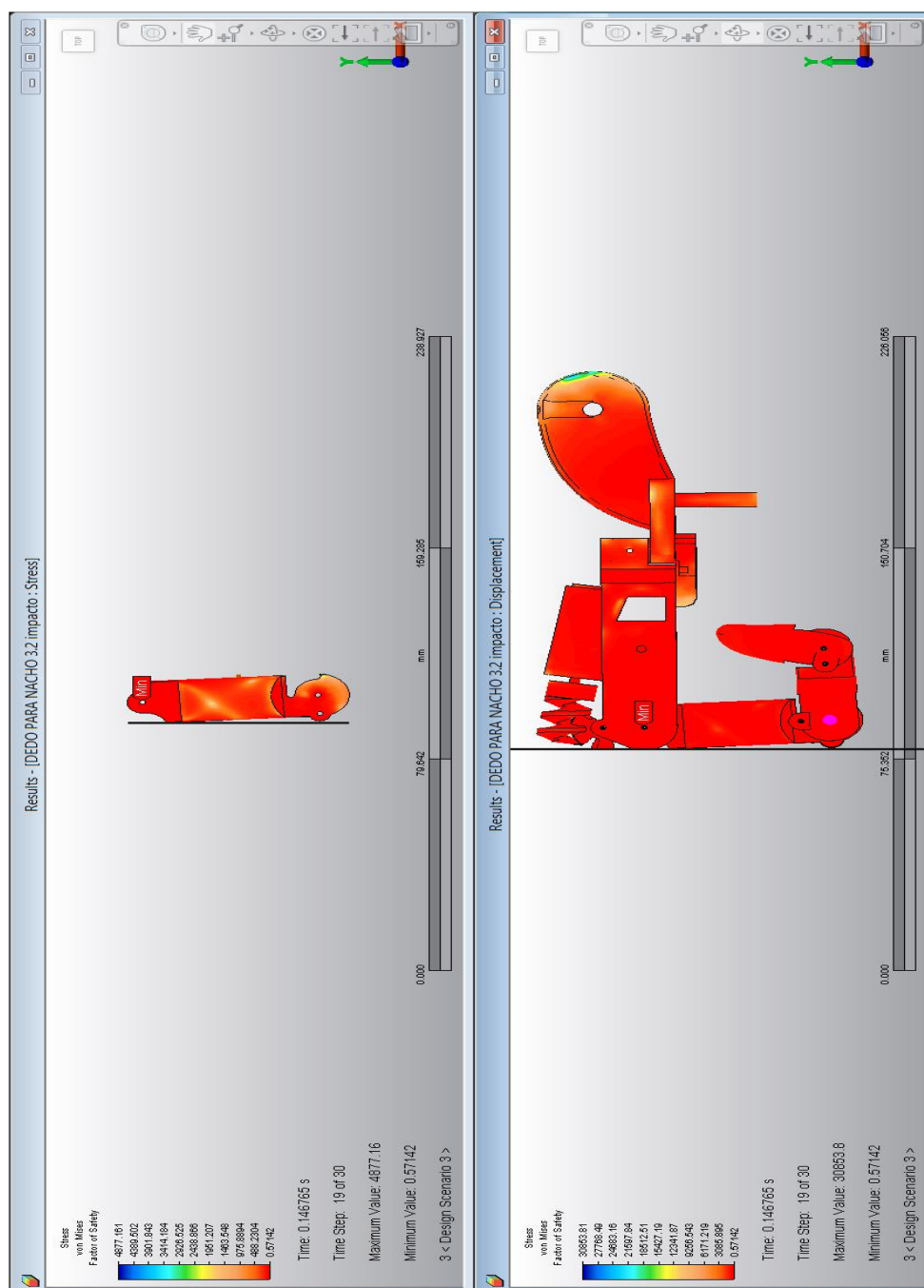


Figura 3. 107 iteración 1 de deflexión
Fuente: Elaboración propia

Iteración 22

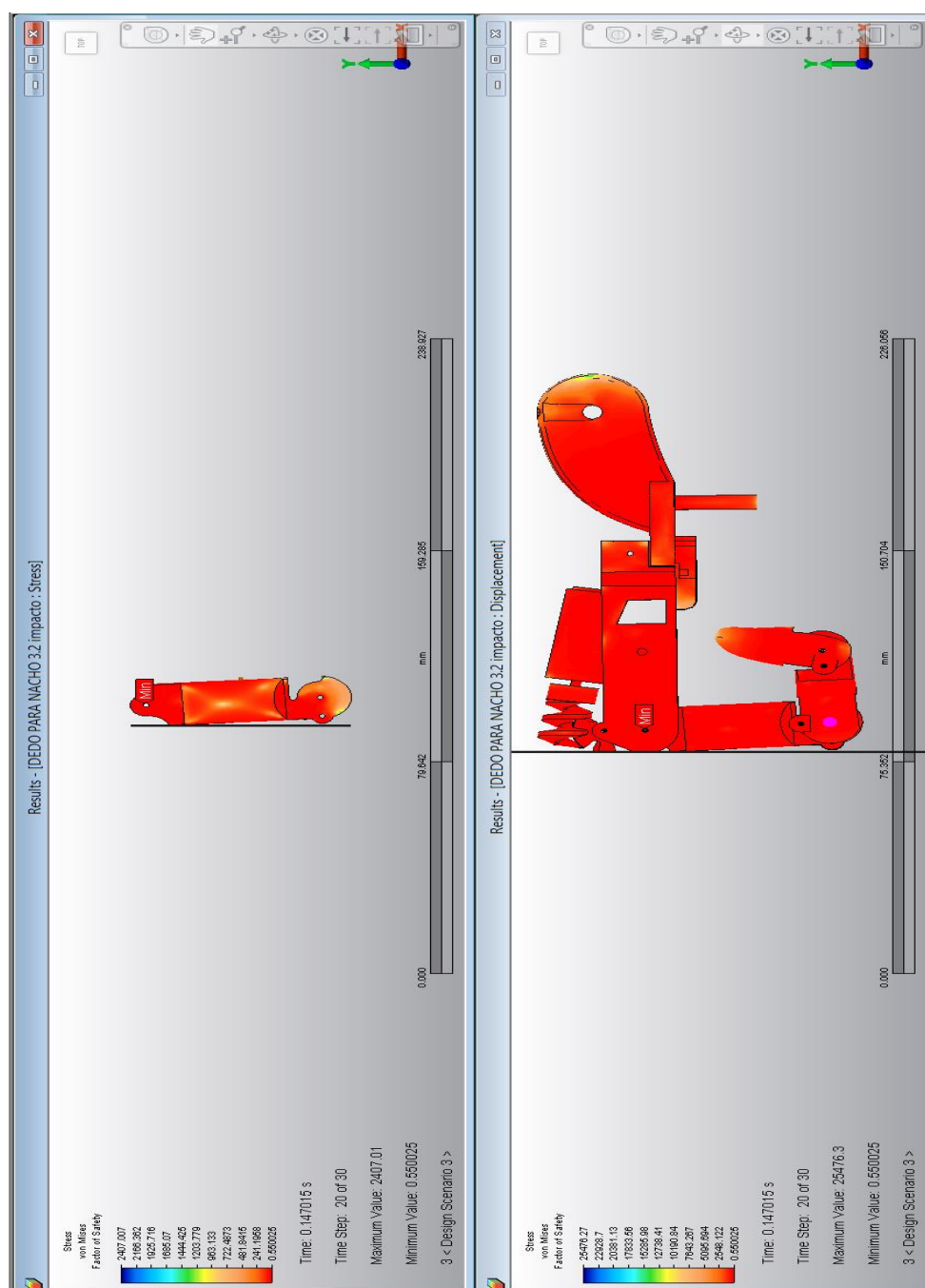


Figura 3. 108 iteración 2 de deflexión
Fuente: Elaboración propia

Iteración 23

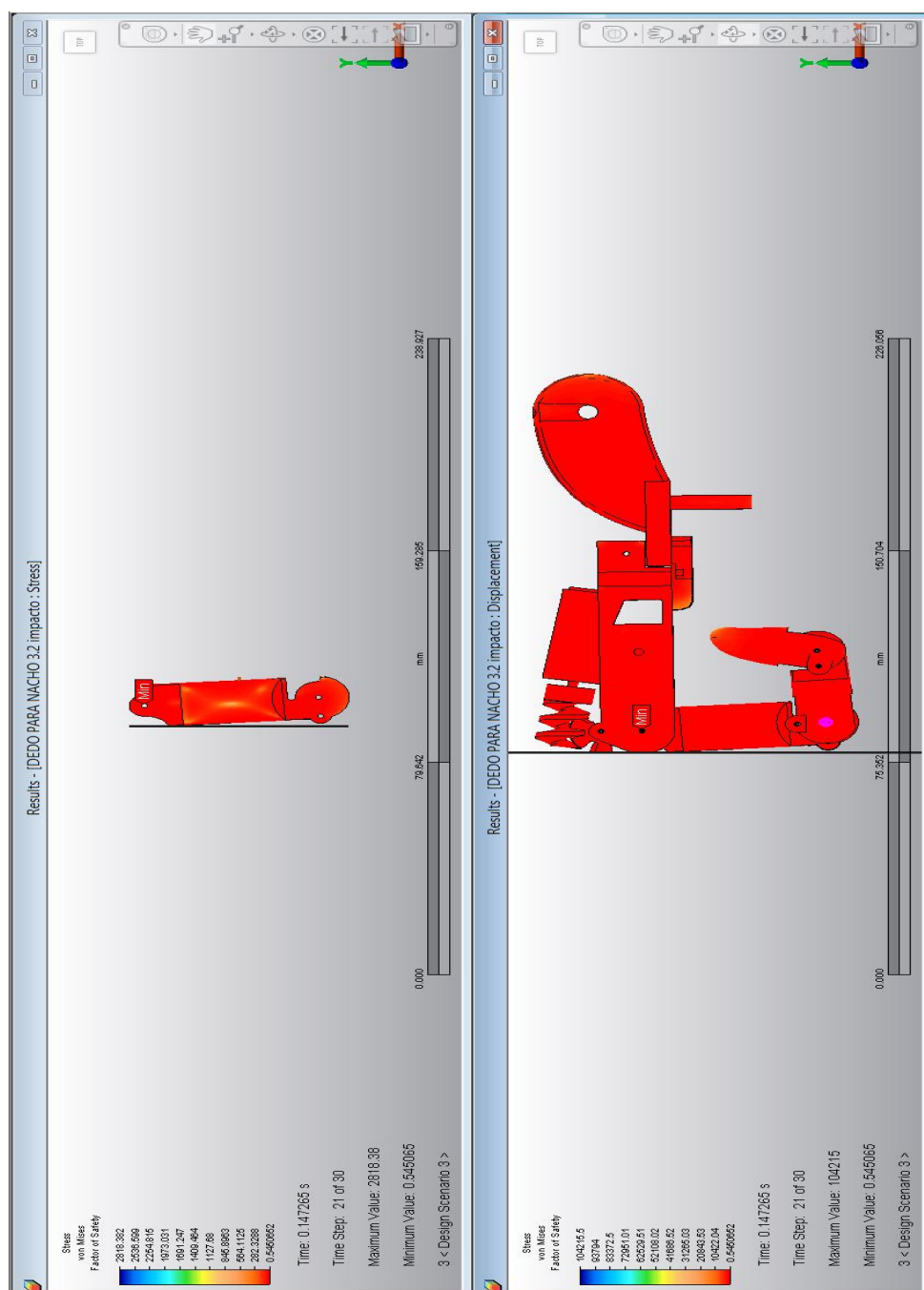


Figura 3. 109 iteración 3 de deflexión
Fuente: Elaboración propia

Iteración 24

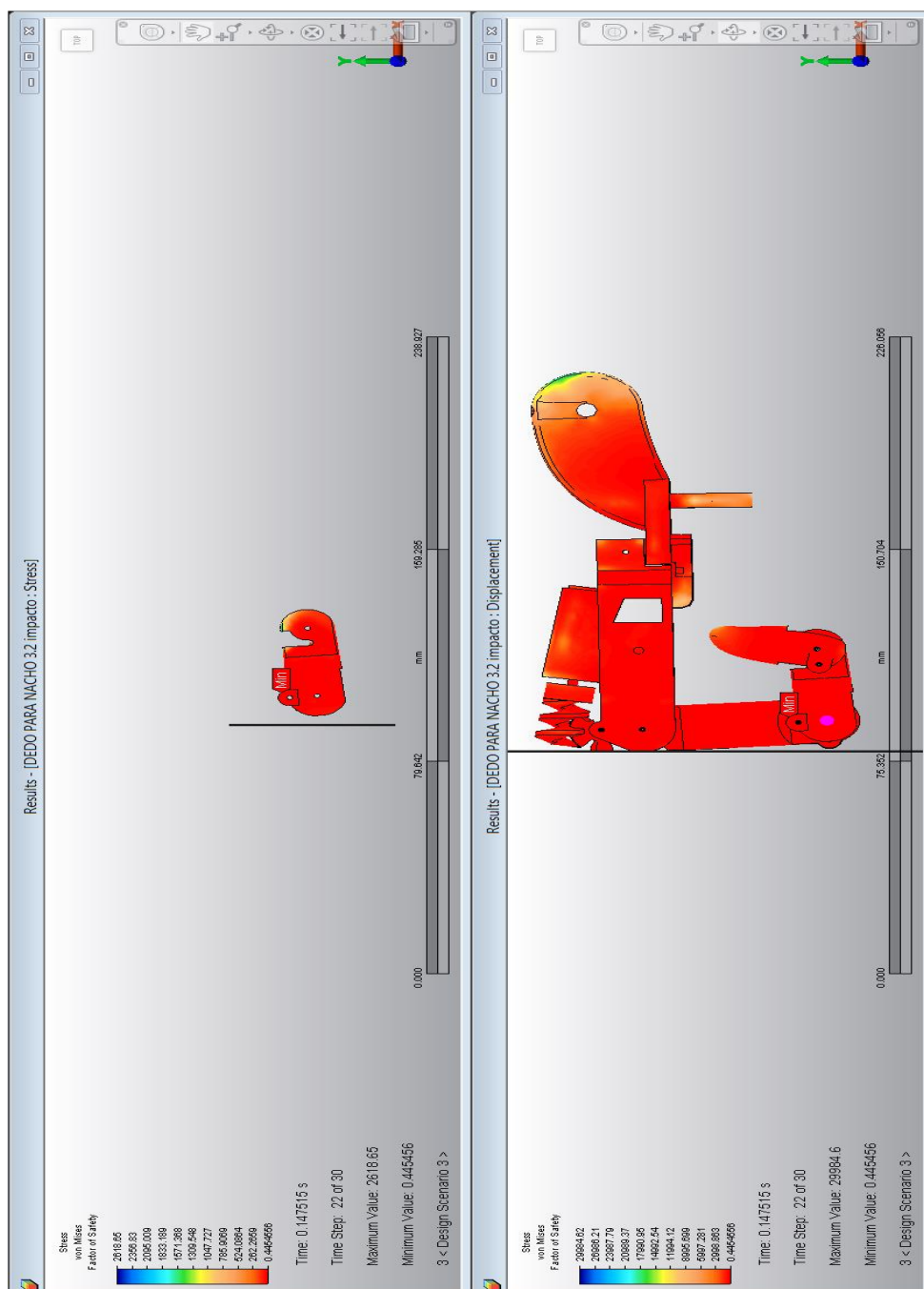


Figura 3. 110 iteración 4 de deflexión
Fuente: Elaboración propia

Iteración 25

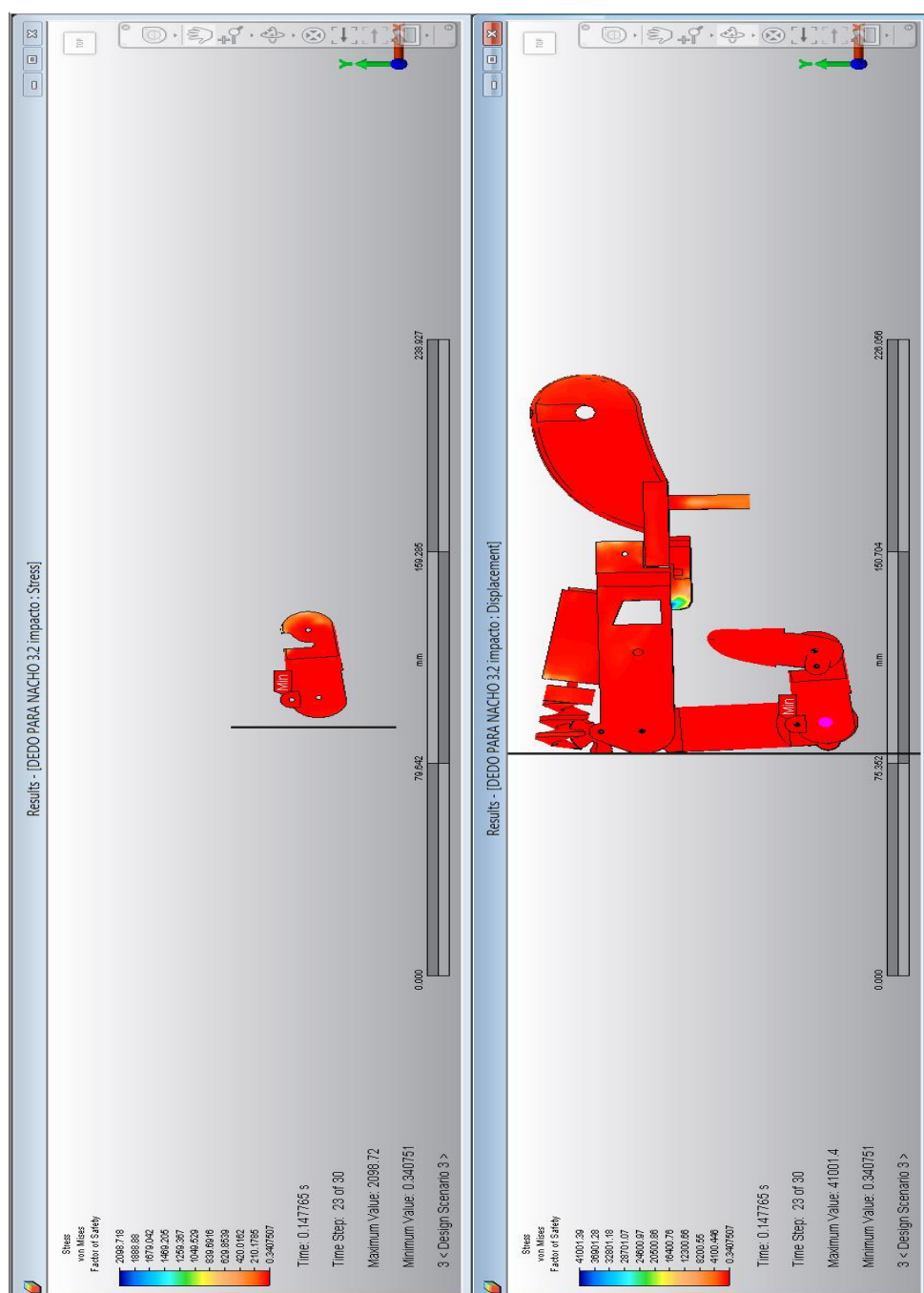


Figura 3. 111 iteración 5 de deflexión
Fuente: Elaboración propia

Iteración 26

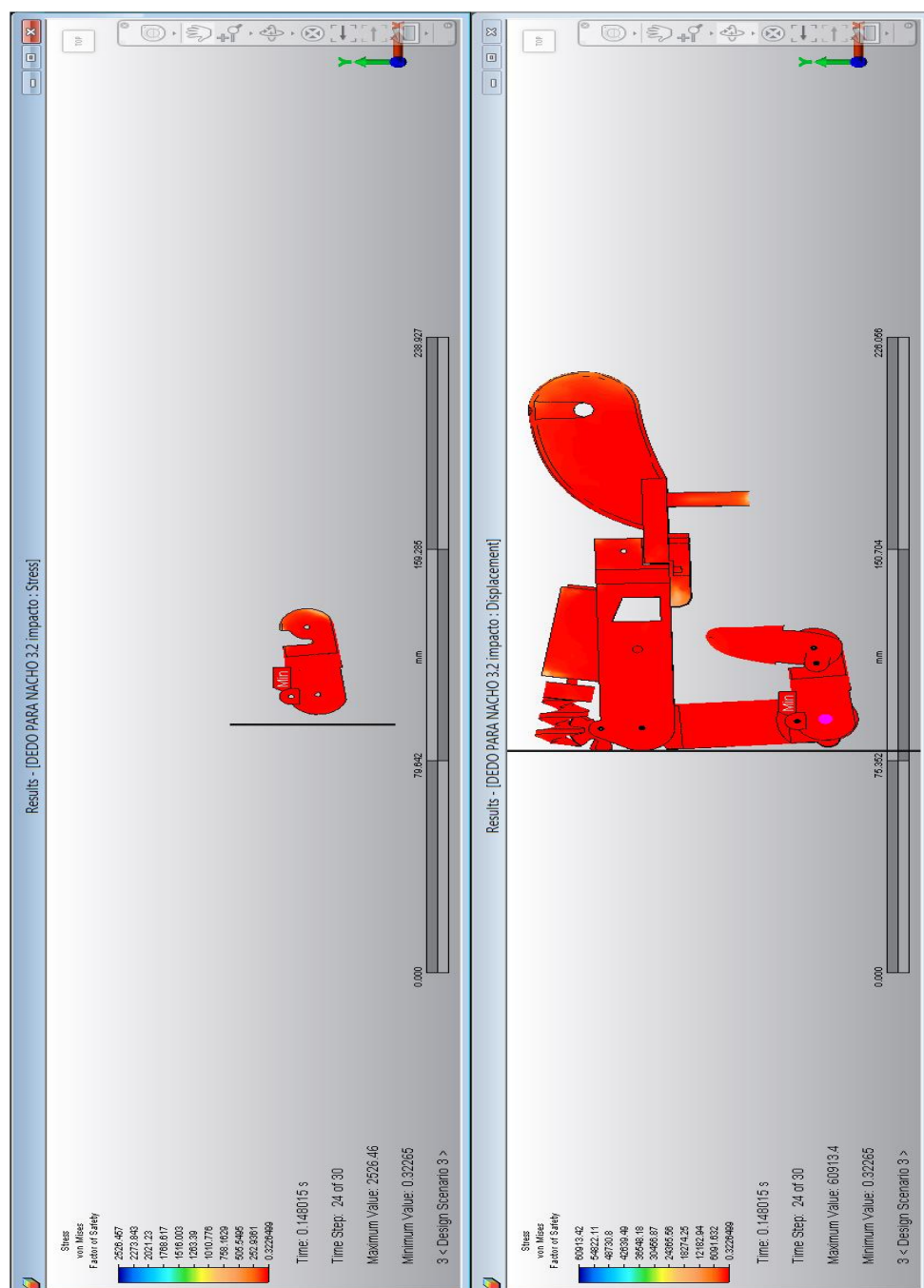


Figura 3. 112 iteración 6 de deflexión
Fuente: Elaboración propia

Iteración 27

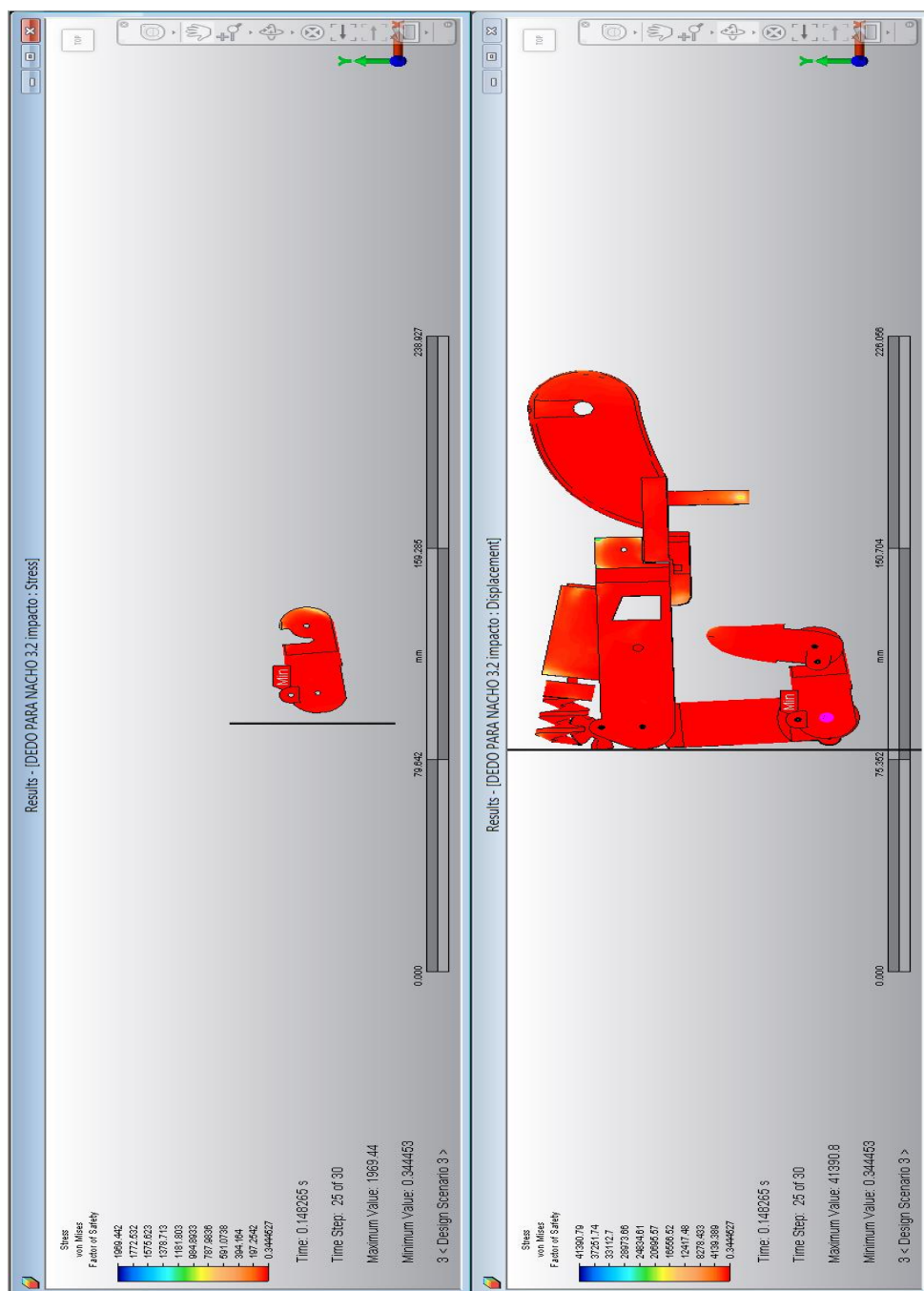


Figura 3.113 iteración 7 de deflexión
Fuente: Elaboración propia

Iteración 28

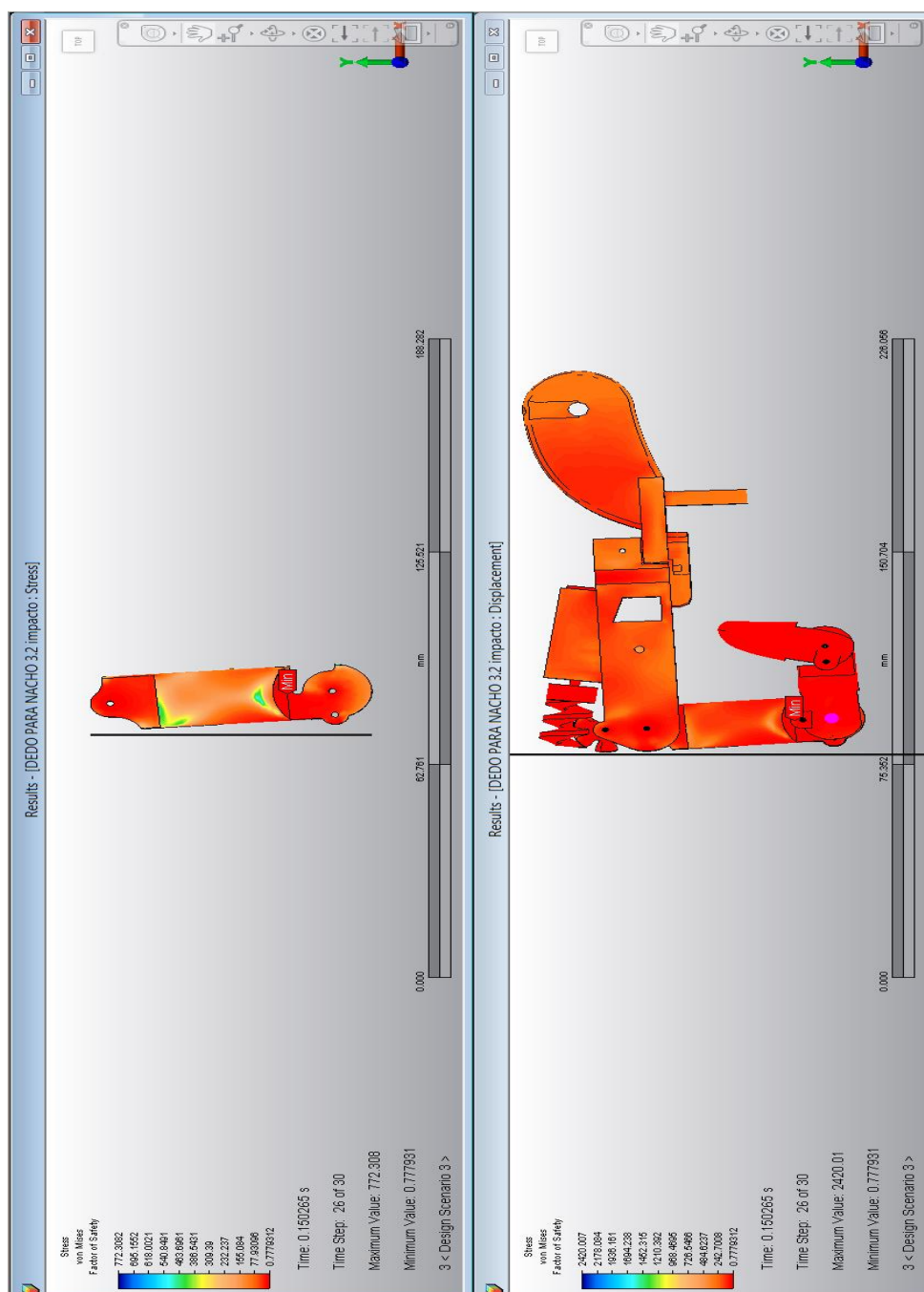


Figura 3. 114 iteración 8 de deflexión
Fuente: Elaboración propia

Iteración 29

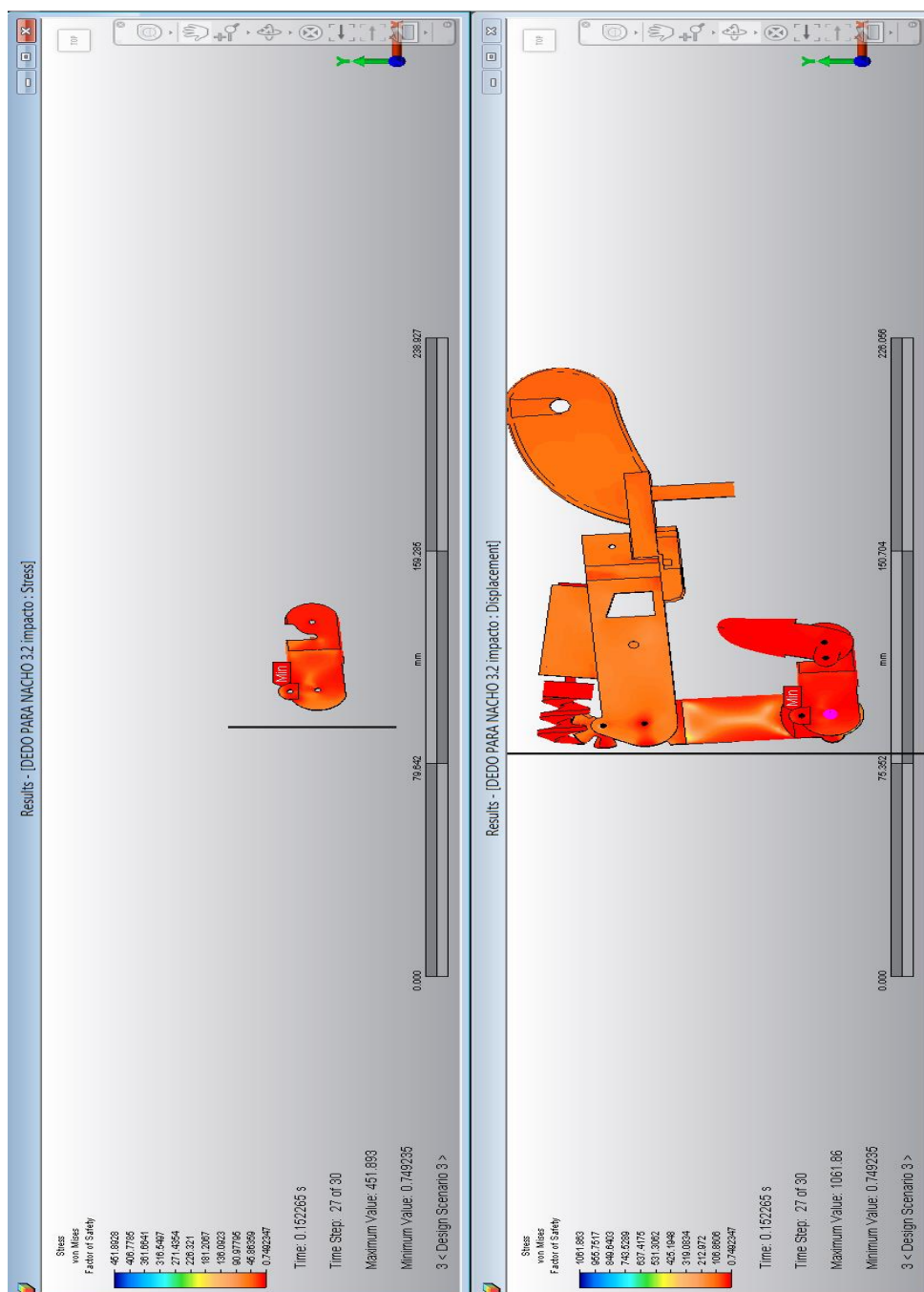


Figura 3. 115 iteración 9 de deflexión
Fuente: Elaboración propia

Iteración 30



Figura 3. 116 iteración 10 de deflexión
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: CONTROL DE MOVIMIENTO

El movimiento de cada dedo es producido por un motor de corriente continua. Debido a que la excursión espacial de cada dedo es un segmento angular, tendremos dos finales de carrera más allá de los cuales no podrá haber movimiento del dedo (es decir, el movimiento será trabado) por configuración mecánica.

Sin un sistema de control de potencia, al llegar el dedo en movimiento a cualquiera de los dos finales de carrera, el motor se detendría recibiendo más corriente, hasta un extremo que podría dañarse. El límite admisible de corriente de un motor de corriente continua está dado en las especificaciones del fabricante. En nuestro robot usamos dos modelos distintos de motores de corriente continua: POLOLU 994 para cada uno de los dedos y POLOLU 1595 para la articulación de dedo opuesto en el pulgar.

Ambos modelos están especificados para corrientes menores que 1,6 A funcionando a 6 V. Al hacer las pruebas para alcanzar un movimiento bastante veloz de los dedos (más veloz que el deseado), se obtuvieron corrientes no mayores que 1 A con el motor alimentado a 5 V (obviamente con carga: todas las piezas móviles de un dedo), por lo que se decidió pensar el circuito de control de modo que no superase esta corriente, tanto en los dedos como en la articulación.

El circuito de control de cada motor de corriente continua de nuestro robot, tendrá dos funciones específicas: control de final de carrera limitando la

corriente a un valor máximo determinado (set point) y cambio de sentido de giro.

4.1. CONTROL DE FINAL DE CARRERA

Para implementar esta función se tiene un paso previo que consiste en obtener, mediante un resistor *shunt*, una señal de tensión eléctrica que porte información exacta sobre la corriente que está tomando el motor, la cual será llevada a un comparador de voltaje aprovechando la funcionalidad de un circuito de comparación con OPAM, en este caso el LM311.

Un resistor *shunt* es un dispositivo, conectado en serie con el motor, que aporta una resistencia tal que su caída de voltaje resulte un porcentaje muy pequeño de la correspondiente del motor —para no quitarle, en nuestro caso, más del 2% de su potencia— y a la vez suficiente para que pueda ser comparado por el LM311 con respecto al voltaje SP (figura 4.1).

Para calcular los valores del resistor *shunt*, hay que tomar las especificaciones de los motores y los valores de voltaje escogidos en las pruebas.

Voltajes recomendados para la resistencia shunt: 50mV, 75mV, 100mV. Elegimos el mayor voltaje para tener un mayor rango de excursión mayor y por lo tanto se pueda medir con mayor facilidad. Entonces para saber que caída de tensión se tiene con respecto la alimentación:

$$\frac{100mV}{5V} = 0.02 = 2\%$$

Entonces por la resistencia shunt pasara un 2% del voltaje de alimentación, mientras menos energía disipe es más óptimo.

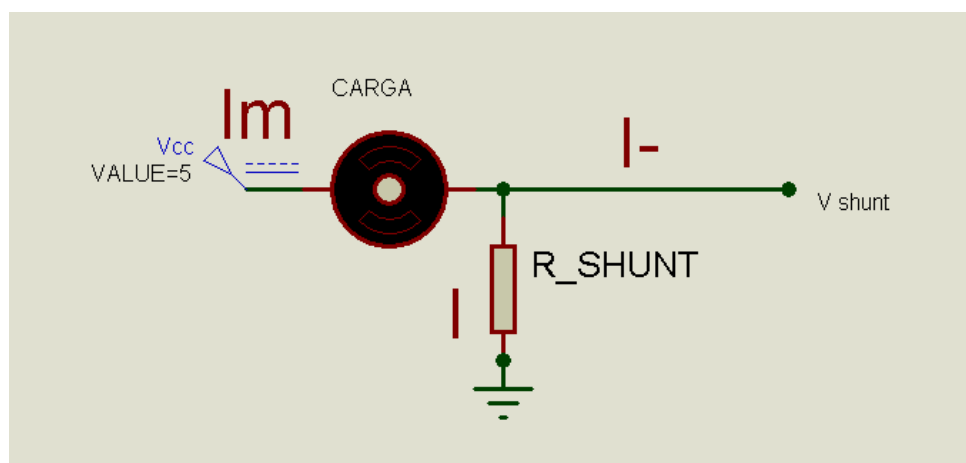


Figura 4.1. Resistencia shunt
Fuente: Elaboración propia

Se decidió alimentar el motor con 5 V o 4.5 V, ya que es fácil obtener fuentes de voltajes que entreguen alimentación alrededor de esos valores. Ya que la potencia consumida es proporcional a la corriente y al potencial eléctrico, al bajar el voltaje de la alimentación a menos de 6 V, se entiende que la corriente podría ser mayor que 1,6 A de modo que no hay mayor problema en hacerlo, porque estamos diseñando los circuitos para limitar la corriente a valores mucho menores; 1A en nuestro caso de modo que una fuente comercial de 2 amperios puede alimentar hasta dos motores.

Si el motor recibe un potencial eléctrico V_M , se puede calcular la resistencia del resistor *shunt* (R_{sh}), sabiendo que motor y resistor están en serie, igualando las corrientes y considerando la proporción máxima

entre los potenciales eléctricos respectivos, con la siguiente ecuación que aplica la Ley de Ohm:

$$V_{sh} = 100mV = 1 A \cdot R_{sh}$$

$$R_{sh} = \frac{100mV}{1A} = 0.1\Omega$$

Se obtiene: $R_{sh} = 0,1$ ohmios , para $V_M = 5 V$.

El resistor *shunt* deberá entonces aceptar como máximo un potencial eléctrico del rango entre 0,09 V y 0,1 V (2% del rango entre 4,5 V y 5 V), valores obtenidos al despejar la ley de Ohm para el potencial eléctrico, tomando para los cálculos la corriente máxima escogida en las pruebas de movimiento.

Hay que tener cuidado con el hecho de que el voltaje de alimentación de la fuente no será el mismo que reciba el arreglo motor-resistor *shunt*. Esto se debe a que entre el primero y el segundo va a intermediar un arreglo de transistores que permitirá el cambio de giro del motor, que definitivamente va a consumir algo de potencia, según la ecuación.

$$V_p = V_{T1} + V_{T2} + V_M$$

Lo que se busca es que esta potencia ($V_{T1} + V_{T2}$) sea la menor posible o, lo que es lo mismo, que la suma las caídas de tensión entre las terminales vertidoras y recipientes de corriente de los transistores sea la menor posible, de modo que la diferencia de tensión entre la alimentación y el arreglo motor-resistor *shunt* sea en lo posible despreciable.

El siguiente paso de diseño será elegir el rango de potencial eléctrico para la otra entrada del módulo comparador, se eligió el modelo LM311 por ser el más comercial y de ser un OPAM por integrado, lo que permite poder armar cada circuito de control por separado. La disposición del LM311 de saco del datasheet para casos tipicos de compensación por offset de tensión.

Offset Balancing

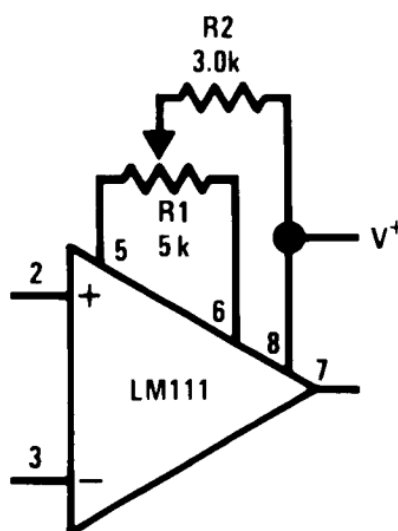


Figura 4. 2 Circuito de compensación por offset de tensión.
Fuente: LM311 national semiconductor.

Ya que queremos limitar la corriente a un valor determinado que llamaremos “corriente de punto de consigna”, I_{SP} , valor que tomara I (figura 4.1) cuando el sistema de control ente en marcha, tenemos que comparar el valor leído con un voltaje V_{SP} proporcional a I_{SP} según la ecuación:

$$V_{SP} = R_{sh} \cdot I_{SP}$$

Por lo tanto, buscamos obtener el voltaje V_{SP} a partir de la alimentación positiva del OPAM ($V_{cc}=12\text{ V}$) mediante un circuito divisor de voltaje,

siendo sencillo el cálculo de la proporción entre las resistencias. Al escoger valores comerciales, tomamos para la resistencia más pequeña (R7) el valor comercial inmediato superior para asegurar un error por exceso, es decir evitar un error por defecto, en la señal de consigna que queremos. El arreglo se hará con un potenciómetro multivoltas de modo que el punto de consigna (*set point*) sea variable.

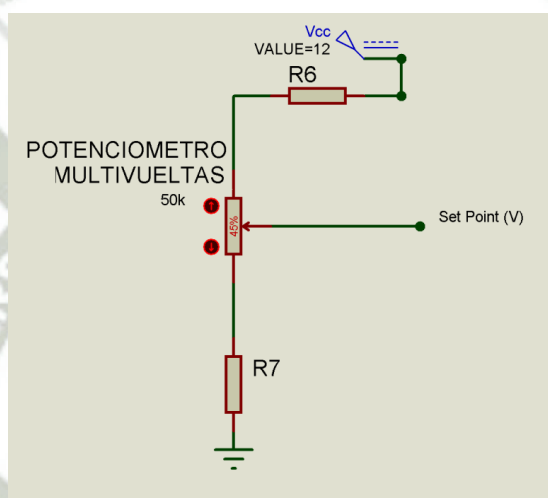


Figura 4. 3 Potenciómetro
Fuente: Elaboración propia

Como la salida del comparador LM311 es de colector abierto, hacemos un arreglo introduciendo una *resistencia de colector* (R_PUP en fig. 4.6) conectada a Vcc, que funciona como la resistencia *pull-up* de un pulsador simple de dos estados. Véase el circuito resultante en el siguiente diagrama esquemático, en el cual se puede ver la resistencia de colector (R2) previamente mencionada.

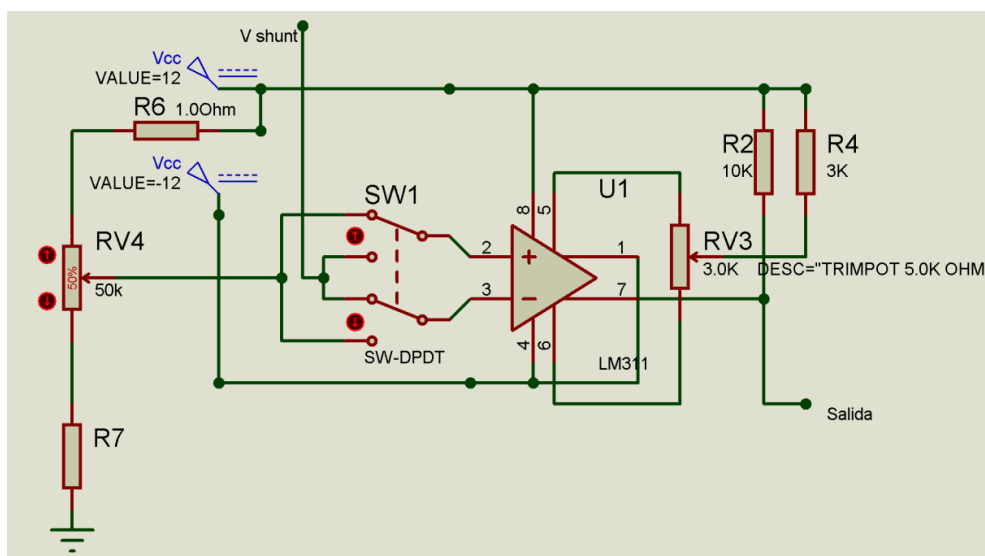


Figura 4. 4 Disposición del comparador
Fuente: Elaboración propia

4.2. CAMBIO DE SENTIDO DE GIRO

El cambio de sentido de giro se consigue mediante un arreglo “puente H” de transistores .Este arreglo se diseñó inicialmente con transistores BJT del modelo IN2222 (*npn*).

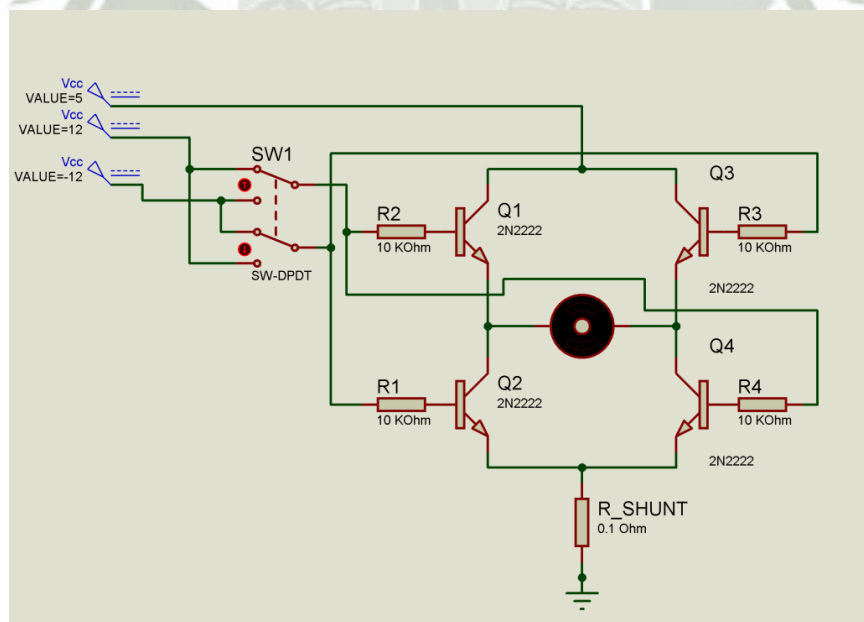


Figura 4. 5 Puente H con transistores
Fuente: Elaboración propia

Con este arreglo, el cambio de giro se realizaba bien pero el motor perdía mucha potencia. Al medir la caída de tensión debido al puente H se obtuvo un valor de aproximadamente 1,5 V. Por este motivo se descartó el arreglo con transistores BJT y se decidió probar con transistores MOSFET, cuya característica es que minimizan la caída de tensión entre surtidor y drenador.

Pero para diseñar el arreglo con MOSFET se tiene un problema importante. Usando cuatro MOSFET iguales de canal n , los transistores superiores no estarían bien polarizados ya que su surtidor tendría un voltaje algo mayor que el voltaje que se aplica al motor (más de 4,5 V o de 5 V). Para sortear este problema, y evitar el uso de elevadores de voltaje, se diseñó un arreglo alternativo que combina transistores MOSFET de canales n y p . Presentamos tal arreglo en el siguiente diagrama esquemático.

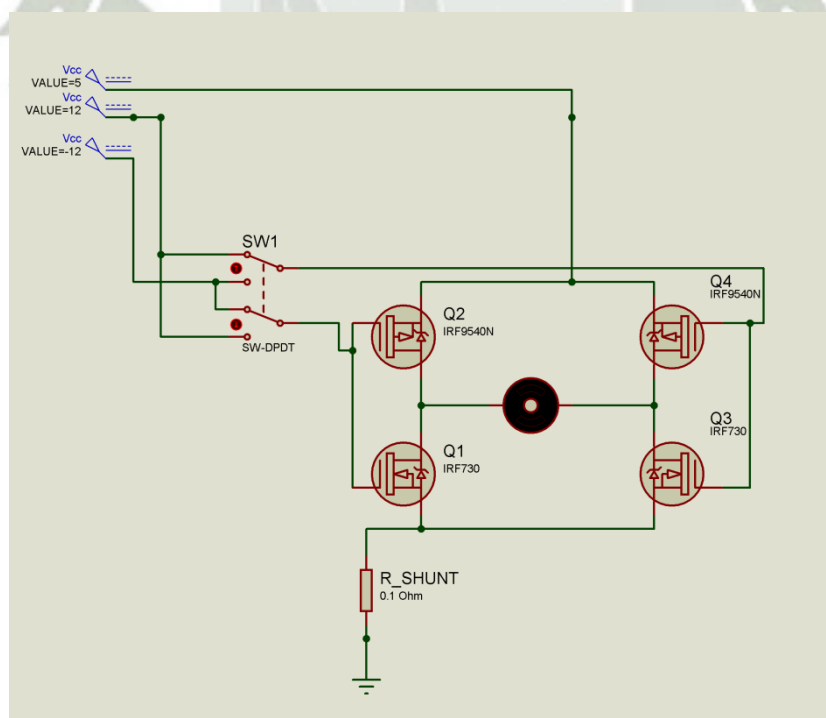


Figura 4. 6 Puente H con MOSFET
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver, en este caso los transistores polarizados serán siempre uno de canal p y uno de canal n pertenecientes a lados opuestos, esta vez sin problemas de polarización.

Para R3 y R5 (figura 4.7):

Entre Q4 y R5 tenemos la diferencia de voltaje $12V - (-12V) = 24V$, ahora el OPAM está limitado a 50mA en su salida, entonces:

$$R = \frac{24V}{50 \text{ mA}} = 500\Omega$$

Por lo tanto R3 y R5 serán de 500Ω como mínimo, puede aumentar este valor.

Después la intensidad que pasara por R5 y R3 a $\frac{1}{4}$ watt, pues es la mínima potencia en resistencias comerciales:

$$I = \frac{0.25W}{24V} = 0.01A$$

Y la resistencia:

$$R = \frac{0.25W}{10^{-4}A^2} = 2.5K\Omega$$

Se tomara la resistencia más alta pues es la que mejor se acomoda para ambos casos.

4.3. FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO CONTROLADOR

Cuando los dos pulsadores están abiertos, por R3 y R5 entran respectivamente +12 V a los terminales G de los MOSFET de ambos lados. En ese estado, sólo Q1 y Q3 estarán directamente polarizados con $V_{GS}=12V$; mientras Q2 y Q4, con $V_{GS}=7V$, estarán en corte (recordemos que son de canal p , con lo cual se requiere un V_{GS} negativo para conducir). En el siguiente diagrama esquemático se ve tal situación, donde los MOSFET que conducen se muestran dentro de un círculo verde, dejando con su color propio dentro del diagrama a los que se encuentran en corte.

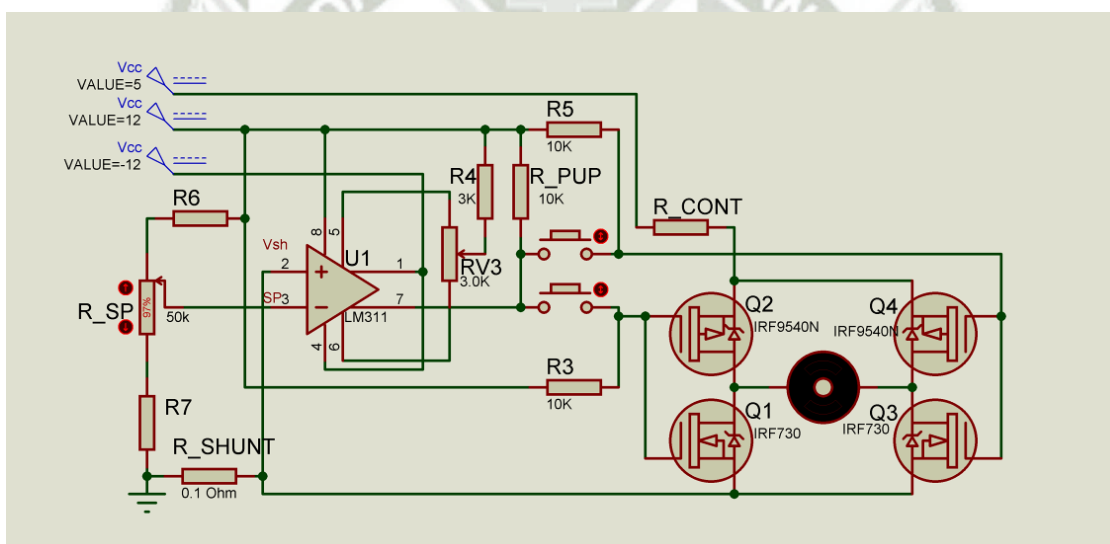


Figura 4. 7 Circuito completo de un dedo
Fuente: Elaboración propia

Estando con ambos pulsadores abiertos, el puente H no conducirá corriente porque ésta no tiene por donde ingresar a él (desde la fuente de 5V, pasando por R1). Por ende, la corriente que pasa por R_SHUNT será nula, forzando a V_{SH} a ser mucho menor que el voltaje SP (setpoint). En consecuencia, la salida del comparador será de -12 V. Al cerrar el pulsador

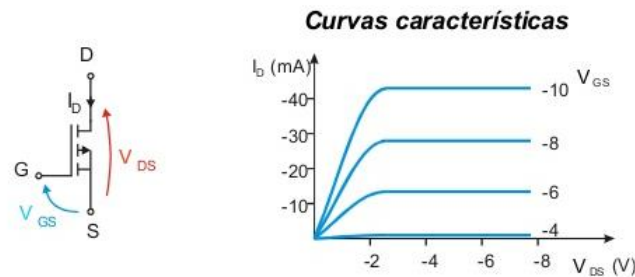
de uno de los lados, esta tensión negativa ingresará a las terminales G de los MOSFET de ese lado, polarizando el transistor superior (Q2 o Q4) con $V_{GS} = -12V - 5V = -17V$, de modo que este empieza a conducir, por ser de canal p , y a su vez forzando un V_{GS} negativo en el transistor inferior (Q1 o Q3), de canal n , razón por la cual éste deja de conducir. Mientras tanto, en el lado en que el pulsador se mantuvo abierto, los transistores mantienen la polarización inicial, es decir el superior en conducción y el inferior en corte. Como se puede deducir, y como lo marcan las flechas en el diagrama esquemático, la corriente IM circulará por los transistores en conducción (remarcados en círculos verdes) pasando a través del motor y haciéndolo funcionar.

Al funcionar el motor, se elevará la corriente que pasa por R_SHUNT , elevando a su vez el voltaje V_{shunt} , pero sin superar el valor del voltaje SP mientras no haya ninguna sobrecarga, de acuerdo con el ajuste previo que se le ha hecho a aquél usando el potenciómetro multivuelas $RV4$.

Al llegar el tornillo transmisor enganchado al motor (o el dedo de la mano protésica, si se quiere) al punto de final de carrera, el movimiento se detendrá y el motor empezará a recibir más corriente de la fuente, de modo que el voltaje V_{shunt} se incrementará, acercándose al valor del voltaje SP cada vez más y más. Cuando V_{shunt} esté lo suficientemente cerca del voltaje SP , la salida del comparador comenzará a hacerse menos negativa, debilitando la polarización del transistor superior en conducción y limitando a su vez el nivel al que puede incrementarse la corriente que pasa por el motor, lo cual limita también el valor de V_{shunt} impidiéndole alcanzar o

superar el valor del voltaje SP , momento en que se llegará a un punto de equilibrio en que la corriente deja de variar, por debajo del valor máximo permitido por el propio diseño del controlador.

Estructura y funcionamiento de un MOS de acumulación de canal P



- Canal P: comportamiento equivalente al del MOSFET de canal N pero con los sentidos del voltaje y corrientes invertidos

Figura 4. 8 Funcionamiento de transistores MOSFET
Fuente: www.wikipedia.org

Al darse todo esto, el transistor en conducción habrá variado su funcionamiento de una conductividad correspondiente al movimiento de la estructura tornillo-dedo sin más carga, a una mucha menor correspondiente al punto de final de carrera.

MOMENTO	1=CERRADO 0=ABIERTO			Canal N(+)	canal P (-)	canal N (+)	canal P (-)	LAZOS CON CORRIENTE	MOTOR (lazo M)	VOUT (V)
	S1,2	S3,4	VOUT (V)	VGS1 (V)	VGS2 (V)	VGS3 (V)	VGS4 (V)			
1ro	0	0	-12	12	7	12	7			
	¿Transistor conduce?			(+)	(-)	(+)	(-)	-	OFF	-12
2do	0->1	0	-12	-12	-17	12	7			
	¿Transistor conduce?			(-)	(+)	(+)	(-)	ACMFHJ	ON	-> +
3ro	1	0	*	$V_G - V_S$	$V_G - V_S$	12	7			
	¿Transistor conduce?			(-)	(+)	(+)	(-)	ACMFHJ	ON	*
4to	1->0	0	-12	12	7	12	7			
	¿Transistor conduce?			(+)	(-)	(+)	(-)	-	OFF	-12

Tabla 4. 1 Pulsadores

Fuente: Elaboración propia

*: Dependiendo del ajuste de R_SP y RV3, tomará un valor entre -12 y 12, tal que su valor absoluto será mucho menor que 12.

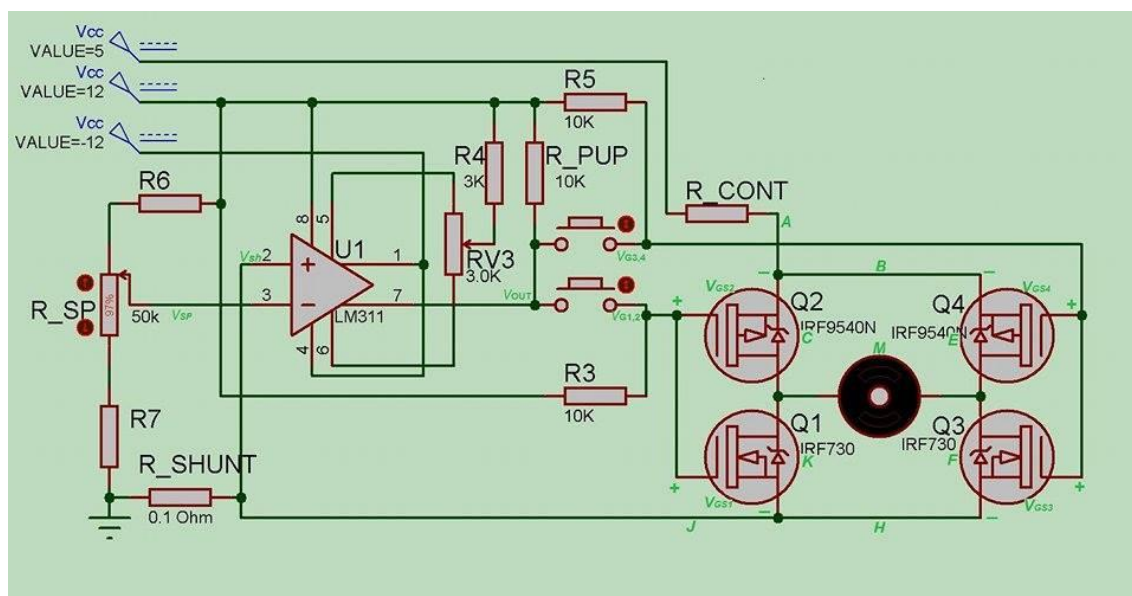
Esto se debe a que los voltajes comparados son muy cercanos entre sí y la salida del OPAM no se aproxima a los voltajes de alimentación.

Por simetría eléctrica, el funcionamiento es el mismo cuando $S_{1,2}$ se mantiene abierto y se pulsa $S_{3,4}$. Y, como resultado del segundo y del tercer momento, la corriente seguirá la ruta ABEMKJ, haciendo operar al motor en el sentido opuesto a aquel en que operaba cuando $S_{1,2}$ se mantenía pulsado.

La siguiente tabla muestra el caso en que ambos pulsadores se mantienen cerrados simultáneamente. Y se ve por qué el motor se mantiene detenido.

MOMENTO	1=CERRADO 0=ABIERTO			canal N (+)	canal P (-)	canal N (+)	canal P (-)	LAZOS CON CORRIE NTE	MOT OR (lazo M)	VOUT (V)
	S1,2	S3,4	VOUT (V)	VGS1 (V)	VGS2 (V)	VGS3 (V)	VGS4 (V)			
1ro	1	1	-12	-12	-17	-12	-17			
	¿Transistor conduce?			(-)	(+)	(-)	(+)	-	OFF	-12

Tabla 4. 2 Pulsadores Cerrados

Fuente Elaboración Propia

Figura 4. 9. Funcionamiento de transistores MOSFET

Fuente: www.wikipedia.org

4.3.1. Resistencia de Contención

Al realizarse pruebas del movimiento de los dedos, en algunos de ellos hubo fracturas en los actuadores debido a que la potencia que transmitía el motor por el tornillo de gusano superaba su resistencia mecánica. Por eso se necesitaba disminuir la intensidad de corriente de los motores para que no continúe malogrando los componentes, pero manteniendo un nivel adecuado para no perder la movilidad solidaria de los dedos.

Se coloca, una resistencia en serie con la resistencia shunt y el puente H encargado de mover en ambas direcciones al motor DC, para así reducir la potencia de actuación del motor mediante el incremento de la impedancia de todo el, lazo que contiene a la resistencia R39 de contención, en serie con el puente H y resistencia R32 *shunt*, lo cual se manifiesta en una bajada del voltaje que recibe el motor al ser habilitado, y en un desmedro de la corriente que atraviesa el lazo.

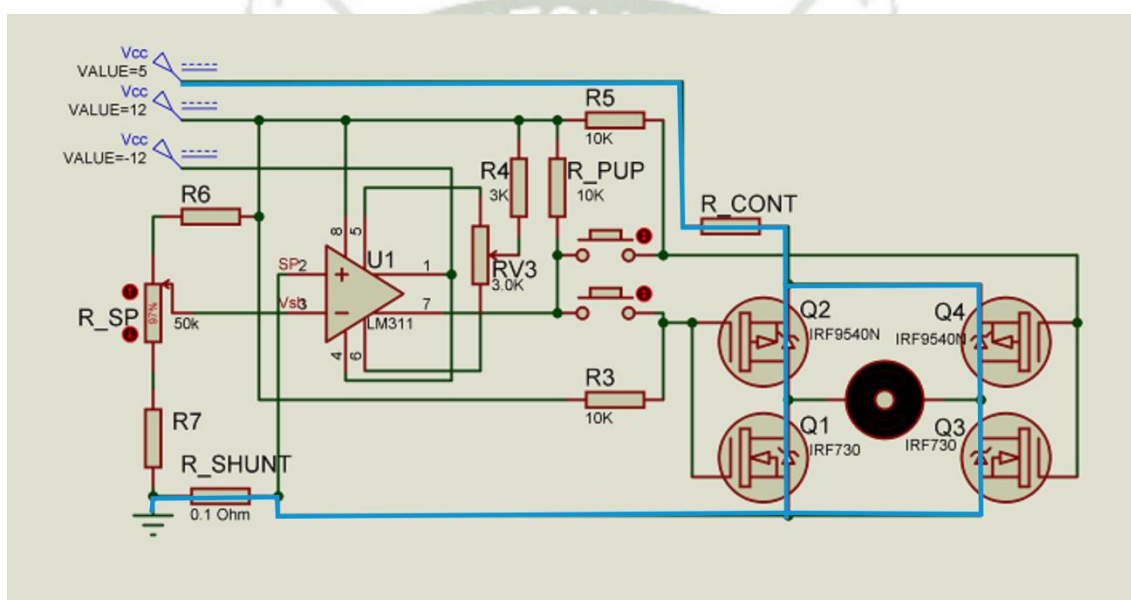


Figura 4. 10 Puente H
Fuente: Elaboración propia

Las pruebas para seleccionar la resistencia adecuada se basaron en empezar colocando la resistencia más alta, haciendo que la intensidad baje drásticamente al punto de no poder moverse el motor por la falta de potencia, de esta manera se hacen las pruebas de forma segura evitando rupturas. Poco a poco se van cambiando los resistores por otros de menor impedancia hasta que el dedo

empieza a moverse; se sigue con este proceso hasta alcanzar la velocidad deseada.

Valores de resistencia de contención que se fueron probados en cada dedo, junto con la corriente obtenida con cada una de ellas.

	0 Ω	15 Ω	13 Ω	6 Ω	5 Ω	4.2 Ω	3.9 Ω	3.3 Ω	3 Ω	2.7 Ω	1.8 Ω	1.5 Ω	1 Ω	0.5 Ω
Índice	780 mA													
Medio	700 mA													
Anular	720 mA													
Meñique	750 mA							480 mA				480 mA	670 mA	650 mA
Pulgar	570 mA							510 mA			490 mA	510 mA	550 mA	
Art.		205 mA	251 mA	310 mA	350 mA	370 mA	380 mA	410 mA	425 mA	445 mA				

Tabla 4. 3 Prueba de resistencias

Fuente: Elaboración propia

Los dedos más robustos (medio, índice y anular) no presentaron la necesidad de aumentar la resistencia; pero el meñique sí, por su reducido tamaño, y en especial de sus actuadores; y además la articulación palma-pulgar por estar directamente unida al eje del motor, teniendo el problema de romper la caja de transmisión del motor.

Los valores finales de las resistencias de contención:

Miembro	Resistencia de contención
Índice	0 Ω
Medio	0 Ω
Anular	0 Ω
Meñique	1 Ω
Pulgar	0 Ω
Articulación	15 Ω

Tabla 4. 4 Resistencias finales

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: COSTOS DE FABRICACIÓN

5.1.DETALLES POR PARTES

5.1.1. Dedo índice

Elemento	Volumen (cm ³)	Precio (USD)
Actuador distal	0.2927	2.76
Actuador proximal	0.8396	3.23
Falange distal	2.4408	4.42
Falange medial	2.8833	4.49
Falange metacarpiana	14.9007	13.86
Falange proximal	6.9156	7.05
Tornillo	1.4941	46.89
Subtotal		83.14

Tabla 5. 1 Costos del dedo índice

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Dedo anular

Elemento	Volumen (cm ³)	Precio (USD)
Actuador distal	0.2927	2.76
Actuador proximal	0.8396	3.23
Falange distal	2.4408	4.42
Falange medial	2.8833	4.49
Falange metacarpiana	15.6062	14.37
Falange proximal	6.9156	7.05
Tornillo	1.4941	46.89
Subtotal		83.65

Tabla 5. 2 Costos del dedo anular

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Dedo medio

Elemento	Volumen (cm ³)	Precio (USD)
Actuador distal	0.4076	2.85
Actuador proximal	0.994	3.34
Falange distal	2.8532	4.69
Falange medial	4.1469	5.73
Falange metacarpiana	18.4428	16.87
Falange proximal	8.1552	7.89
Tornillo	1.4941	46.89
Subtotal		88.26

Tabla 5. 3 Costos del dedo medio

Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Dedo meñique

Elemento	Volumen (cm ³)	Precio (USD)
Actuador distal	0.1601	2.66
Actuador proximal	0.939	3.29
Falange distal	1.6444	3.79
Falange medial	1.793	4.07
Falange metacarpiana	13.3172	3.79
Falange proximal	4.2673	5.46
Tornillo	1.4941	46.89
Subtotal		78.63

Tabla 5. 4 Costos del dedo meñique

Fuente: Elaboración propia

5.1.5. Dedo pulgar

Elemento	Volumen (cm ³)	Precio (USD)
Actuador proximal	0.8522	3.23
Falange distal	4.7741	6.15
Falange metacarpiana	11.5114	12.64
Falange proximal	5.9312	6.67
Tornillo	1.4941	46.89
Subtotal		75.58

Tabla 5. 5 Costos del dedo pulgar

Fuente: Elaboración propia

5.1.6. Otros

Elemento	Volumen (cm ³)	Precio (USD)
Palma	65.7757	50.27
Bracket	1.6582	4.25
Subtotal		54.52

Tabla 5. 6 Costos otros

Fuente: Elaboración propia

5.1.7. Motores

Modelo	Cantidad	Precio (USD)
Pololu 994	5	15.95
Pololu 1595	1	22.95
Subtotal		102.7

Tabla 5. 7 Costos de motores

Fuente: Elaboración propia

5.1.8. Mano

Subtotales	Precio (USD)
Dedo índice	83.14
Dedo anular	83.65
Dedo medio	88.26
Dedo meñique	78.63
Dedo pulgar	75.58
Otros	54.52
Motores	102.7
Total	566.48

Tabla 5. 8 Costo total de la mano protésica
Fuente: Elaboración propia

5.2.MANO DE OBRA

Proceso de creación del producto: USD 1000

5.3.SUPERVISION Y CONTROL

Medidas y ajustes: USD 200

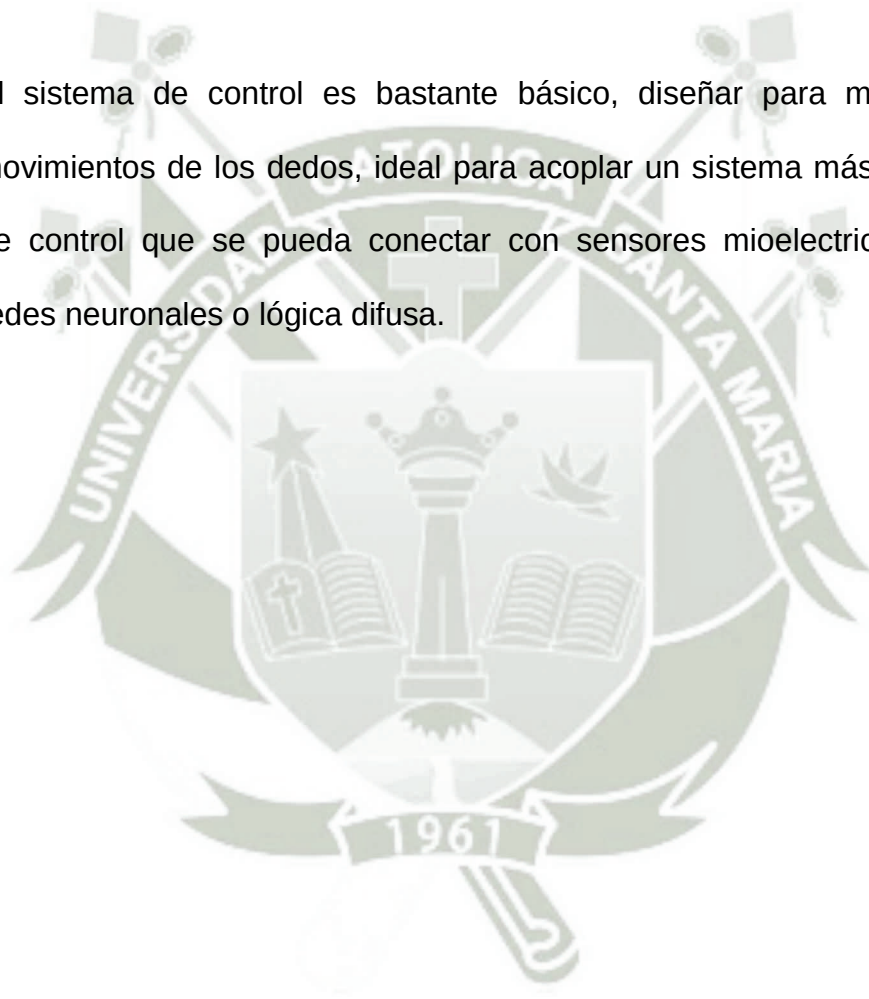
CONCLUSIONES

- 1) Se diseñó una articulación solidaria capaz de flexionarse con un solo motor actuador por dedo basado en la ley de Grashof.
- 2) El diseño dedos, falanges y elementos de la mano de mayor complejidad que han sido posibles de realizarse mediante impresoras 3D de filamentos de PLA.
- 3) Se implementó el circuito de control bajo sistema de OPAMP, en vez de finales de carrera convencional, para comparar los picos voltaje al final de su recorrido y usarlos para determinar cuando llegó al final de su recorrido cada dedo.
- 4) Se diseñó un puente H con MOSFETs, el cual permite ser más eficiente en comparación con los BJT que son más comunes en su uso, para poder cambiar de sentido a los motores DC.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Las transmisiones son muy susceptibles de quebrarse o fallar con cargas en posiciones extremas. Se recomienda utilizar cobre fundido en los tonillos infinitos por ser muy críticos en su esfuerzo, utilizando un sistema de impresión por sinterizado selectivo con láser con cera para hacer la matriz.
- 2) El filamento de PLA es muy práctico y accesible, pero aún tiene limitaciones en lo referente a resistencia la fatiga o a la tracción. Se recomienda fabricar un material compuesto con mayor tenacidad.
- 3) La impresora de filamentos puede crear piezas mucho más rápido que un proceso de manufacturado convencional, pero aún carece de precisión para piezas pequeñas, es ahí donde entran los procesos de sinterizado de polvo, lastimosamente en el país no hay registro de que hubiera un maquina así con fines comerciales. Se recomienda tener una de estas máquinas a disposición.
- 4) Los motores pololu seleccionados para los dedos, tienen muchas ventajas, tales como su reducido tamaño y su caja de transmisión, pero no se les puedes aplicar resistencia directamente al torque de su eje porque el sistema de reducción es muy delicado. Se recomienda buscar motores más óptimos y especializados.

- 5) Se trató de implementar un muñeca articulada, pero el peso de la mano y el movimiento de los dedos que causa el cambio del centro de gravedad, impidió conseguir un motor óptimo que pudiera soportar todas las cargas. Se recomienda buscar un motor robusto y que no se sobrecaliente debido a que el PLA pierde sus propiedades mecánicas a partir de los 60 grados centígrados.
- 6) El sistema de control es bastante básico, diseñar para mostrar los movimientos de los dedos, ideal para acoplar un sistema más complejo de control que se pueda conectar con sensores mioelectricos, como redes neuronales o lógica difusa.



BIBLIOGRAFÍA

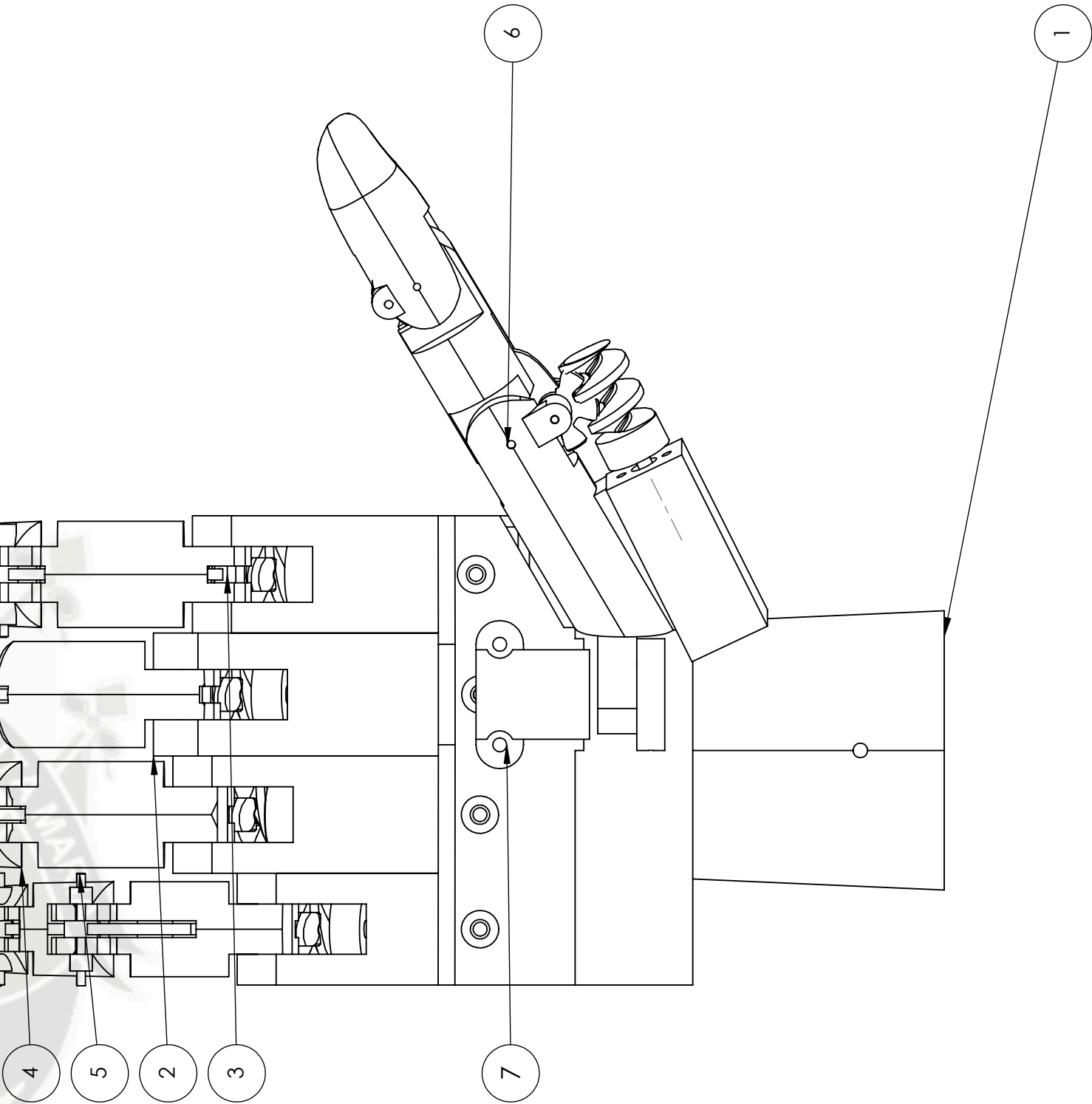
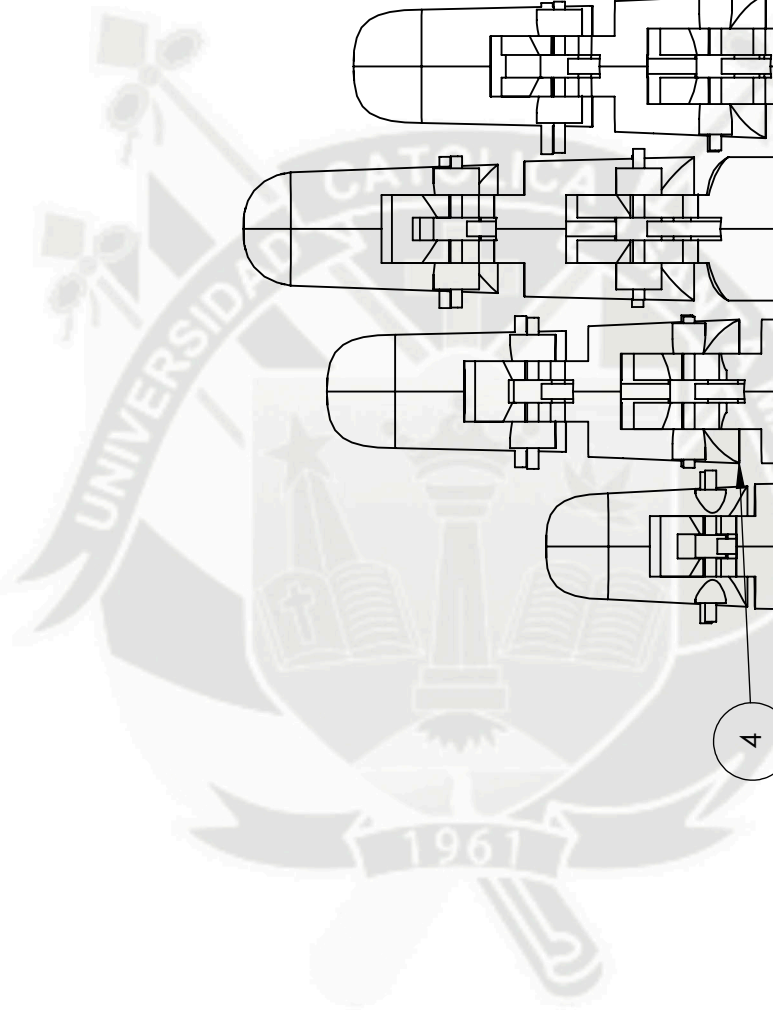
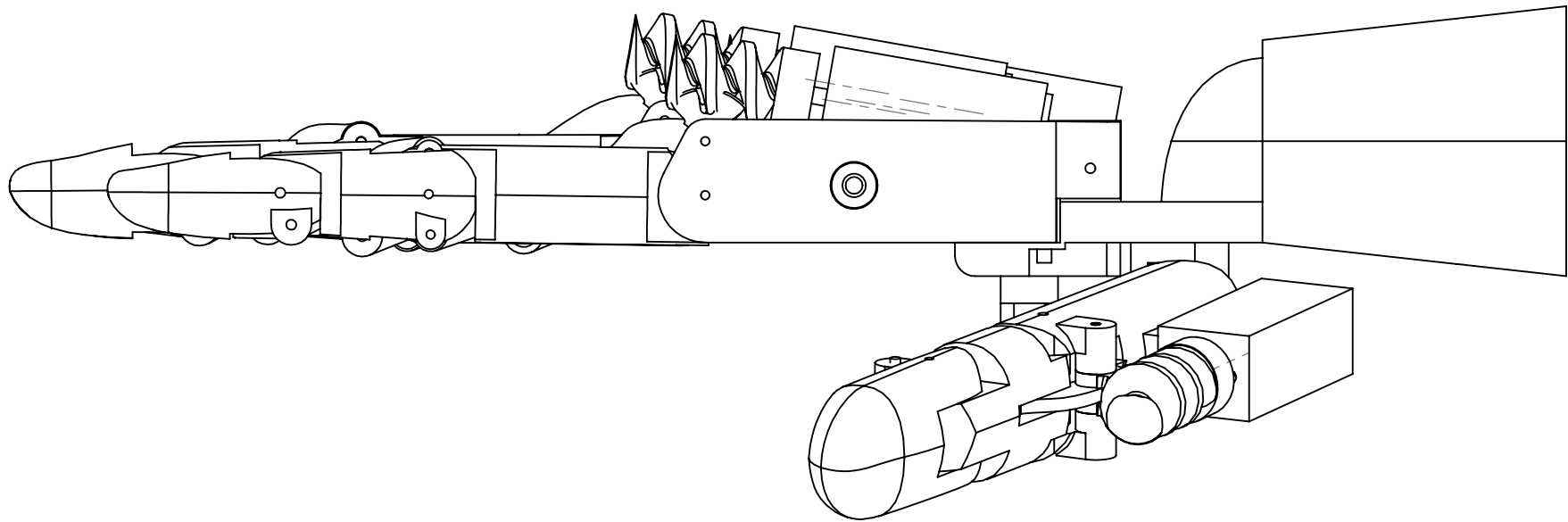
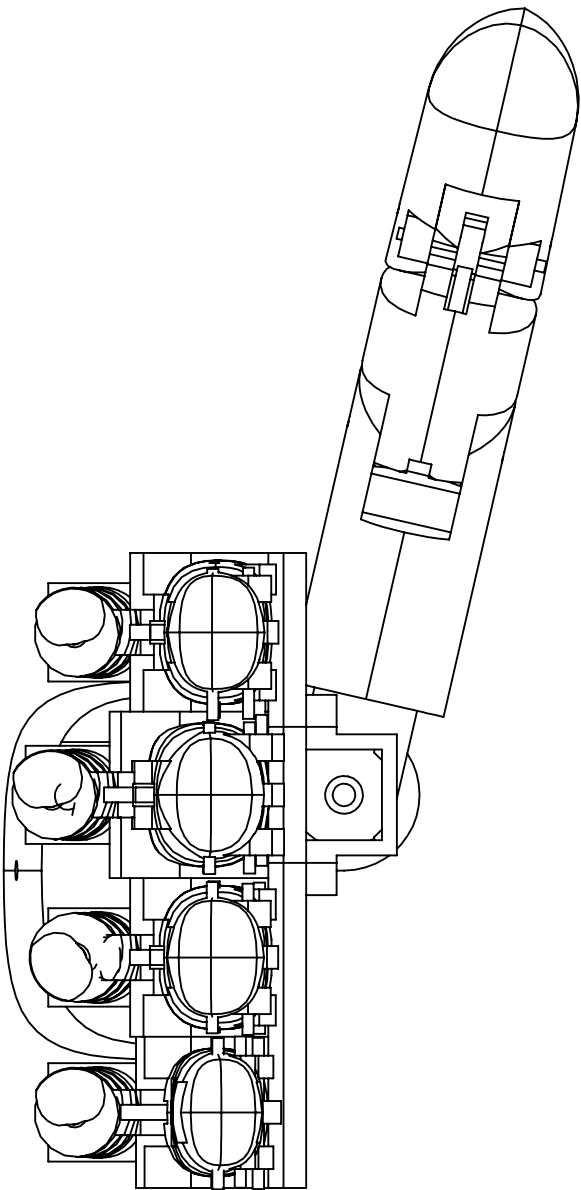
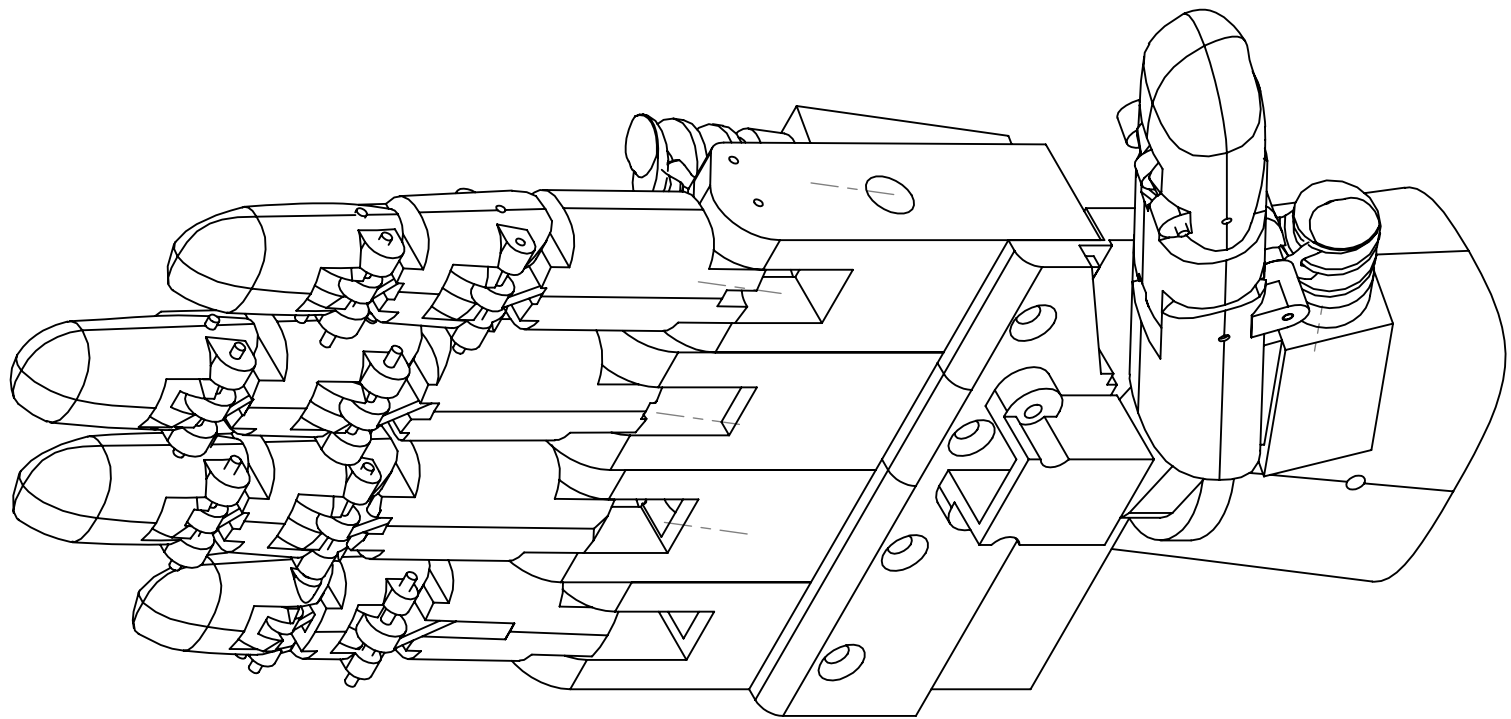
1. Joseph Edward Shigley-John Joseph Uicker Jr. Teoría de máquinas y mecanismos. McGraw-Hill 1995, México.
2. Mecanismos de eslabones articulados
<http://fundamentosdemaquinaswmn.blogspot.com/2010/08/normal-0-21-false-false-false-es-x-none.html>
3. Protesis Inmoov <http://inmoov.blogspot.com/>. <http://www.inmoov.fr/>
4. Prótesis <https://en.wikipedia.org/wiki/Prosthesis>
5. Impresión 3D https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing
6. Como leer un capacitor <http://es.wikihow.com/leer-un-capacitor> I-limb ultra
<http://www.touchbionics.com/products/active-prostheses/i-limb-ultra>
7. Prótesis de John Hopkins applied physics laboratory
<http://www.jhuapl.edu/prosthetics/>
8. Dextrus 3D. <http://www.openhandproject.org/> Tipos de presiones manuales <http://www.buenastareas.com/ensayos/Tipos-De-Prensiones-anuales/2095803.html>
9. El transistor <http://es.slideshare.net/luismanzanedo/el-transistor>

10. Practica 6 – el transistor mosfet como interruptor. Universidad nacional de Colombia – sede Medellín-facultad de minas departamento de energía eléctrica y automática laboratorio de electrónica análoga
11. Como leer Mosfets <http://cncloisirs.com/Technique/MOSFET>
12. Comparadores de tensión Universidad Nacional de Rosario-Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura-Escuela de Ingeniería Electrónica.
13. Puente h con mosfet para motores de corriente continua <http://www.neoteo.com/puente-h-con-mosfet-para-motores-cc/>



PLANOS





N.º DE COMPONENTE	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTE	CANTIDAD
1	Palma	Plano 02	1
2	DEDO MEDIO	Planos: 04,05,06,07,08,09,31,32	1
3	DEDO INDICE	Planos: 11,12,13,14,15,16,31,32	1
4	DEDO ANULAR	Planos: 12,13,14,15,16,18,31,32	1
5	DEDO MEÑIQUE	Planos: 20,21,22,23,24,25,31,32	1
6	DEDO PULGAR	Planos: 27,28,29,30,31,32	1
7	Bracket	Plano 33	1



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECAITRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

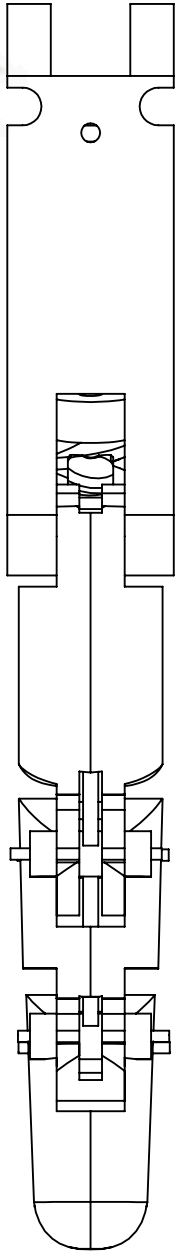
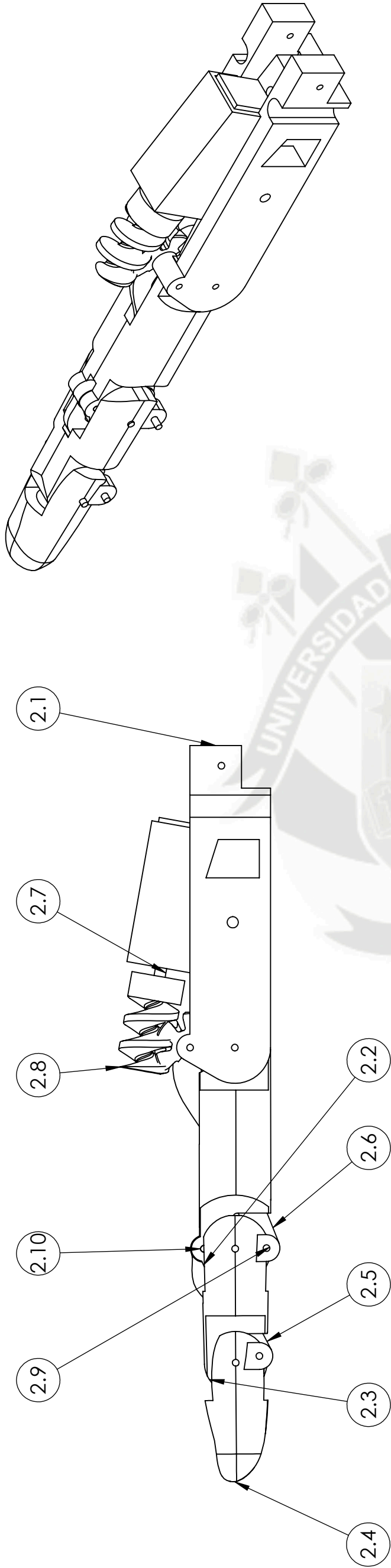
Plano:
Vista y detalles

Titulo:
Mano profesica Isometrico y componentes

Revisión:

Escala:1:1

Nro plano: 01

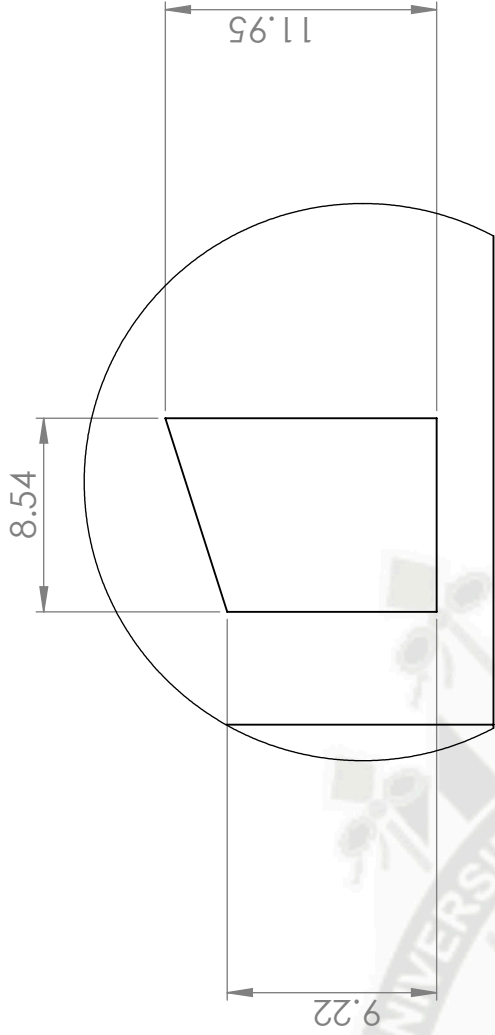
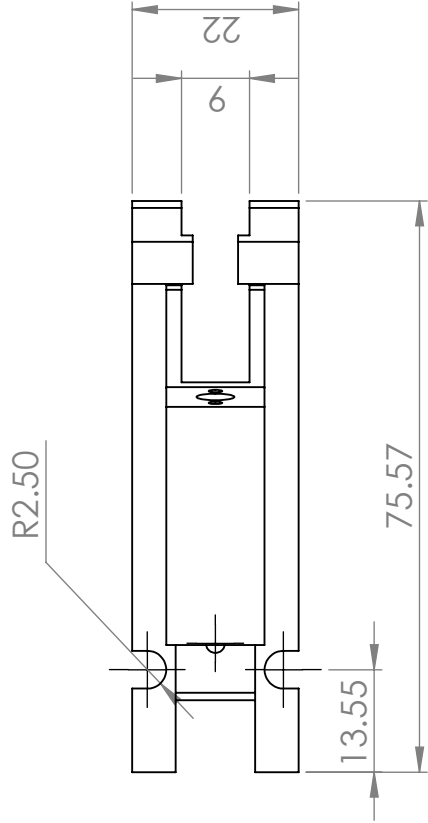


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
2.1	Falange metacarpiana del dedo medio	Plano 04	1
2.2	Falange proximal del dedo medio	Plano 05	1
2.3	Falange medial del dedo medio	Plano 06	1
2.4	Falange distal del dedo medio	Plano 07	1
2.5	Actuador distal del dedo medio	Plano 08	1
2.6	Actuador proximal del dedo medio	Plano 09	1
2.7	Pololu		1
2.8	Tornillo de gusano	Plano 31	1
2.9	pin largo	Plano 32	6
2.10	pin corto	Plano 32	1

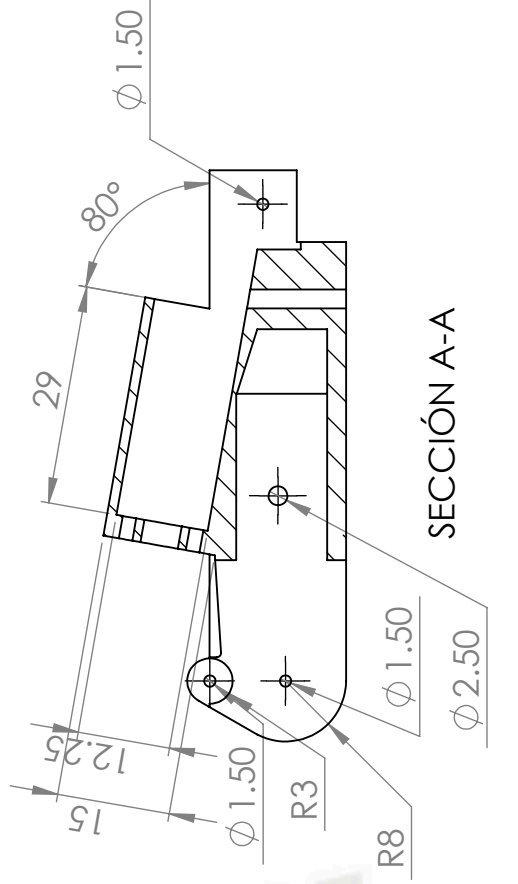
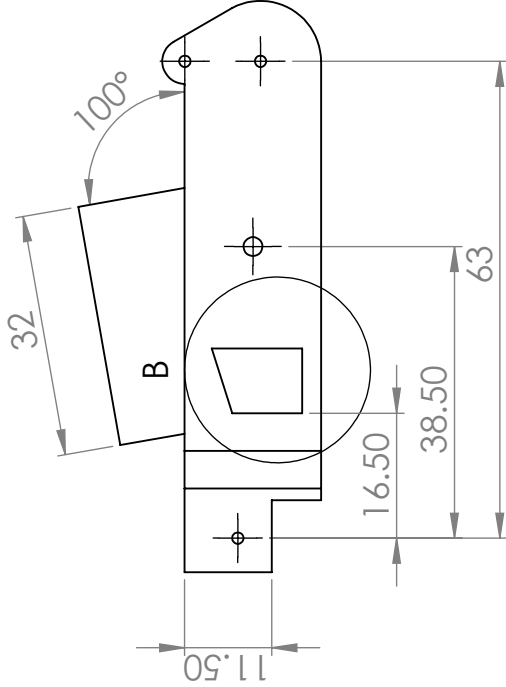


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira		Título: Componente #2 DEDO MEDIO	
Plano: Vista y detalles	Revision:	Escala:1:1	Nro plano: 03

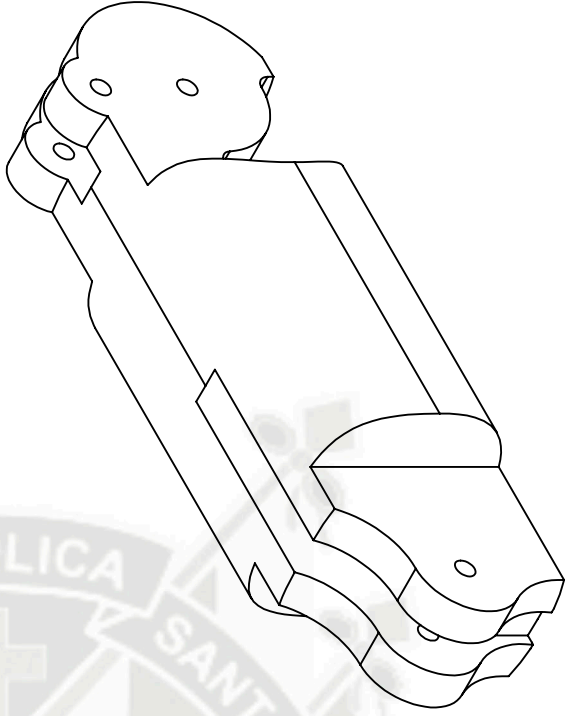
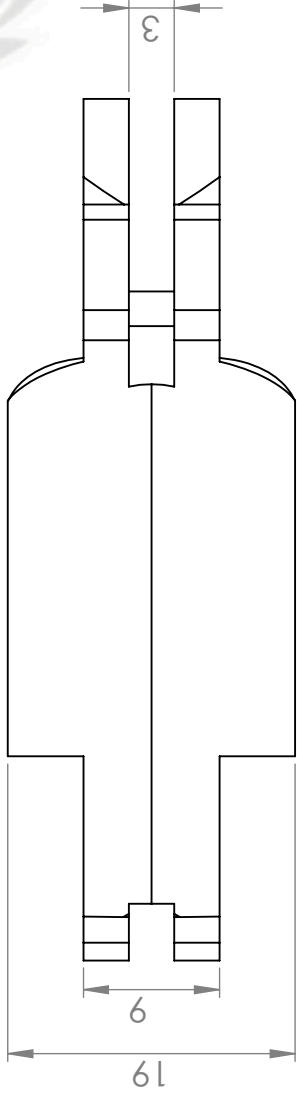
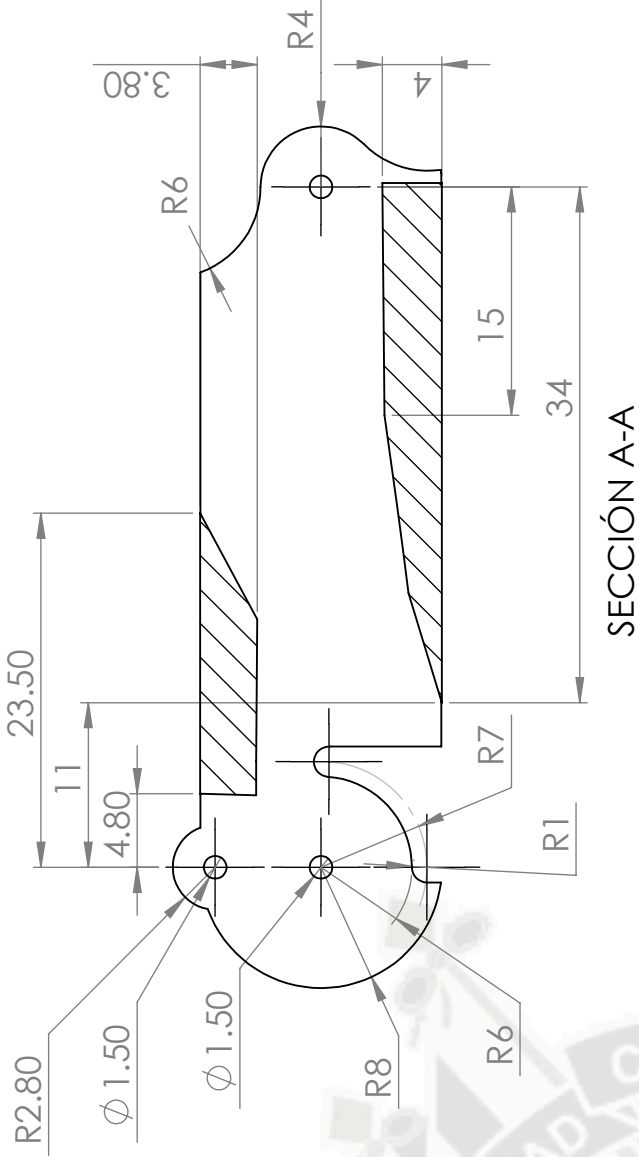
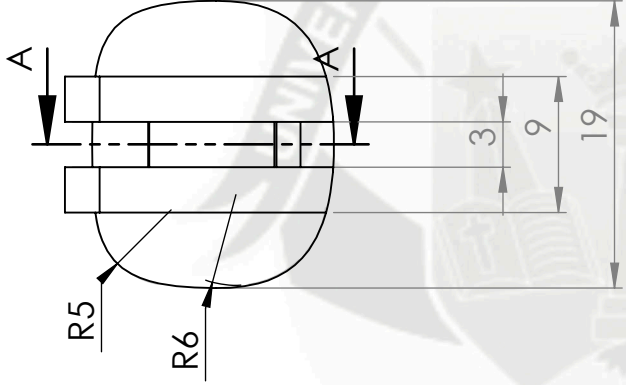
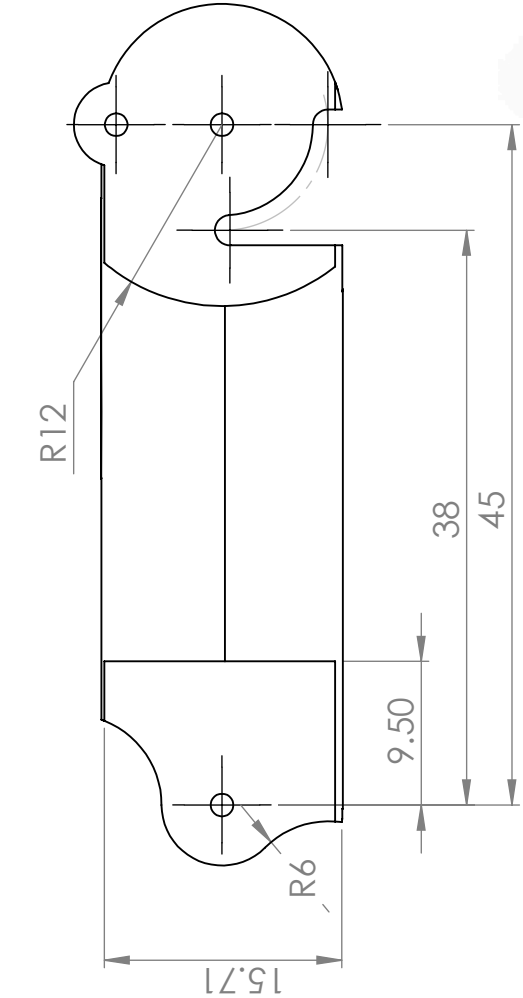


DETALLE B
ESCALA 3 : 1



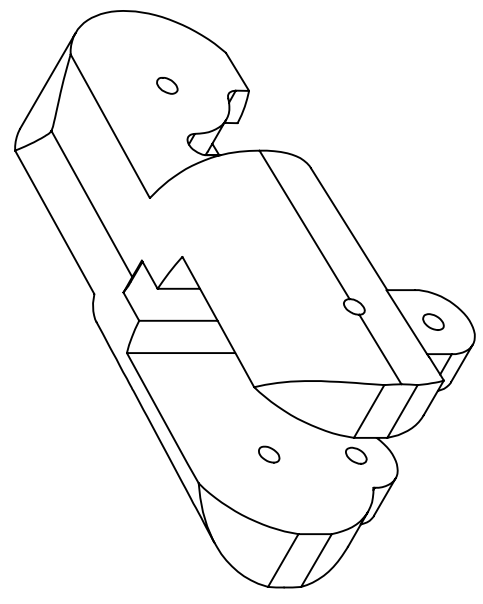
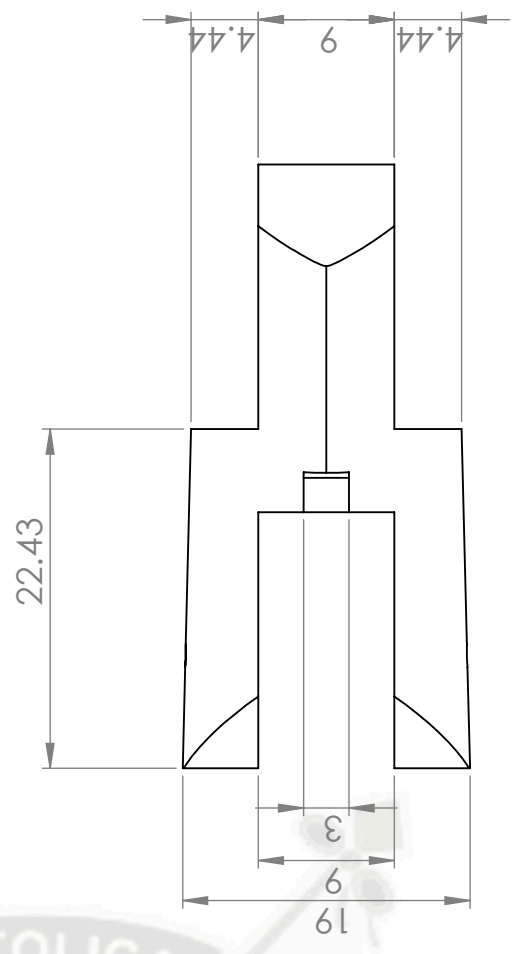
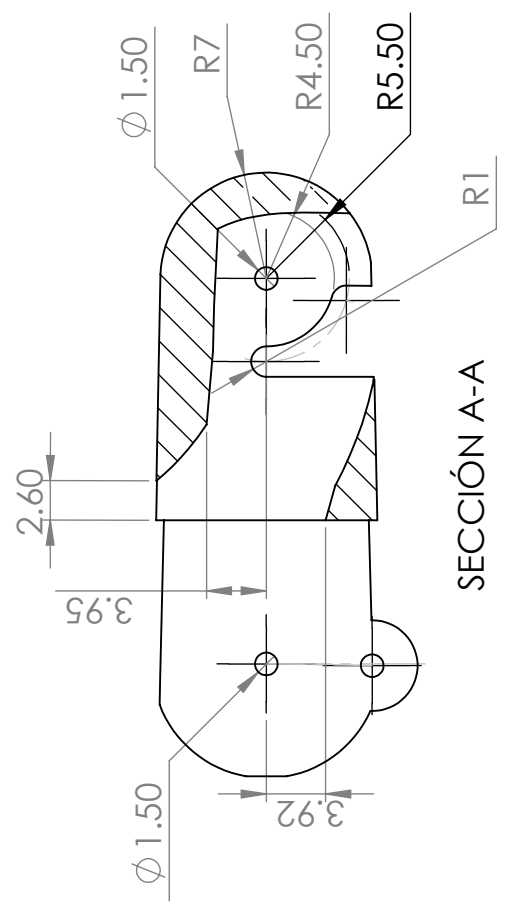
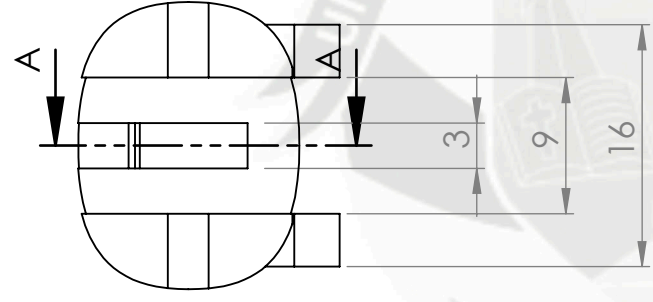
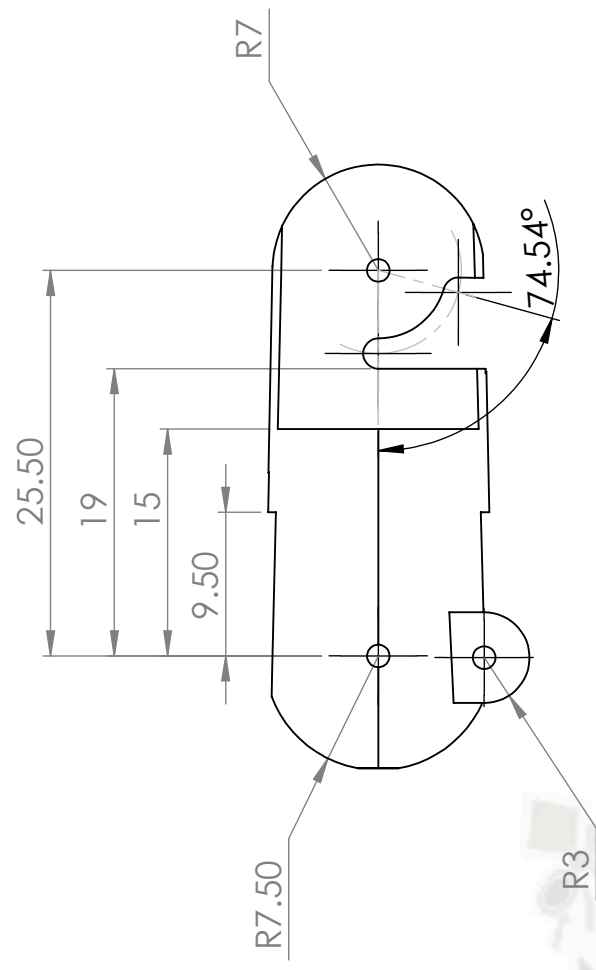
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira		Titulo: Componente #2 Falange metacarpiana del dedo medio Detalle	
Plano: Vista y detalles	Revision:	Escala:1:1	Nro plano: 04



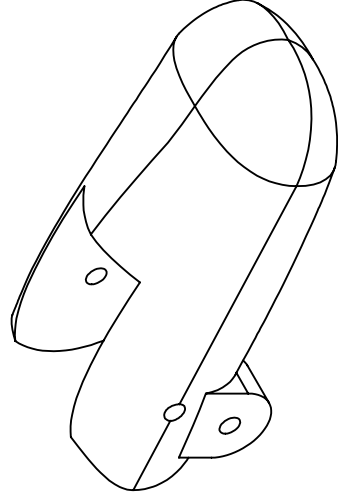
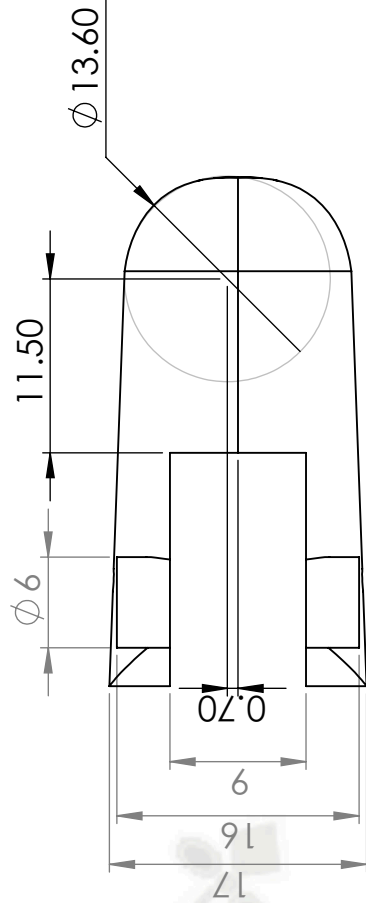
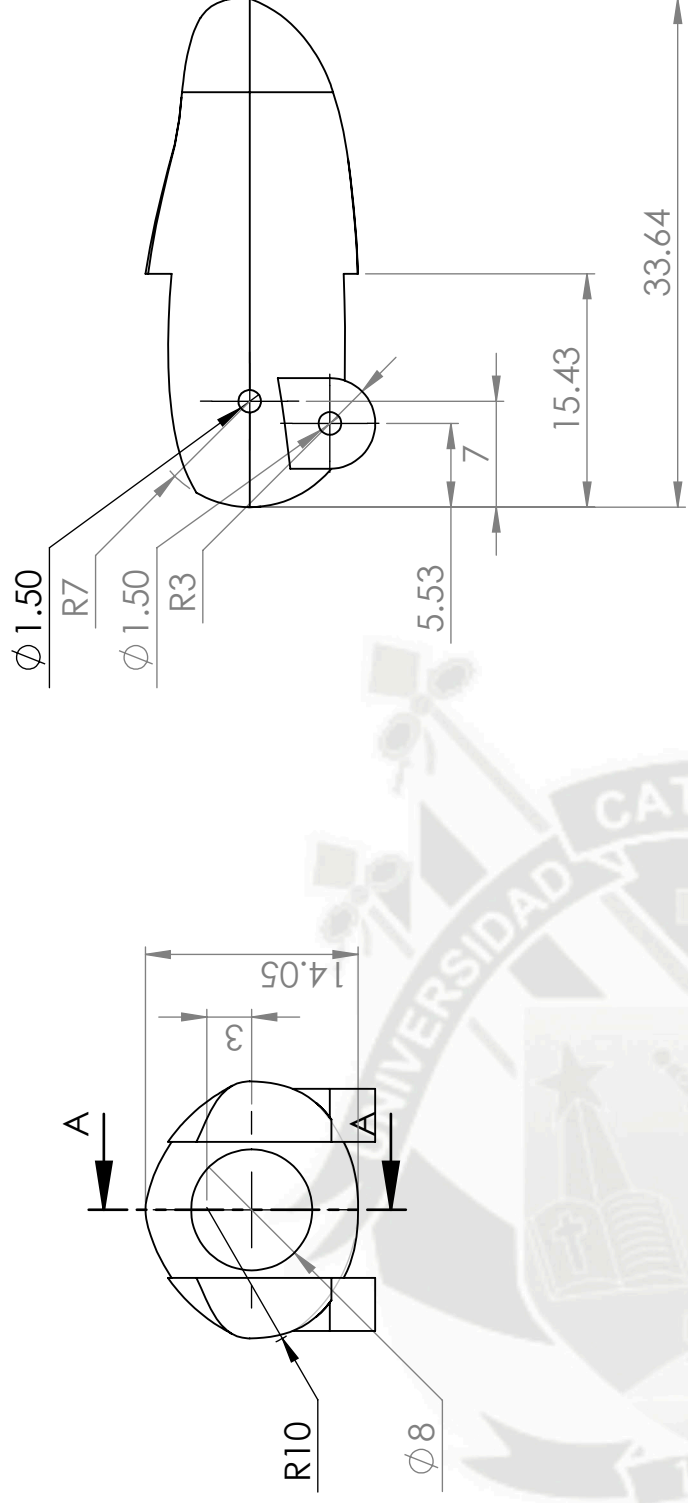
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira	Título: Componente #2 Falange proximal del dedo medio Detalle	
	Plano: Vista y detalles	Revision: Escala:2:1 Nro plano: 05

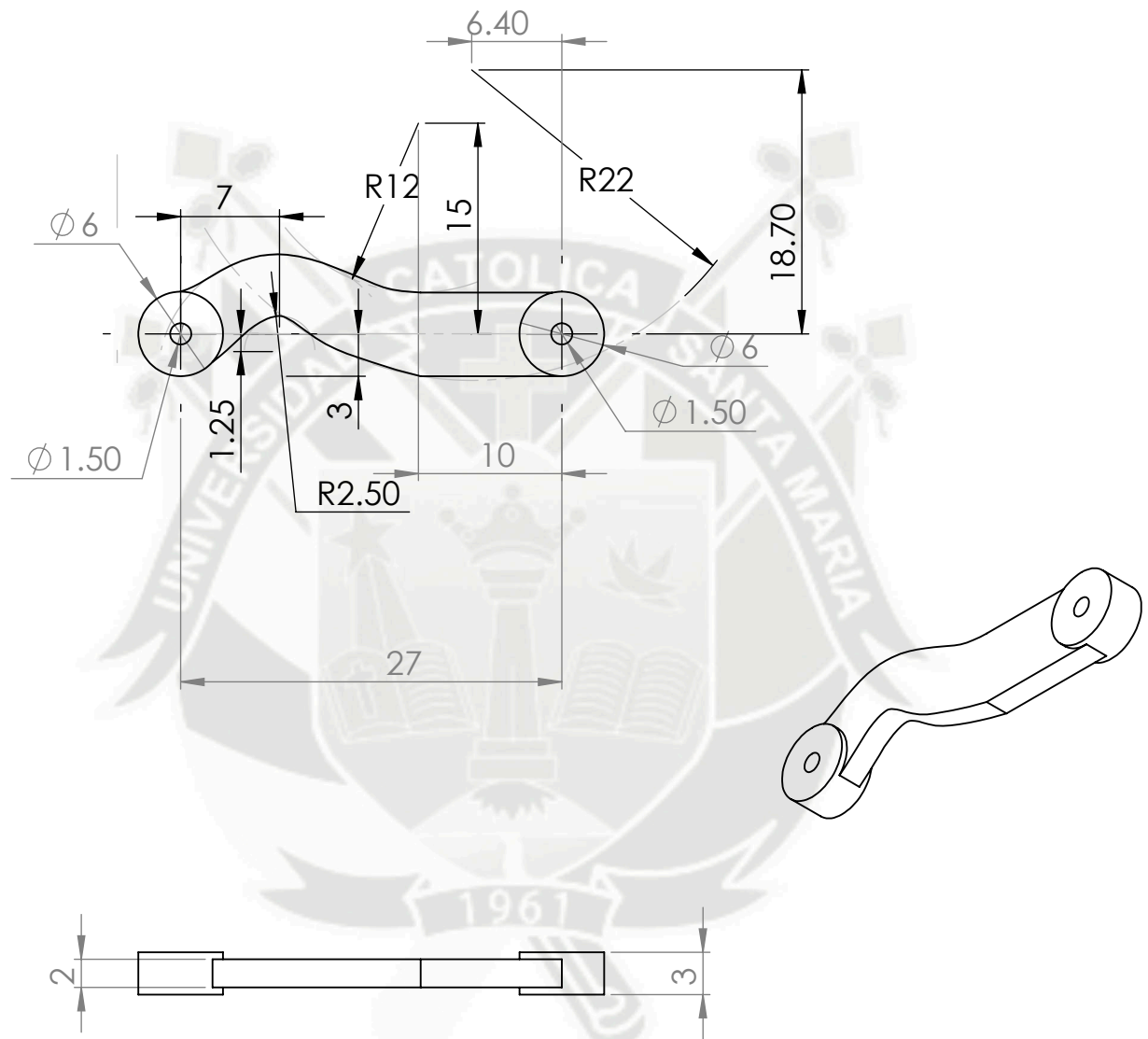


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira	Titulo: Componente #2 Falange medial del dedo medio Detalle	
	Revision:	Escala:2:1
Plano: Vista y detalles	Nro plano: 06	



Título: Componente #2 Falange distal de dedo medio Detalle	
Escala:2:1	Nro plano: 07



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

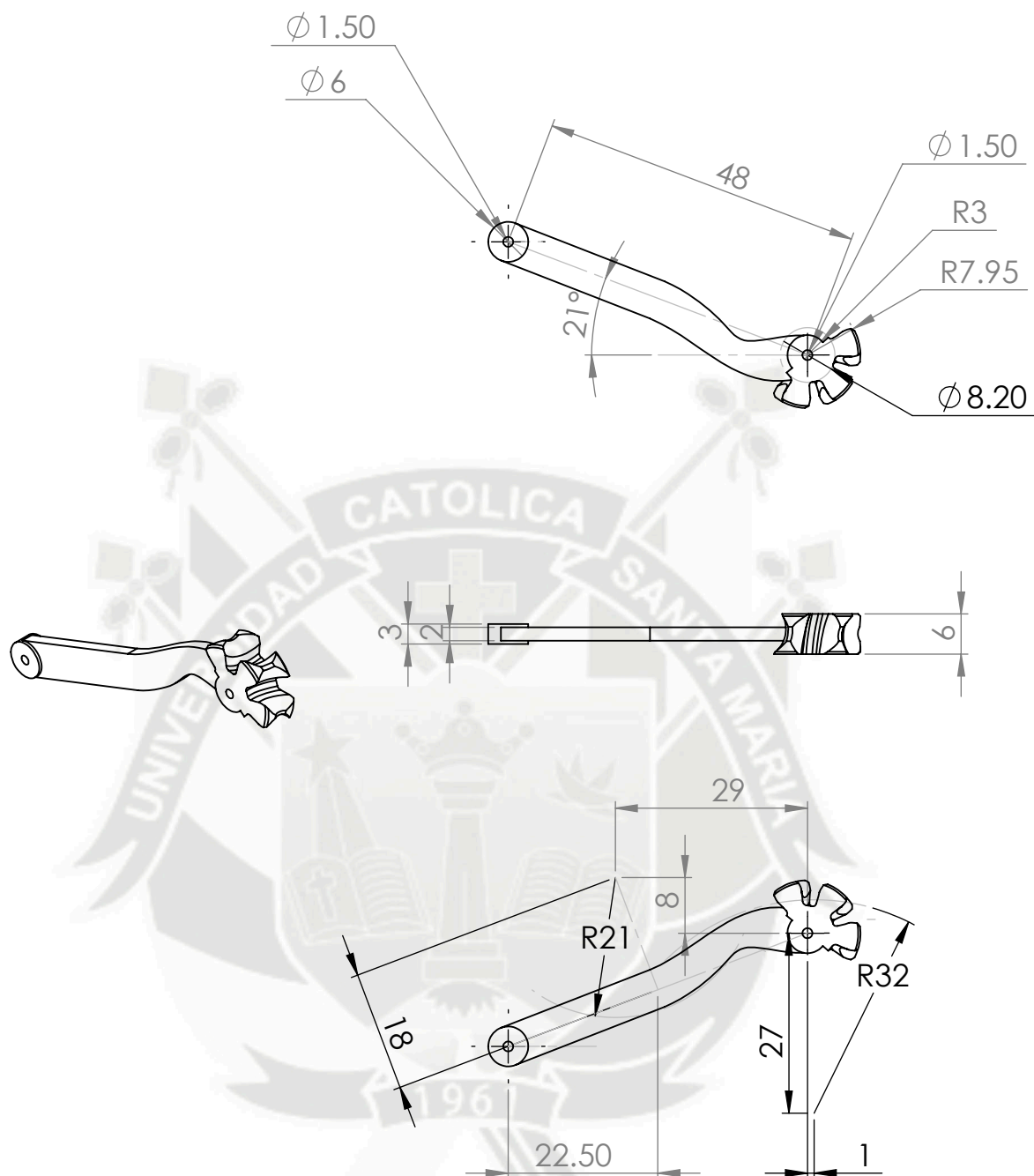
Titulo: Componente #2
Actuador distal del dedo medio
Detalle

Plano:
Vista y detalles

Revision:

Escala:2:1

Nro plano: 08



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

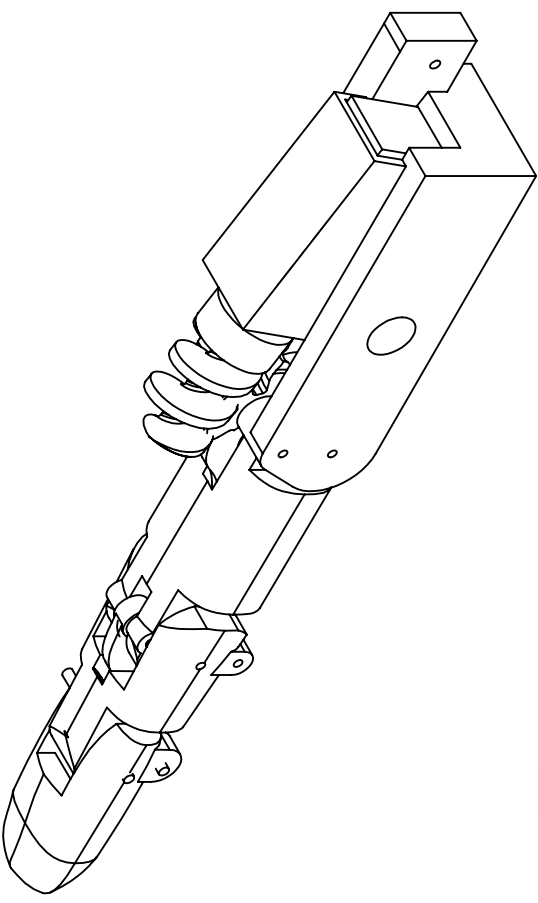
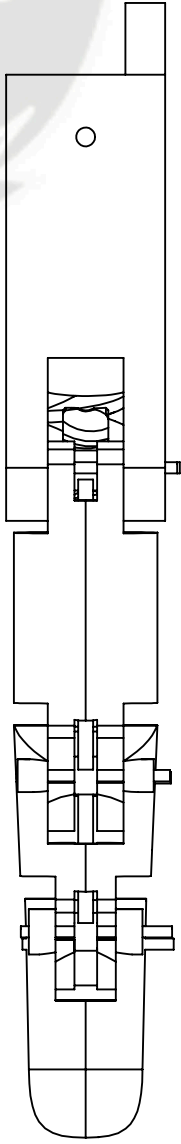
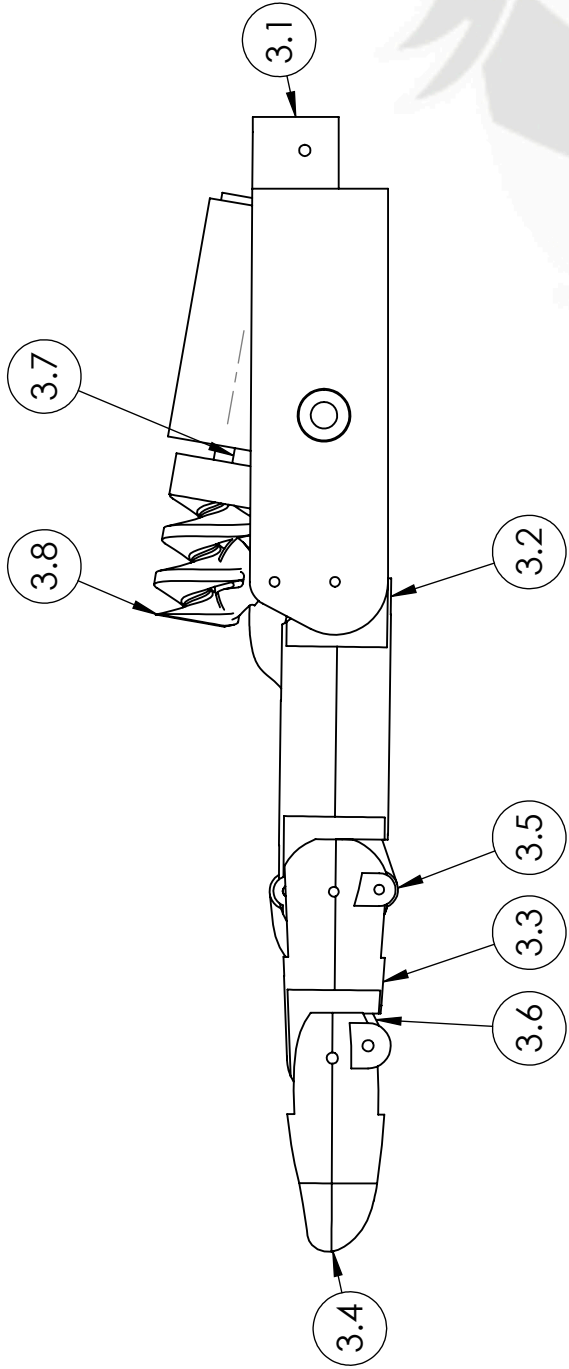
Título: Componente #2
Actuador proximal del dedo medio
Detalle

Plano:
Vista y detalles

Revision:

Escala:1:1

Nro plano: 09

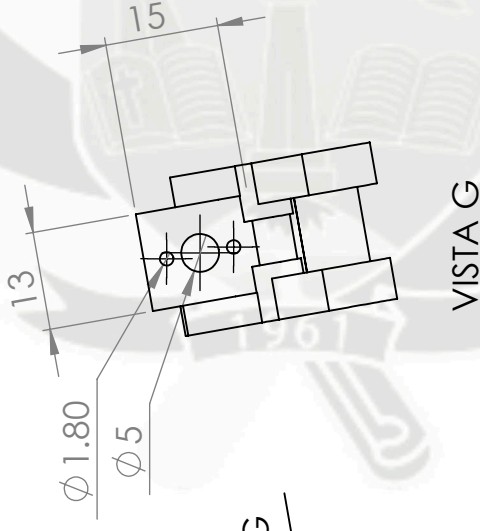
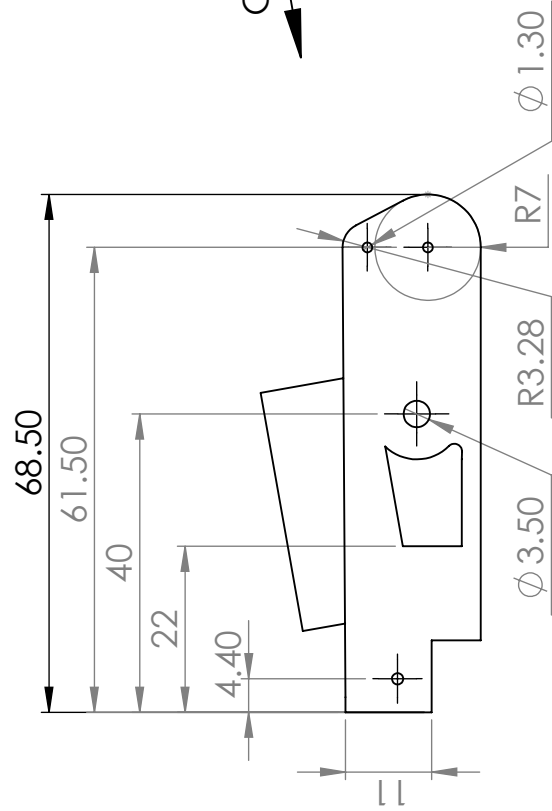
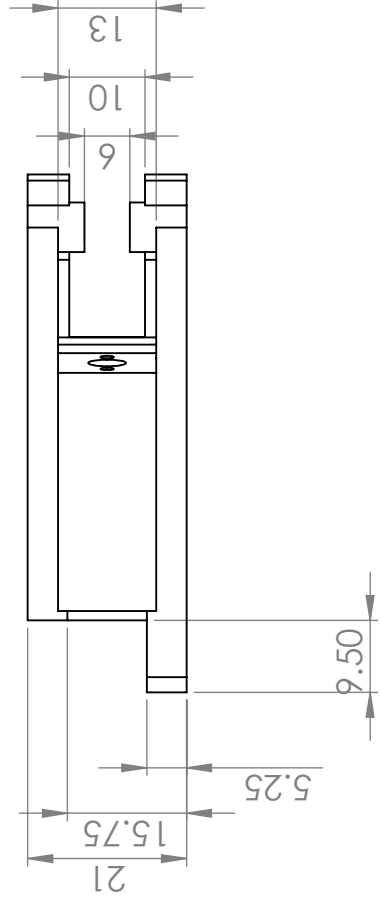


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
3.1	Falange metacarpiano del dedo indice	Plano 11	1
3.2	Falange proximal del dedo indice	Plano 12	1
3.3	Falange medial del dedo indice	Plano 13	1
3.4	Falange distal del dedo indice	Plano 14	1
3.5	Actuador proximal del dedo indice	Plano 15	1
3.6	Actuador distal del dedo indice	Plano 16	1
3.7	Pololu		1
3.8	Tornillo de gusano	Plano 31	1
3.9	pin largo	Plano 32	6
3.10	pin corto	Plano 32	1

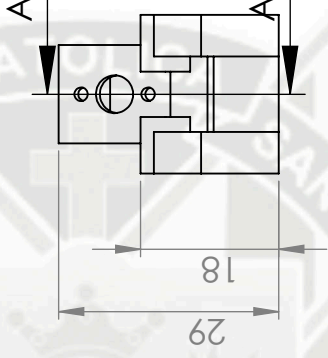


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

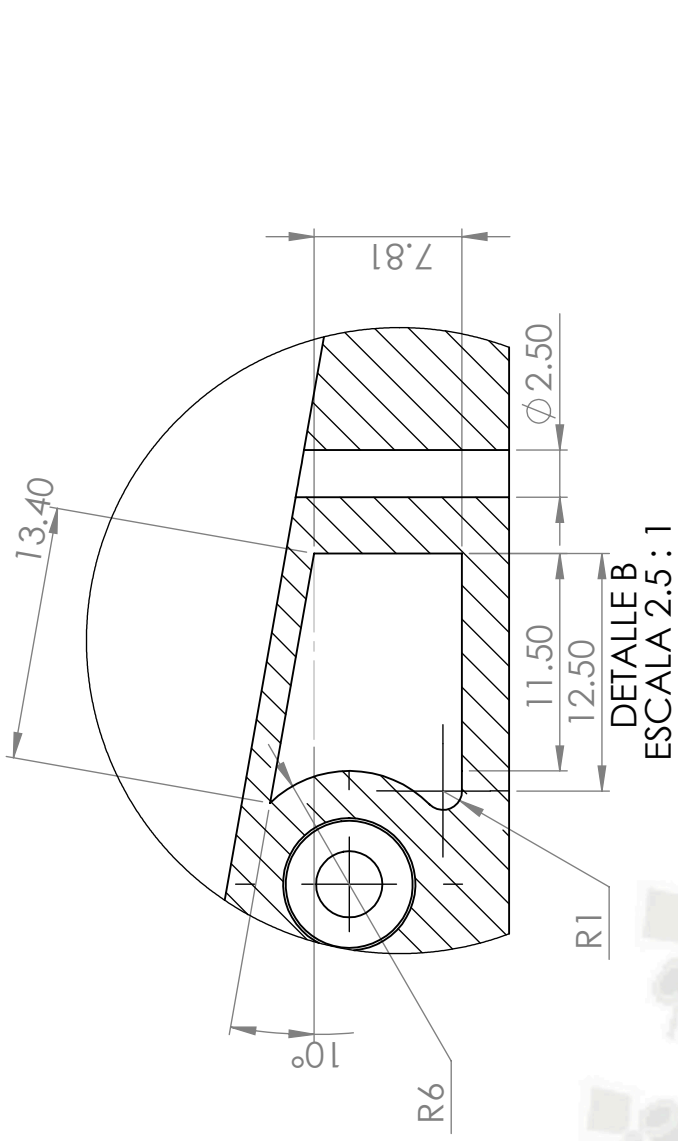
Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira		Titulo: Componente #3 DEDO INDICE
Plano: Vista y detalles	Revision:	Escala:1:1 Nro plano: 10



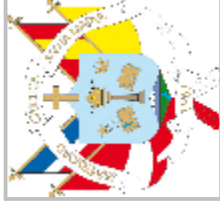
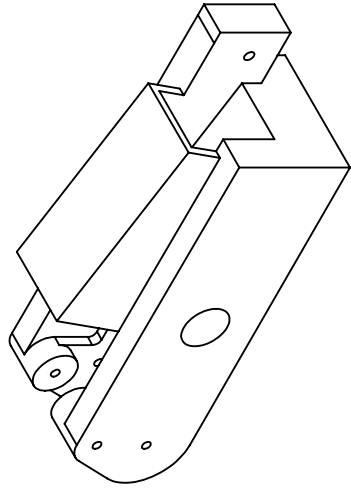
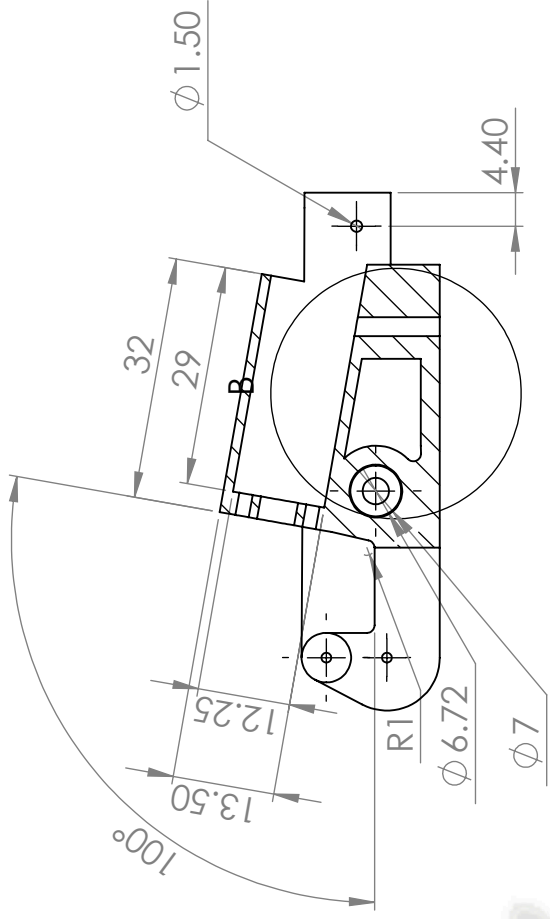
VISTA G



SECCIÓN A-A

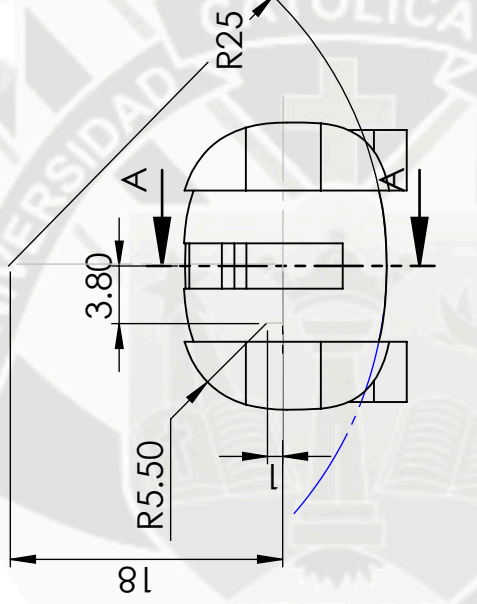
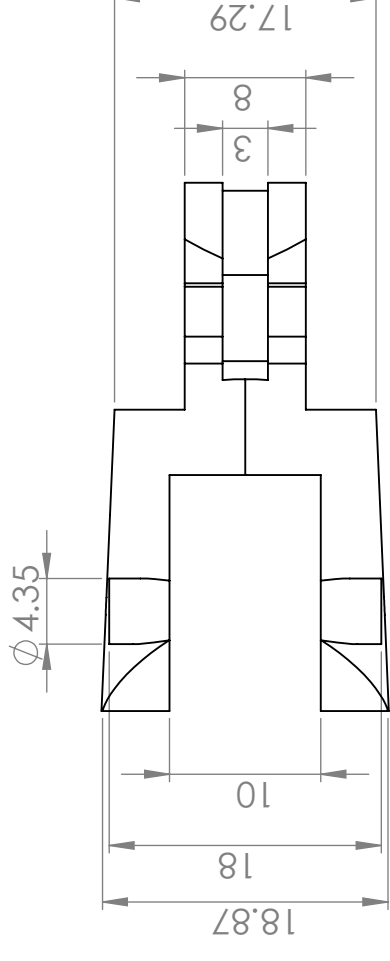
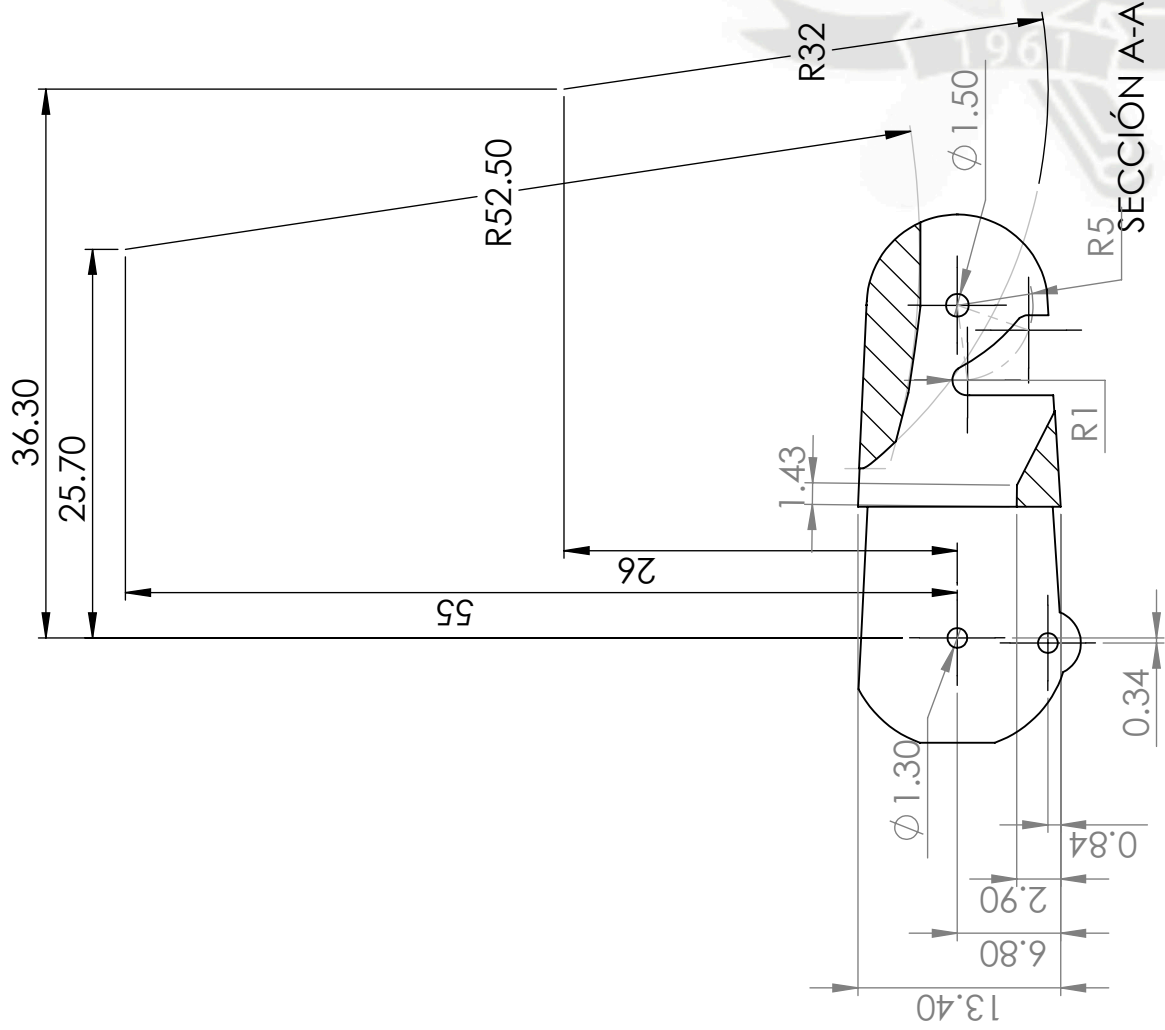


DETALLE B
ESCALA 2.5 : 1

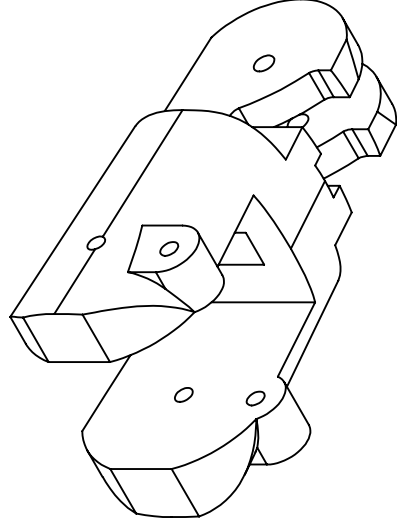


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira	Componente #3	
	Titulo: Falange metacarpiana de los dedos indice y anular Detalle	
Plano: Vista y detalles	Revision:	Escala:1:1
		Nro plano: 11

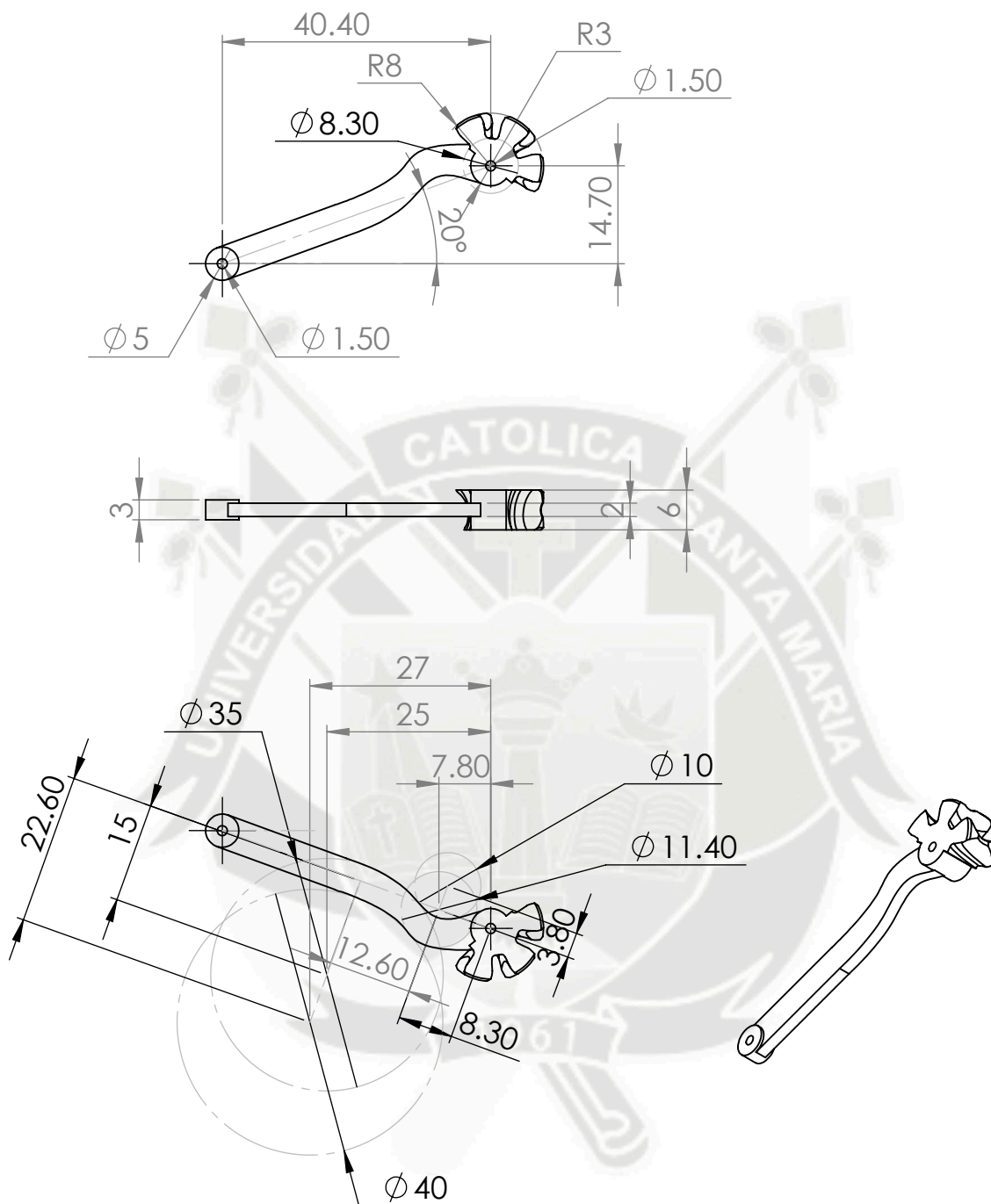


SECCIÓN A-A



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira	Título: Componente #3 Faange medial de los dedos indice y anular Detalle	
	Escala:2:1	Nro plano: 13



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

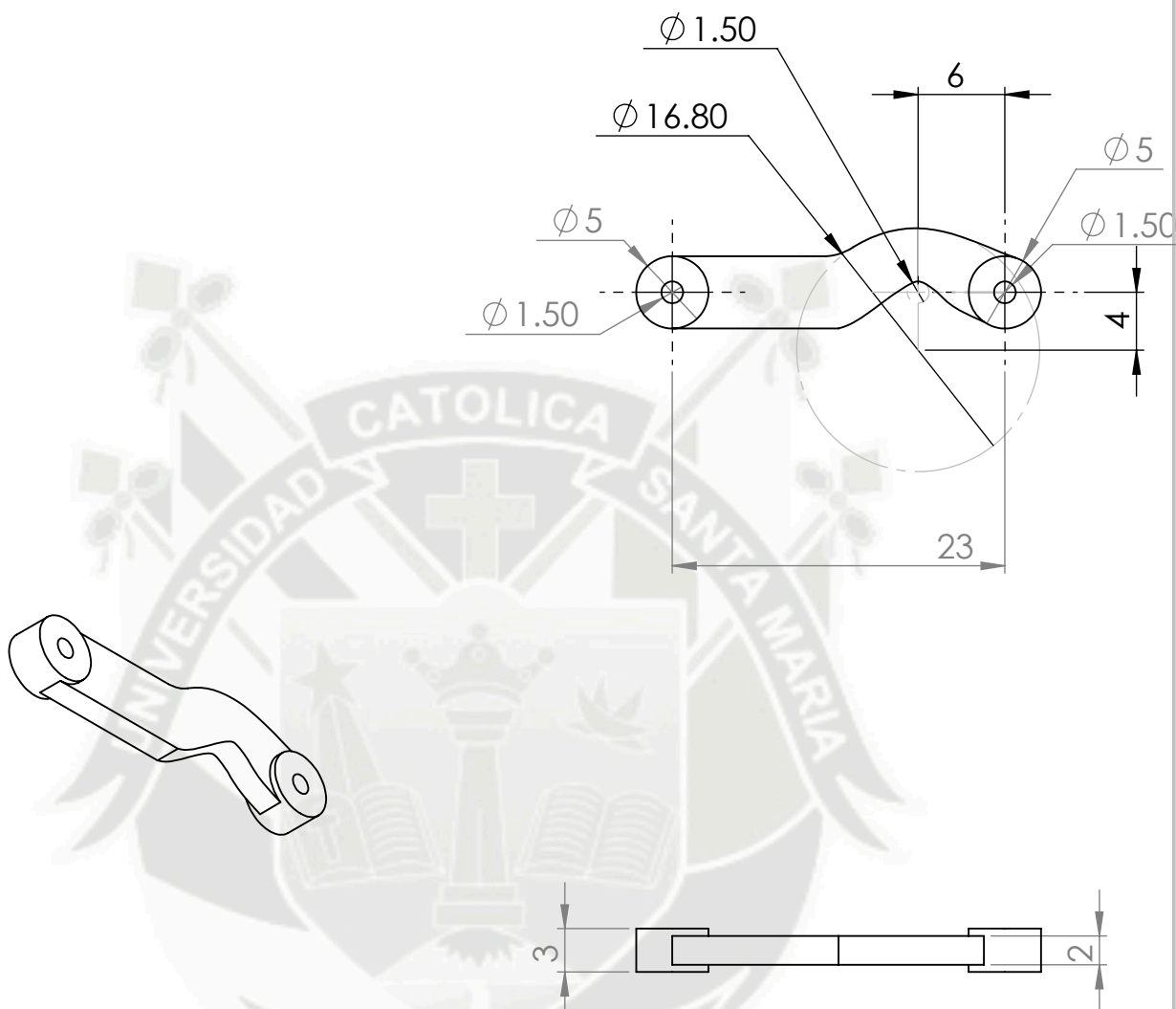
Titulo: Componente #3
Actuador proximal de los dedos indice
y anular
Detalle

Plano:
Vista y detalles

Revision:

Escala:1:1

Nro plano: 15



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

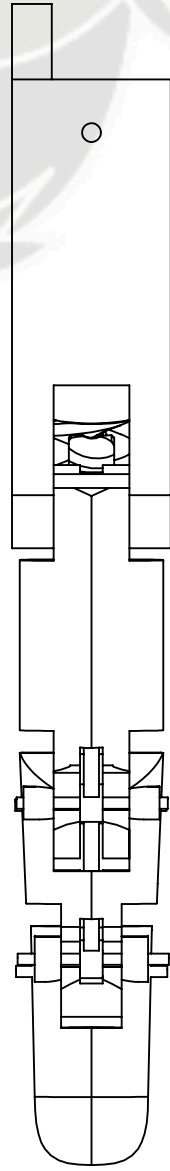
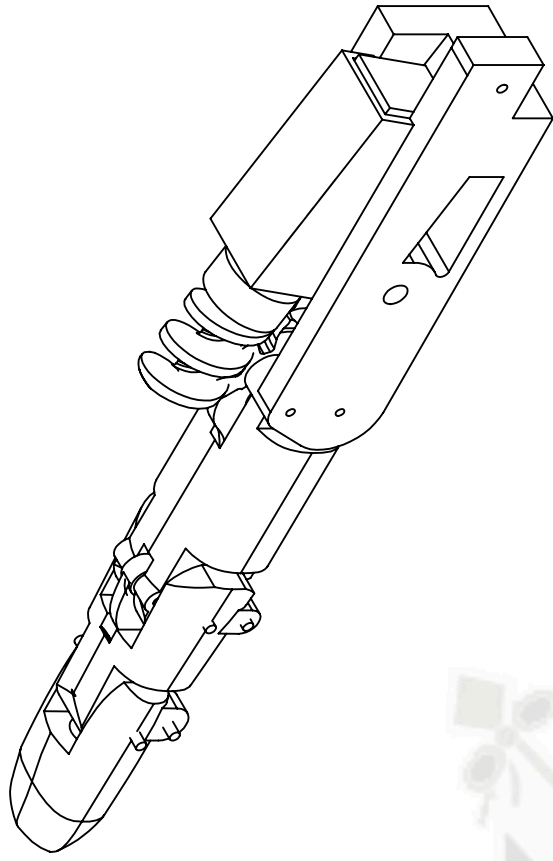
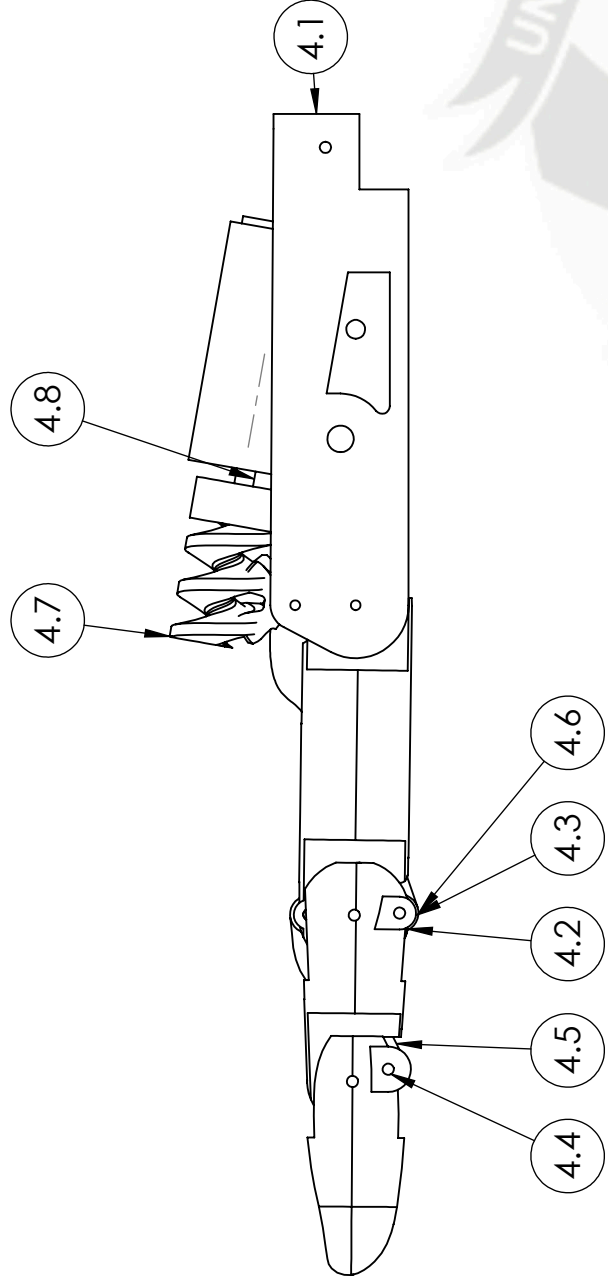
Titulo: Componente #3
Actuador distal de los dedos indice y anular
Detalle

Plano:
Vista y detalles

Revision:

Escala:2:1

Nro plano: 16

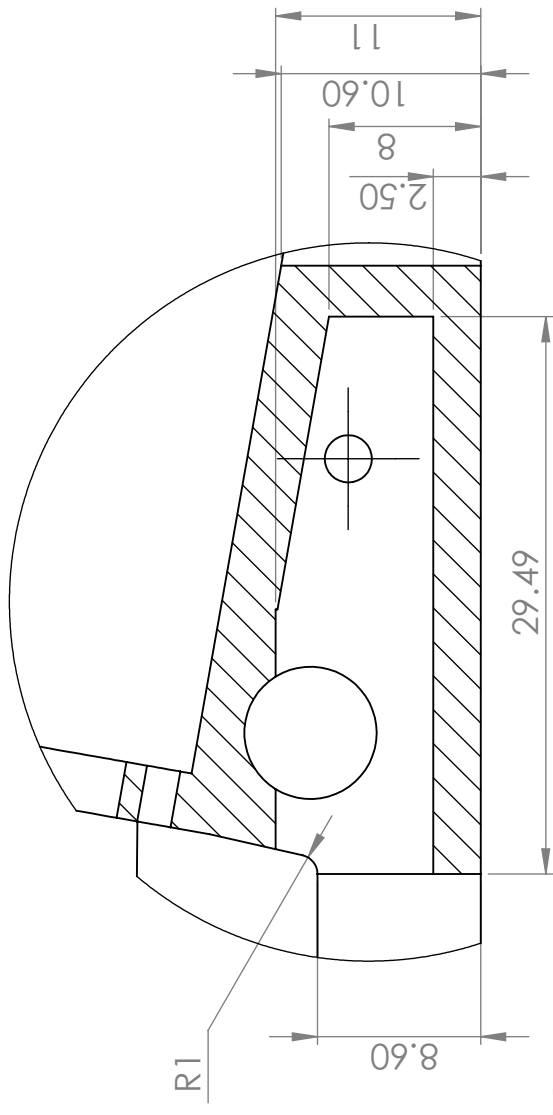
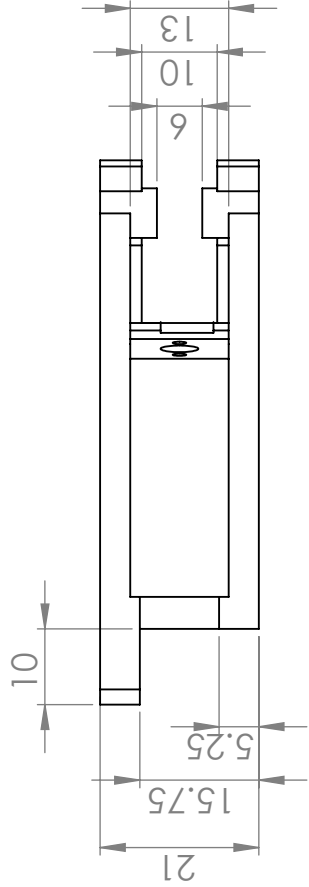


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
4.1	Falange metacarpiana del dedo anular	Plano 18	1
4.2	Falange proximal de dedo anular	Plano 12	1
4.3	Falange medial del dedo anular	Plano 13	1
4.4	Falange distal del dedo anular	Plano 14	1
4.5	Actuador distal de dedo anular	Plano 16	1
4.6	Anular actuador proximal	Plano 15	1
4.7	Tornillo de gusano	Plano 31	1
4.8	Pololu		1
4.9	pin largo	Plano 32	6
4.10	pincorto	Plano 32	1

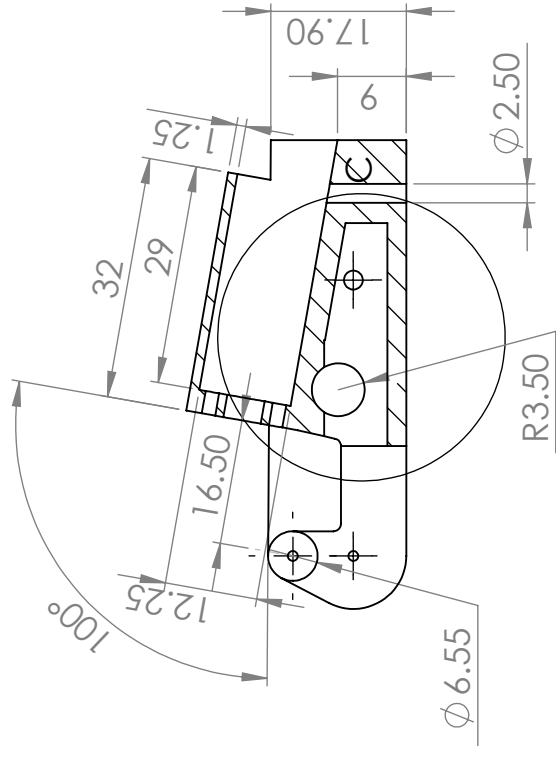
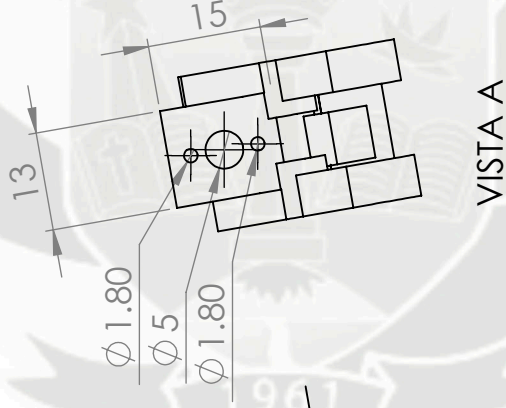
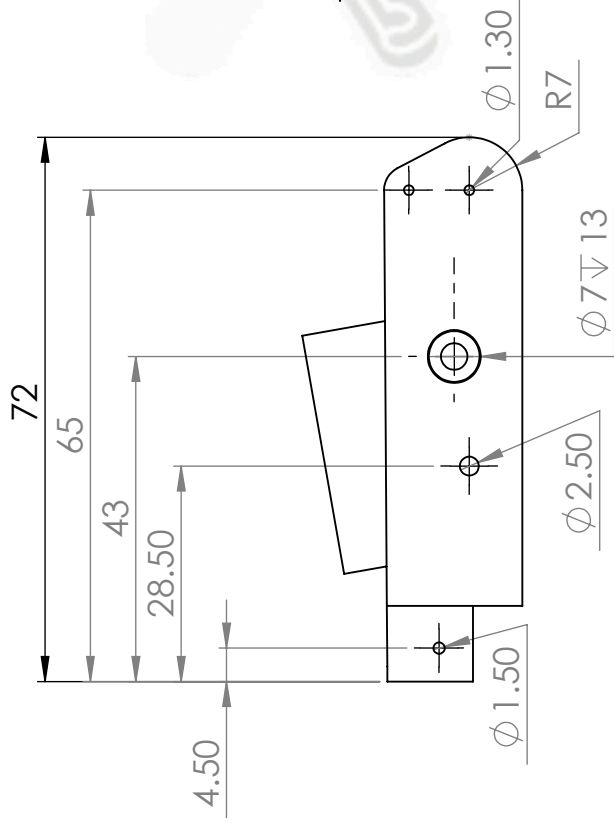


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

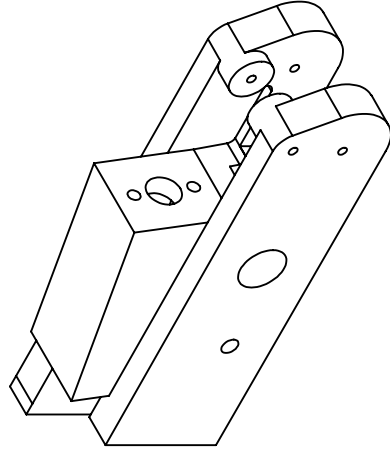
Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira		Título: Componente #4 DEDO ANULAR	
Plano: Vista y detalles	Revision:	Escala:1:1	Nro plano: 17



DETALLE C
ESCALA 2.5 : 1

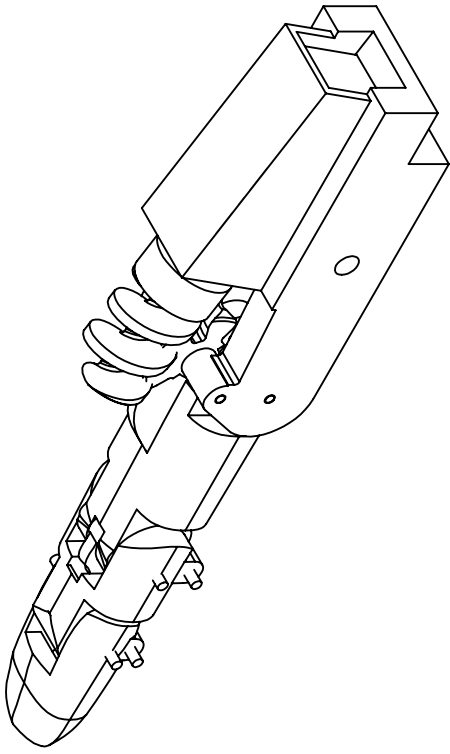
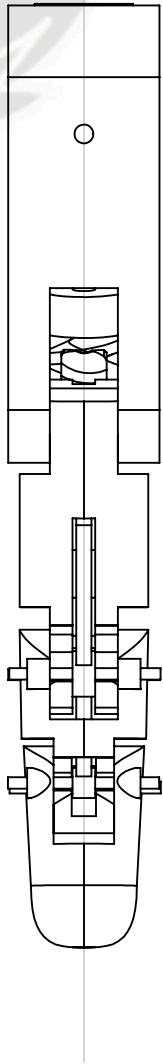
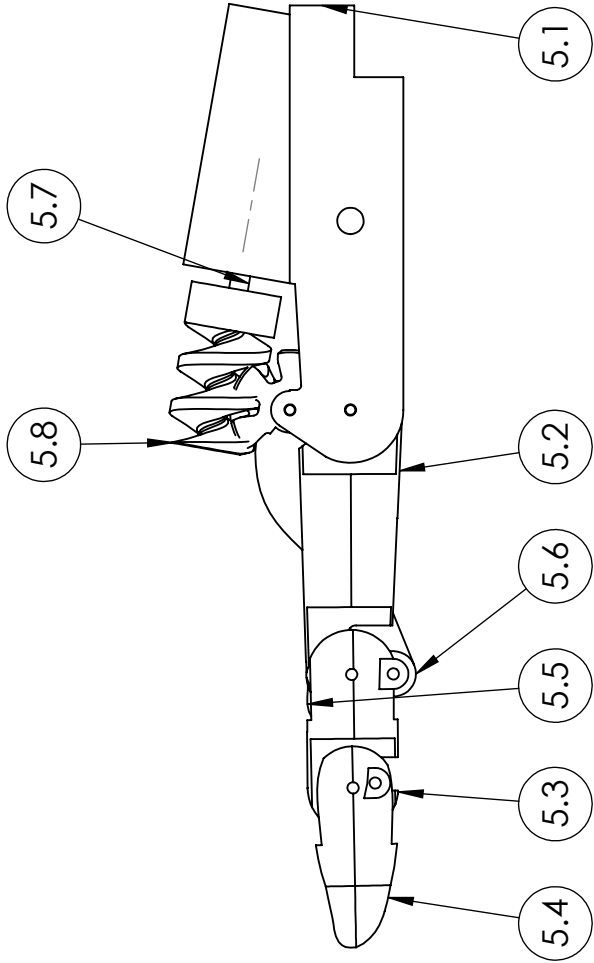


SECCIÓN B-B



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira	Titulo: Componente #4 Falange metacarpiana del dedo anular Detalle	
	Plano: Vista y detalles	Revision: Escala:1:1 Nro plano: 18

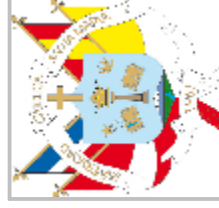
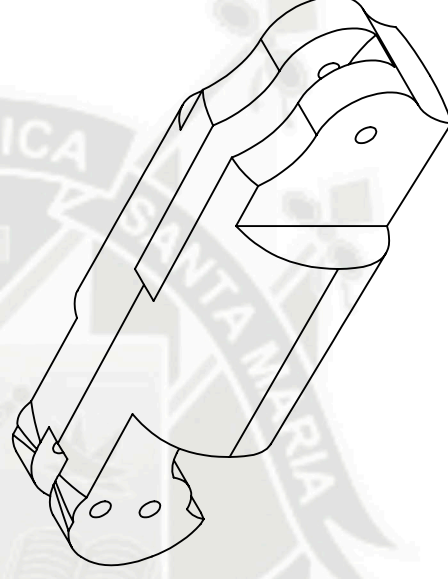
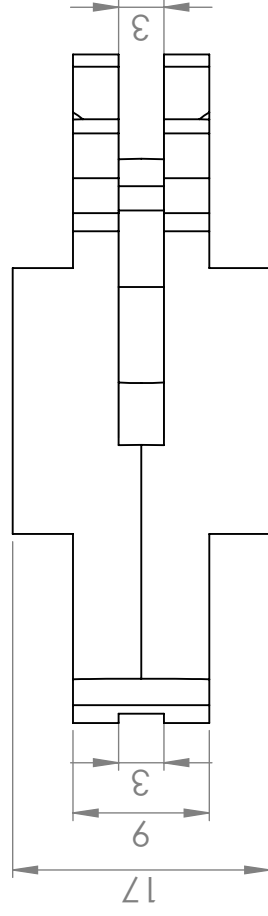
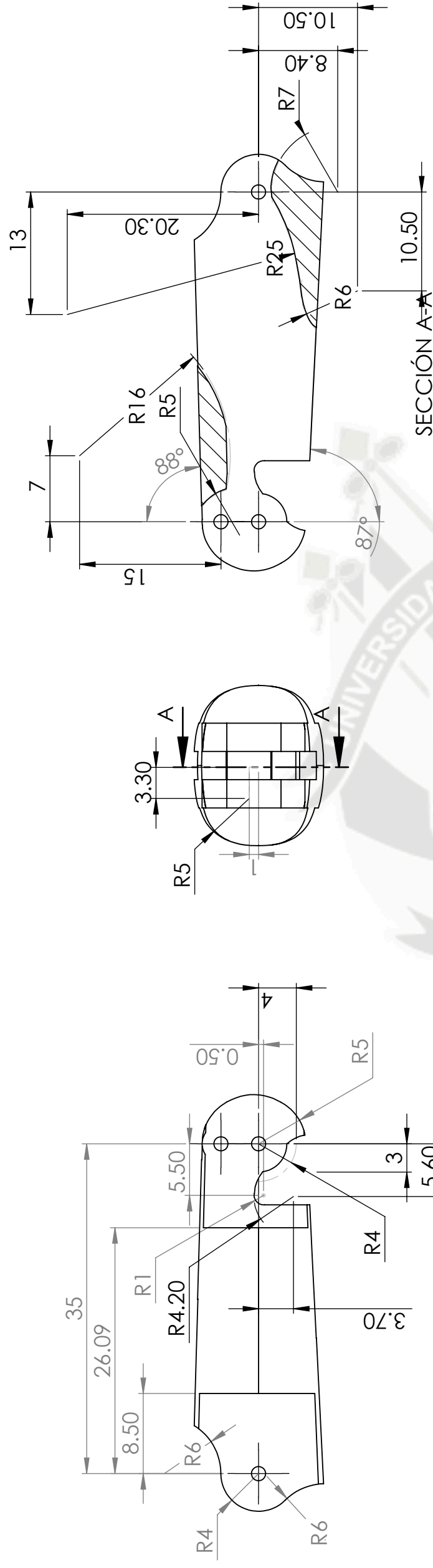


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
5.1	Falange metacarpiana del dedo meñique	Plano 20	1
5.2	Falange proximal del dedo meñique	Plano 21	1
5.3	Falange medial del dedo meñique	Plano 22	1
5.4	Falange distal del dedo meñique	Plano 23	1
5.5	Actuador distal del dedo meñique	Plano 24	1
5.6	Actuador proximal del dedo meñique	Plano 25	1
5.7	Pololu		1
5.8	Tornillo de gusano	Plano 31	1
5.9	pin largo	Plano 32	6
5.10	pin corto	Plano 32	1



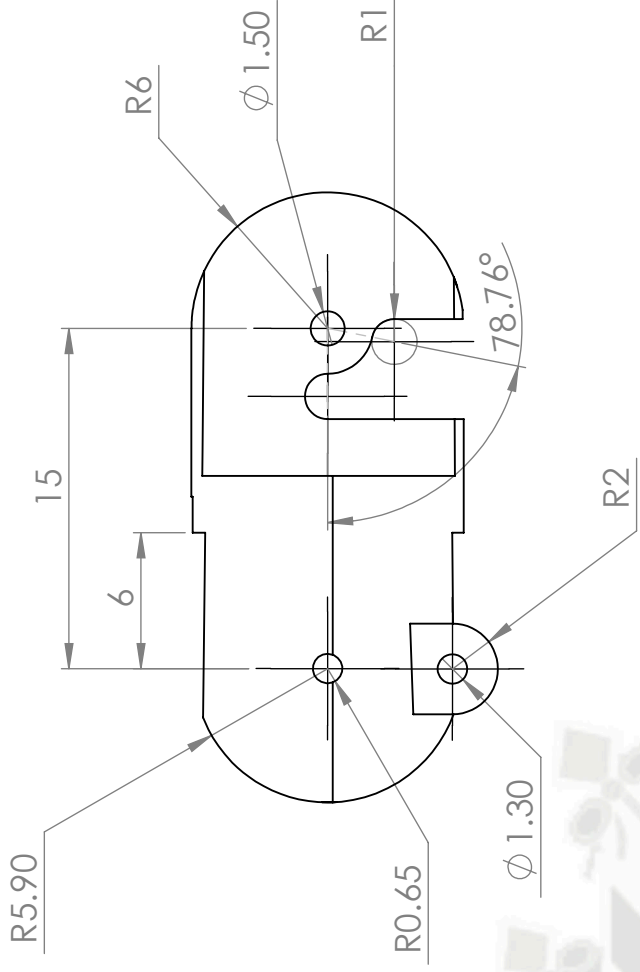
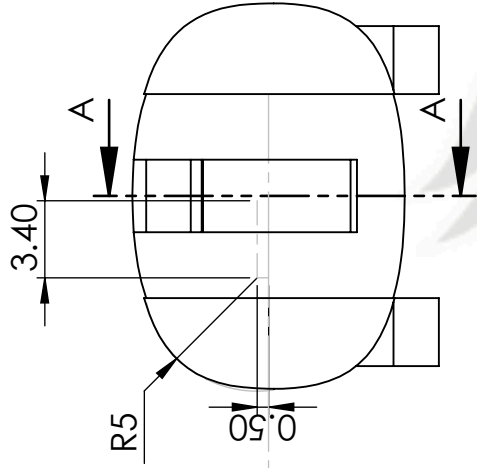
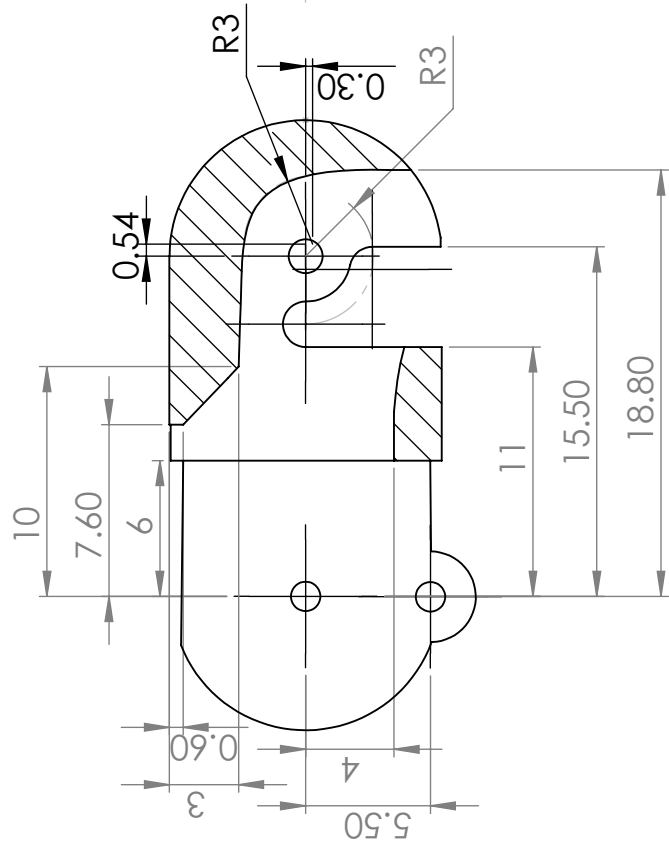
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira		Titulo: Componente #5 DEDO MEÑIQUE	
Plano: Vista y detalles	Revision:	Escala:1:1	Nro plano: 19

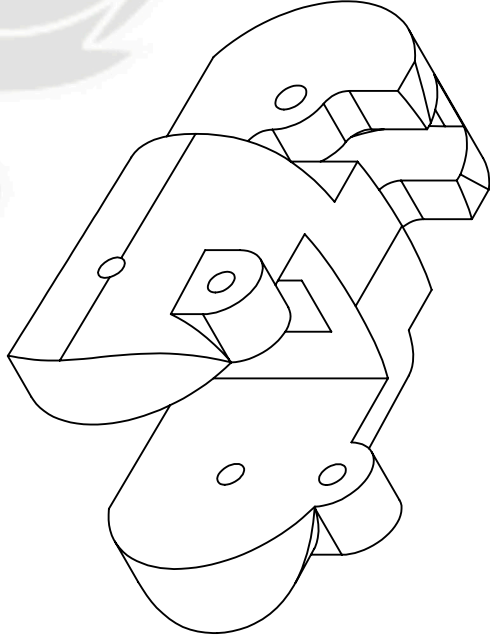
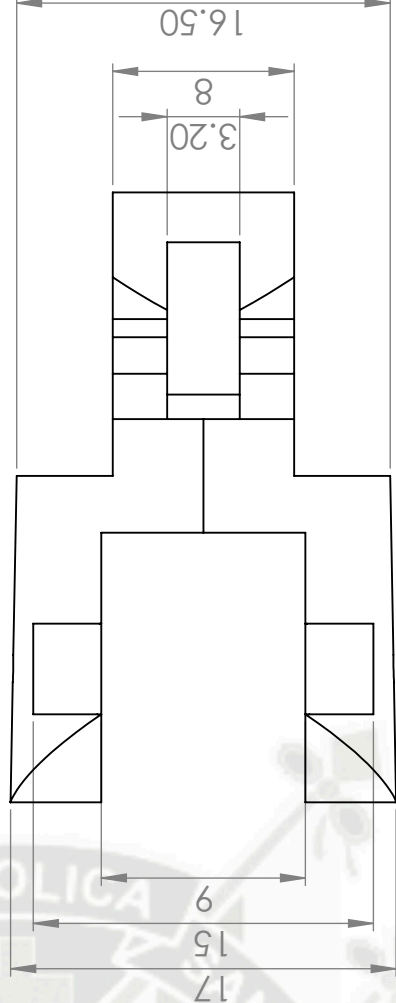


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira	Titulo: Componente #5 Falange proximal del dedo meñique Detalle	
Plano: Vista y detalles	Escala:2:1	Nro plano: 21

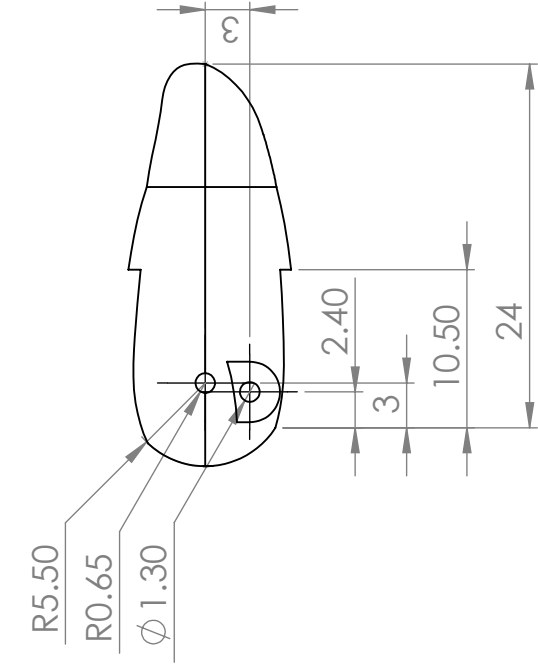
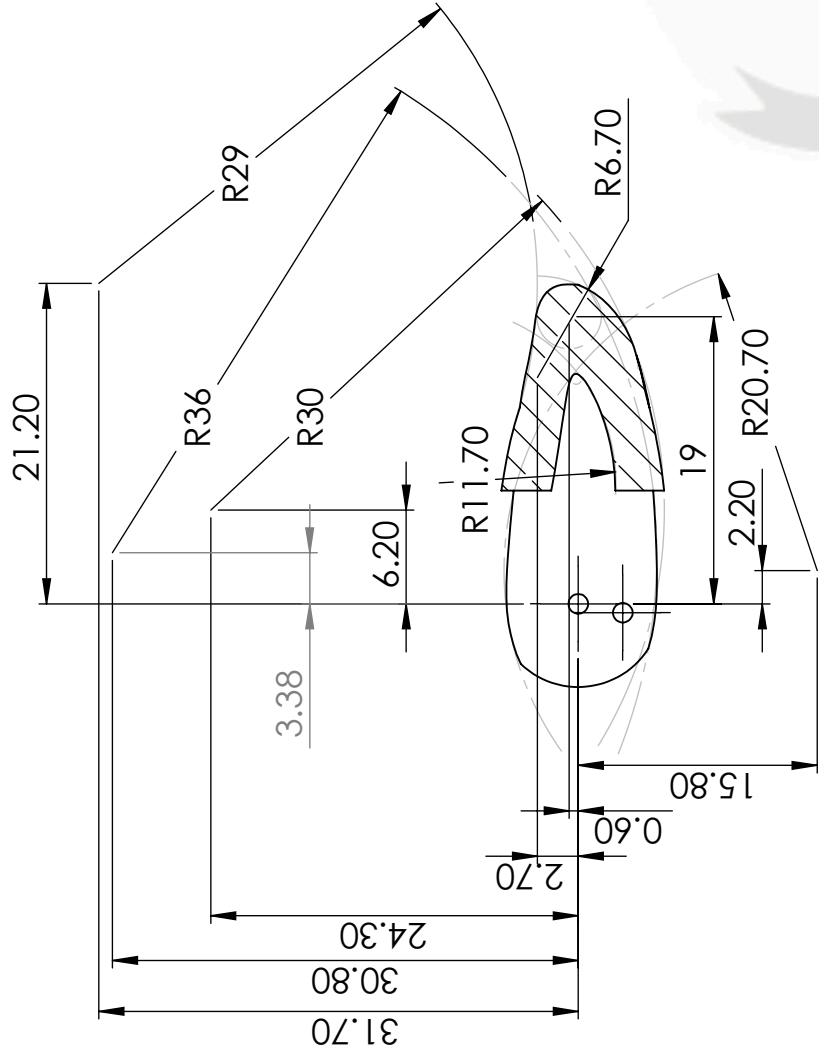


SECCIÓN A-A

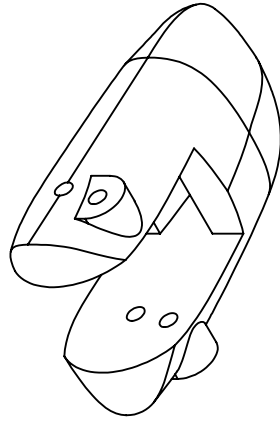
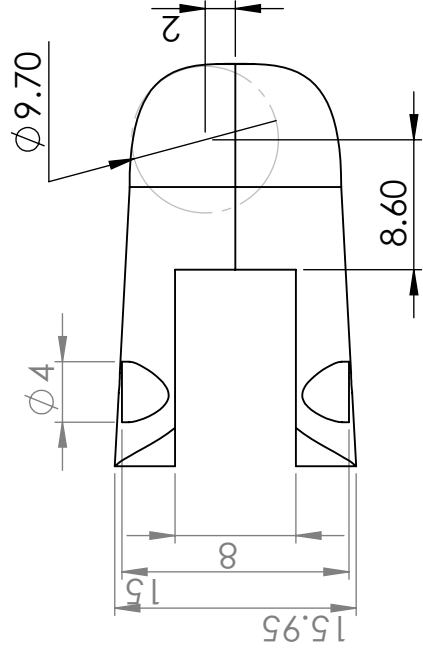


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira	Titulo: Componente #5	
	Falange medial del dedo meñique Detalle	
Plano: Vista y detalles	Revision:	Escala:3:1 Nro plano: 22

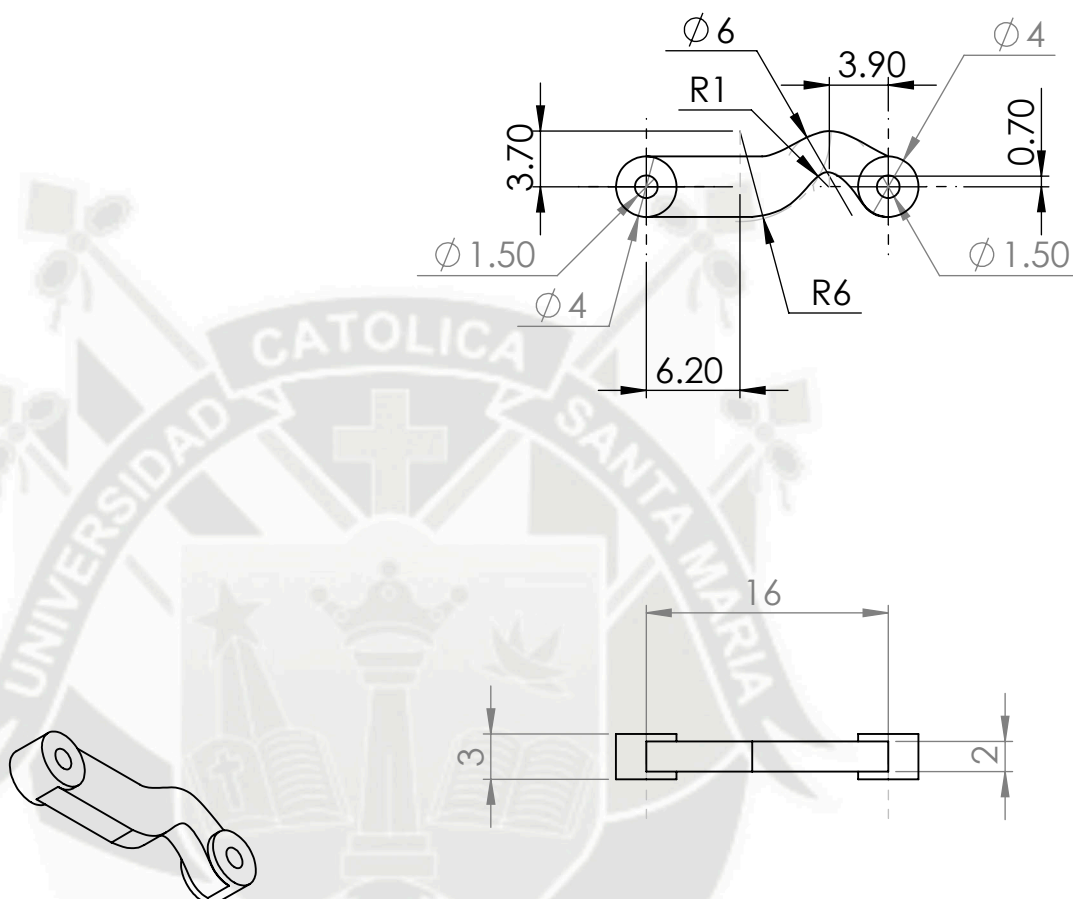


SECCIÓN A-A



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira		Titulo: Componente #5 Falange distal del dedo meñique Detalle	
Plano: Vista y detalles	Revision:	Escala:2:1	Nro plano: 23



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

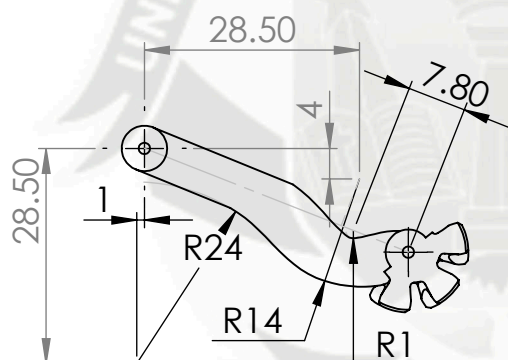
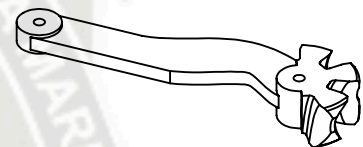
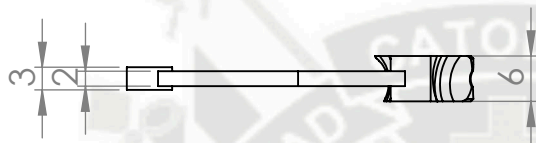
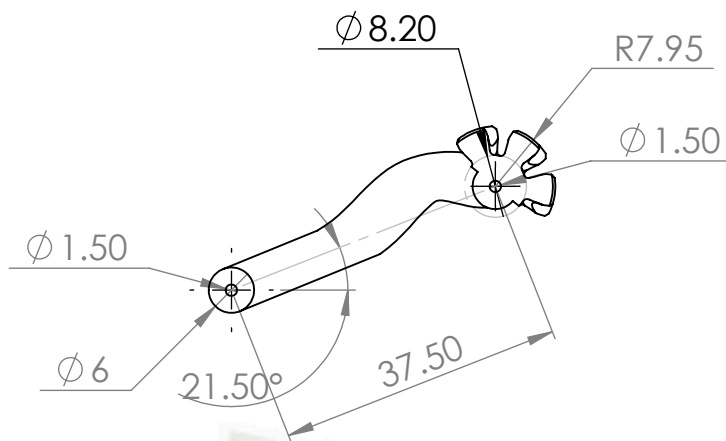
Título: Componente #5
Actuador distal del dedo meñique
Detalle

Plano:
Vista y detalles

Revision:

Escala:2:1

Nro plano: 24



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

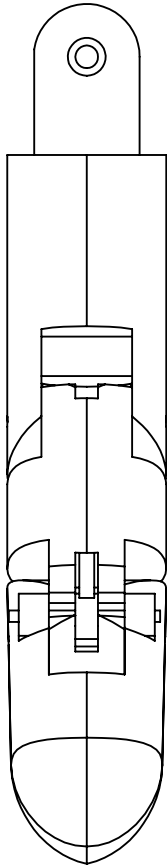
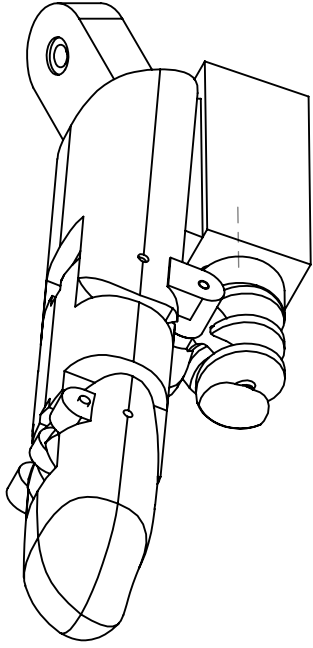
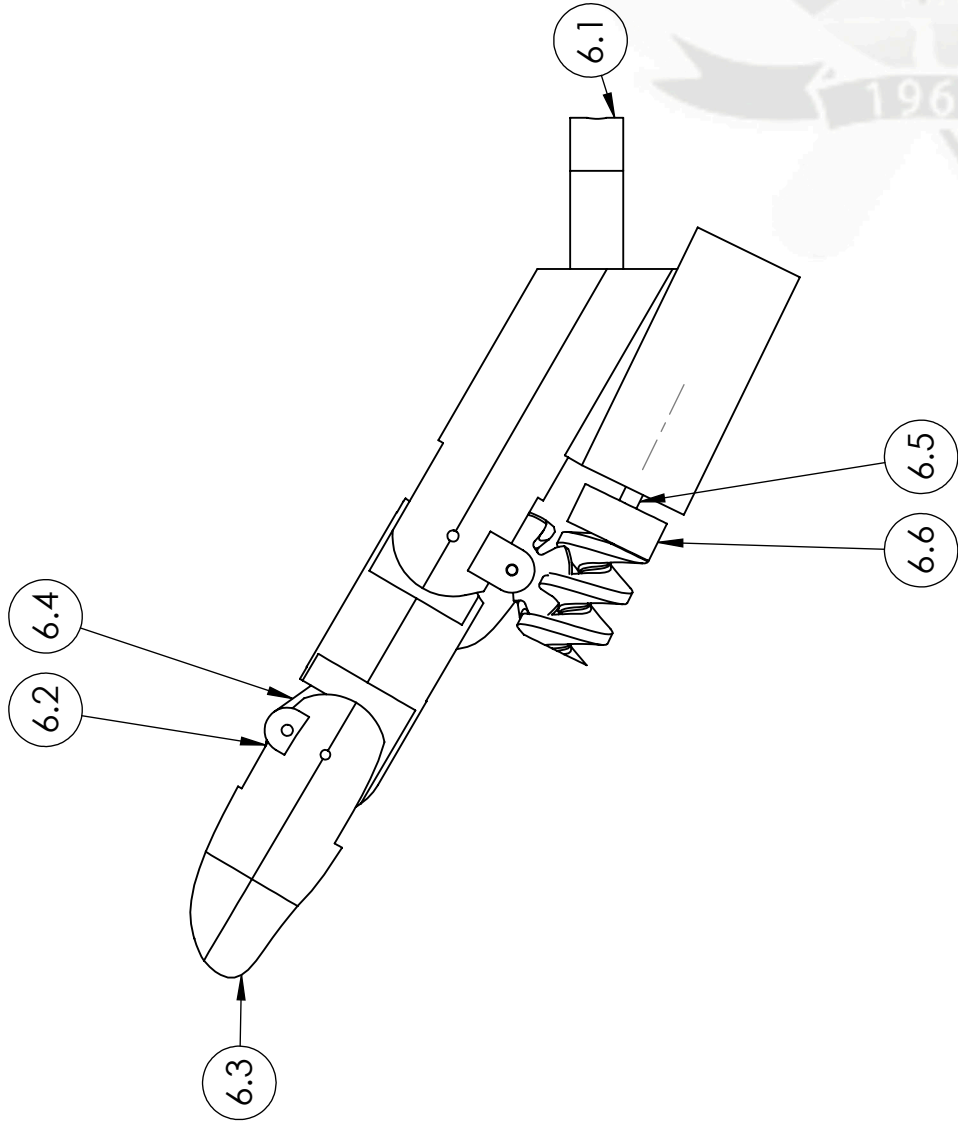
Título: Componente #5
Actuador proximal del dedo meñique
Detalle

Plano:
Vista y detalles

Revision:

Escala:1:1

Nro plano: 25

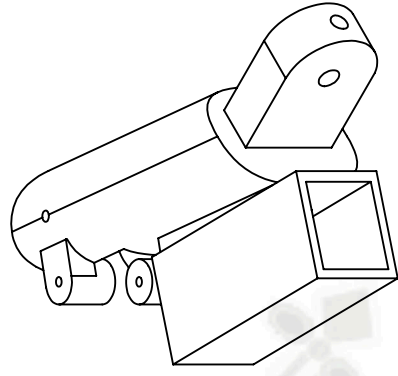
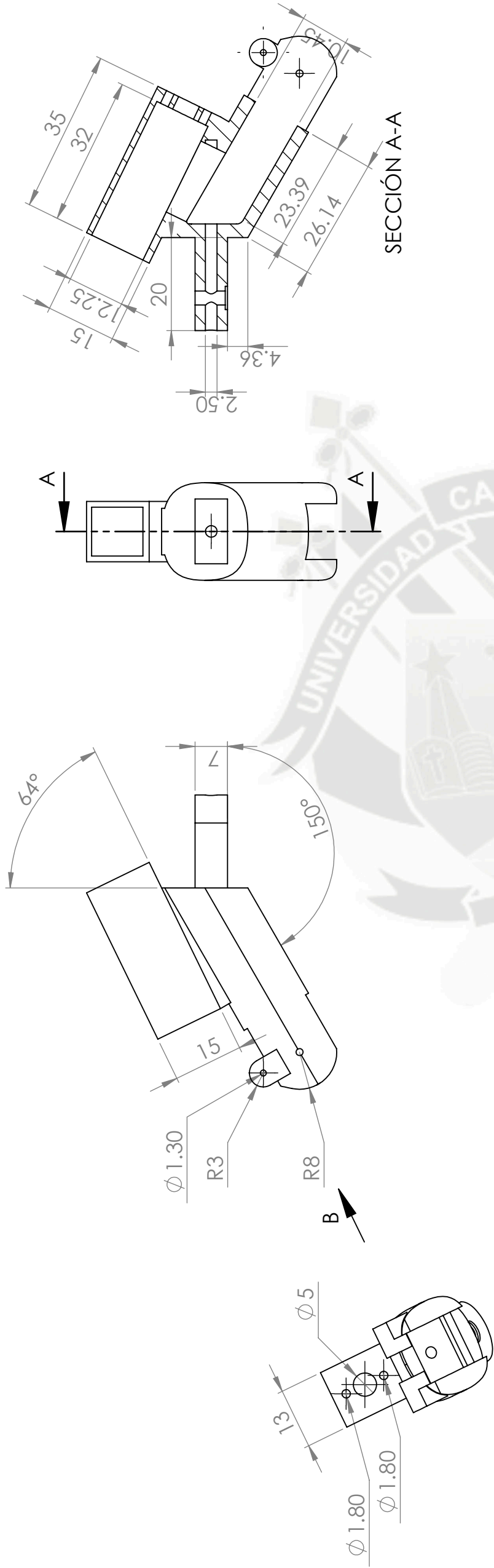


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
6.1	Pulgar metacarpiano	Plano 27	1
6.2	Pulgar proximal	Plano 28	1
6.3	Pulgar distal	Plano 29	1
6.4	Pulgar actuador proximal	Plano 30	1
6.5	Pololu		1
6.6	Tornillo de gusano	Plano 31	1
6.7	pin largo	Plano 32	4



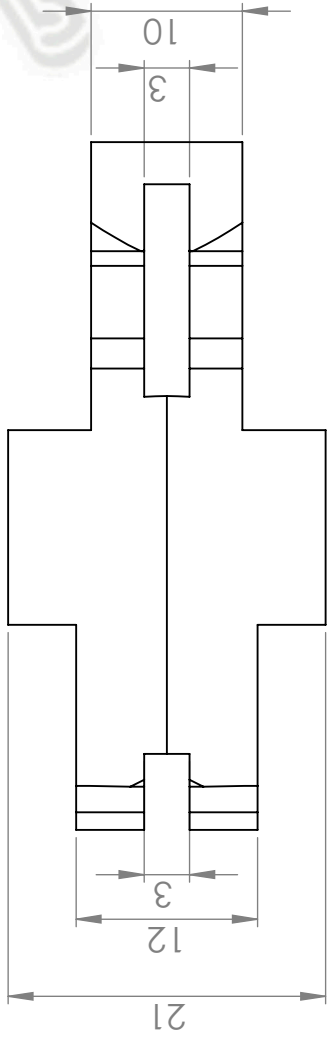
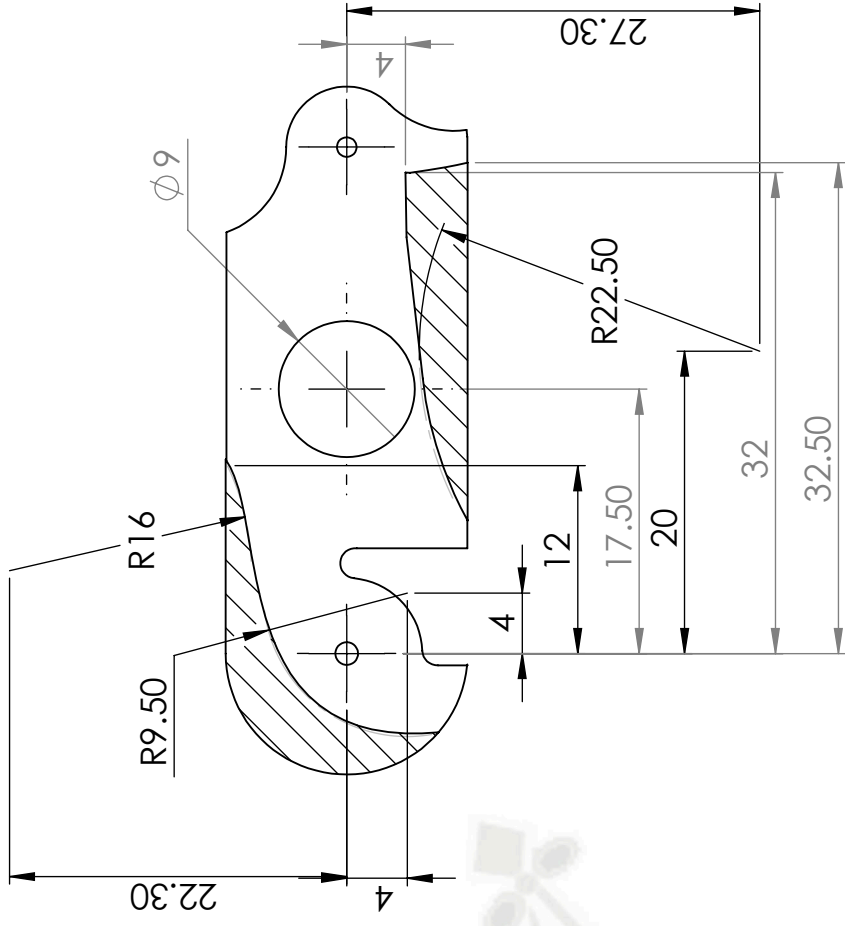
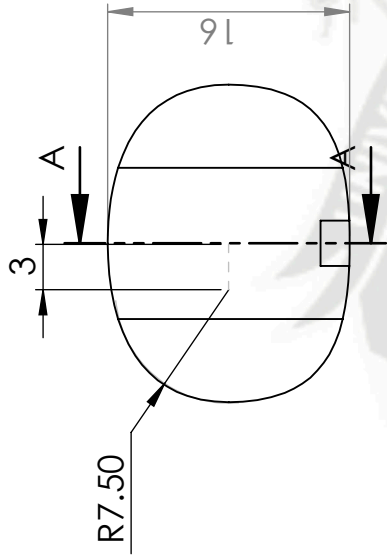
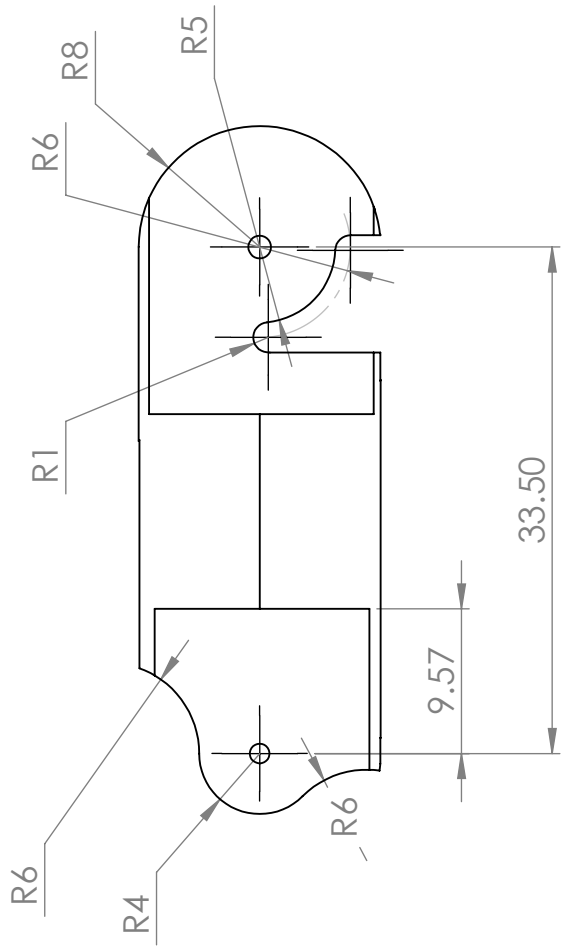
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira		Titulo: Componente #6 DEDO PULGAR	
Plano: Vista y detalles	Revision:	Escala:1:1	Nro plano: 26

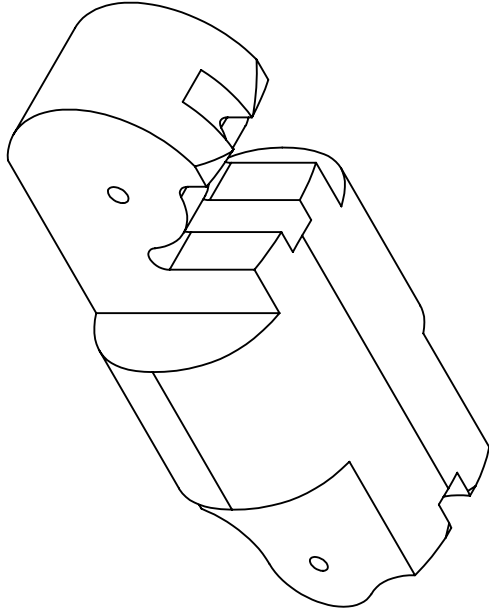


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira	Título: Componente #6 Falange metacarpiana del dedo pulgar Detalle	
	Plano: Vista y detalles	Revision: Escala:1:1
		Nro plano: 27

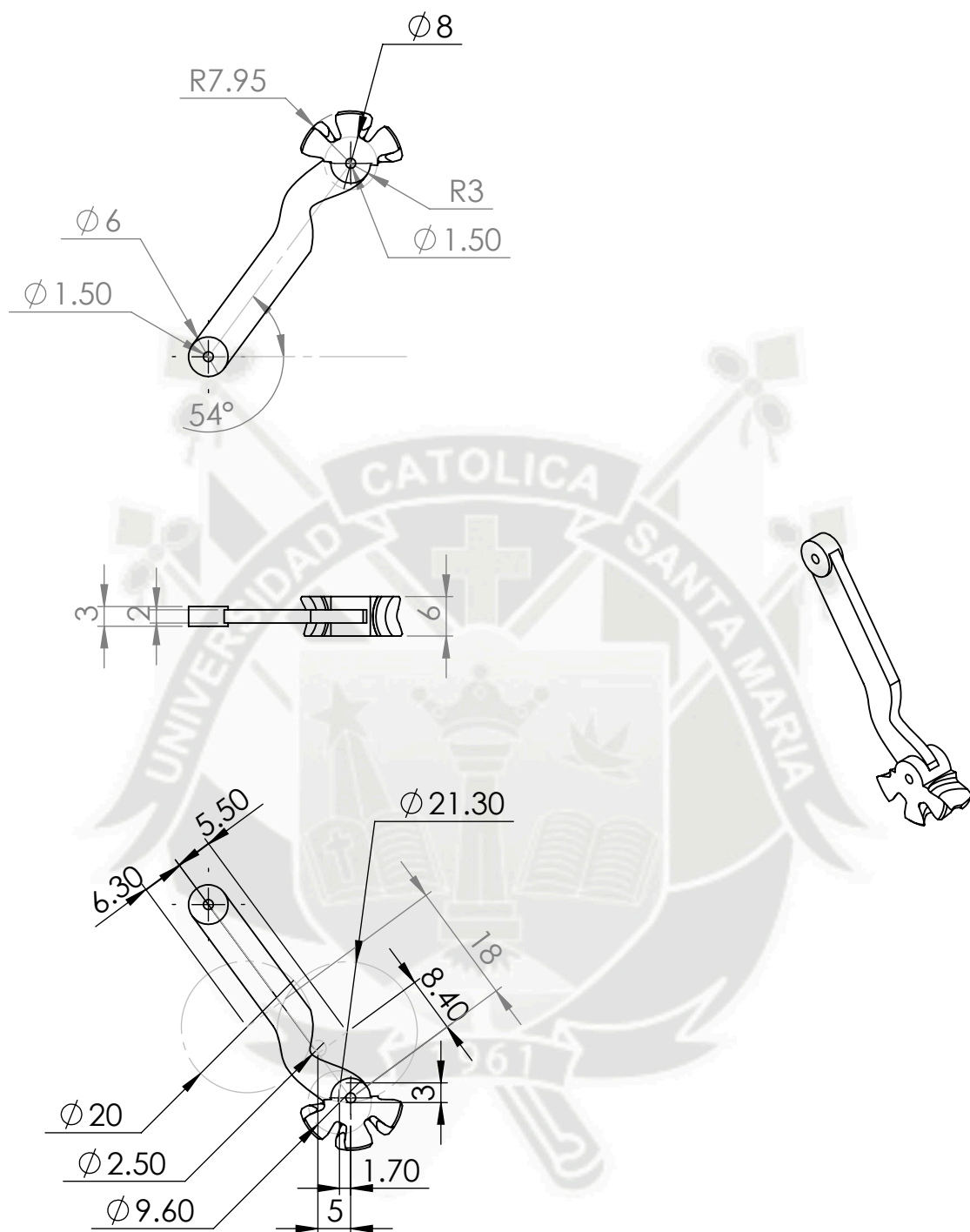


SECCIÓN A-A



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado: Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira	Título: Componente #6 Falange proximal del dedo pulgar Detalle	
	Plano: Vista y detalles	Revision: Escala:2:1 Nro plano: 28



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

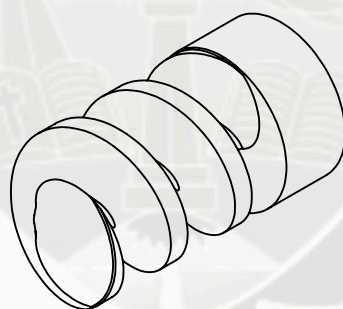
Título: Componente #6
Actuador proximal del dedo pulgar
Detalle

Plano:
Vista y detalles

Revision:

Escala:1:1

Nro plano: 30



Parametro	Medida
Diametro primitivo	8 mm
Diametro exterior	11.8 mm
Angulo de helice	13.4°
Avance de helice	6 mm
Modulo	1.9



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

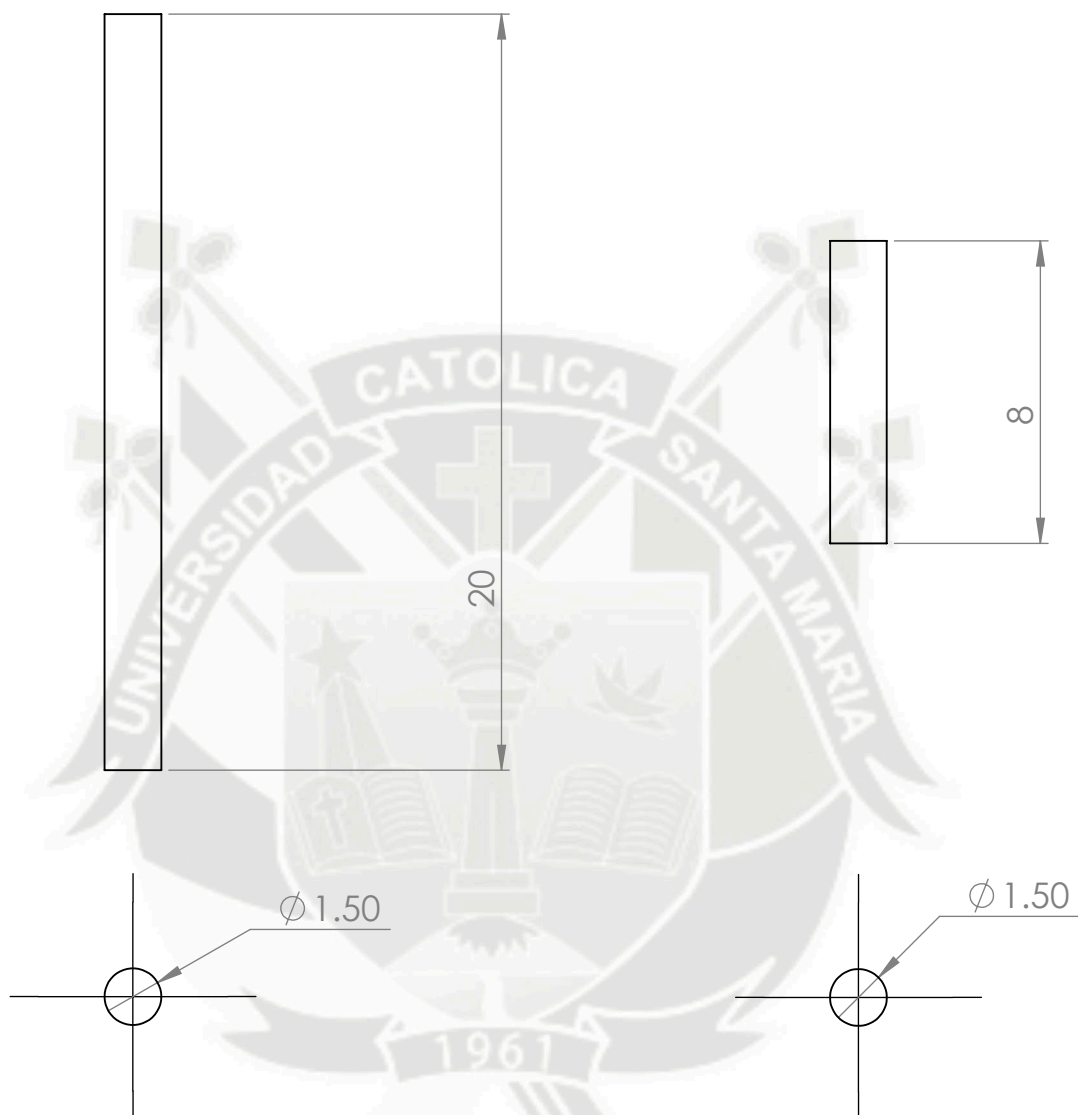
Título:
Tornillo infinito

Plano:
Vista y detalles

Revision:

Escala:2:1

Nro plano: 31



Pin largo

Pin corto



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

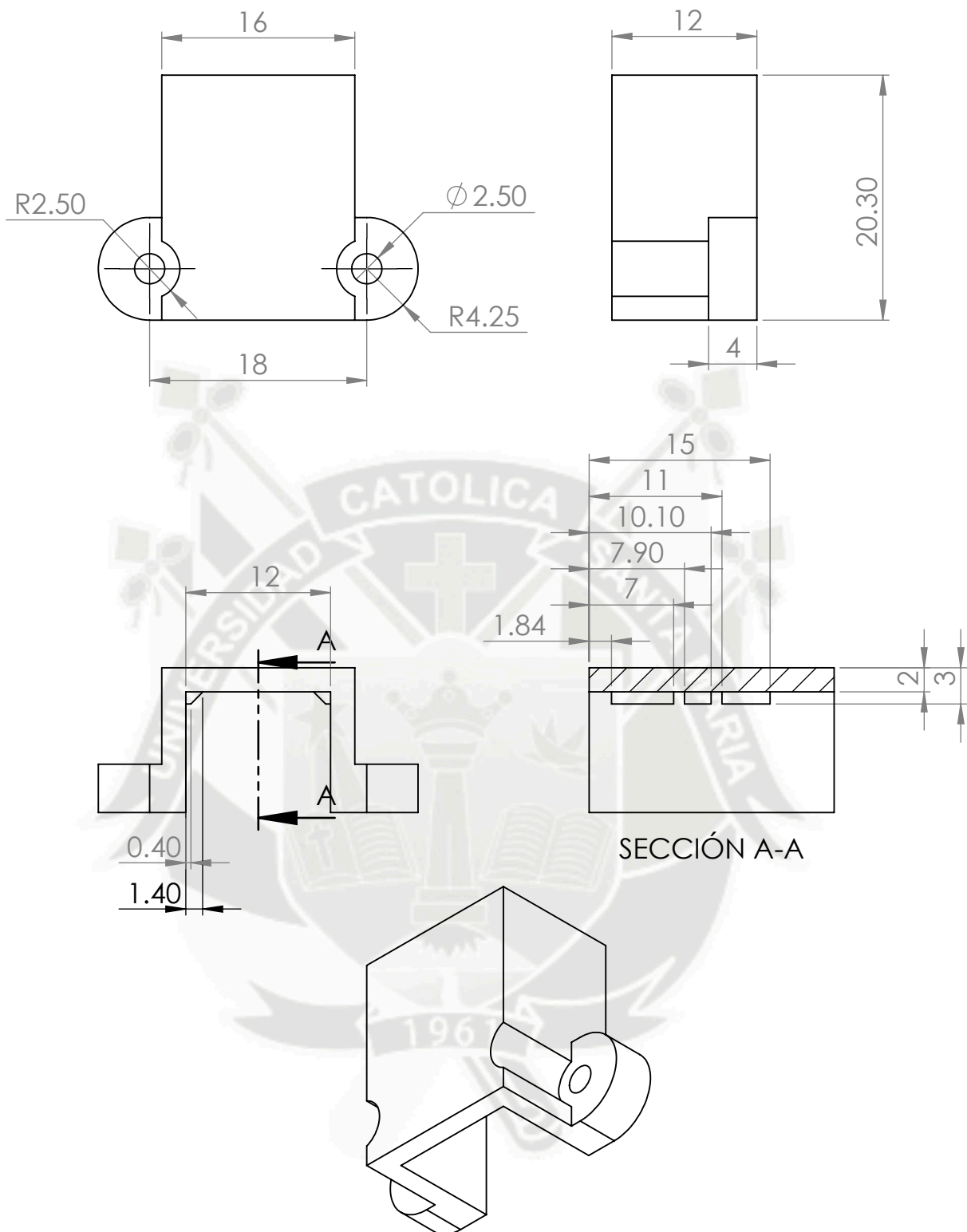
Título: Detalle general de pines
Pin largo y pin corto

Plano:
Vista y detalles

Revision:

Escala: 5:1

Nro plano: 32



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA,
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

Diseñado:
Jose Enrique Valdeiglesias Oliveira

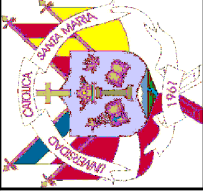
Titulo: Componente #7
 Bracket

Plano:
Vista y detalles

Revision:

Escala:2:1

Nro plano: 33



Diseñado:

Titulo:

Circuito de control

Escala:1:1

Nro plano: 34

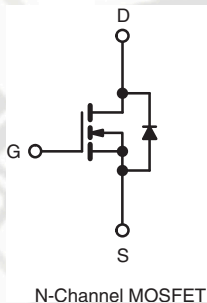
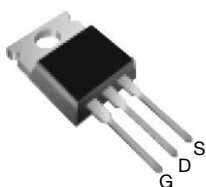
ANEXOS



Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY

V_{DS} (V)	100	
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 10\text{ V}$	0.077
Q_g (Max.) (nC)	72	
Q_{gs} (nC)	11	
Q_{gd} (nC)	32	
Configuration	Single	

TO-220AB


FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- 175 °C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



RoHS*
COMPLIANT

DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION

Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF540PbF
	SiHF540-E3
SnPb	IRF540
	SiHF540

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V_{DS}	100	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	
Continuous Drain Current	I_D	$T_C = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	A
		$T_C = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	
Pulsed Drain Current ^a	I_{DM}	110	
Linear Derating Factor		1.0	W/ $^{\circ}\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E_{AS}	230	mJ
Repetitive Avalanche Current ^a	I_{AR}	28	A
Repetitive Avalanche Energy ^a	E_{AR}	15	mJ
Maximum Power Dissipation	P_D	150	W
Peak Diode Recovery dV/dt ^c	dV/dt	5.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	- 55 to + 175	$^{\circ}\text{C}$
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300 ^d	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw	10	lbf · in
		1.1	N · m

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = 25\text{ V}$, starting $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L = 440\text{ }\mu\text{H}$, $R_g = 25\text{ }\Omega$, $I_{AS} = 28\text{ A}$ (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq 28\text{ A}$, $dI/dt \leq 170\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 175\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 1.6 mm from case.

* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

THERMAL RESISTANCE RATINGS

PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R_{thCS}	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	1.0	

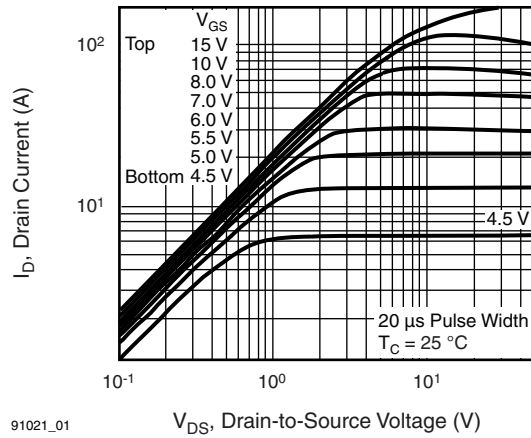
SPECIFICATIONS ($T_J = 25\text{ °C}$, unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT		
Static									
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$		100	-	-	V		
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_D = 1\text{ mA}$		-	0.13	-	V/ $^\circ\text{C}$		
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$		2.0	-	4.0	V		
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$		-	-	± 100	nA		
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 100\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$		-	-	25	μA		
		$V_{DS} = 80\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$, $T_J = 150\text{ }^\circ\text{C}$		-	-	250			
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}$	$I_D = 17\text{ A}^b$	-	-	0.077	Ω		
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = 50\text{ V}$, $I_D = 17\text{ A}^b$		8.7	-	-	S		
Dynamic									
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $V_{DS} = 25\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5		-	1700	-	pF		
Output Capacitance	C_{oss}			-	560	-			
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}			-	120	-			
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = 10\text{ V}$	$I_D = 17\text{ A}$, $V_{DS} = 80\text{ V}$, see fig. 6 and 13 ^b	-	-	72	nC		
Gate-Source Charge	Q_{gs}			-	-	11			
Gate-Drain Charge	Q_{gd}			-	-	32			
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 50\text{ V}$, $I_D = 17\text{ A}$ $R_g = 9.1\text{ }\Omega$, $R_D = 2.9\text{ }\Omega$, see fig. 10 ^b		-	11	-	ns		
Rise Time	t_r			-	44	-			
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$			-	53	-			
Fall Time	t_f			-	43	-			
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact				-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S					-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics									
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode				-	-	28	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}					-	-	110	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_S = 28\text{ A}$, $V_{GS} = 0\text{ V}^b$		-	-	2.5	V		
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 17\text{ A}$, $dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$		-	180	360	ns		
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}			-	1.3	2.8	μC		
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)							

Notes

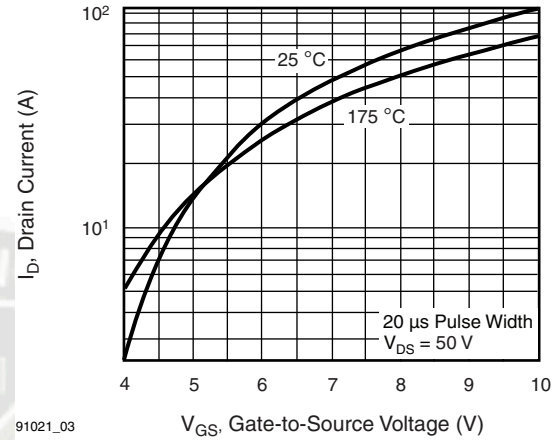
- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

TYPICAL CHARACTERISTICS (25 °C, unless otherwise noted)



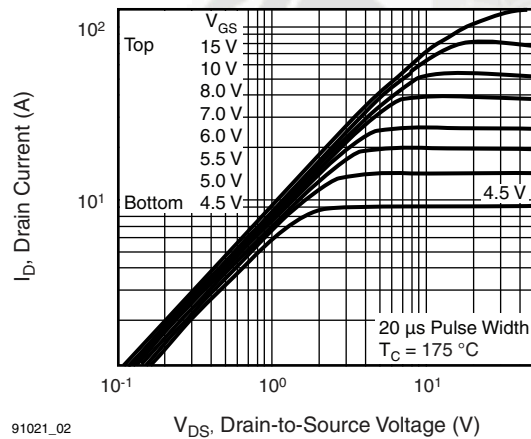
91021_01

Fig. 1 - Typical Output Characteristics, $T_C = 25^\circ\text{C}$



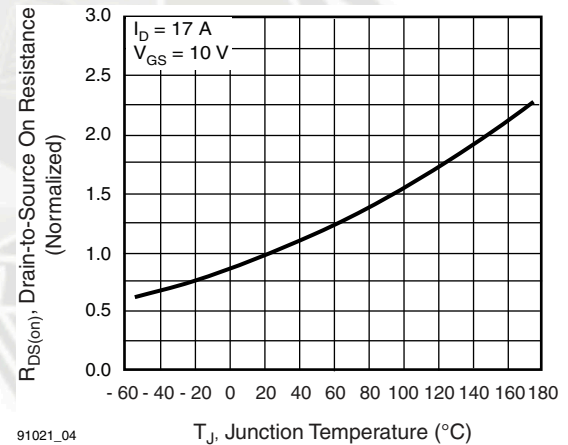
91021_03

Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics



91021_02

Fig. 2 - Typical Output Characteristics, $T_C = 175^\circ\text{C}$



91021_04

Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature

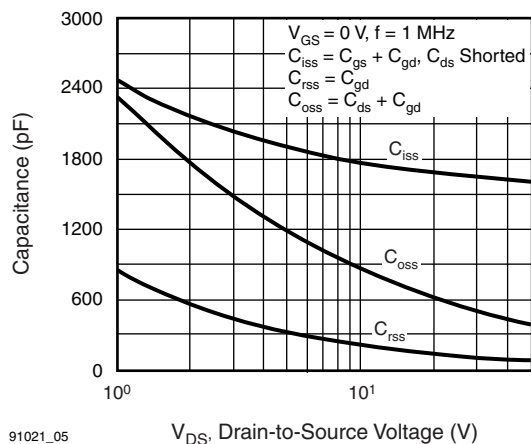


Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

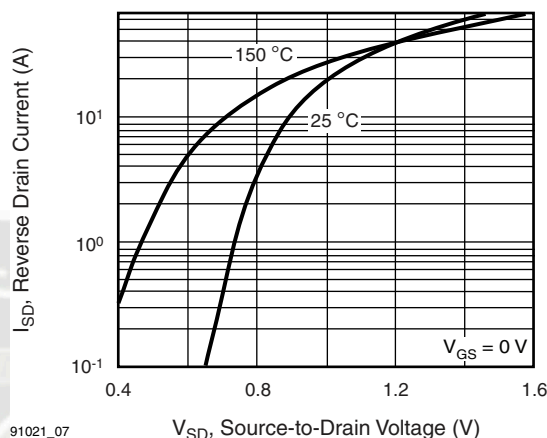


Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

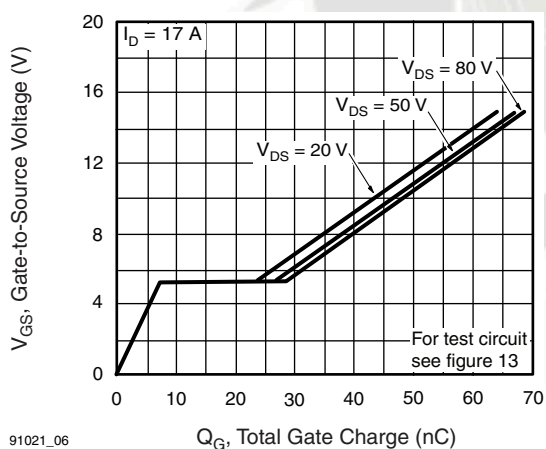


Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

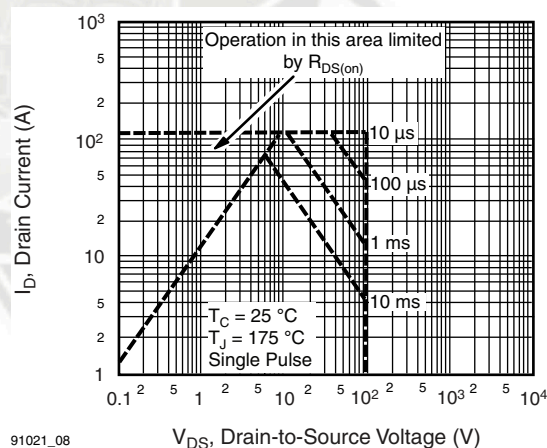


Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area

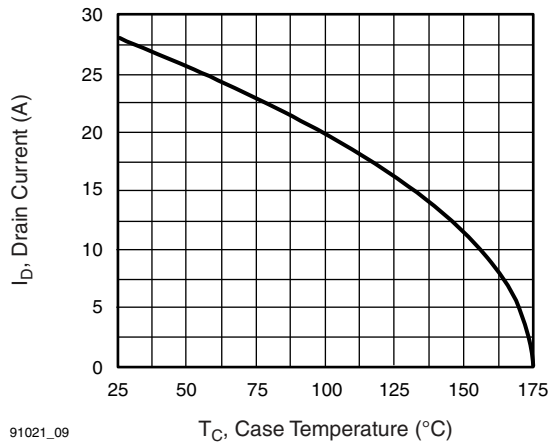


Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

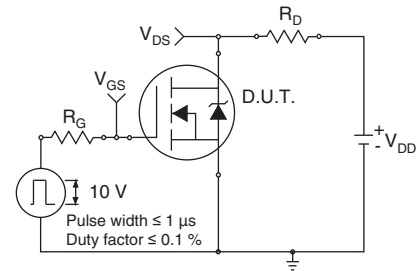


Fig. 10a - Switching Time Test Circuit

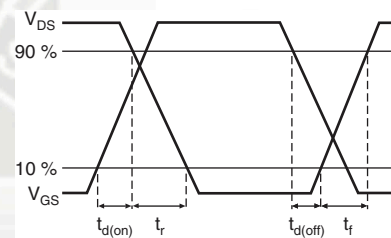


Fig. 10b - Switching Time Waveforms

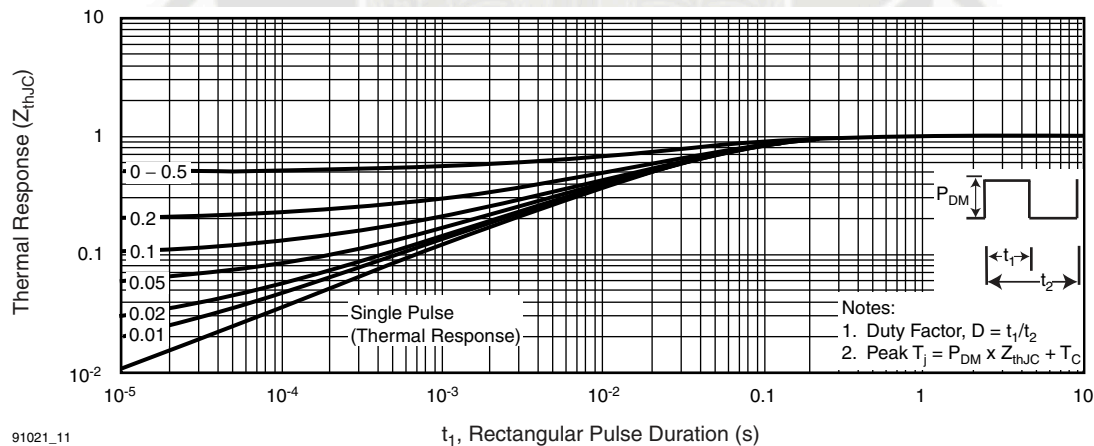


Fig. 11 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

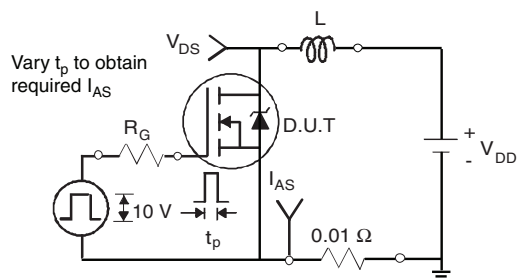


Fig. 12a - Unclamped Inductive Test Circuit

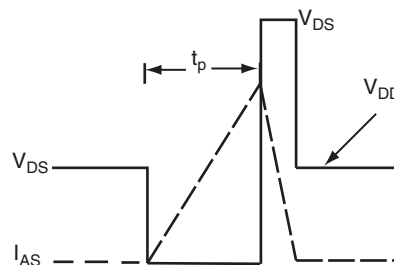


Fig. 12b - Unclamped Inductive Waveforms

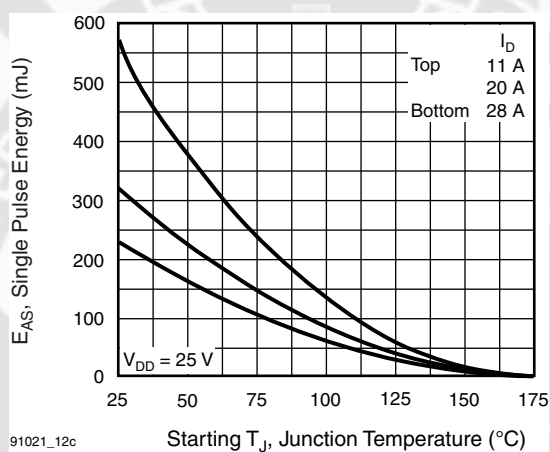


Fig. 12c - Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

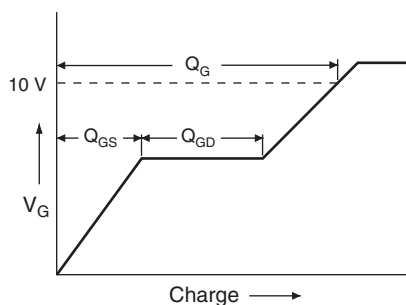


Fig. 13a - Basic Gate Charge Waveform

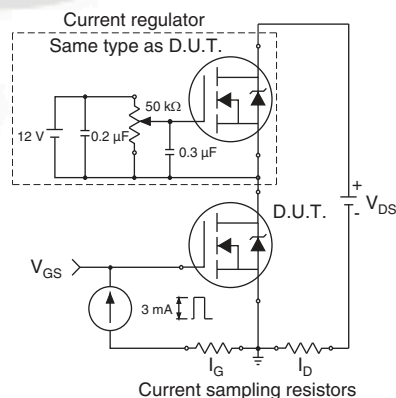
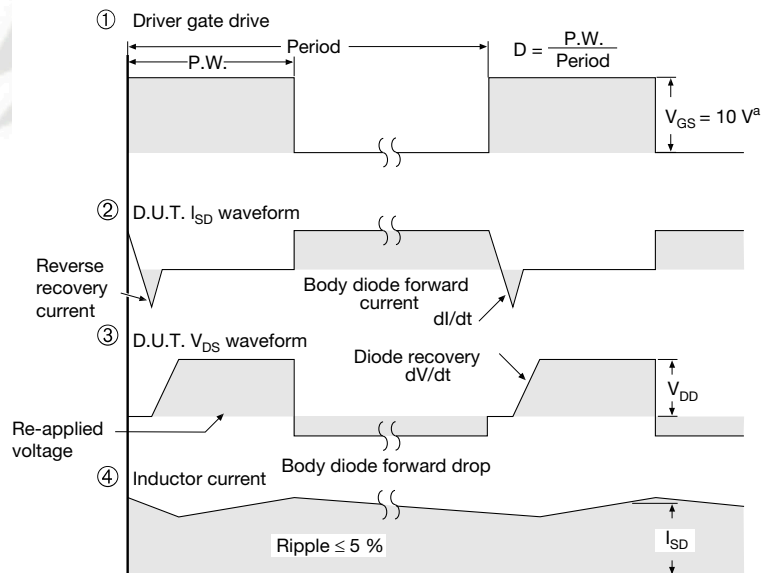
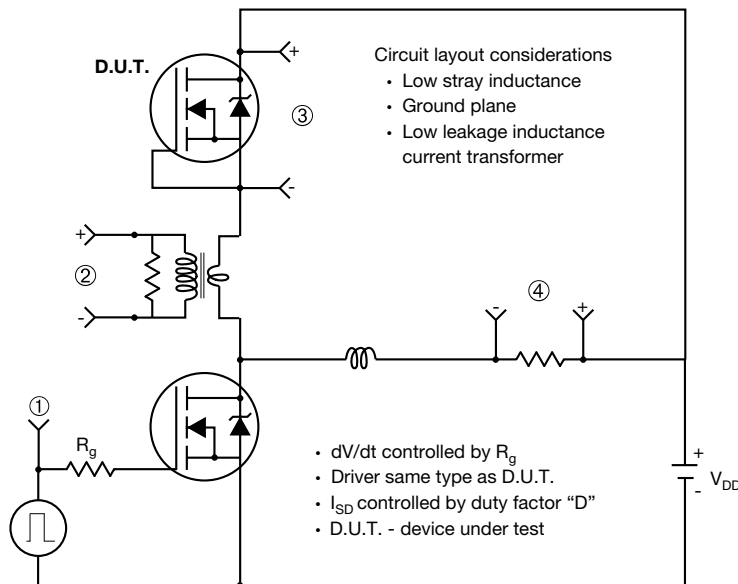


Fig. 13b - Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dV/dt Test Circuit

Note

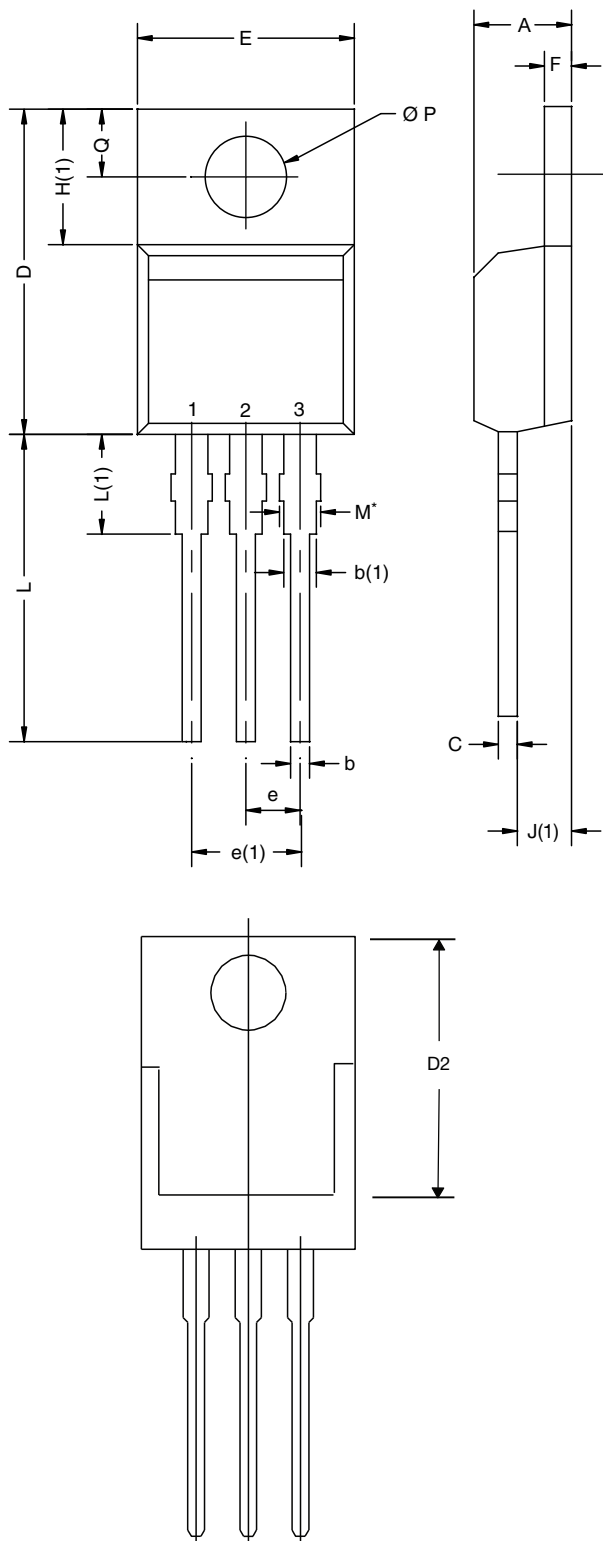
a. $V_{GS} = 5 V$ for logic level devices

Fig. 14 - For N-Channel

Vishay Siliconix maintains worldwide manufacturing capability. Products may be manufactured at one of several qualified locations. Reliability data for Silicon Technology and Package Reliability represent a composite of all qualified locations. For related documents such as package/tape drawings, part marking, and reliability data, see <http://www.vishay.com/ppg?91021>.



TO-220AB



DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	4.25	4.65	0.167	0.183
b	0.69	1.01	0.027	0.040
b(1)	1.20	1.73	0.047	0.068
c	0.36	0.61	0.014	0.024
D	14.85	15.49	0.585	0.610
D2	12.19	12.70	0.480	0.500
E	10.04	10.51	0.395	0.414
e	2.41	2.67	0.095	0.105
e(1)	4.88	5.28	0.192	0.208
F	1.14	1.40	0.045	0.055
H(1)	6.09	6.48	0.240	0.255
J(1)	2.41	2.92	0.095	0.115
L	13.35	14.02	0.526	0.552
L(1)	3.32	3.82	0.131	0.150
$\varnothing P$	3.54	3.94	0.139	0.155
Q	2.60	3.00	0.102	0.118

ECN: T14-0413-Rev. P, 16-Jun-14
DWG: 5471

Note

* M = 1.32 mm to 1.62 mm (dimension including protrusion)
Heatsink hole for HVM



Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and/or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

Material Category Policy

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.

Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as Halogen-Free follow Halogen-Free requirements as per JEDEC JS709A standards. Please note that some Vishay documentation may still make reference to the IEC 61249-2-21 definition. We confirm that all the products identified as being compliant to IEC 61249-2-21 conform to JEDEC JS709A standards.



IRF640 IRF640FP

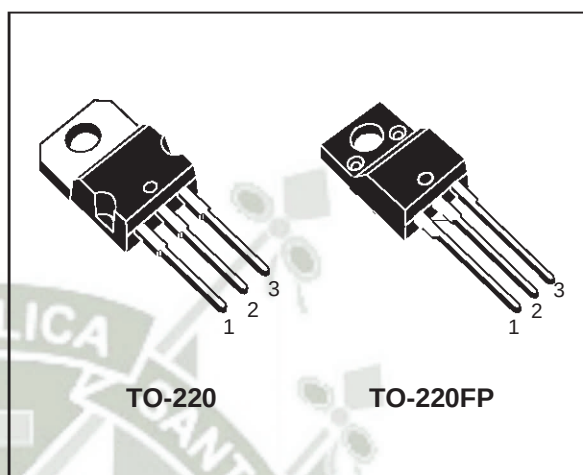
N - CHANNEL 200V - 0.150Ω - 18A TO-220/TO-220FP
MESH OVERLAY™ MOSFET

TYPE	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
IRF640	200 V	< 0.18 Ω	18 A
IRF640FP	200 V	< 0.18 Ω	18 A

- TYPICAL R_{DS(on)} = 0.150 Ω
- EXTREMELY HIGH dV/dt CAPABILITY
- VERY LOW INTRINSIC CAPACITANCES
- GATE CHARGE MINIMIZED

DESCRIPTION

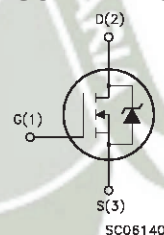
This power MOSFET is designed using the company's consolidated strip layout-based MESH OVERLAY™ process. This technology matches and improves the performances compared with standard parts from various sources.



APPLICATIONS

- HIGH CURRENT SWITCHING
- UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS)
- DC/DC CONVERTERS FOR TELECOM, INDUSTRIAL, AND LIGHTING EQUIPMENT.

INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		IRF640	IRF640FP	
V _{DS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	200		V
V _{DGR}	Drain- gate Voltage (R _{GS} = 20 kΩ)	200		V
V _{GS}	Gate-source Voltage	± 20		V
I _D	Drain Current (continuous) at T _c = 25 °C	18	18(**)	A
I _D	Drain Current (continuous) at T _c = 100 °C	11	11(**)	A
I _{DM} (●)	Drain Current (pulsed)	72	72	A
P _{tot}	Total Dissipation at T _c = 25 °C	125	40	W
	Derating Factor	1.0	0.32	W/°C
dv/dt(1)	Peak Diode Recovery voltage slope	5	5	V/ns
V _{ISO}	Insulation Withstand Voltage (DC)	—	2000	V
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to 150		°C
T _j	Max. Operating Junction Temperature	150		°C

(●) Pulse width limited by safe operating area

(1) I_{SD} ≤ 18A, di/dt ≤ 300 A/μs, V_{DD} ≤ V_{(BR)DSS}, T_j ≤ T_{JMAX}

First Digit of the Datecode Being Z or K Identifies Silicon Characterized in this Datasheet

(**) Limited only by Maximum Temperature Allowed

October 1999

1/9

IRF640/FP

THERMAL DATA

		TO-220	TO-220FP	
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case Max	1.0	3.12	$^{\circ}C/W$
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient Max		62.5	$^{\circ}C/W$
$R_{thc-sink}$	Thermal Resistance Case-sink Typ		0.5	$^{\circ}C/W$
T_l	Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose		300	$^{\circ}C$

AVALANCHE CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Max Value	Unit
I_{AR}	Avalanche Current, Repetitive or Not-Repetitive (pulse width limited by T_j max)	18	A
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy (starting $T_j = 25^{\circ}C$, $I_D = I_{AR}$, $V_{DD} = 50 V$)	280	mJ

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}C$ unless otherwise specified)

OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source Breakdown Voltage	$I_D = 250 \mu A$ $V_{GS} = 0$	200			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current ($V_{GS} = 0$)	$V_{DS} = \text{Max Rating}$ $V_{DS} = \text{Max Rating}$ $T_c = 125^{\circ}C$			1 10	μA μA
I_{GSS}	Gate-body Leakage Current ($V_{DS} = 0$)	$V_{GS} = \pm 20 V$			± 100	nA

ON (*)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}$ $I_D = 250 \mu A$	2	3	4	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-source On Resistance	$V_{GS} = 10V$ $I_D = 9 A$		0.15	0.18	Ω
$I_{D(on)}$	On State Drain Current	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $V_{GS} = 10 V$	18			A

DYNAMIC

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$g_{fs} (*)$	Forward Transconductance	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $I_D = 9 A$	7	11		S
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{DS} = 25 V$ $f = 1 MHz$ $V_{GS} = 0$		1200	1560	pF
C_{oss}	Output Capacitance			200	260	pF
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance			60	80	pF

IRF640/FP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

SWITCHING ON

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Turn-on Time	$V_{DD} = 100\text{ V}$ $I_D = 9\text{ A}$		13	17	ns
t_r	Rise Time	$R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (see test circuit, figure 3)		27	35	ns
Q_g	Total Gate Charge	$V_{DD} = 160\text{ V}$ $I_D = 18\text{ A}$ $V_{GS} = 10\text{ V}$		55	72	nC
Q_{gs}	Gate-Source Charge			10		nC
Q_{gd}	Gate-Drain Charge			21		nC

SWITCHING OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_r(V_{off})$	Off-voltage Rise Time	$V_{DD} = 160\text{ V}$ $I_D = 18\text{ A}$		21	27	ns
t_f	Fall Time	$R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (see test circuit, figure 5)		25	32	ns
t_c	Cross-over Time			50	65	ns

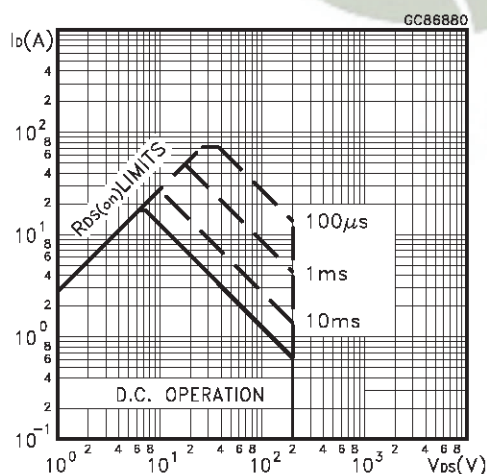
SOURCE DRAIN DIODE

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{SD}	Source-drain Current				18	A
$I_{SDM}(\bullet)$	Source-drain Current (pulsed)				72	A
$V_{SD} (*)$	Forward On Voltage	$I_{SD} = 18\text{ A}$ $V_{GS} = 0$			1.5	V
t_{rr}	Reverse Recovery Time	$I_{SD} = 18\text{ A}$ $di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ $V_{DD} = 50\text{ V}$ $T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$ (see test circuit, figure 5)		240		ns
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge			1.8		μC
I_{RRM}	Reverse Recovery Current			15		A

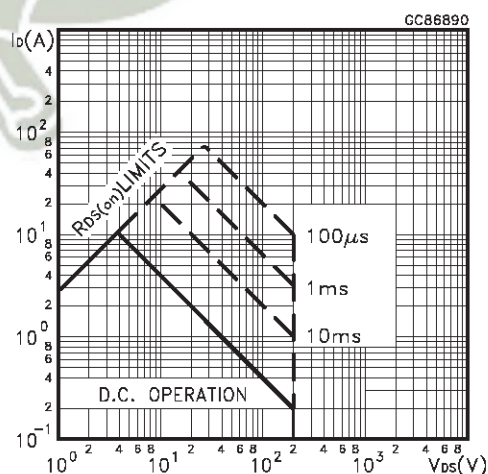
(*) Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %

(•) Pulse width limited by safe operating area

Safe Operating Area for TO-220

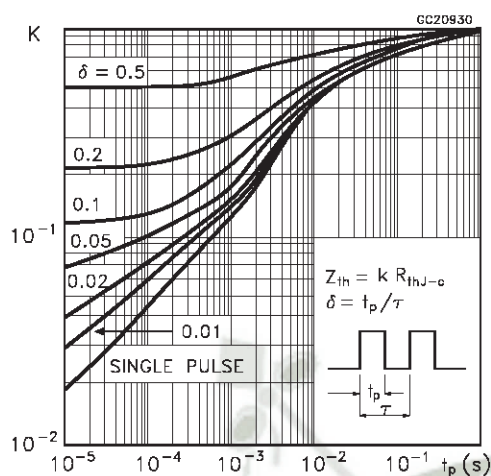


Safe Operating Area for TO-220FP

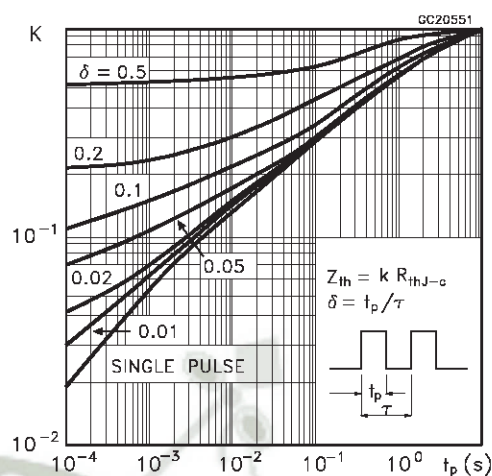


IRF640/FP

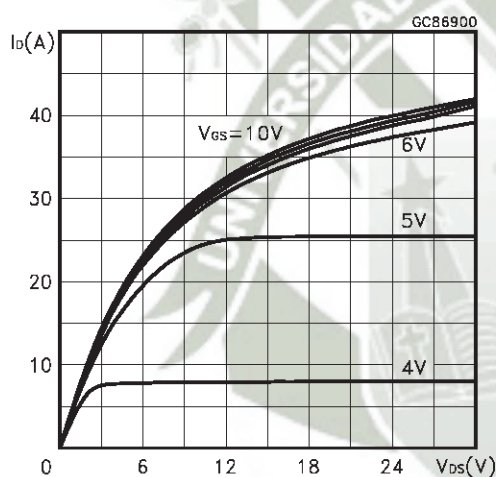
Thermal Impedance for TO-220



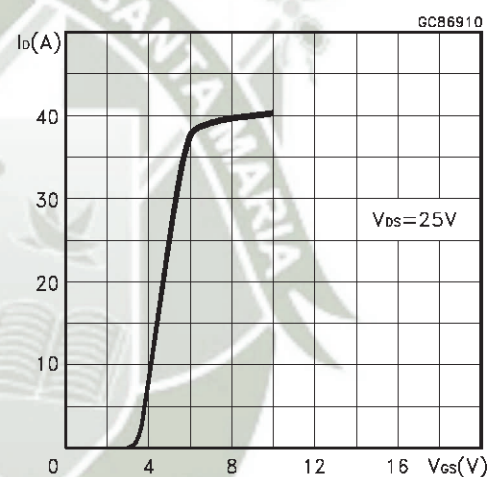
Thermal Impedance for TO-220FP



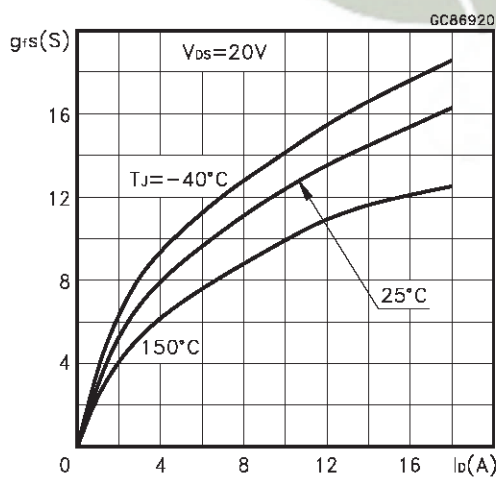
Output Characteristics



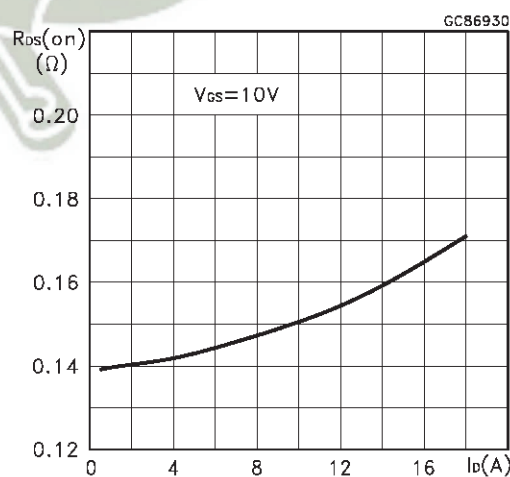
Transfer Characteristics



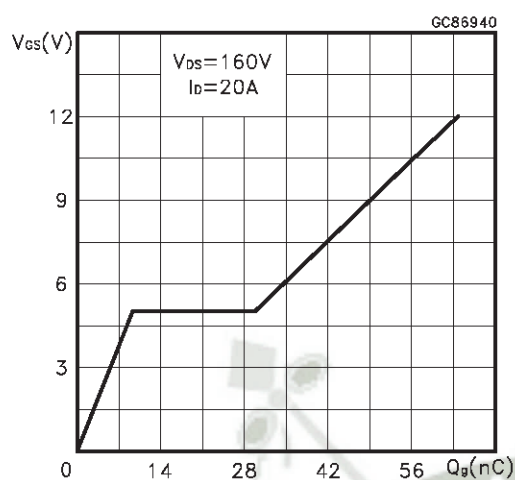
Transconductance



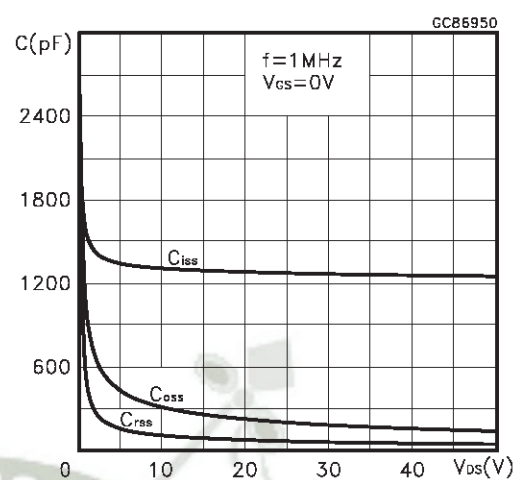
Static Drain-source On Resistance



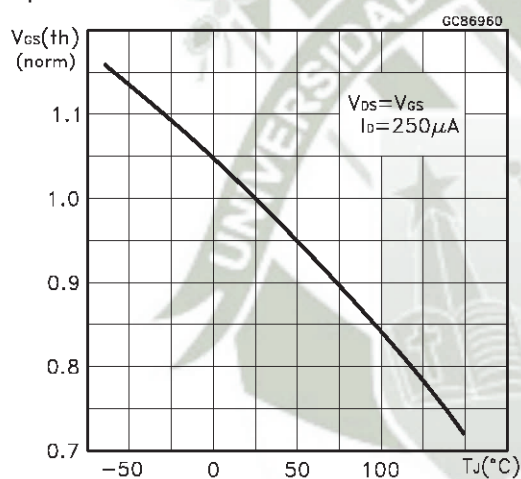
Gate Charge vs Gate-source Voltage



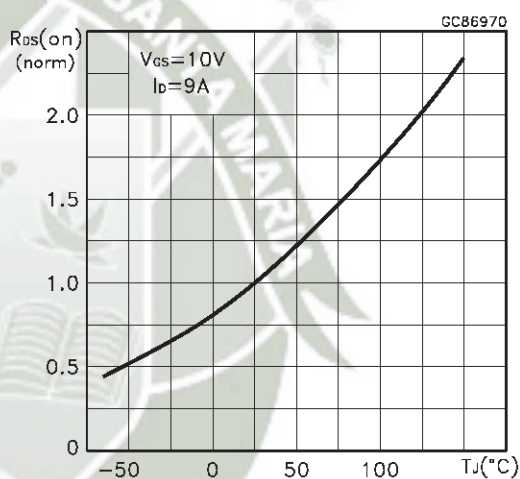
Capacitance Variations



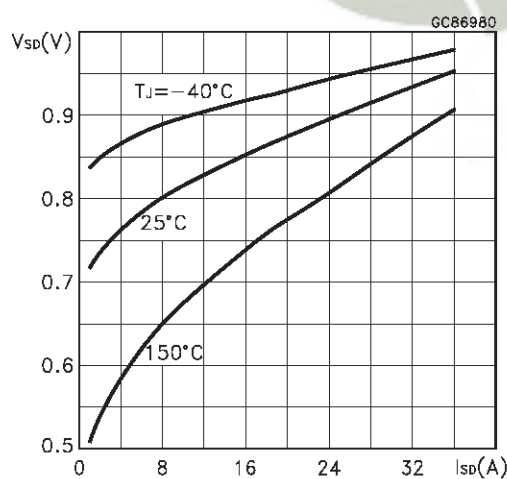
Normalized Gate Threshold Voltage vs
Temperature



Normalized On Resistance vs Temperature



Source-drain Diode Forward Characteristics



IRF640/FP

Fig. 1: Unclamped Inductive Load Test Circuit

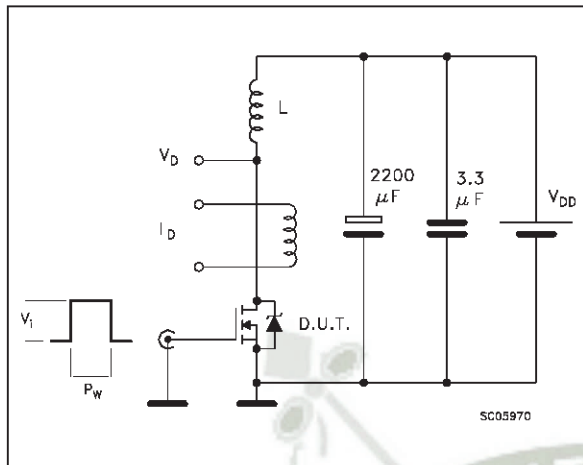


Fig. 2: Unclamped Inductive Waveform

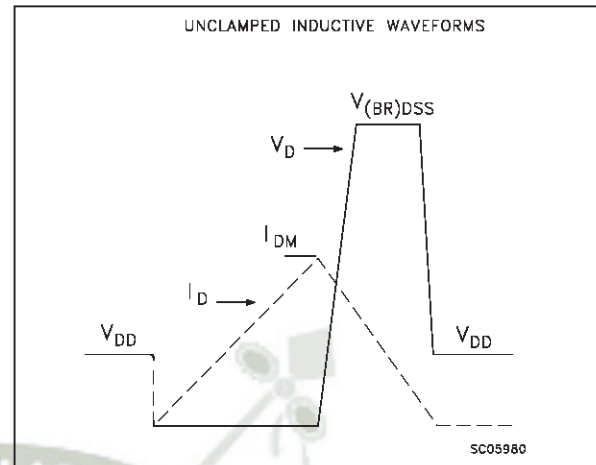


Fig. 3: Switching Times Test Circuits For Resistive Load

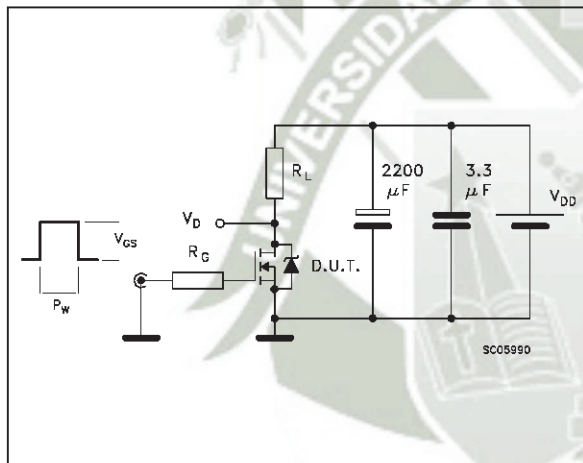


Fig. 4: Gate Charge test Circuit

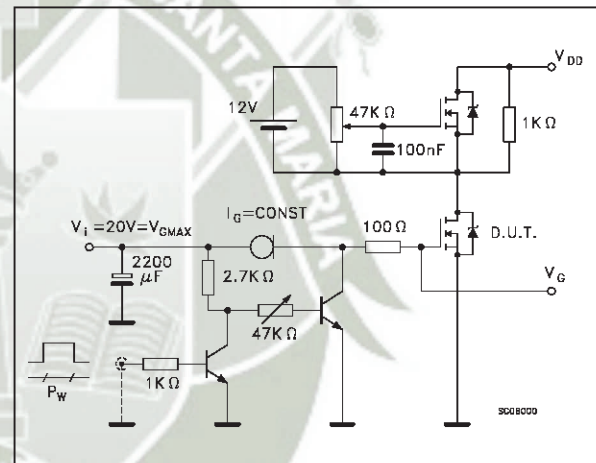
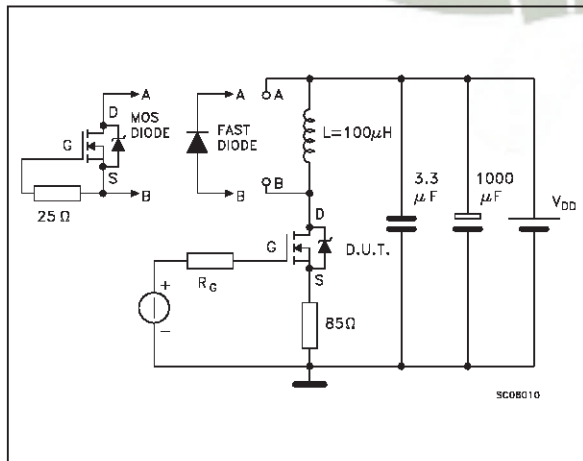
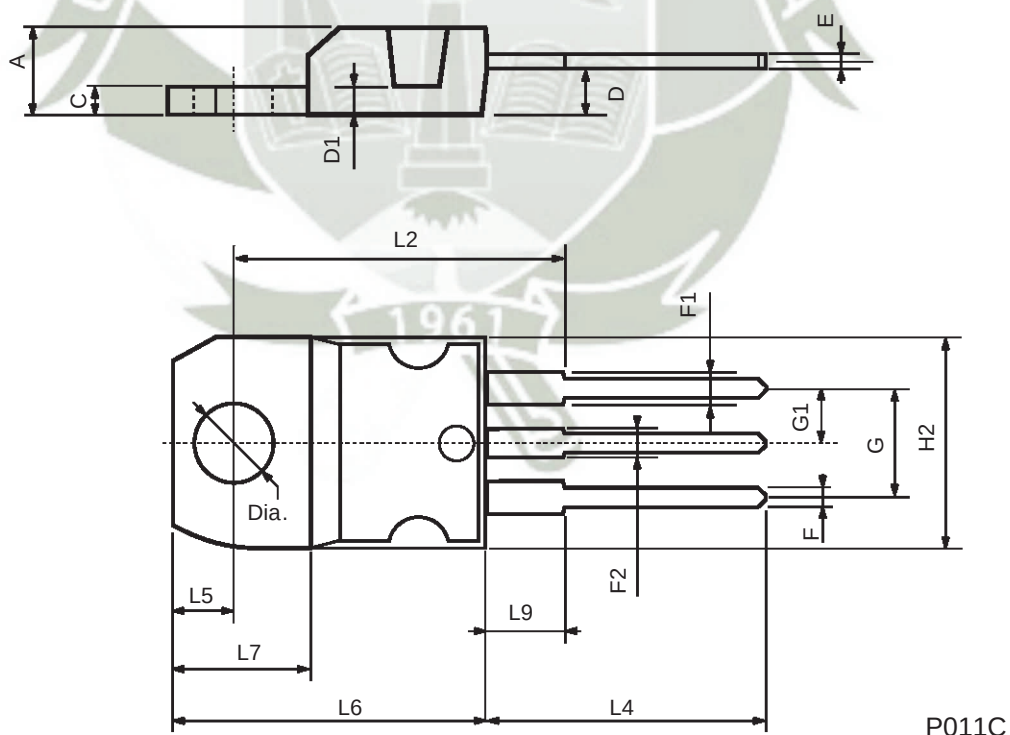


Fig. 5: Test Circuit For Inductive Load Switching And Diode Recovery Times



TO-220 MECHANICAL DATA

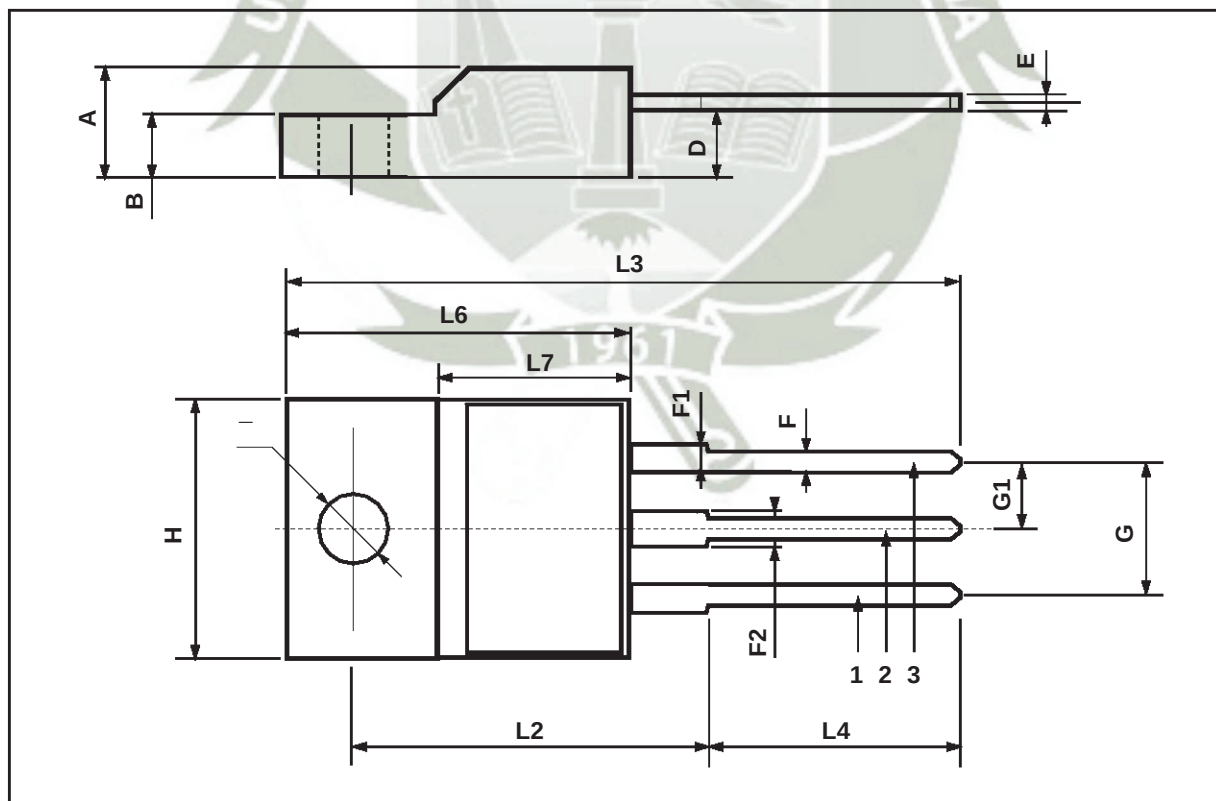
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
C	1.23		1.32	0.048		0.051
D	2.40		2.72	0.094		0.107
D1		1.27			0.050	
E	0.49		0.70	0.019		0.027
F	0.61		0.88	0.024		0.034
F1	1.14		1.70	0.044		0.067
F2	1.14		1.70	0.044		0.067
G	4.95		5.15	0.194		0.203
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H2	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16.4			0.645	
L4	13.0		14.0	0.511		0.551
L5	2.65		2.95	0.104		0.116
L6	15.25		15.75	0.600		0.620
L7	6.2		6.6	0.244		0.260
L9	3.5		3.93	0.137		0.154
DIA.	3.75		3.85	0.147		0.151



IRF640/FP

TO-220FP MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.4		4.6	0.173		0.181
B	2.5		2.7	0.098		0.106
D	2.5		2.75	0.098		0.108
E	0.45		0.7	0.017		0.027
F	0.75		1	0.030		0.039
F1	1.15		1.7	0.045		0.067
F2	1.15		1.7	0.045		0.067
G	4.95		5.2	0.195		0.204
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H	10		10.4	0.393		0.409
L2		16			0.630	
L3	28.6		30.6	1.126		1.204
L4	9.8		10.6	0.385		0.417
L6	15.9		16.4	0.626		0.645
L7	9		9.3	0.354		0.366
Ø	3		3.2	0.118		0.126





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a trademark of STMicroelectronics

© 1999 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

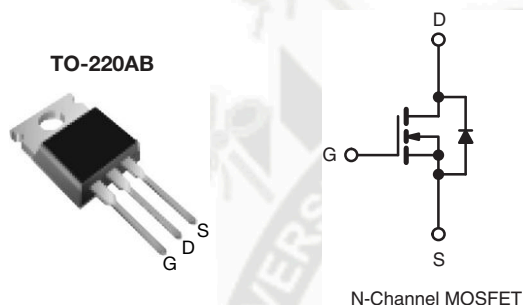
<http://www.st.com>



Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY

V_{DS} (V)	400	
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 10\text{ V}$	1.0
Q_g (Max.) (nC)	38	
Q_{gs} (nC)	5.7	
Q_{gd} (nC)	22	
Configuration	Single	



FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



RoHS*
COMPLIANT

DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION

Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF730PbF SiHF730-E3
SnPb	IRF730 SiHF730

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V_{DS}	400	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	
Continuous Drain Current	$V_{GS} \text{ at } 10\text{ V}$	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	A
		$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$	
Pulsed Drain Current ^a	I_{DM}	22	
Linear Derating Factor		0.59	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E_{AS}	290	mJ
Repetitive Avalanche Current ^a	I_{AR}	5.5	A
Repetitive Avalanche Energy ^a	E_{AR}	7.4	mJ
Maximum Power Dissipation	P_D	74	W
Peak Diode Recovery dV/dt ^c	dV/dt	4.0	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	- 55 to + 150	$^\circ\text{C}$
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300 ^d	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw	10	lbf · in
		1.1	N · m

Notes

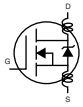
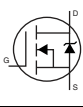
- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = 50\text{ V}$, starting $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $L = 16\text{ mH}$, $R_g = 25\text{ }\Omega$, $I_{AS} = 5.5\text{ A}$ (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq 5.5\text{ A}$, $dI/dt \leq 90\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 150\text{ }^\circ\text{C}$.
- 1.6 mm from case.

* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

THERMAL RESISTANCE RATINGS

PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R_{thCS}	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	1.7	

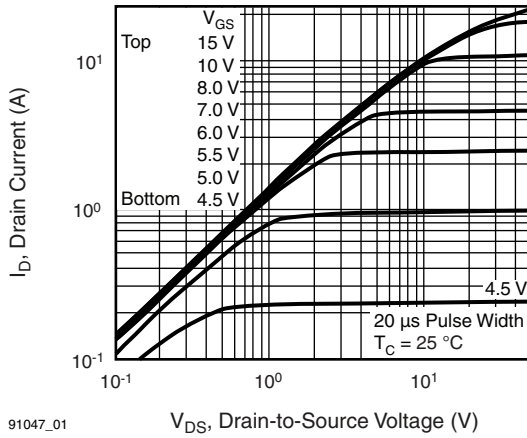
SPECIFICATIONS ($T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static							
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$		400	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_D = 1\text{ mA}$		-	0.54	-	V/ $^\circ\text{C}$
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$		2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$		-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 400\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$		-	-	25	μA
		$V_{DS} = 320\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$, $T_J = 125\text{ }^\circ\text{C}$		-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}$	$I_D = 3.3\text{ A}^b$	-	-	1.0	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = 50\text{ V}$, $I_D = 3.3\text{ A}^b$		2.9	-	-	S
Dynamic							
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $V_{DS} = 25\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5		-	700	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}			-	170	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}			-	64	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = 10\text{ V}$	$I_D = 3.5\text{ A}$, $V_{DS} = 320\text{ V}$, see fig. 6 and 13 ^b	-	-	38	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}			-	-	5.7	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}			-	-	22	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 200\text{ V}$, $I_D = 3.5\text{ A}$ $R_g = 12\text{ }\Omega$, $R_D = 57\text{ }\Omega$, see fig. 10 ^b		-	10	-	ns
Rise Time	t_r			-	15	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$			-	38	-	
Fall Time	t_f			-	14	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 		-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S			-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics							
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode 		-	-	5.5	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}			-	-	22	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_S = 5.5\text{ A}$, $V_{GS} = 0\text{ V}^b$		-	-	1.6	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = 3.5\text{ A}$, $dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$		-	270	530	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}			-	1.8	2.2	μC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)					

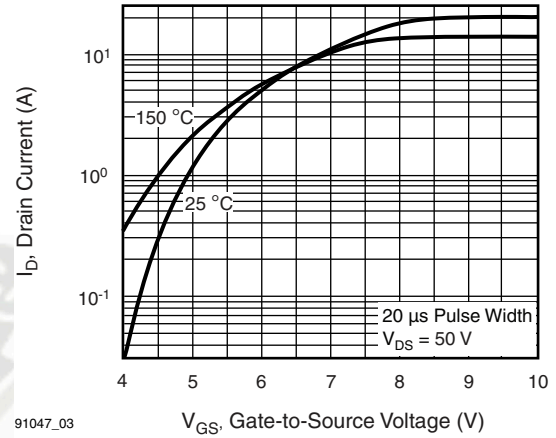
Notes

a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).

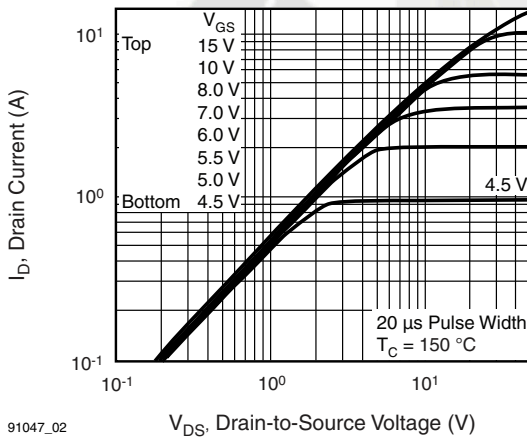
b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\text{ }\%$.

TYPICAL CHARACTERISTICS (25 °C, unless otherwise noted)


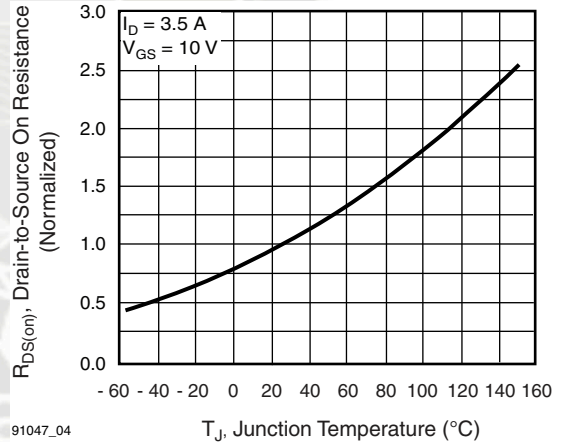
91047_01

Fig. 1 - Typical Output Characteristics, $T_C = 25^\circ\text{C}$


91047_03

Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics


91047_02

Fig. 2 - Typical Output Characteristics, $T_C = 150^\circ\text{C}$


91047_04

Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature

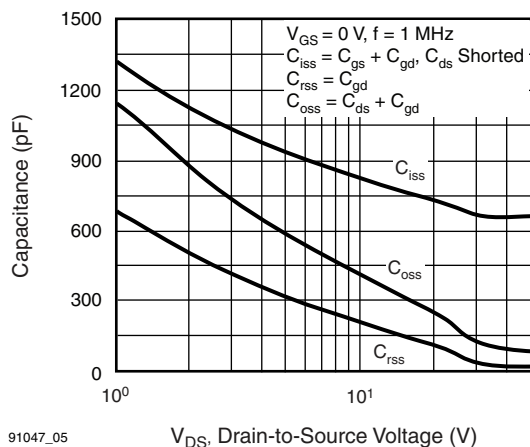


Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

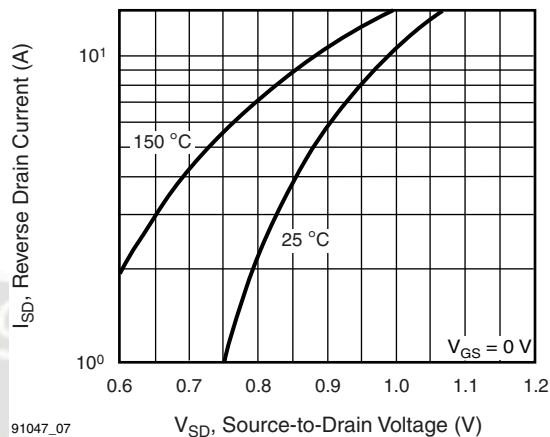


Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

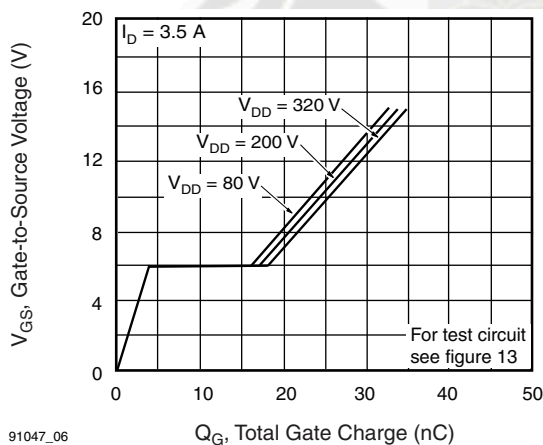


Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

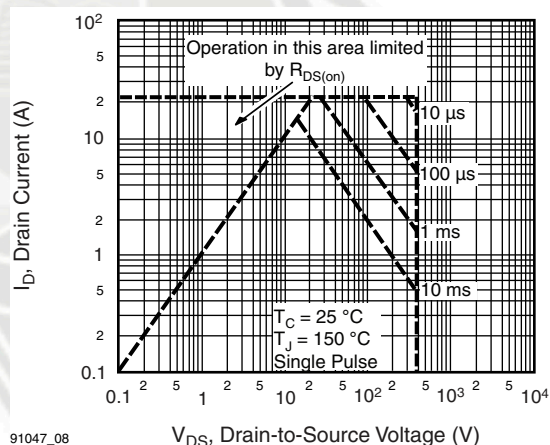


Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area

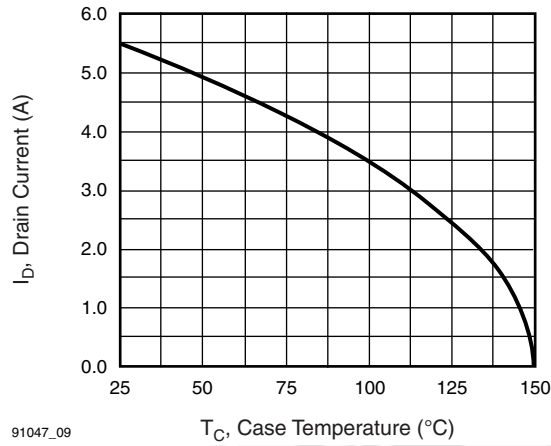


Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

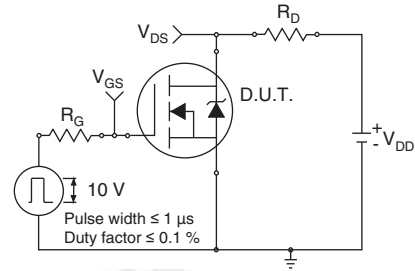


Fig. 10a - Switching Time Test Circuit

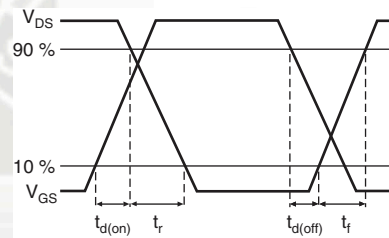


Fig. 10b - Switching Time Waveforms

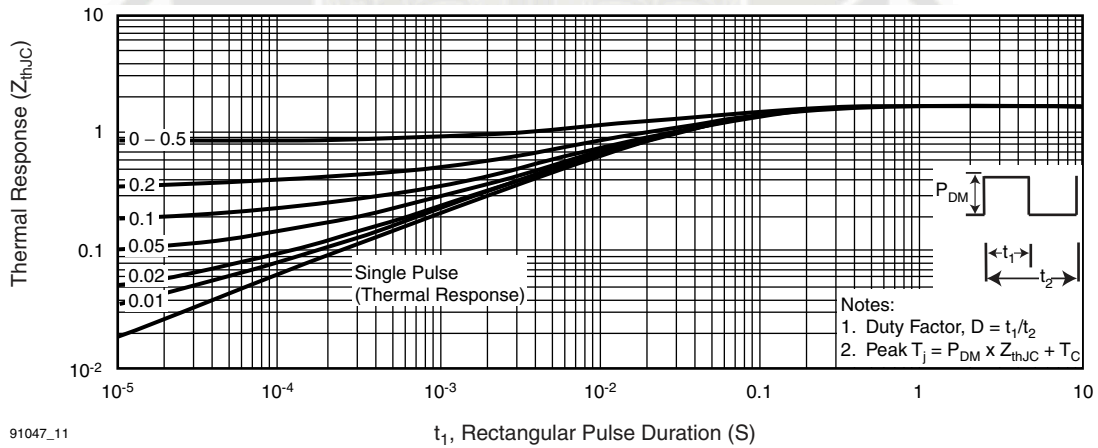


Fig. 11 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

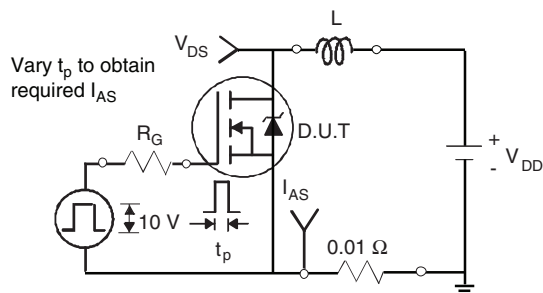


Fig. 12a - Unclamped Inductive Test Circuit

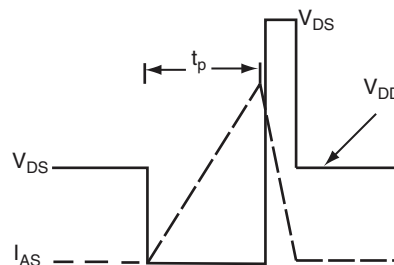


Fig. 12b - Unclamped Inductive Waveforms

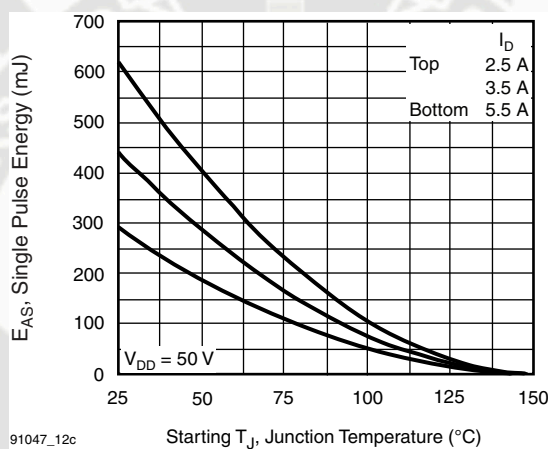


Fig. 12c - Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

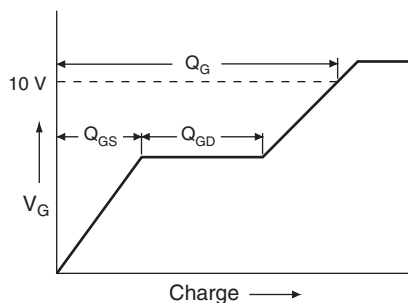


Fig. 13a - Basic Gate Charge Waveform

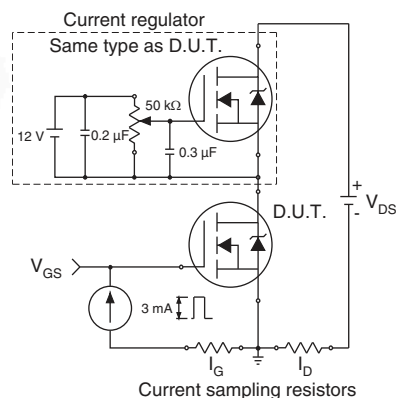
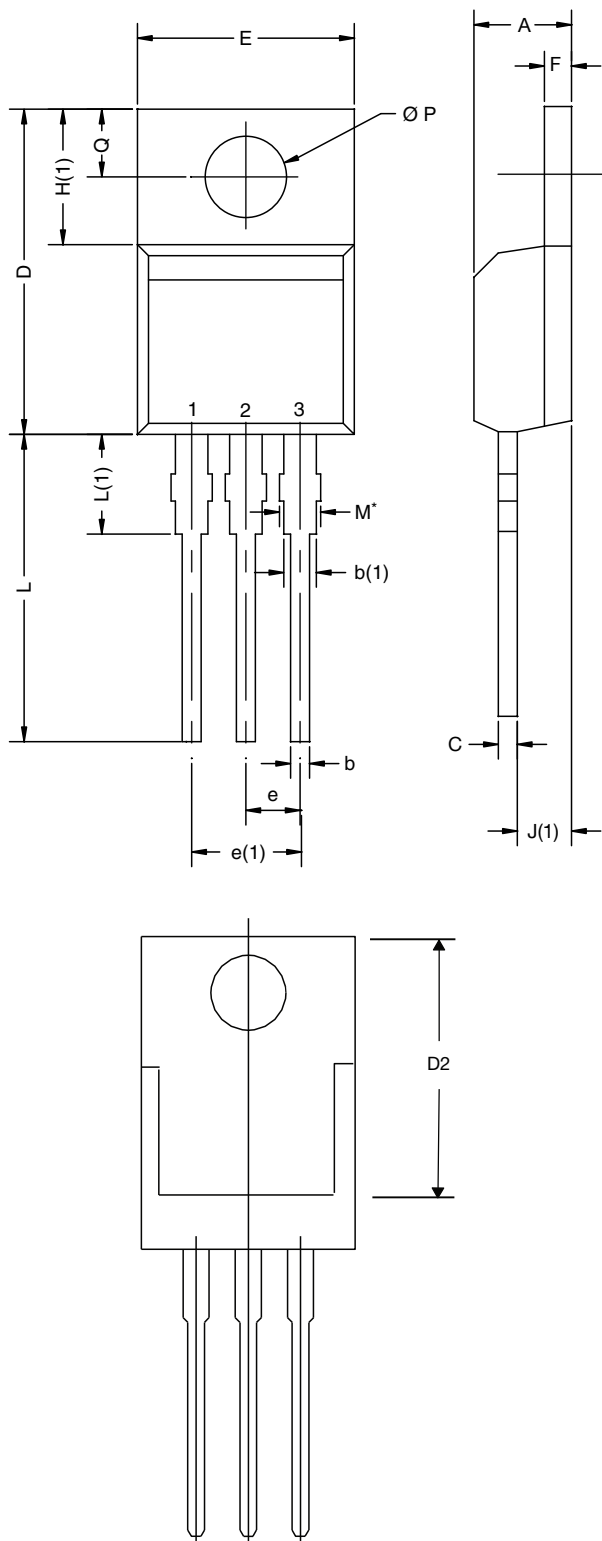


Fig. 13b - Gate Charge Test Circuit



TO-220AB



DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	4.25	4.65	0.167	0.183
b	0.69	1.01	0.027	0.040
b(1)	1.20	1.73	0.047	0.068
c	0.36	0.61	0.014	0.024
D	14.85	15.49	0.585	0.610
D2	12.19	12.70	0.480	0.500
E	10.04	10.51	0.395	0.414
e	2.41	2.67	0.095	0.105
e(1)	4.88	5.28	0.192	0.208
F	1.14	1.40	0.045	0.055
H(1)	6.09	6.48	0.240	0.255
J(1)	2.41	2.92	0.095	0.115
L	13.35	14.02	0.526	0.552
L(1)	3.32	3.82	0.131	0.150
$\varnothing P$	3.54	3.94	0.139	0.155
Q	2.60	3.00	0.102	0.118

ECN: T14-0413-Rev. P, 16-Jun-14
DWG: 5471

Note

* M = 1.32 mm to 1.62 mm (dimension including protrusion)
Heatsink hole for HVM



Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and/or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

Material Category Policy

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.

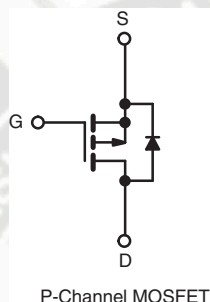
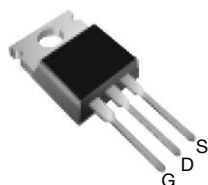
Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as Halogen-Free follow Halogen-Free requirements as per JEDEC JS709A standards. Please note that some Vishay documentation may still make reference to the IEC 61249-2-21 definition. We confirm that all the products identified as being compliant to IEC 61249-2-21 conform to JEDEC JS709A standards.

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY

V_{DS} (V)	- 100	
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = -10\text{ V}$	0.20
Q_g (Max.) (nC)	61	
Q_{gs} (nC)	14	
Q_{gd} (nC)	29	
Configuration	Single	

TO-220AB


FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- P-Channel
- 175 °C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



Available
RoHS*
COMPLIANT

DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION

Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF9540PbF SiHF9540-E3
SnPb	IRF9540 SiHF9540

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V_{DS}	- 100	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	
Continuous Drain Current	$V_{GS} \text{ at } -10\text{ V}$	$T_C = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	A
		$T_C = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	
Pulsed Drain Current ^a	I_{DM}	- 72	
Linear Derating Factor		1.0	W/ $^{\circ}\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E_{AS}	640	mJ
Repetitive Avalanche Current ^a	I_{AR}	- 19	A
Repetitive Avalanche Energy ^a	E_{AR}	15	mJ
Maximum Power Dissipation	P_D	150	W
Peak Diode Recovery dV/dt ^c	dV/dt	- 5.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	- 55 to + 175	$^{\circ}\text{C}$
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300 ^d	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw	10	lbf · in
		1.1	N · m

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = -25\text{ V}$, starting $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L = 2.7\text{ mH}$, $R_g = 25\text{ }\Omega$, $I_{AS} = -19\text{ A}$ (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq -19\text{ A}$, $dI/dt \leq 200\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 175\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 1.6 mm from case.

* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

THERMAL RESISTANCE RATINGS

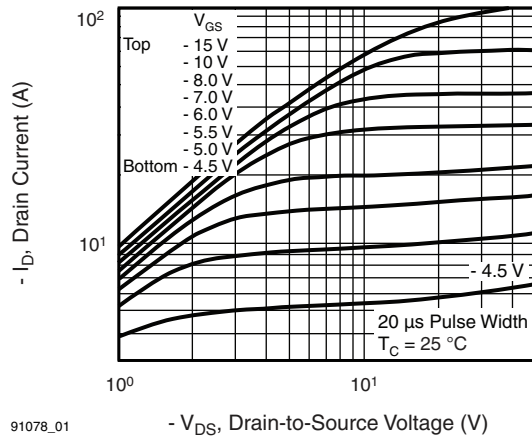
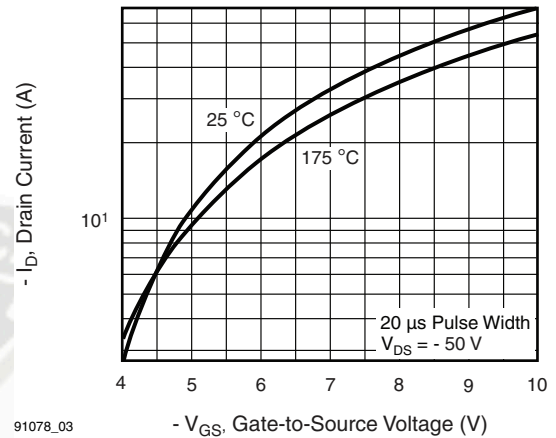
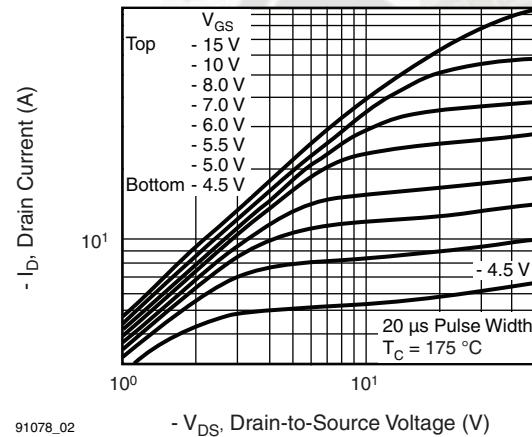
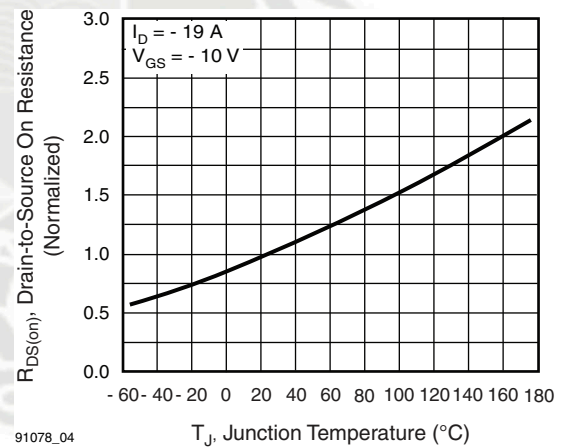
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R_{thCS}	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	1.0	

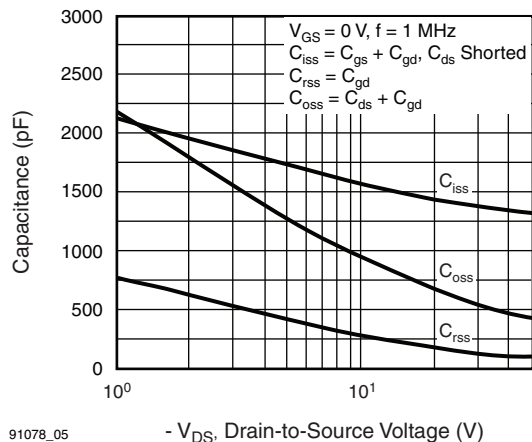
SPECIFICATIONS ($T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static							
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $I_D = -250\text{ }\mu\text{A}$		- 100	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_D = -1\text{ mA}$		-	- 0.087	-	V/ $^\circ\text{C}$
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = -250\text{ }\mu\text{A}$		- 2.0	-	- 4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$		-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = -100\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$		-	-	- 100	μA
		$V_{DS} = -80\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$, $T_J = 150\text{ }^\circ\text{C}$		-	-	- 500	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = -10\text{ V}$	$I_D = -11\text{ A}^b$	-	-	0.20	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = -50\text{ V}$, $I_D = -11\text{ A}^b$		6.2	-	-	S
Dynamic							
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $V_{DS} = -25\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5		-	1400	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}			-	590	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}			-	140	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = -10\text{ V}$	$I_D = -19\text{ A}$, $V_{DS} = -80\text{ V}$, see fig. 6 and 13 ^b	-	-	61	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}			-	-	14	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}			-	-	29	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = -50\text{ V}$, $I_D = -19\text{ A}$, $R_g = 9.1\text{ }\Omega$, $R_D = 2.4\text{ }\Omega$, see fig. 10 ^b		-	16	-	ns
Rise Time	t_r			-	73	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$			-	34	-	
Fall Time	t_f			-	57	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact		-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S			-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics							
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode		-	-	- 19	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}			-	-	- 72	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_S = -19\text{ A}$, $V_{GS} = 0\text{ V}^b$		-	-	- 5.0	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_F = -19\text{ A}$, $dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$		-	130	260	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}			-	0.35	0.70	μC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)					

Notes

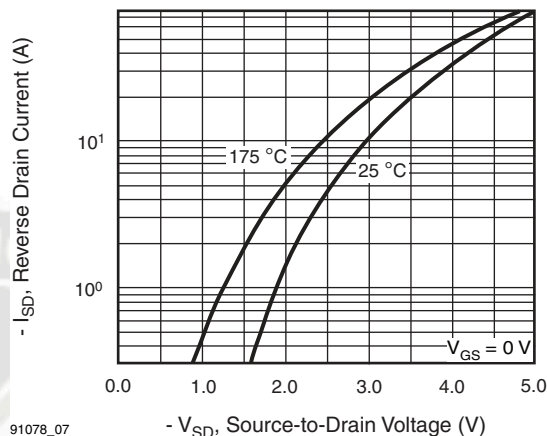
- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\text{ }\%$.

TYPICAL CHARACTERISTICS (25 °C, unless otherwise noted)

Fig. 1 - Typical Output Characteristics, $T_C = 25^\circ\text{C}$

Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

Fig. 2 - Typical Output Characteristics, $T_C = 175^\circ\text{C}$

Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature



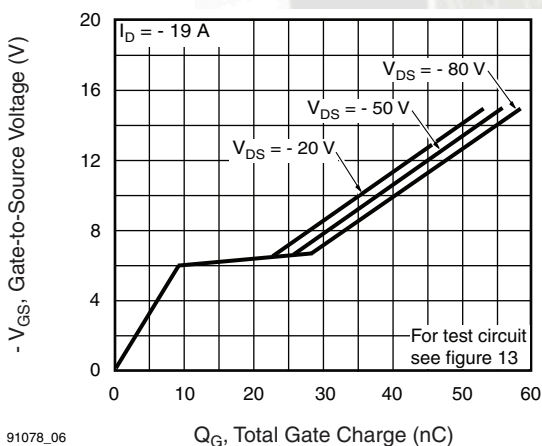
91078_05

Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage



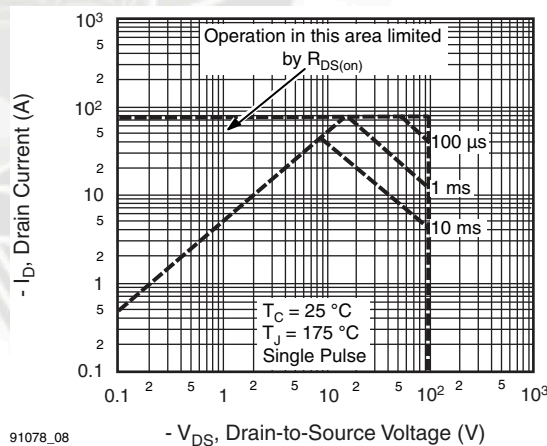
91078_07

Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



91078_06

Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage



91078_08

Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area

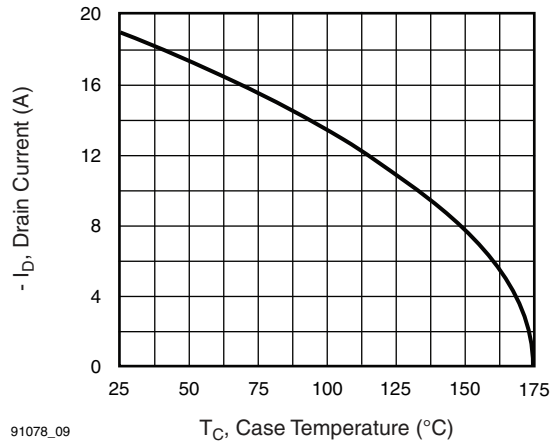


Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

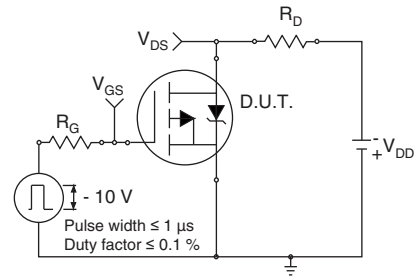


Fig. 10a - Switching Time Test Circuit

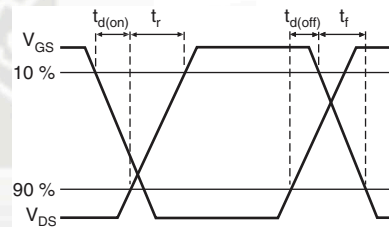


Fig. 10b - Switching Time Waveforms

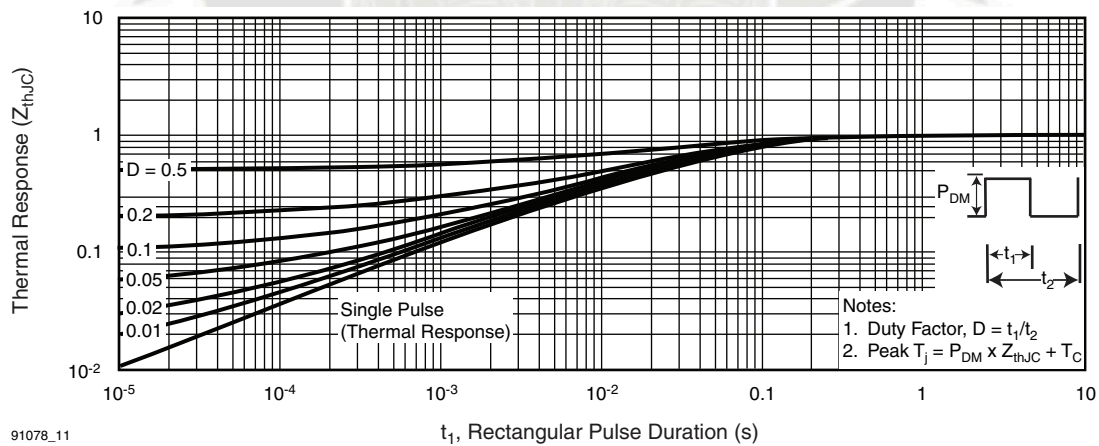


Fig. 11 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

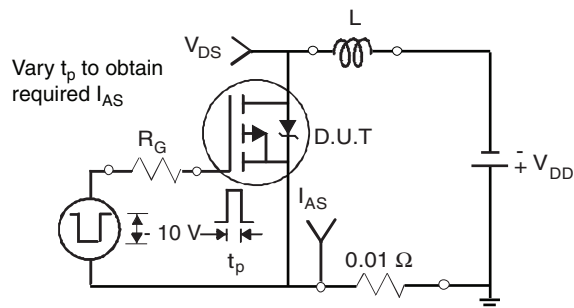


Fig. 12a - Unclamped Inductive Test Circuit

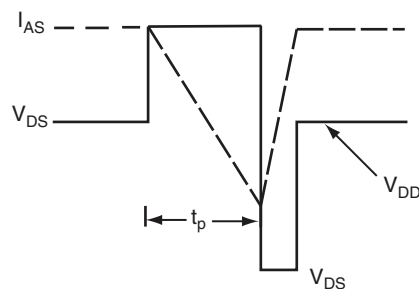


Fig. 12b - Unclamped Inductive Waveforms

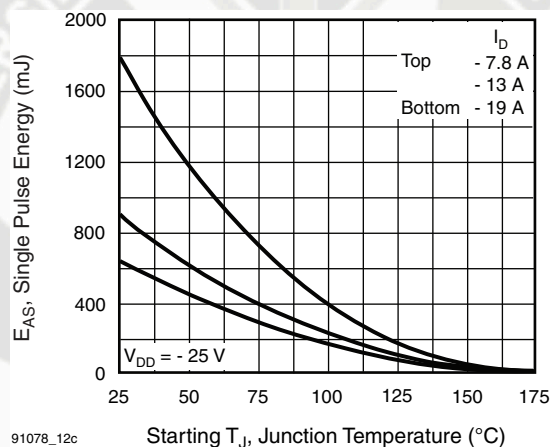


Fig. 12c - Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

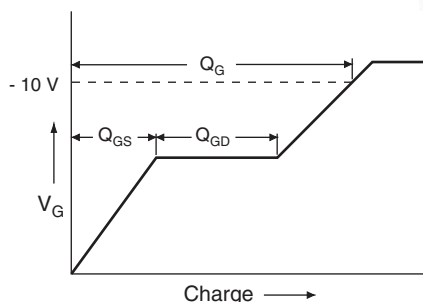


Fig. 13a - Basic Gate Charge Waveform

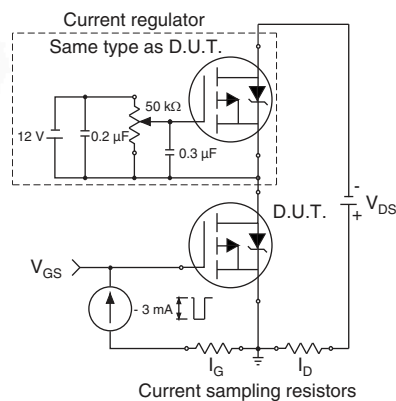
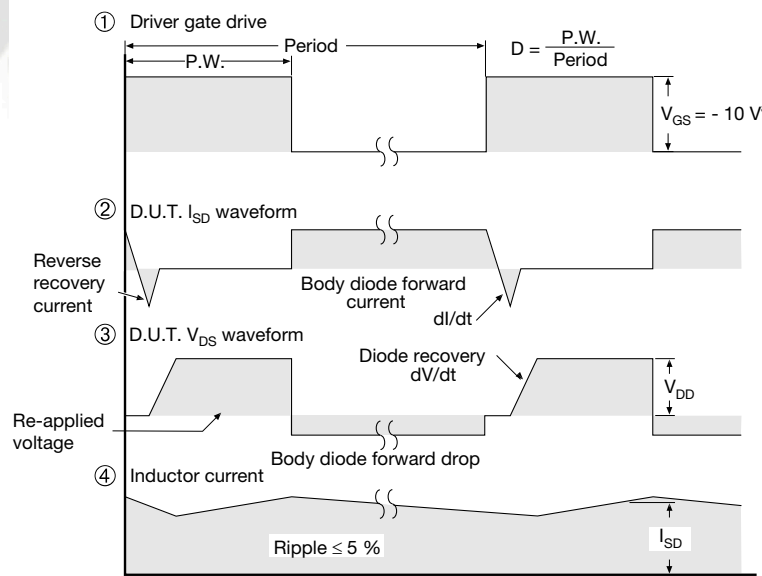
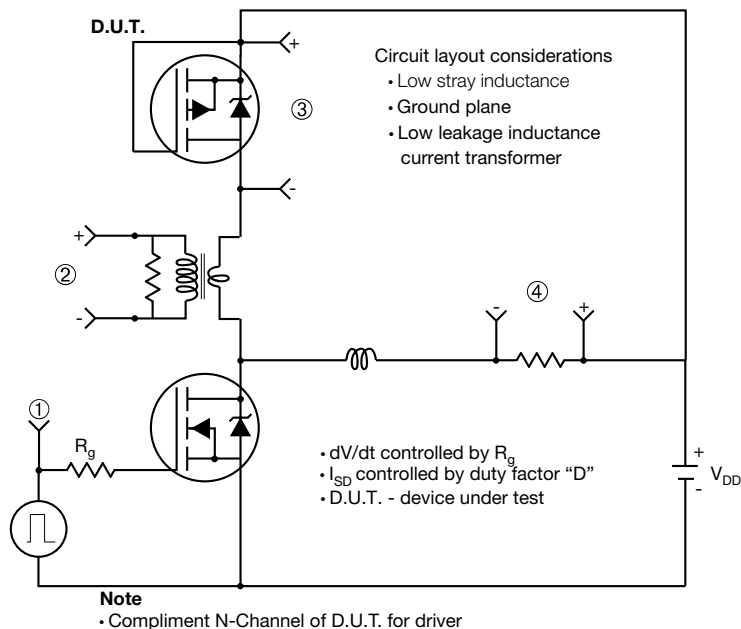


Fig. 13b - Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dV/dt Test Circuit



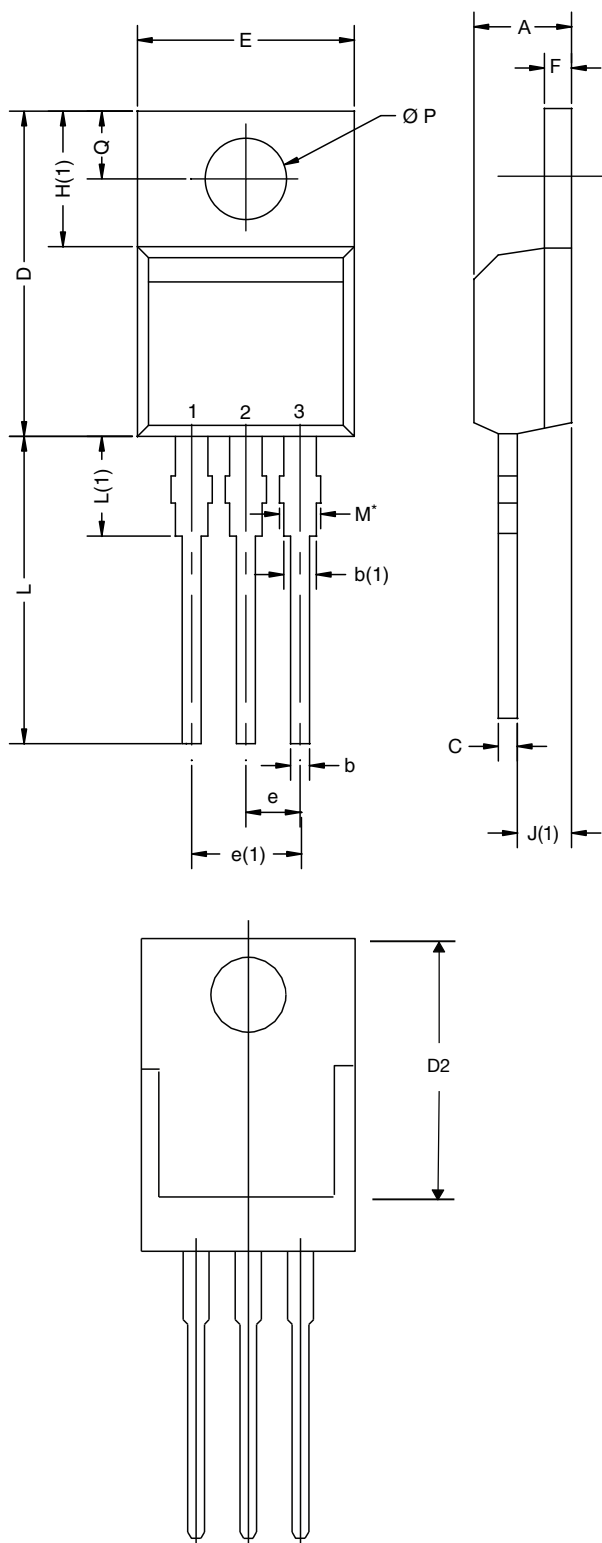
Note
 a. $V_{GS} = -5V$ for logic level and $-3V$ drive devices

Fig. 14 - For P-Channel

Vishay Siliconix maintains worldwide manufacturing capability. Products may be manufactured at one of several qualified locations. Reliability data for Silicon Technology and Package Reliability represent a composite of all qualified locations. For related documents such as package/tape drawings, part marking, and reliability data, see www.vishay.com/ppg?91078.



TO-220AB



DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	4.25	4.65	0.167	0.183
b	0.69	1.01	0.027	0.040
b(1)	1.20	1.73	0.047	0.068
c	0.36	0.61	0.014	0.024
D	14.85	15.49	0.585	0.610
D2	12.19	12.70	0.480	0.500
E	10.04	10.51	0.395	0.414
e	2.41	2.67	0.095	0.105
e(1)	4.88	5.28	0.192	0.208
F	1.14	1.40	0.045	0.055
H(1)	6.09	6.48	0.240	0.255
J(1)	2.41	2.92	0.095	0.115
L	13.35	14.02	0.526	0.552
L(1)	3.32	3.82	0.131	0.150
$\varnothing P$	3.54	3.94	0.139	0.155
Q	2.60	3.00	0.102	0.118

ECN: T14-0413-Rev. P, 16-Jun-14
DWG: 5471

Note

* $M = 1.32 \text{ mm to } 1.62 \text{ mm}$ (dimension including protrusion)
Heatsink hole for HVM



Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and/or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

Material Category Policy

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.

Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as Halogen-Free follow Halogen-Free requirements as per JEDEC JS709A standards. Please note that some Vishay documentation may still make reference to the IEC 61249-2-21 definition. We confirm that all the products identified as being compliant to IEC 61249-2-21 conform to JEDEC JS709A standards.

LM311

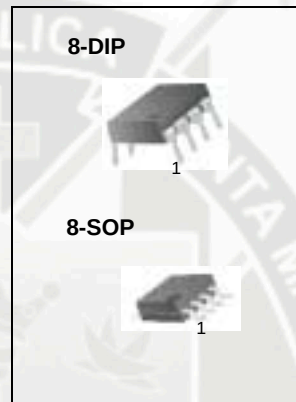
Single Comparator

Features

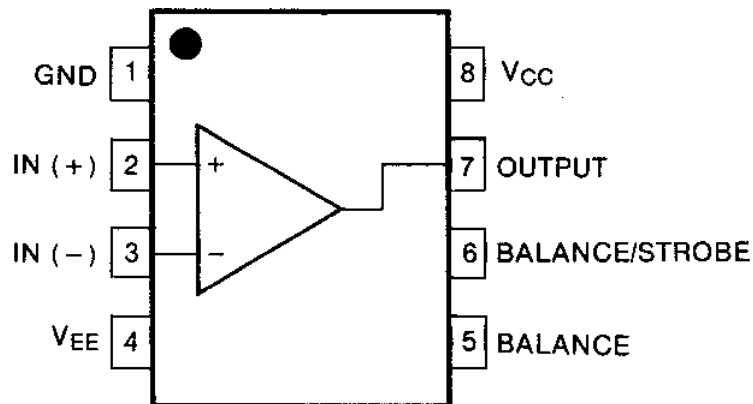
- Low input bias current : 250nA (Max)
- Low input offset current : 50nA (Max)
- Differential Input Voltage : $\pm 30V$
- Power supply voltage : single 5.0V supply to $\pm 15V$.
- Offset voltage null capability.
- Strobe capability.

Description

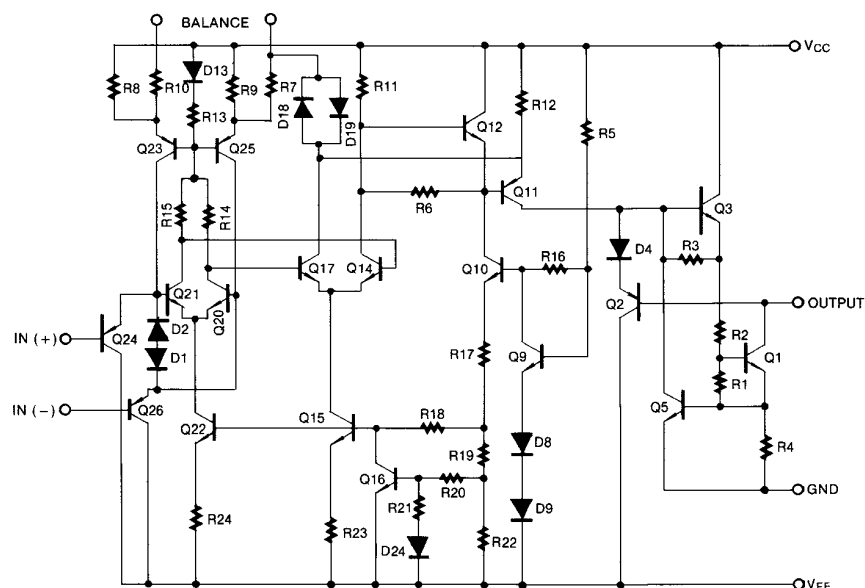
The LM311 series is a monolithic, low input current voltage comparator. The device is also designed to operate from dual or single supply voltage.



Internal Block Diagram



Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Total Supply Voltage	V_{CC}	36	V
Output to Negative Supply Voltage LM311	$V_O - V_{EE}$	40	V
Ground to Negative voltage	V_{EE}	-30	V
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	30	V
Input Voltage	V_I	± 15	V
Output Short Circuit Duration	-	10	sec
Power Dissipation	P_D	500	mW
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0 ~ +70	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	- 65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 50K\Omega$	-	1.0	7.5	mV
		Note 1	-	-	10	
Input Offset Current	I_{IO}		-	6	50	nA
		Note 1	-	-	70	
Input Bias Current	I_{BIAS}		-	100	250	nA
		Note 1	-	-	300	
Voltage Gain	G_V	-	40	200	-	V/mV
Response Time	T_{RES}	Note 2	-	200	-	ns
Saturation Voltage	V_{SAT}	$I_O = 50mA$, $V_I \leq -10mV$	-	0.75	1.5	V
		$V_{CC} \geq 4.5V$, $V_{EE} = 0V$ $I_O = 8mA$, $V_I \leq -10mV$, Note 1	-	0.23	0.4	
Strobe "ON" Current	$I_{STR(ON)}$	-	-	3	-	mA
Output Leakage Current	I_{SINK}	$I_{STR} = 3mA$, $V_I \geq 10mV$ $V_O = 15V$, $V_{CC} = \pm 15V$	-	0.2	50	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	Note 1	-14.5 to 13.0	-14.7 to 13.8	-	V
Positive Supply Current	I_{CC}	-	-	3.0	7.5	mA
Negative Supply Current	I_{EE}	-	-	-2.2	-5.0	mA
Strobe Current	I_{STR}	-	-	3	-	mA

Notes :

- $0 \leq T_A \leq +70^\circ C$
- The response time specified is for a 100mV input step with 5mV over drive.

Typical Performance Characteristics

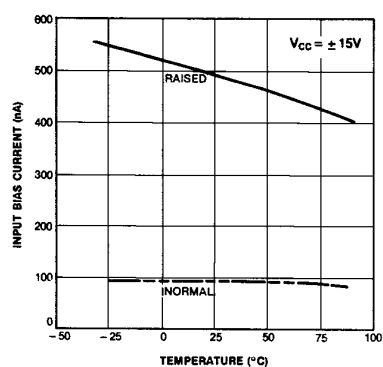


Figure 1. Input Bias Current vs Temperature

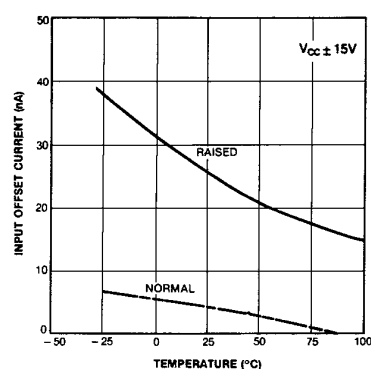


Figure 2. Input Offset Current vs Temperature

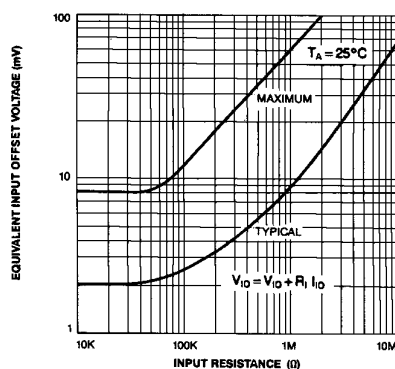


Figure 3. Offset Voltage vs Input Resistance

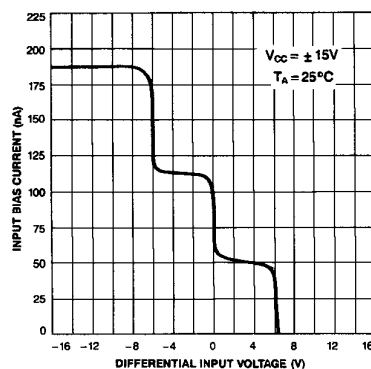


Figure 4. Input Bias Current vs Differential input voltage

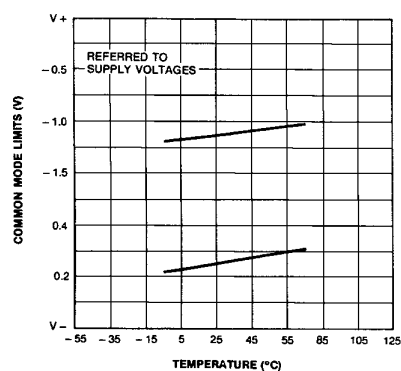


Figure 5. Common Mode Limits vs Temperature

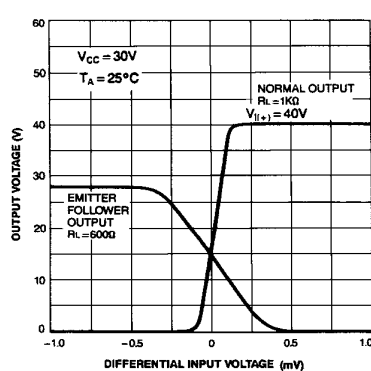


Figure 6. Output Voltage vs Differential input voltage

Typical Performance Characteristics (continued)

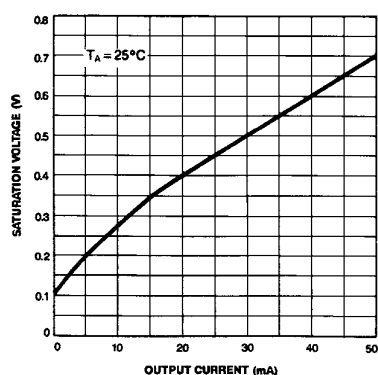


Figure 7. Saturation voltage vs Current

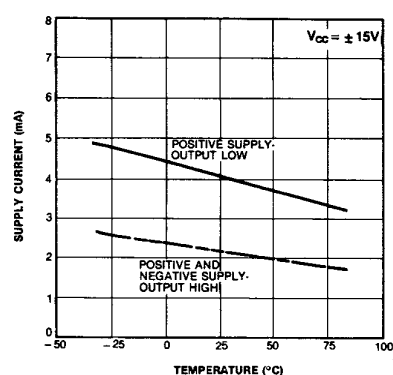


Figure 8. Supply Current vs Temperature

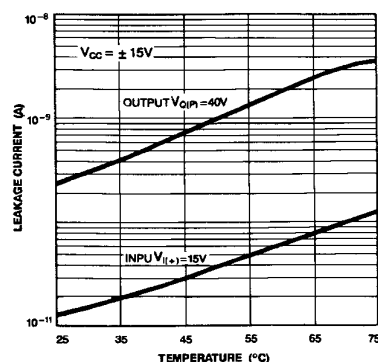


Figure 9. Leakage Current vs Temperature

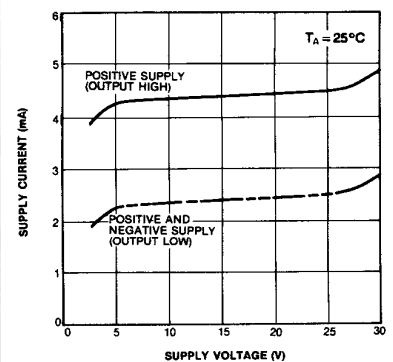


Figure 10. Supply Current vs Supply Voltage

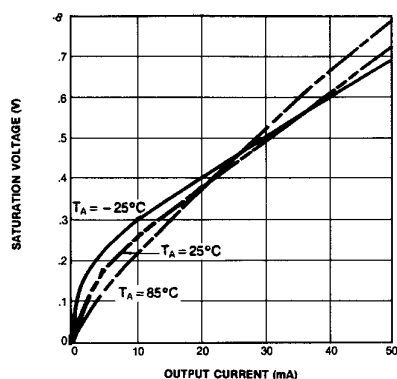


Figure 11. Current Saturation Voltage

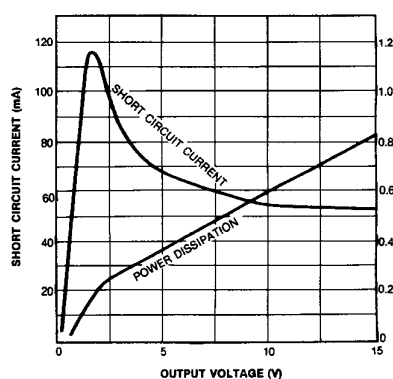
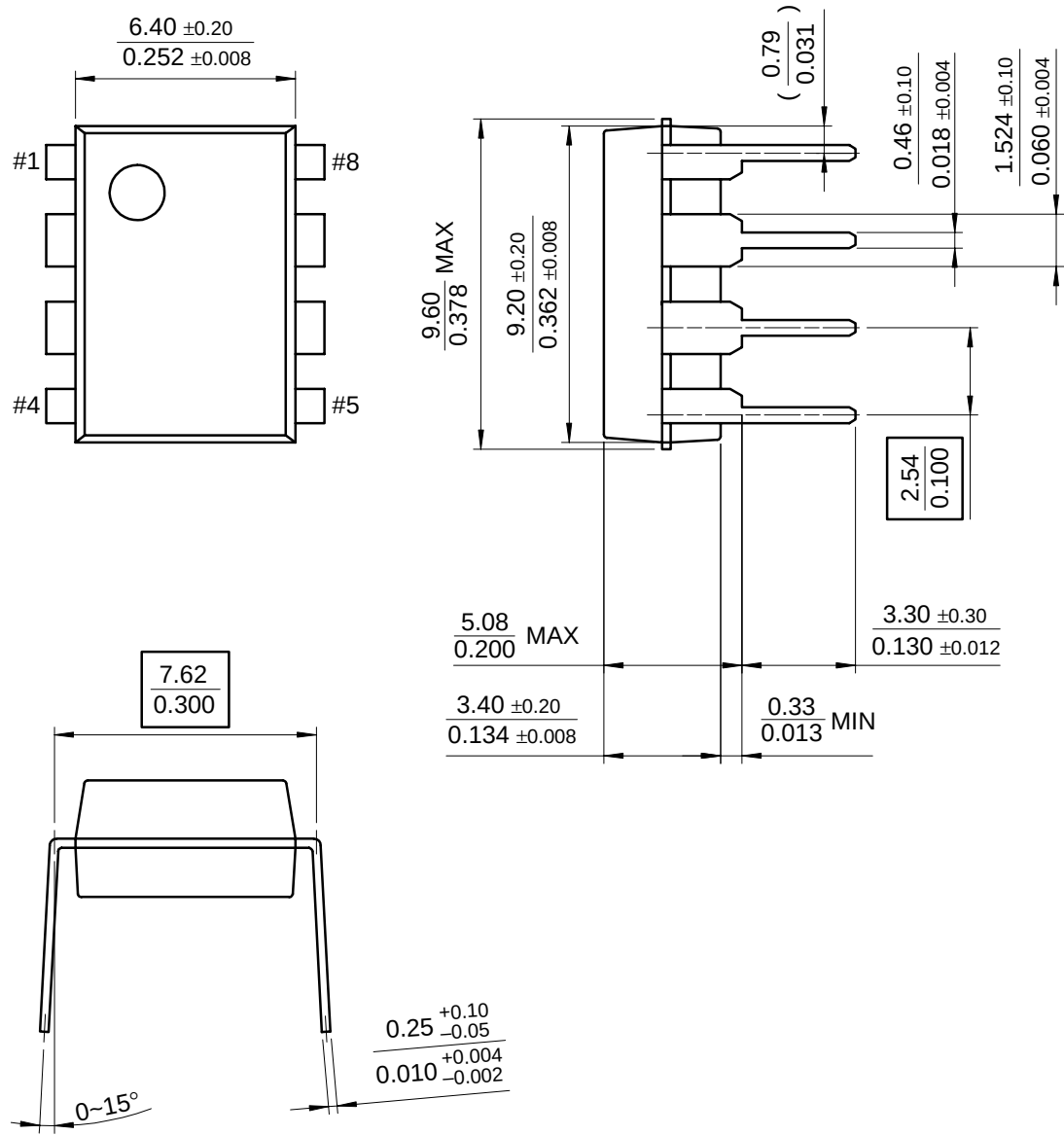


Figure 12. Output Limiting Characteristics

Mechanical Dimensions

Package

8-DIP



Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM311N	8-DIP	0 ~ +70°C
LM311M	8-SOP	





DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

298:1 Micro Metal Gearmotor HP



Pololu item #: 994 **870** in stock

Price break	Unit price (US\$)
1	15.95
10	13.55
50	11.96

Quantity:

[backorders](#) allowed

Add to cart

Add to wish list

This gearmotor is a miniature (0.94" x 0.39" x 0.47"), high-power brushed DC motor with**297.92:1** metal gearbox, similar to Sanyo's popular 12 mm gearmotors. These units have a 0.365"-long, 3 mm-diameter D-shaped output shaft.

Key specs at 6 V: 100 RPM and 70 mA free-run, 70 oz-in (5 kg-cm) and 1.6 A stall.

Select options:

297.92 :1

1600 mA

extended motor shaft? N

Go ▶

 [Compare all products in Micro Metal Gearmotors.](#)

[Description](#) [Specs](#) [Pictures](#) [Resources](#) [FAQs](#) [On the blog](#)

Overview

These tiny brushed DC gearmotors are intended for use at 6 V, though in general, these kinds of motors can run at voltages above and below this nominal voltage, so they should comfortably operate in the 3 – 9 V range (rotation can start at voltages as low as 0.5 V). Lower voltages might not be practical, and higher voltages could start negatively affecting the life of the motor. The micro metal gearmotors are available in a wide range of gear ratios—from 5:1 up to 1000:1—and offer a choice between three different motors: high-power (HP), medium-power (MP), and standard. With the exception of the 1000:1 gear ratio versions, all of the micro metal gearmotors have the same physical dimensions, so one version can be easily swapped for another if your design requirements change. Please see the [micro metal gearmotor comparison table](#) for detailed specifications of all our micro metal gearmotors. This dynamically-sortable table can help you find the gearmotor that offers the best blend of speed, torque, and current-draw for your particular

application. A more basic comparison table is available below.

Some versions of the gearmotors are sold with an additional 1mm-diameter output shaft that protrudes from the rear of the motor. This 4.5mm-long rear shaft rotates at the same speed as the input to the gearbox and offers a way to add an encoder, such as our [magnetic encoder for micro metal gearmotors](#), to provide motor speed or position feedback.

Motor Type	Stall Current @ 6 V	No-Load Speed @ 6 V	Stall Torque @ 6 V	 Gearbox Shaft Only	 Gearbox & Motor Shafts
high-power (HP)	1600 mA	6000 RPM	2 oz-in	5:1 micro HP	
		3000 RPM	4 oz-in	10:1 micro HP	10:1 micro HP
		1000 RPM	9 oz-in	30:1 micro HP	30:1 micro HP
		625 RPM	15 oz-in	50:1 micro HP	50:1 micro HP
		400 RPM	22 oz-in	75:1 micro HP	75:1 micro HP
		320 RPM	30 oz-in	100:1 micro HP	100:1 micro HP
		200 RPM	40 oz-in	150:1 micro HP	
		140 RPM	50 oz-in	210:1 micro HP	
		120 RPM	60 oz-in	250:1 micro HP	
		100 RPM	70 oz-in	298:1 micro HP	298:1 micro HP
		32 RPM	125 oz-in	1000:1 micro HP	
medium-power (MP)	700 mA	2200 RPM	3 oz-in	10:1 micro MP	10:1 micro MP
		730 RPM	8 oz-in	30:1 micro MP	
		420 RPM	13 oz-in	50:1 micro MP	
		290 RPM	17 oz-in	75:1 micro MP	75:1 micro MP
		220 RPM	19 oz-in	100:1 micro MP	100:1 micro MP
		150 RPM	24 oz-in	150:1 micro MP	
		75 RPM	46 oz-in	298:1 micro MP	
low-power	360 mA	2500 RPM	1 oz-in	5:1 micro	
		1300 RPM	2 oz-in	10:1 micro	
		440 RPM	4 oz-in	30:1 micro	30:1 micro
		250 RPM	7 oz-in	50:1 micro	50:1 micro
		170 RPM	9 oz-in	75:1 micro	
		120 RPM	12 oz-in	100:1 micro	100:1 micro
		85 RPM	17 oz-in	150:1 micro	
		60 RPM	27 oz-in	210:1 micro	
		50 RPM	32 oz-in	250:1 micro	
		45 RPM	40 oz-in	298:1 micro	298:1 micro
		14 RPM	70 oz-in	1000:1 micro	

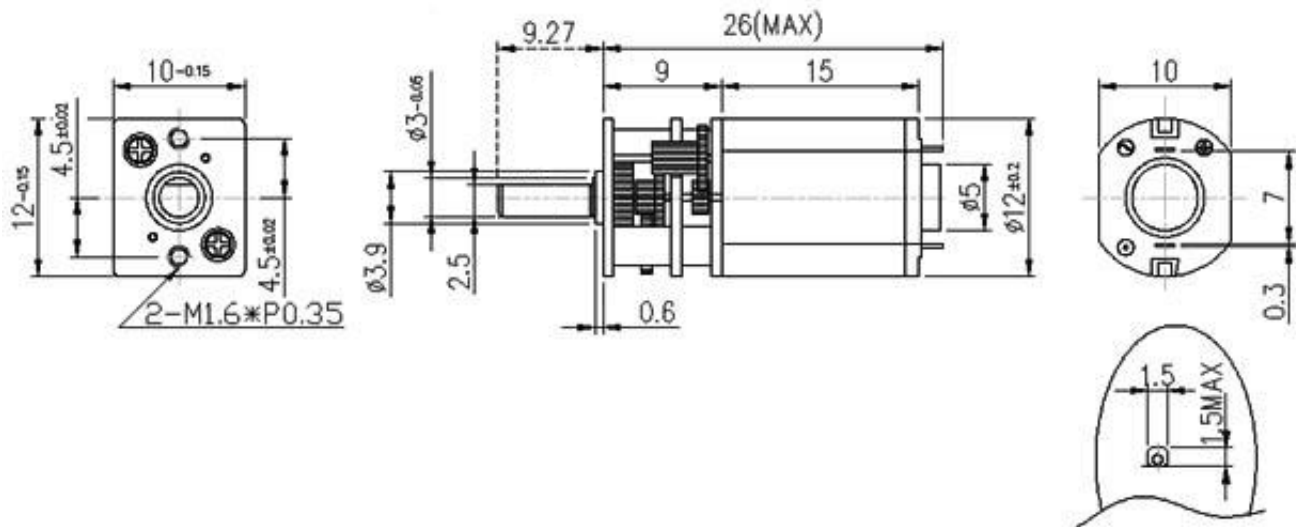
Note: Stalling gearmotors can greatly decrease their lifetimes, occasionally resulting in immediate damage to the gearbox. This is especially true for the higher gear ratios, such as the 298:1 and 1000:1 versions, which can generate enough torque to damage themselves. The stall torque values given for the two 1000:1 motors are theoretical, and we strongly recommend you avoid stalling them.

Prolonged stalls (on the order of seconds) can result in thermal damage to the motor windings and brushes, especially for the versions that use high-power (HP) motors.

Details for item #994

Exact gear ratio: $\frac{25 \times 34 \times 37 \times 35 \times 38}{12 \times 9 \times 10 \times 13 \times 10} \approx 297.92:1$

Gearmotor Dimensions



Micro metal gearmotor dimensions (units in mm).

The gearbox has a long (0.365" or 9.27 mm), 3 mm-diameter D-shaped metal output shaft, and the brass faceplate has two mounting holes threaded for [M1.6 screws](#) (1.6 mm diameter, 0.35 mm thread pitch). The gearmotor weighs approximately 0.35 oz (10 g). Versions with the extended motor shaft have a 1mm diameter round shaft that protrudes 4.5 mm from the rear of the motor, between the two motor terminals; this is not pictured in the above dimension diagram. In terms of size, these gearmotors are very similar to Sanyo's popular 12 mm NA4S DC gearmotors, and gearmotors with this form factor are often referred to as N20 motors.

The gearbox on the [1000:1](#) and [1000:1 HP](#) micro metal gearmotors is 12.5 mm long. All of the other micro metal gearmotors have 9mm-long gearboxes, as shown in the above dimension diagram.

1000:1 Micro Metal Gearmotor HP



Pololu item #: 1595 **365** in stock

Price break	Unit price (US\$)
1	22.95
10	20.66
50	18.36

Quantity:
backorders allowed

Add to cart

Add to wish list



This gearmotor is a miniature **high-power** brushed DC motor with a **986.41:1** metal gearbox, making it a great choice for applications requiring fine control at very low speeds. It has a cross section of 10×12 mm, and the D-shaped gearbox output shaft is 9 mm long and 3 mm in diameter.

Key specs at 6 V: 32 RPM and 120 mA with no load, 125 oz-in (9 kg-cm) and 1.6 A at stall. (Note: stall torque and current specifications are theoretical values; stalling the motor will damage the gearbox.)

Select options:

Description **Specs (10)** **Pictures (22)** **Resources (3)** **FAQs (1)** **On the blog (0)**

Dimensions

Size:	$10 \times 12 \times 29.5$ mm ¹
Weight:	10.5 g
Shaft diameter:	3 mm ²

General specifications

Gear ratio:	986.41:1
Free-run speed @ 6V:	32 rpm
Free-run current @ 6V:	120 mA
Stall current @ 6V:	1600 mA ³
Stall torque @ 6V:	125 oz-in ³
Extended motor shaft?:	N
Motor type:	1.6A stall @ 6V (HP)

Notes:

- 1 Output shaft adds 9 mm to the 29.5 mm length.
- 2 D shaft.
- 3 This is a theoretical value; stalling the gearbox output shaft will damage the gearbox.

Related products

[Magnetic Encoder Pair Kit for Micro Metal Gearmotors, 12 CPR, 2.7-18V](#)



[Optical Encoder Pair Kit for Micro Metal Gearmotors, 5V](#)



[Pololu 42×19mm Wheel and Encoder Set](#)



[Pololu Micro Metal Gearmotor Bracket Extended Pair](#)



[Pololu Micro Metal Gearmotor Bracket Pair - Black](#)



[Pololu 15.5D mm Metal Gearmotor Bracket Pair](#)



[Pololu Micro Metal Gearmotor Bracket Pair - White](#)



[Machine Screw: M1.6, 3mm Length, Phillips \(6-pack\)](#)



[Pololu Universal Aluminum Mounting Hub for 3mm Shaft, M3 Holes \(2-Pack\)](#)



[Pololu Universal Aluminum Mounting Hub for 3mm Shaft, #2-56 Holes \(2-Pack\)](#)



[12mm Hex Wheel Adapter for 3mm Shaft \(2-Pack\)](#)



[Pololu Wheel 70×8mm Pair - Red](#)



[Pololu 5" Robot Chassis RRC04A Solid Red](#)



[Pololu 22T Track Set](#)



[Pololu 30T Track Set](#)



[Solarbotics RW2i Wheel \(internal set screw\)](#)



[Pololu Simple Motor Controller 18v7 \(Fully Assembled\)](#)



[Pololu Qik 2s9v1 Dual Serial Motor Controller](#)



[DRV8833 Dual Motor Driver Carrier](#)



[DRV8838 Single Brushed DC Motor Driver Carrier](#)



[DRV8835 Dual Motor Driver Carrier](#)



[TB6612FNG Dual Motor Driver Carrier](#)



[Orangutan SVP-1284 Robot Controller \(assembled\)](#)



[Orangutan SV-328 Robot Controller](#)



[Baby Orangutan B-328 Robot Controller](#)



[26:1 Sub-Micro Plastic Planetary Gearmotor 6Dx16L mm](#)



[136:1 Sub-Micro Plastic Planetary Gearmotor 6Dx19L mm](#)



[Pololu 6V Step-Up Voltage Regulator U3V50F6](#)



[Zumo 32U4 Robot Kit \(No Motors\)](#)



[Zumo Robot for Arduino, v1.2 \(Assembled with 75:1 HP Motors\)](#)

[Pololu 3pi Robot](#)[Ceramic Capacitor 6-Pack 0.1uF 50V](#)

Related categories

[High-Power \(HP\) Micro Metal Gearmotors](#)[Micro Metal Gearmotors](#)[Pololu Wheels and Tracks](#)[Brushed DC Motor Controllers](#)[Brushed DC Motor Drivers](#)[Robot Controllers](#)[Current Sensors](#)[Pololu 5" Robot Chassis RRC04A](#)[Zumo Robots and Accessories](#)[3mm Shaft Gearmotors](#)[25D mm Gearmotors](#)[37D mm Gearmotors](#)

The bionic hand with the human touch

By George Webster, CNN

🕒 Updated 1611 GMT (0011 HKT) February 1, 2013



The bionic hand with the human touch 03:58

Story highlights

The i-Limb is the first prosthetic hand that has five individually-powered articulating digits

Wearers control hand via an electrical sensor that detects muscle movements in residual limb

Most of the 4,000+ i-Limbs in operation have been fitted to veterans from wars in Iraq and Afghanistan

rotatable thumb and wrist, enabling the user to perform a variety of complex grips.

"The first generation (of prosthetics) had what I call a pincer grip -- the fingers are reflexed so they do not change shape and they move in one plane," explains David Gow, the British inventor and engineer behind i-

What do will.i.am and Iron Man have in common? They're both rather partial to bionic limbs.

In his latest music video, "Scream & Shout," a human hand can be glimpsed clasping what appears to be a sophisticated robot hand stolen from the set of a high-budget sci-fi film.

What many of the video's [97 million \(and counting\)](#) viewers may not realize, however, is that the appendage in question is a genuine prosthetic hand that, its makers claim, has taken us one step closer to truly simulating the real thing.

Unlike conventional prosthetics, the [i-limb Ultra](#) boasts five individually-powered articulating digits, as well as a fully

limb. "Whereas what we produced is something that rotates at the knuckles."

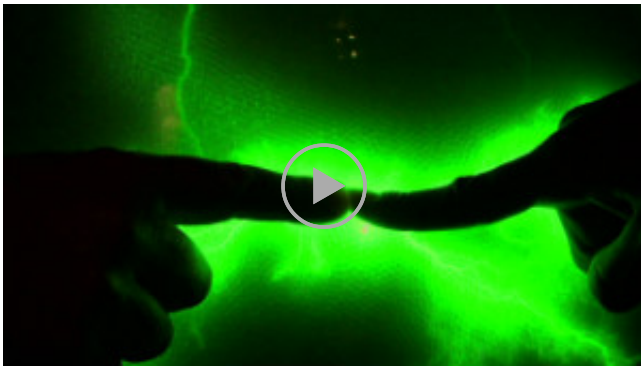
Read: Patently simple advice for inventors

The i-limb is the latest in "myoelectric prosthesis" -- a process that uses electrical sensors to detect tiny muscular movements in the residual limb, which are then translated by an on-board computer into natural, intuitive movement of the mechanized hand.

In practice, this requires the wearer to learn a language of muscle movements around the wrist, which correspond to a vast array of pre-programmed hand and finger motions.

Although it requires a fair bit of concentration to begin with, Gow says that -- much like playing an instrument -- the mechanism is intuitive once muscle memory takes over.

As well as the practical benefits afforded by the added range of grips, Gow believes the i-limb carries a significant psychological advantage because finger movements are what most people associate with the human hand.



"When you have only one shape for the hand and it is not a particularly everyday natural one, it looks strange," he says. People who've used the i-limb "say they see the digit as what gives them the sense of having a hand back."

Donald McKillop lost his right arm in an accident at home 35 years ago. He was one of the first amputees to try an initial version of the i-limb back in 2007.

Read: Print your own life-size robot

"Every day I'm finding new things with it -- it's absolutely amazing ... It's the hand I thought I'd never have again," he said.

But of course, although it can rotate 360 degrees, the i-limb is still far from measuring up to the real thing.

"We can't approach the subtlety of skin, sensation of temperature, touching things yet," admits Gow. "But we've broken through the barrier of making a hand that looks like a medical device."

As things stand, the i-limb is also prohibitively expensive. Including fitting and training, a hand costs in the region of \$100,000.

Perhaps in part because of this, most of the 4,000 or so i-limb users in the world are war veterans from Iraq and Afghanistan. Gow notes, however, that the potential market is huge: there are presently an estimated two million upper limb amputees across the globe.

Touch Bionics, the company that Gow founded to produce the i-limb, is looking to take its share. Gow, [who left the company in 2009](#), says sales are

Related Video: Li-Fi could be the future of the web 04:30



Related Video: Invention makes objects liquid repellent 04:07

accelerating and 2012 saw turnover reach over \$16 million.

For the Scotland-based engineer, who abandoned his career in the defense industry to dedicate himself to the study of prosthetics, the i-limb is much more than a business.

"I have seen hundreds of people ... I have seen the father that says 'thank you' on behalf of his son," Gow says, wiping a tear from his eye. "That means an awful lot because you don't, as an engineer, get many moments where you articulate human emotions about these things."

Promoted Stories



Top Five Free Business Apps You've Never Heard (Webiot)



The little-known effects of climate change (Bill Gates)



US Economic Growth: The Last Line Of Defense (TalkMarkets)



Mirror Me Booth – A Magical Photo Favor Experience (New Digital & Interactive Entertainment Products - Foto Master)

More From CNN



Life on Mars? You be the judge



Life on Mars? Depends how you see these photos



The new iPhone: What you should know



Flamethrowers spark Second Amendment debate

Promoted Stories

Best Salesforce Alternatives For Small Businesses *Fit Small Business*

7 Slack-like Alternatives with Built-In VoIP Capabilities *GetVoIP*

More from CNN

Sex traffickers are branding their victims

Bear cub tries to wriggle into home through cat door

Spread Betting Fees Explained *TalkMarkets*

Bat and ball: Australia's sporting sweetheart

Surprising catch shocks fisherman

VMA's 2015: All eyes on Miley

Girl sent home for wearing this shirt

Recommended by

0 comments

Sign in

Newest | Oldest | Hot Threads

Powered by Livefyre