



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GRIPPER PARA EL BRAZO ROBÓTICO
“UTN”**

AUTOR:

EDISON ANDRÉS PROAÑO LAPUERTA

DIRECTOR:

ING. LUZ MARÍA TOBAR SUBIA CONTENUTO

Ibarra - Ecuador

Septiembre 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	100362700-5
Apellidos y Nombres	Edison Andrés Proaño Lapuerta
Email	eaproanio@utn.edu.ec
Teléfono Fijo	062920721
Teléfono Móvil	0997988826
DATOS DE LA OBRA	
Título	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GRIPPER PARA EL BRAZO ROBÓTICO "UTN"
Autor	Edison Andrés Proaño Lapuerta
Fecha	Septiembre del 2017

Programa	Pregrado
Título por el que aspira	Ingeniero en Mecatrónica
Director	Ing. Luz María Tobar Subía Contenido

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

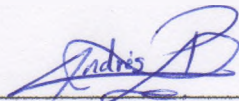
Yo, Edison Andrés Proaño Lapuerta, con cédula de identidad N° 100362700-5, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la Ley de educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamos por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de septiembre de 2017

EL AUTOR:



Firma

Nombre: Edison Andrés Proaño Lapuerta

Cédula: 100362700-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A
FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Edison Andrés Proaño Lapuerta, con cédula de identidad N°. 100362700-5, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GRIPPER PARA EL BRAZO ROBÓTICO “UTN”” que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi calidad de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma

Nombre: Edison Andrés Proaño Lapuerta

Cédula: 100362700-5

Ibarra, 18 de septiembre de 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Trabajo de Grado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GRIPPER PARA EL BRAZO ROBÓTICO UTN”, fue desarrollado por el egresado Edison Andrés Proaño Lapuerta, bajo mi supervisión, lo cual certifico en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Luz María Tobar", is written over a horizontal line.

Ing. Luz María Tobar

DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Edison Andrés Proaño Lapuerta declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Edison Andrés Proaño Lapuerta", is written over a horizontal line.

Edison Andrés Proaño Lapuerta

C.I. 100294388-2

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica Del Norte, a su personal docente y administrativo por forjarme como profesional y como persona de bien hacia la sociedad; a la Ing. Luz María Tobar por su apoyo brindado en el desarrollo de este proyecto; a mis padres por inculcarme valores e incentivar me a seguir adelante y superar las adversidades que se presenten.

DEDICATORIA

Dedico a mis padres Marco Proaño y Verónica Lapuerta por apoyarme en los buenos y malos momentos, por sus palabras reconfortantes, por su cariño y aprecio a lo largo de mi vida; a mi hermana y a todas las personas que estuvieron conmigo en esta etapa de estudio.

Andrés Proaño.

RESUMEN

El objetivo del proyecto es el diseño y construcción de un Gripper o pinza como efector final para el brazo robótico UTN que levanta una masa de un kilogramo.

Se inicia con la investigación bibliográfica y estado del arte de los diferentes tipos de robots manipuladores y de Grippers, a fin de seleccionar una configuración morfológica adecuada a los requerimientos del proyecto que son: bajo peso, bajo costo y capacidad de levantar 1 kg.

El diseño del Gripper se realizó por medio de cálculos y un software CAD para comprobar la fiabilidad y la resistencia del diseño mediante simulaciones.

La elaboración de los planos de las partes del Gripper se realiza bajo la norma INEN de dibujo mecánico, se manufacturan y ensamblan dichas partes, después se elabora el control del Gripper utilizando un sensor resistivo (FlexiForce) como retroalimentación en una mordaza.

Como parte final del tema de investigación se ensambla cada parte del brazo robótico y se verifica el funcionamiento que cumpla con los requerimientos del proyecto.

ABSTRACT

The objective of the project is the design and construction of a Gripper as a final effector for the UTN robotic arm that raises a mass of one kilogram.

It begins with the bibliographical research and state of the art of the different types of robot manipulators and Grippers, in order to select a morphological configuration adapted to the requirements of the project that are: low weight, low cost and capacity to lift 1 kg.

The design of the Gripper was performed by means of calculations and a CAD software to check the reliability and the resistance of the design through simulations.

The elaboration of the parts of the Gripper are done under the INEN standard of mechanical drawing, these parts are manufactured and assembled, then the control of the Gripper is made using a resistive sensor (FlexiForce) as feedback in a jaw.

As a final part of the research topic, each part of the robotic arm are assembled and the operation that meets the requirements of the project are verified.

ÍNDICE GENERAL

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	III
3. CONSTANCIAS.....	III
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	IV
CERTIFICACIÓN.....	V
DECLARACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XVIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XX
OBJETIVOS.....	XXI
OBJETIVO GENERAL.....	XXI
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XXI
ANTECEDENTES.....	XXI
JUSTIFICACIÓN.....	XXII
ALCANCE.....	XXII

LIMITACIONES.....	XXIII
CAPÍTULO I	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ELEMENTOS DE UN ROBOT.....	1
1.1.1 MANIPULADOR.....	1
1.1.2 CONTROLADOR	2
1.1.3 DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA DE DATOS.....	2
1.1.4 TIPOS DE ROBOTS MANIPULADORES	2
1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CONFIGURACIONES MORFOLÓGICAS DE LOS ROBOTS MANIPULADORES.	6
1.3 PRINCIPALES PARÁMETROS DE LOS MANIPULADORES.....	7
1.4 CARACTERÍSTICAS DEL BRAZO ROBÓTICO “UTN”	7
1.4.1 SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN MORFOLÓGICA.....	7
1.5 EFECTOR FINAL.....	9
1.5.1 HERRAMIENTAS	9
1.5.2 TIPOS DE GRIPPERS (PINZAS).....	9
1.6 PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DEL GRIPPER.....	14
1.6.1 FORMA DEL OBJETO.....	14
1.6.2 PESO DEL OBJETO	15
1.6.3 ORIENTACIÓN Y DIMENSIONES	15
1.6.4 VELOCIDAD	15
1.6.5 LONGITUD DEL MECANIZADO	15
1.6.6 CONFIGURACIÓN DE HERRAMIENTAS.....	15
1.6.7 RETENCIÓN DEL OBJETO	15
1.6.8 MEDIO AMBIENTE.....	16
1.6.9 FUNCIONAMIENTO SÍNCRONO.....	16

1.7	ACTUADORES ELÉCTRICOS	16
1.7.1	CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DEL ACTUADOR.....	17
1.7.2	SELECCIÓN DEL ACTUADOR	17
1.8	SISTEMAS DE TRANSMICIÓN EXISTENTES.....	18
1.8.1	ENGRANES RECTOS.....	18
1.8.2	ENGRANES HELICOIDALES	19
1.8.3	TORNILLO SIN FIN.....	19
1.9	MATERIALES.....	19
1.9.1	ÁCIDO POLILÁCTICO (PLÁSTICO PLA)	20
1.9.2	ALUMINIO	20
1.9.3	GRILÓN (Poliamida 6)	20
1.10	SENSOR DE FUERZA.....	21
CAPITULO II		24
2.	METODOLOGÍA.....	24
2.1	GENERALIDADES DEL DISEÑO	24
2.2	DISEÑO MECÁNICO	25
2.2.1	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	25
2.2.2	SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	26
2.2.3	SELECCIÓN DE MATERIALES	27
2.2.4	DISEÑO DEL GRIPPER.....	27
2.2.5	ANÁLISIS DE ELEMETOS FINITOS.....	52
2.3	DISEÑO DEL CONTROL.....	55
2.3.1	ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	55
2.3.2	ACONDICIONAMIENTO DEL SENSOR DE FUERZA.....	57
2.3.3	LINEALIDAD Y REPETIBILIDAD DEL SENSOR DE FUERZA	61
2.3.4	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL SENSOR DE FUERZA.....	62

2.3.5 PROGRAMACIÓN PARA EL CONTROL ON / OFF	65
CAPITULO III	68
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	68
3.1 DISEÑO MECÁNICO	68
3.2 ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS	68
3.2.1 ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DE TENSION VON MISES	68
3.2.2 ESFUERZOS.....	69
3.2.3 DESPLAZAMIENTOS	71
3.2.4 FACTOR DE SEGURIDAD	71
3.3 MANUFACTURA	73
3.4 ENSAMBLAJE.....	77
3.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	81
CAPITULO IV	84
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Elementos de un Robot Industrial.....	1
Figura 1.2 Semejanza de un brazo manipulador con la anatomía humana.....	2
Figura 1.3 a) Configuración Cartesiana b) Volumen de trabajo.....	3
Figura 1.4 a) Configuración Cilíndrica b) Volumen de trabajo	3
Figura 1.5 a) Configuración Polar b) Volumen de trabajo.....	4
Figura 1.6 a) Configuración Angular b) Volumen de trabajo	4

Figura 1.7 Robot articulado KUKA	5
Figura 1.8 a) Robot Scara b) Volumen de trabajo.....	5
Figura 1.9 a) Robot Paralelo b) Volumen de trabajo.....	6
Figura 1.10 Grados de libertad del Brazo Robótico UTN.....	9
Figura 1.11 Gripper de 3 dedos	10
Figura 1.12 Mordaza simple móvil de impulsión directa.....	10
Figura 1.13 Mordaza simple de impulsión directa a través de reductor de tornillo sin fin en ángulo recto	11
Figura 1.14 Pinza movida por piñón y cremallera.....	11
Figura 1.15 Pinza de palanca reciproca	12
Figura 1.16 Pinza de accionamiento por actuador lineal directo.....	12
Figura 1.17 Mordazas paralelas sobre deslizamientos lineales	13
Figura 1.18 Mordazas paralelas usando vínculos de 4 barras y tornillo sin fin.	13
Figura 1.19 Mordazas paralelas usando vínculos de 4 barras	14
Figura 1.20 Sensor de fuerza FlexiForce A201	21
Figura 1.21 Circuito del sensor FlexiForce	22
Figura 1.22 a) Resistencia vs Fuerza b) Conductancia vs Fuerza.	23
Figura 2.1. Síntesis del mecanismo de 4 barras.....	28
Figura 2.2. DCL de las mordazas al sostener un objeto	29
Figura 2.3. Eslabón CE tratado como viga.....	30
Figura 2.4. Fuerzas que actúan en el punto E.....	30
Figura 2.5 DCL para el cálculo del torque del mecanismo	32
Figura 2.6. Esfuerzo cortante en el punto C	34
Figura 2.7 a) Deformación en la plancha de 2mm b) Deformación en la plancha de 3mm ³⁶	
Figura 2.8. Mordaza del Gripper	38
Figura 2.9. Barra del Gripper.....	39

Figura 2.10. Características de los engranes rectos	40
Figura 2.11 Tren de engranajes.	45
Figura 2.12 DCL del engrane conducido b.....	46
Figura 2.13 Factor de espesor del aro.....	51
Figura 2.14. Condiciones de Borde del Gripper	52
Figura 2.15. Sujeciones del diseño del Gripper.....	53
Figura 2.16. Momento del actuador.....	53
Figura 2.17. Fuerzas que actúan en las mordazas.....	54
Figura 2.18. Peso del actuador en la base del Gripper	54
Figura 2.19 Circuito de control de salida 1.2 a 12 V a 10 A	55
Figura 2.20. Circuito de acondicionamiento del sensor FlexiForce	58
Figura 2.21. Voltaje vs Fuerza del sensor FlexiForce	59
Figura 2.22 Voltaje de salida vs masa, sensor de fuerza	61
Figura 2.23 Voltaje de salida vs Fuerza	63
Figura 2.24 Estimación del sistema de control de Ident.....	64
Figura 2.25 Función de Transferencia.....	64
Figura 2.26 Panel frontal del programa de control del Gripper en LabVIEW	65
Figura 2.27 Diagrama de bloques del programa de control del Gripper en LabVIEW.....	65
Figura 2.28 Diagrama de flujo para el control del Gripper	67
Figura 3.1. Análisis de convergencia.....	69
Figura 3.2. Esfuerzos de Von Mises.....	70
Figura 3.3 Esfuerzo de flexión en el engrane conductor	70
Figura 3.4. Desplazamientos	71
Figura 3.5. a) Factor de Seguridad vista superior b) Factor de Seguridad vista posterior ..	72
Figura 3.6 Prototipo del Gripper en plástico PLA.....	73
Figura 3.7 Placa de control del efector final de salida 1.2 a 12 V a 10 A	82

Figura 3.8 a) Servomotor KST X20-8.4-50 b) Servomotor CYS-S8218	82
Figura 3.9 Placa de caracterización del sensor de fuerza	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de las configuraciones morfológicas.....	6
Tabla 1.2 Características del brazo robótico “UTN”.....	7
Tabla 1.3 Selección de la morfología del brazo robótico “UTN”.....	8
Tabla 1.4 Rango de movimientos del brazo robótico “UTN”	8
Tabla 1.5 Ventajas y desventajas de los actuadores eléctricos.....	16
Tabla 1.6 Características requeridas en el actuador rotacional	16
Tabla 1.7 Selección del actuador para el gripper.....	18
Tabla 1.8 Propiedades de los Materiales	19
Tabla 1.9 Características del sensor de fuerza FlexiForce A201	22
Tabla 2.1 Parámetros de diseño del Gripper.....	26
Tabla 2.2. Características principales de servomotores.....	33
Tabla 2.3 Factor de sobrecarga.....	47
Tabla 2.4 Factor de distribución de carga.....	48
Tabla 2.5 Factor de condición superficial	49
Tabla 2.6 Linealidad del sensor de fuerza	61
Tabla 2.7 Repetibilidad del sensor de fuerza.....	62
Tabla 3.1. Análisis del error entre esfuerzos	68
Tabla 3.2 Procesos de manufactura de las partes del Gripper	74
Tabla 3.3 Proceso de ensamblaje del gripper	77

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ley de Grashof	28
Ecuación 2. Cálculo de Torque o Momento	32
Ecuación 3. Teoría de falla	34
Ecuación 4. Área de aplastamiento.....	35
Ecuación 5. Cálculo del área de la sección circular del pasador	37
Ecuación 6. Cálculo de esfuerzo cortante doble.....	37
Ecuación 7. Cálculo del esfuerzo por aplastamiento	38
Ecuación 8. Cálculo del diámetro exterior.	40
Ecuación 9. Cálculo del diámetro interior.....	41
Ecuación 10. Cálculo del diámetro de paso.....	41
Ecuación 11. Cálculo del módulo.....	41
Ecuación 12. Cálculo de la altura de cabeza.	41
Ecuación 13. Cálculo del paso circular.	41
Ecuación 14. Cálculo de la altura de pie.	41
Ecuación 15. Cálculo de la relación de transmisión.....	42
Ecuación 16. Cálculo de la relación de transmisión de velocidad.....	43
Ecuación 17. Cálculo del esfuerzo de contacto norma AGMA.....	44
Ecuación 18. Cálculo del coeficiente elástico del grilón.....	44
Ecuación 19. Cálculo de la fuerza tangencial.....	46
Ecuación 20. Cálculo del esfuerzo de flexión norma AGMA	49
Ecuación 21. Cálculo del espesor del aro	50
Ecuación 22. Ley de Ohm	56
Ecuación 23. Cálculo del disipador de calor	56
Ecuación 24. Cálculo de la frecuencia de corte.....	59
Ecuación 25. Cálculo del voltaje de salida del amplificador operacional	60

Ecuación 26. Cálculo de la ganancia del amplificador operacional	60
Ecuación 27. Ecuación lineal.....	63

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Aluminio ASTM A 1200 - Temple H14.....	89
Anexo 2. Factores geométricos de engranes rectos.....	90
Anexo 3. Especificaciones del Servomotor	91
Anexo 4. Circuito De Control Del Gripper	92
Anexo 5. Circuito Impreso Del Sensor Flexiforce	93
Anexo 6. Sensor FlexiForce A201	94
Anexo 7. Toma de datos del sensor de fuerza	96
Anexo 8. Arduino MEGA 2560	98
Anexo 9. Programación en LabVIEW del brazo robótico UTN	99
Anexo 10. Manual de usuario del brazo robótico UTN	101
Anexo 11. Diagrama eléctrico del brazo robótico UTN.....	115
Anexo 12. Planos.....	117

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La revolución industrial vino dada por la explotación de obreros a los cuales se les obligaba a trabajar en procesos en serie durante largas horas y con salarios muy bajos. Todos estos procesos dieron un giro de 360 grados cuando nació la Robótica y con ella la utilización de los Brazos Robóticos que controlen procesos en cadena durante horas y a velocidades mayores sin la necesidad de salarios o vacaciones.

El uso de sistemas robóticos en la industria, para cumplir funciones que requieren extrema precisión ha ido en ascenso en las últimas décadas. El desarrollo de estos sistemas se ha enfocado en mejorar ciertos aspectos como resistencia para trabajar en diferentes condiciones, precisión con la que se realizan movimientos, multifuncionalidad (manipulación, corte, perforación, etc.), adaptabilidad en diferentes entornos de trabajo y la independencia en su funcionamiento, es decir que tenga la capacidad de tomar decisiones respecto a su actuación (Alonzo & Bravo, 2014).

La problemática que se pretende satisfacer, es la necesidad de generar diseños propios u originales de sistemas de Brazo Robótico, que puedan ser empleados en la enseñanza y en la investigación para la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte, realizando un estudio detallado para entregar un prototipo funcional y de calidad.

Los alumnos a través de este Brazo Robótico con fines didácticos aprenden a desempeñar tareas como cálculos cinemáticos, programación y sistemas de control así como las relacionadas con las cadenas de producción y la logística empleada en dicho proceso.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir el gripper para un prototipo de brazo robótico para el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar los parámetros y requisitos de funcionamiento del gripper para articularse al brazo robótico “UTN”.
- ❖ Diseñar los componentes mecánicos y de la estructura del gripper para el Brazo Robótico “UTN”
- ❖ Construir y ensamblar los elementos mecánicos del gripper para el Brazo Robótico “UTN”
- ❖ Realizar el diseño del sistema de control del gripper para el Brazo Robótico “UTN”.

ANTECEDENTES

El Gripper o efector final de un brazo robótico es un dispositivo que sirve para interactuar con el medio ambiente, existen diferentes tipos de acuerdo a la aplicación, a la forma y peso del objeto a levantar y a las condiciones de trabajo; los Grippers son fabricados en distintos materiales y varían en número de dedos, pero todos cumplen la función de sujetar y trasladar objetos de una posición a otra.

El tipo de Gripper ya sea mecánico, eléctrico, neumático, etc., es determinado por el actuador que posee su mecanismo.

Para el control, existen Grippers que utilizan sensores de fuerza tales como: sensores de calibre de tensión, sensores piezoeléctricos de fuerza, sensores ópticos y sensores piezorresistivos. Otros Grippers no utilizan sensores por lo tanto la fuerza se calcula en base a relaciones entre la posición, la velocidad y la fuerza aplicada.

JUSTIFICACIÓN

El uso de brazos robóticos es muy común en las industrias por la precisión con la que cuentan o para la ejecución de actividades que presentan un riesgo para los operadores.

El diseño y construcción de un brazo robótico articulado versátil, de fácil uso y adaptación, ayudará a comprender su funcionamiento y servirá de apoyo para futuros proyectos de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en donde ellos aprenden a desempeñar tareas relacionadas con las cadenas de producción y la logística empleada en un proceso.

La elaboración de este proyecto abarca varios conocimientos que se fueron adquiriendo a lo largo de la estancia en la Universidad, cabe recalcar que no influye, deteriora o contamina el medio ambiente y constará de dispositivos disponibles en el mercado local.

ALCANCE

La construcción de un brazo robot articulado, será realizada de tal manera que el usuario pueda asignar tareas para que el manipulador las ejecute. La información para poder realizar una tarea será administrada a través de un computador y estará constituida por coordenadas iniciales, en las que se encuentra el objeto o pieza que se desea mover, y las coordenadas finales, el lugar hacia el cual se desea mover la pieza de trabajo.

El brazo robótico estará diseñado para trabajar con una capacidad de carga máxima de un kilogramo y será capaz de alcanzar objetos a una distancia entre 70 a 100 cm desde su base. El movimiento de las articulaciones se lo realizará con la ayuda de motores que garanticen la precisión en los movimientos.

El gripper (pinza) o efector final del brazo robótico tendrá la función de sujetar objetos de máximo un kilogramo mediante la aproximación de sus extremos, se determinará el

mecanismo óptimo para el accionamiento así como sus materiales, además el diseño del gripper será elaborado de tal manera que sea desmontable e intercambiable con otro efector final.

LIMITACIONES

El Gripper no retiene el objeto en el aire por intervalos largos de tiempo ya que el sistema no cuenta con un mecanismo de auto bloqueo; en consecuencia, se genera un leve ruido y recalentamiento de parte del servomotor.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ELEMENTOS DE UN ROBOT

Los elementos de los cuales está compuesto un robot son: manipulador, controlador y dispositivos de entrada y salida de datos como se visualiza en la *Figura 1.1*.

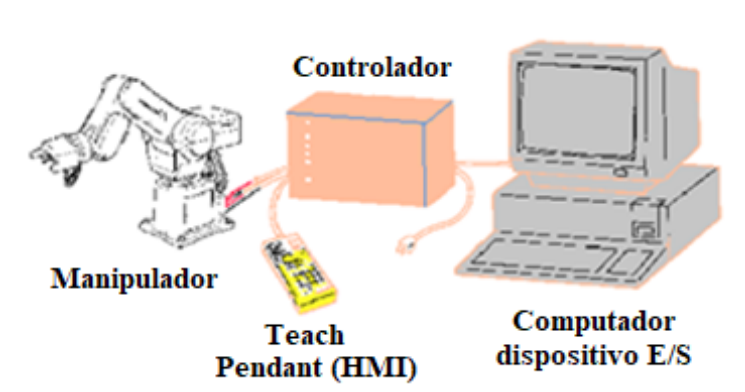


Figura 1.1 Elementos de un Robot Industrial

Fuente: (Quizhpi, 2014)

1.1.1 MANIPULADOR

Es el elemento más importante, formado por: estructura mecánica (eslabones unidos por articulaciones), sistemas de transmisión, sistema de accionamiento, sistema de sensores, sistema de control y efectores finales, es un “mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y es controlado directamente por un operador humano o mediante un dispositivo lógico.” (González Fdez, López Cruzado, & Cabero Esteban, 2015)

Se llaman brazos robóticos por la analogía que existe con el brazo humano como se aprecia en la *Figura 1.2*.

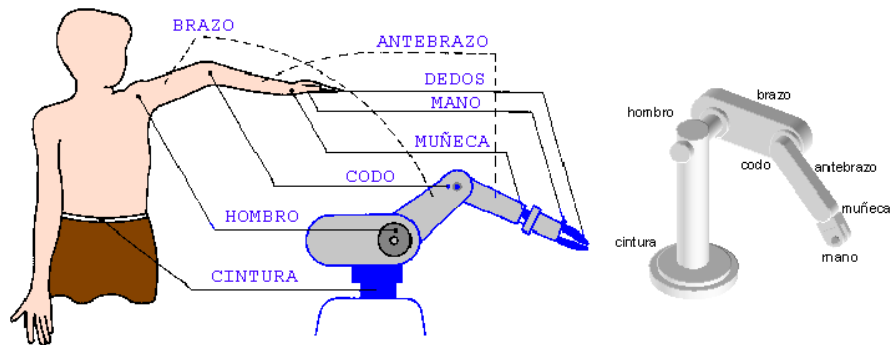


Figura 1.2 Semejanza de un brazo manipulador con la anatomía humana

Fuente: (González Fdez, López Cruzado, & Cabero Esteban, 2015)

1.1.2 CONTROLADOR

El controlador es el encargado de regular los movimientos, el procesamiento de la información, los cálculos y las acciones del manipulador (Quizhpi, 2014).

1.1.3 DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA DE DATOS

Son los dispositivos que permiten ingresar y leer datos del controlador, por ejemplo computadores y dispositivos de interfaz HMI.

1.1.4 TIPOS DE ROBOTS MANIPULADORES

Los robots manipuladores han sido diseñados debido a factores como espacio de trabajo y número de grados de libertad, en la actualidad existen 7 tipos según la configuración de su estructura mecánica. (González Fdez, López Cruzado, & Cabero Esteban, 2015)

1.1.4.1 ROBOT CARTESIANO

El posicionamiento en el espacio del robot cartesiano se realiza mediante 3 articulaciones lineales para los ejes X, Y y Z como se aprecia en la *Figura 1.3*. Cuentan con volúmenes de trabajo regulares.

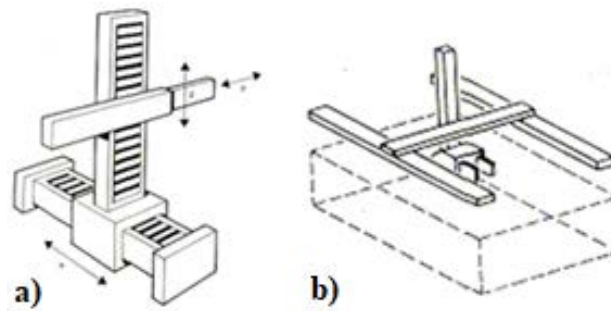


Figura 1.3 a) Configuración Cartesiana b) Volumen de trabajo

Fuente: (Quizhpi, 2014)

1.1.4.2 ROBOT CILÍNDRICO

En la *Figura 1.4* se observa la configuración del robot cilíndrico que posee una articulación rotacional sobre la base y dos articulaciones. “Su eje rotacional le brinda una mejor maniobrabilidad y velocidad que al robot cartesiano.” (Becerra & Castro, 2009)

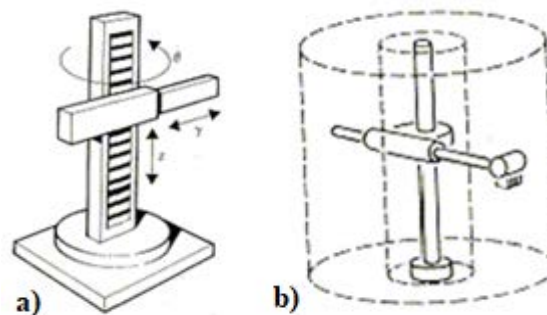


Figura 1.4 a) Configuración Cilíndrica b) Volumen de trabajo

Fuente: (Quizhpi, 2014)

1.1.4.3 ROBOT ESFÉRICO O POLAR

El robot esférico posee dos articulaciones rotacionales y una lineal. Sus articulaciones le proporcionan la capacidad de trabajar en una zona esférica como se aprecia en la *Figura 1.5*. (Quizhpi, 2014).

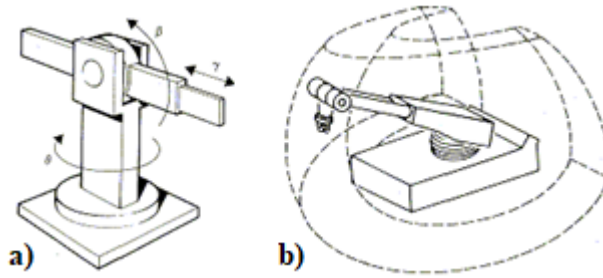


Figura 1.5 a) Configuración Polar b) Volumen de trabajo

Fuente: (Quizhpi, 2014)

1.1.4.4 ROBOT ANGULAR O ANTROPOMÓRFICO

El robot angular posee movimientos rotacionales y dos angulares. El volumen de trabajo es irregular como se aprecia en la *Figura 1.6*. (Quizhpi, 2014)

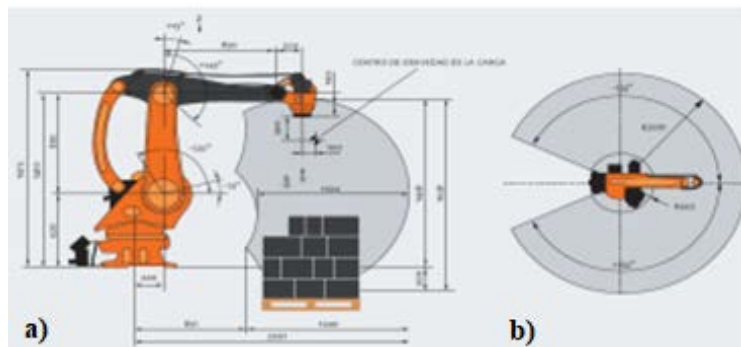


Figura 1.6 a) Configuración Angular b) Volumen de trabajo

Fuente: (Quizhpi, 2014)

1.1.4.5 ROBOT ARTICULADO

Se llama robot articulado al robot que posee alguna articulación rotatoria, son ideales para espacios de trabajo reducidos. En la *Figura 1.7* se aprecia un robot articulado comercial de la marca alemana KUKA.

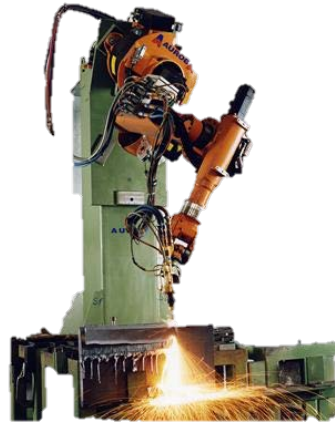


Figura 1.7 Robot articulado KUKA

Fuente: (KUKA Roboter GmbH, 2002)

1.1.4.6 ROBOT SCARA

El robot SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) posee 4 grados de libertad con posicionamiento horizontal y un rápido ciclo de trabajo como se observa en la *Figura 1.8*. (Quizhpi, 2014).

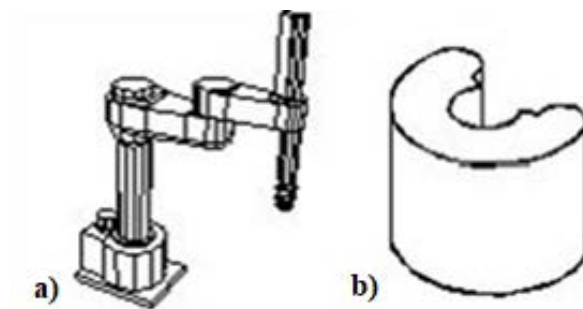


Figura 1.8 a) Robot Scara b) Volumen de trabajo

Fuente: (González Fdez, López Cruzado, & Cabero Esteban, 2015)

1.1.4.7 ROBOT PARALELO

El robot paralelo posee brazos con articulaciones prismáticas o rotacionales concurrentes como se aprecia en la *Figura 1.9*. (Quizhpi, 2014).

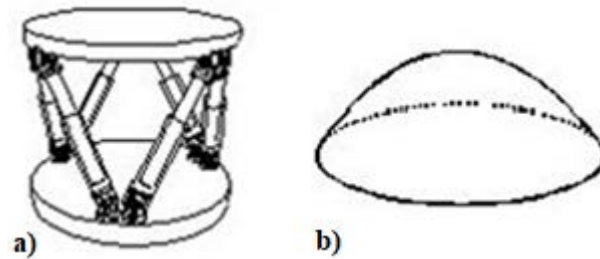


Figura 1.9 a) Robot Paralelo b) Volumen de trabajo

Fuente: (González Fdez, López Cruzado, & Cabero Esteban, 2015)

1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CONFIGURACIONES MORFOLÓGICAS DE LOS ROBOTS MANIPULADORES.

En la *Tabla 1.1* se encuentran las principales ventajas y desventajas de las configuraciones morfológicas de los robots manipuladores.

Tabla 1.1.

Ventajas y desventajas de las configuraciones morfológicas.

CONFIGURACIONES MORFOLÓGICAS

CONFIGURACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cartesiana	Ejecutan movimientos por trayectorias	Ejecuta únicamente movimientos lineales
Cilíndrica	Ejecutan movimientos en espacios de trabajos cilíndricos.	Traslada objetos únicamente en un área cilíndrica alrededor del robot.
Esférica	Ejecutan movimientos en diversas direcciones.	Control y funcionamiento complejo
Articulada	Ejecutan movimientos rotacionales o lineales. Excelentes para trabajos en espacios reducidos	Existe complejidad en el modelo cinemático El control de un movimiento lineal es más complicado.
Scara	Presenta mayor alcance con sus movimientos horizontales	El desplazamiento en el eje "Z" es limitado
Paralelo	Son ligeros, rígidos y soportan altas aceleraciones.	Espacio de trabajo muy pequeño, mayor número de eslabones y articulaciones.

1.3 PRINCIPALES PARÁMETROS DE LOS MANIPULADORES.

Los principales parámetros que caracterizan a un brazo robótico son: número de grados de libertad, espacio de trabajo, resolución, precisión, repetibilidad, capacidad de carga, velocidad y aceleración. (González Fdez, López Cruzado, & Cabero Esteban, 2015)

1.4 CARACTERÍSTICAS DEL BRAZO ROBÓTICO “UTN”

En la *Tabla 1.2* se detallan las características que debe cumplir un brazo robótico según el libro “Fundamentos de robótica” (Barrientos, 1997). Para elegir la morfología adecuada del brazo robótico “UTN” a cada característica se le valoró en una escala del 1 al 5; donde 5 corresponde a la característica más importante.

Tabla 1.2.

Características del brazo robótico “UTN”.

CARACTERÍSTICAS DEL BRAZO ROBÓTICO UTN

No.	Característica	Valoración
1	Capacidad de carga máxima (1kg)	5
2	Longitud: Entre 70 y 100cm	2.5
3	6 grados de libertad	5
4	Precisión	4
5	Repetibilidad	3
6	Fácil programabilidad	3

1.4.1 SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN MORFOLÓGICA

Mediante la *Tabla 1.3* se selecciona la morfología correcta del brazo robótico; se toman en cuenta las características mostradas en la *Tabla 1.2*.

Tabla 1.3.

Selección de la morfología del brazo robótico “UTN”.

SELECCIÓN DE LA MORFOLOGÍA DEL BRAZO ROBÓTICO UTN

No	Configuración morfológica	6 grados de libertad	Longitud: Entre 70 y 100cm	Capacidad de carga (1kg)	Precisión	Repetibilidad	Fácil programabilidad	Puntaje final.
1	Cartesiana		X	X	X	X	X	15
2	Articulada	X	X	X	X	X	X	22.5
3	Cilíndrica		X	X	X	X	X	17.5
4	Esférica		X	X	X	X		14.5
5	Scara		X	X	X	X		14.5
6	Paralelo	X		X	X	X		17

De acuerdo al puntaje obtenido en la *Tabla 1.3* se selecciona a **LA CONFIGURACIÓN ARTICULADA** porque cumple con todos los parámetros requeridos en el proyecto (*Tabla 1.2*). Los 6 grados de libertad del brazo robótico UTN están conformados por: base, hombro, codo, muñeca, giro-muñeca y gripper como se aprecia en la *Figura 1.10*, en la *Tabla 1.4* se muestra el rango de movimientos de cada grado de libertad.

Tabla 1.4.

Rango de movimientos del brazo robótico “UTN”.

No. Grado de libertad	Articulación	Rango de libertad
1	Base	Giro de 0° a 180°
2	Hombro	Giro de 0° a 90°
3	Codo	Giro de 0° a -110°
4, 5	Muñeca	De 0° a 180°, Rotación 300°
6	Gripper	Abrir/ Cerrar las mordazas de 0° a 160°

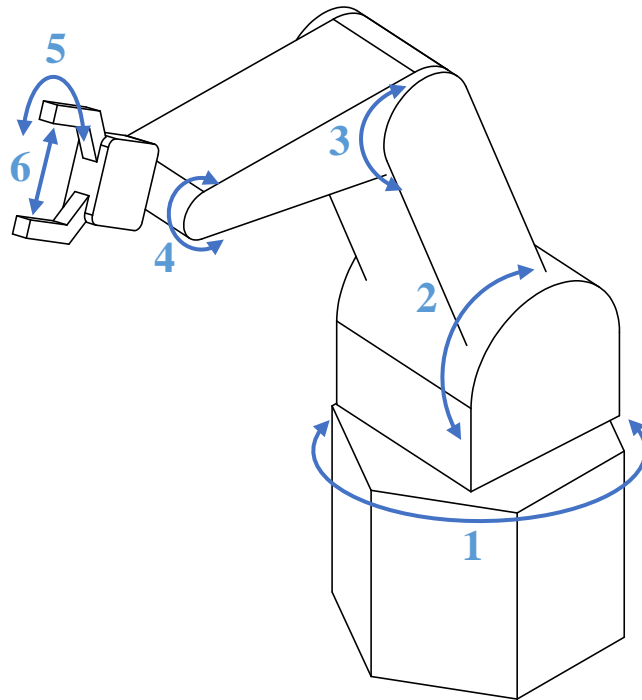


Figura 1.10 Grados de libertad del Brazo Robótico UTN

1.5 EFECTOR FINAL

Sirve para realizar cualquier actividad requerida, como efectores finales se utilizan: herramientas y pinzas que interactúan con otros elementos u objetos del espacio de trabajo.

1.5.1 HERRAMIENTAS

Se utilizan herramientas para que el robot realice diferentes tareas como: la pintura de pulverización, la soldadura por puntos y por arco, las operaciones de taladro como escariado, roscado, centrado, refrentado, entre otras. (González Fdez, López Cruzado, & Cabero Esteban, 2015)

1.5.2 TIPOS DE GRIPPERS (PINZAS)

Los grippers son utilizados para sujetar objetos y mantenerlos durante el ciclo de operación del robot, existen algunas distribuciones de gripper o métodos de agarre que varían el número de dedos en la pinza, como el de la *Figura 1.11* diseñado para encapsular objetos pequeños y livianos, fue fabricado en una impresora 3D.

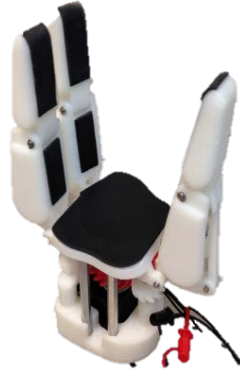


Figura 1.11 Gripper de 3 dedos

Fuente: (Tlegenov, Telegenov, & Shintemirov, 2015)

A continuación se ilustran diferentes tipos de gripper obtenidos del artículo “Gripper diseño y planteamiento” (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013).

1.5.2.1 MORDAZA SIMPLE MÓVIL DE IMPULSIÓN DIRECTA

En la *Figura 1.12* se muestra una configuración de gripper con dos mordazas simples engranadas entre sí de manera que el giro de una mueve a la otra.

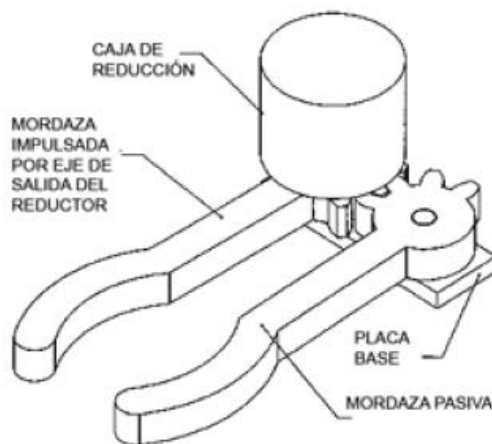


Figura 1.12 Mordaza simple móvil de impulsión directa

Fuente: (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013)

1.5.2.2 MORDAZA SIMPLE DE IMPULSIÓN DIRECTA A TRAVÉS DE REDUCTOR DE TORNILLO SIN FIN EN ÁNGULO RECTO.

Ésta configuración coloca al motor más alejado de las mordazas, el tornillo sin fin impulsa a una mordaza y ésta a la otra como se aprecia en la *Figura 1.13*.

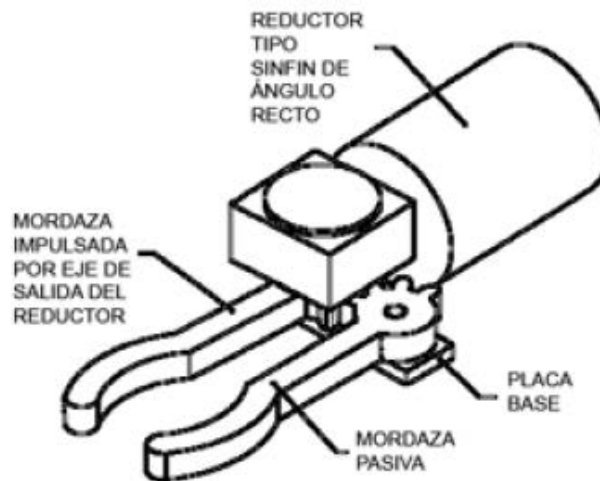


Figura 1.13 Mordaza simple de impulsión directa a través de reductor de tornillo sin fin en ángulo recto

Fuente: (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013)

1.5.2.3 PINZA MOVIDA POR PIÑÓN Y CREMALLERA

La configuración de la *Figura 1.14* utiliza un actuador lineal en la cremallera para transmitir el movimiento a los piñones de la pinza; de esta manera acerca y aleja a las dos mordazas al mismo tiempo.

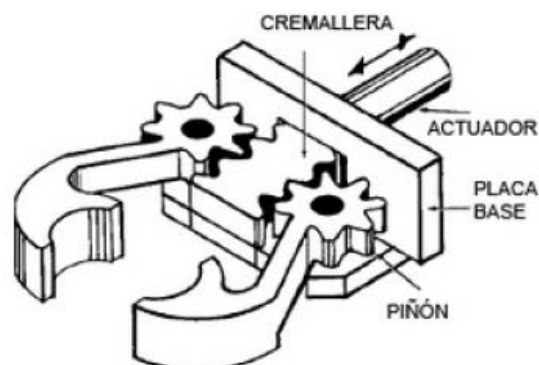


Figura 1.14 Pinza movida por piñón y cremallera

Fuente: (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013)

1.5.2.4 PINZA DE PALANCA RECIPROCA

La configuración de la *Figura 1.15* utiliza un actuador lineal y un mecanismo de 2 barras para acercar y alejar las mordazas al mismo tiempo. Es un mecanismo robusto y de dimensiones mayores a las demás configuraciones expuestas.

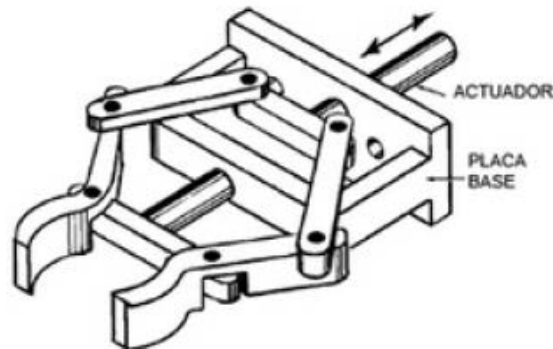


Figura 1.15 Pinza de palanca recíproca

Fuente: (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013)

1.5.2.5 PINZA DE ACCIONAMIENTO POR ACTUADOR LINEAL DIRECTO

Cuenta con un mecanismo simple que utiliza únicamente un actuador lineal vinculado a una mordaza para acercar y alejar a la otra como se observa en la *Figura 1.16*.

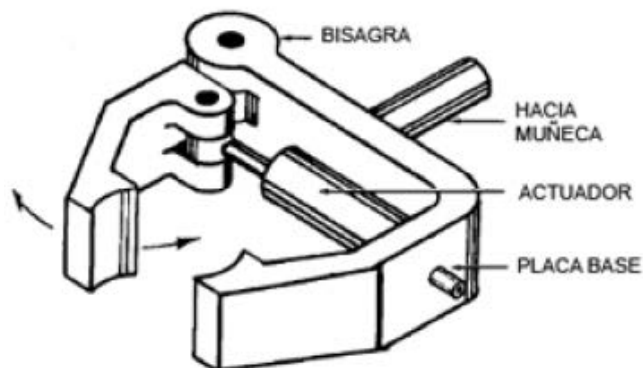


Figura 1.16 Pinza de accionamiento por actuador lineal directo

Fuente: (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013)

1.5.2.6 MORDAZAS PARALELAS SOBRE DESLIZAMIENTOS LINEALES

La configuración de la *Figura 1.17* utiliza un actuador rotacional con un vástago roscado para acercar y alejar una mordaza con respecto a la otra a través de un rodillo guía para mantener estables a las mordazas.

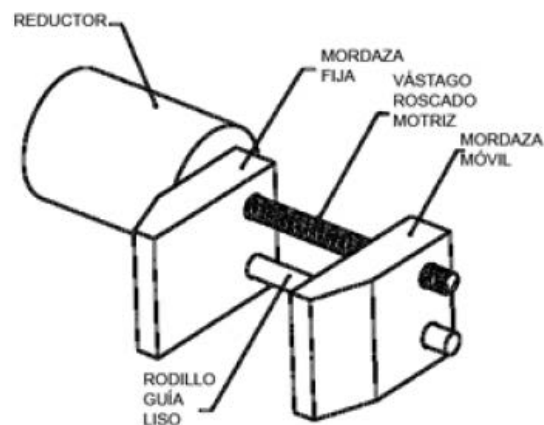


Figura 1.17 Mordazas paralelas sobre deslizamientos lineales

Fuente: (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013)

1.5.2.7 MORDAZAS PARALELAS USANDO VÍNCULOS DE 4 BARRAS Y TORNILLO SIN FIN

Utiliza un tornillo sin fin para transmitir el movimiento a las dos mordazas a la vez como se aprecia en la *Figura 1.18*, tiene un mecanismo de 4 barras formado por 2 vínculos pasivos y 2 vínculos impulsados.

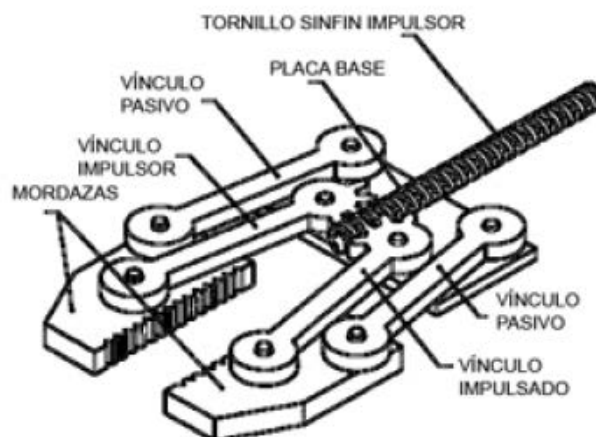


Figura 1.18 Mordazas paralelas usando vínculos de 4 barras y tornillo sin fin.

Fuente: (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013)

1.5.2.8 MORDAZAS PARALELAS USANDO VÍNCULOS DE 4 BARRAS

La configuración del mecanismo del gripper de la *Figura 1.19* utiliza un mecanismo de 4 barras (2 barras móviles y 2 pasivas) con un actuador rotacional vinculado directamente a una de las mordazas, ésta transmite el movimiento a la otra.

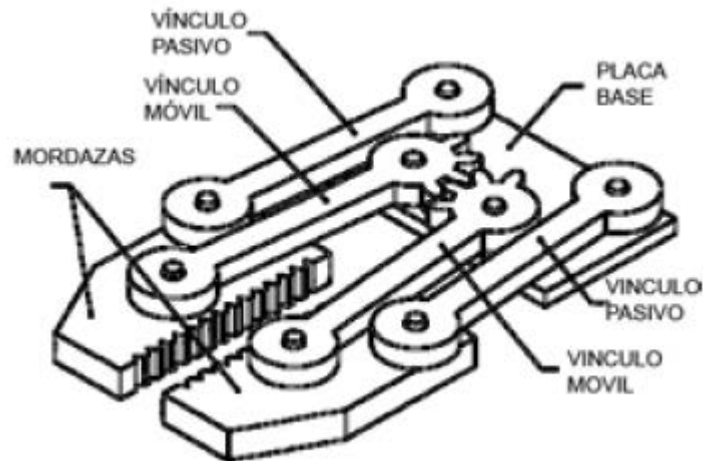


Figura 1.19 Mordazas paralelas usando vínculos de 4 barras

Fuente: (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013)

1.6 PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DEL GRIPPER

El diseño del gripper requiere tomar en cuenta algunas consideraciones que se definen a continuación. En la *Sección 2.2.1* se detalla cada parámetro y se elige la morfología que mejor se adapte al proyecto.

1.6.1 FORMA DEL OBJETO

La elección del tipo de gripper depende de la forma, dureza y superficie del objeto a levantar, si el objeto tiene 2 caras planas es conveniente un gripper de 2 mordazas paralelas, si el objeto es cilíndrico es conveniente un gripper de 3 mordazas. Al gripper de 2 mordazas se puede realizar un mecanizado para objetos cilíndricos.

1.6.2 PESO DEL OBJETO

La fuerza de agarre tiene que ser la adecuada para transportar con seguridad al objeto sin dañarlo. (Grupo Kopar, 2014)

1.6.3 ORIENTACIÓN Y DIMENSIONES

Diseñar el gripper de acuerdo a la orientación y la distancia del objeto a las mordazas. Las dimensiones de las mordazas deben ser de acuerdo al tamaño de los objetos a utilizar.

1.6.4 VELOCIDAD

Las altas velocidades y la aceleración/desaceleración son parámetros que afectan al diseño creando inestabilidad en el gripper. (Grupo Kopar, 2014)

1.6.5 LONGITUD DEL MECANIZADO

El mecanizado en las mordazas depende de la forma del objeto a levantar, los mecanizados largos inducen momentos más grandes en el gripper y afectan a su diseño. (Grupo Kopar, 2014)

1.6.6 CONFIGURACIÓN DE HERRAMIENTAS

“Si el gripper sujeta al objeto encapsulándolo, la fuerza de sujeción necesaria es menor que si se toma en 2 caras planas.” (Grupo Kopar, 2014) Un gripper de 3 dedos encapsula solo a objetos pequeños.

1.6.7 RETENCIÓN DEL OBJETO

Para retener el objeto en una posición de las mordazas se utilizan resortes, levas de bloqueo entre otros mecanismos al igual que por software, depende de la aplicación.

1.6.8 MEDIO AMBIENTE

En medios ambientes normales se selecciona cualquier material siempre y cuando se ajuste a las condiciones de trabajo (peso, resistencia, etc.). En medios ambientes hostiles, se debe especificar el chapado o utilizar materiales especiales para el manejo de objetos muy calientes o fríos.

1.6.9 FUNCIONAMIENTO SÍNCRONO




La mayoría de grippers accionan sus mordazas de manera sincronizada pero en situaciones especiales sería conveniente accionar cada mordaza de manera independiente. (Grupo Kopar, 2014)

1.7 ACTUADORES ELÉCTRICOS

Los actuadores eléctricos son dispositivos que convierten la energía en movimiento, en la *Tabla 1.5* se describen brevemente las ventajas y desventajas más importantes de los actuadores eléctricos, se excluyen a los motores AC por su peso elevado para el proyecto.

Tabla 1.5.

Ventajas y desventajas de los actuadores eléctricos.

ACTUADORES	VENTAJAS	DESVENTAJAS	IMAGEN
Servomotor	Altos pares. Gran precisión. Estabilidad de velocidad.	Servomotores de gran potencia necesitan drivers de alto valor económico.	
Motor DC	Alta potencia. Rpm regulable. Son robustos.	Requiere un circuito de control. Consumo de corriente elevado. Mala precisión.	
Motor paso a paso	Alta precisión. Consumo de corriente bajo. Utilizan controladores más sencillos.	Requiere un circuito de control. Potencias bajas. Velocidades bajas.	

Fuente: (Lovine, 2002)

1.7.1 CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DEL ACTUADOR

El actuador del gripper debe ser liviano, tener alto torque para sujetar masas de 1 Kg, buena precisión y baja velocidad para no dañar a los objetos a sostener. Las características requeridas en el actuador del Gripper se describen en la *Tabla 1.6*, se establece a 4 la valoración más importante a considerar.

Tabla 1.6.

Características requeridas en el actuador rotacional.

CARACTERÍSTICAS DEL ACTUADOR		
No.	Característica	Valoración
1	Alto torque	4
2	Baja velocidad	2
3	Bajo costo	3
4	Bajo consumo de corriente	3
5	Precisión	3
6	Fácil control de posición	2
7	Bajo peso	4

1.7.2 SELECCIÓN DEL ACTUADOR

En la *Tabla 1.7* se comparan los actuadores de la *Tabla 1.5* para seleccionar el de mejor prestaciones para el proyecto; se toman en cuenta las características previamente expuestas.

Tabla 1.7.

Selección del actuador para el gripper.

SELECCIÓN DEL ACTUADOR

No.	Motor	Alto Torque	Baja velocidad	Bajo costo	Bajo consumo de corriente	Precisión	Fácil control de posición	Bajo Peso	Puntaje final
1	Motor DC	X							4
2	M. paso a paso	X	X	X	X	X	X		17
3	Servomotor	X		X	X	X	X	X	19

De acuerdo al puntaje obtenido en la *Tabla 1.7* se seleccionó el **SERVOMOTOR** porque cumple con los parámetros más importantes requeridos en el proyecto y por su rango angular (180°) ideal para abrir y cerrar las mordazas.

1.8 SISTEMAS DE TRANSMICIÓN EXISTENTES

A continuación, se describen rápidamente los sistemas de transmisión por engranes rectos, helicoidales y tornillos sin fin, posteriormente se selecciona el más adecuado en el gripper (*Sección 2.2.2*).

1.8.1 ENGRANES RECTOS

Esta es la forma de engrane más simple y menos costosa; solo se engranan si sus ejes son paralelos. No tienen auto bloqueo.

Son mejor opción que los helicoidales cuando se necesita conectar y desconectar a los engranajes mientras están en movimiento

1.8.2 ENGRANES HELICOIDALES

Son más silenciosos, costosos y fuertes que los rectos pero son menos eficientes por la fricción deslizante y por tanto deben tener cojinetes (de empuje y radiales) para impedir que se separen del eje.

1.8.3 TORNILLO SIN FIN

Son utilizados en aplicaciones que requieren altas relaciones de velocidad y para evitar la “contramarcha” a la hora de mantener la carga sujeta al momento de quitar la potencia al motor.

1.9 MATERIALES

El tipo de material para la estructura del Gripper se elige de acuerdo a los disponibles en el mercado nacional, se toman en cuenta los parámetros de peso y resistencia.

En la *Tabla 1.8* se aprecia una comparativa de 6 posibles tipos de materiales a utilizar en el proyecto, la fila de maquinabilidad corresponde a la facilidad con la que son mecanizados, donde 1 corresponde a pésimo y 5 a excelente.

Tabla 1.8.

Propiedades de los Materiales

PROPIEDAD	UNIDAD	ALUMINIO	GRILON	PLA	HIERRO	ACERO	MADERA
		ASTM A1200	(PA6, PA66)			ASTM A36	
Densidad	Kg/m ³	2500 – 2900	1120	1010- 1210	7050 - 7250	7600 - 8100	700 - 800
Dureza [HV]	N/mm ²	60-150	136		90-310	130- 570	3-9
Módulo de elasticidad	N/mm ²	70000	2620	3000- 4000	120000	200000	-
Límite elástico	N/mm ²	25	104	32	551	250	-
Límite de tracción	N/mm ²	75	90	30	862	400	-

PROPIEDAD	UNIDAD	ALUMINIO	GRILON	PLA	HIERRO	ACERO	MADERA
		ASTM A1200	(PA6, PA66)			ASTM A36	
Resistencia a la fatiga	N/mm ²	21.6 - 157	-	-	-	-	-
Coefficiente de Poisson		0.3897	0.34	0.39	0.31	0.26	-
Precio	USD/Kg	1 - 2	3 - 3.3	2.8- 3.13	0.5 - 0.8	2 - 8.5	1 - 1.5
Maquinabilidad		4 - 5	4 - 5	5	4	2 - 3	5

Fuente: (Granta, 2005)

En la *Sección 2.2.3* se seleccionan los materiales adecuados para el desarrollo del proyecto, basados en la *Tabla 1.8*.

1.9.1 ÁCIDO POLILÁCTICO (PLÁSTICO PLA)

El PLA es un termoplástico que utilizan las impresoras 3D para fabricar piezas diseñadas en un software CAD, es biodegradable y puede ser procesado para convertirse en materiales compuestos. (AZOR, 2014). En la *Tabla 1.8* se describen las propiedades principales del PLA.

1.9.2 ALUMINIO

Es un material de menor resistencia en relación al acero, su peso lo hace ser un material muy utilizado en la robótica. Existen varias aleaciones de aluminio con otros elementos, esto ocasiona que adquiera características mecánicas muy superiores como la resistencia a la fatiga.

“Las características sobresalientes del aluminio y sus aleaciones son su relación resistencia - peso, su resistencia a la corrosión y su alta conductividad térmica y eléctrica.” (Budynas & Nisbett, 2008).

1.9.3 GRILÓN (Poliamida 6)

El Grilón es un polímero del tipo poliamida 6 que cuenta con muy buena resistencia superficial, tenacidad, resistencia al impacto, durabilidad al desgaste y a la fricción, se utiliza

para la construcción de engranajes, cremalleras, perfiles, excéntricos, piñones. Se recomienda especialmente para piezas mecánicas sujetas a desgaste, que trabajen durante un período de tiempo prolongado a temperaturas por encima de los 60° C. (Plastigen Plásticos de Ingeniería, 2015).

El grilón es un plástico suave y liviano, además, cuando recibe un acabado superficial bastante lizo se consiguen superficies con un rozamiento mínimo lo que ayuda a la hora de construir piezas en las que deben girar o deslizarse sobre otros elementos. (Barahona Quelal, 2011). En la *Tabla 1.8* se visualizan las propiedades más importantes del grilón.

1.10 SENSOR DE FUERZA

Para el control del gripper se utiliza el sensor de fuerza FlexiForce A201 de 111 N (0 a 11.3 Kg) que se muestra en la *Figura 1.20* porque presenta una respuesta aproximadamente lineal, cuenta con un circuito impreso flexible de fácil acoplamiento y un tiempo de respuesta muy bajo (5 us); dicho sensor se emplea para detectar el contacto entre las mordazas y el objeto a levantar, también, mide un cambio relativo en la fuerza o carga aplicada.

Existe otra presentación del sensor, de 4 N (0 A 0.4 Kg) misma que no abastece para el proyecto. Se utiliza el sensor de 111 N y se realiza un acondicionamiento de la señal en la *Sección 2.3.2*.



Figura 1.20 Sensor de fuerza FlexiForce A201
Fuente: (Tekscan, 2017)

En la *Tabla 1.9* se muestran las características principales del sensor.

Tabla 1.9.

Características del sensor de fuerza FlexiForce A201

CARACTERÍSTICAS	DETALLES
Requisitos de alimentación	5 VDC
Fuerza	111 N (0 a 11.3 kg)
Dimensiones	Área de detección de 9.53 mm de diámetro (0.375 in) 203 x 9.53 x 0.127 mm (8.00 x 0.55 x 0.005 in).
Linealidad (Error)	<± 3% (línea trazada desde 0 a 50% de carga)
Repetibilidad	<± 2.5% de la escala total (sensor acondicionado, el 80% de la fuerza aplicada completa)
Histéresis	<4.5% de la escala total (sensor acondicionado, el 80% de la fuerza aplicada completa)
Tiempo de respuesta	<5 microsegundos (tiempo necesario para que el sensor responda a una fuerza de entrada)
Temperatura de funcionamiento	-9 a +60 °C (+15 a 140 °F) Cambio de lectura de la fuerza por grado de cambio de temperatura = 0.36% / °C (± 0.2% / °C)

Fuente: (Tekscan, 2017)

En la *Figura 1.21* se visualiza el circuito de adecuación de la señal del sensor FlexiForce, extraído de la hoja de datos técnicos del mismo (Tekscan, 2017). (*Anexo 6*)

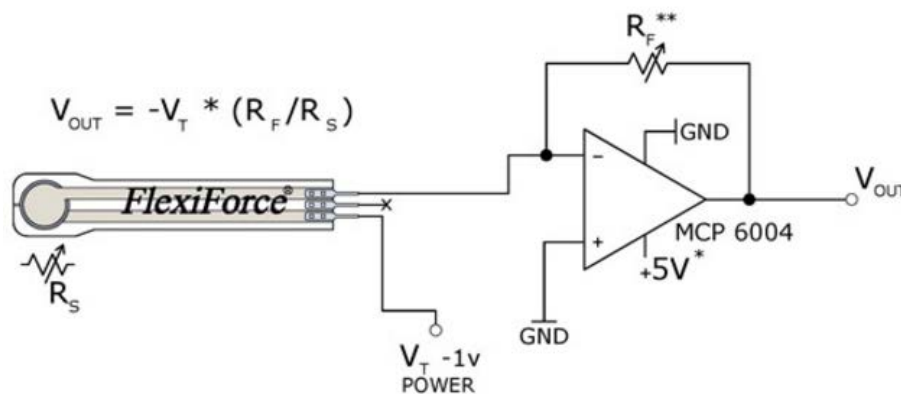


Figura 1.21 Circuito del sensor FlexiForce

Fuente: (Tekscan, 2017)

La *Figura 1.22* representa la característica principal del sensor FlexiForce, su respuesta aproximadamente lineal, cuando varía la resistencia y la conductancia del sensor al aplicarle distintos valores de fuerza [N].

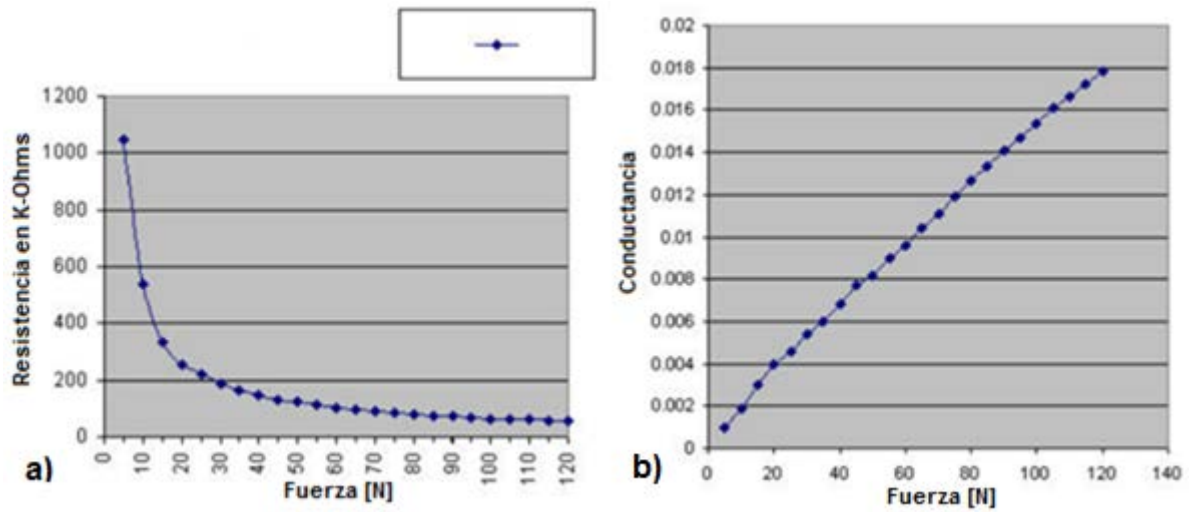


Figura 1.22 a) Resistencia vs Fuerza b) Conductancia vs Fuerza.

Fuente: (Tekscan, 2017)

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 GENERALIDADES DEL DISEÑO

A continuación, se describen brevemente las actividades realizadas para la elaboración del proyecto.

El desarrollo del proyecto empieza con la búsqueda y recopilación de información en revistas especializadas, artículos científicos, libros, avances tecnológicos, tesis, entre otros documentos relacionados con el tema.

Se investiga acerca de las características y el tipo de morfología de los robots manipuladores y Grippers existentes en el mercado para realizar el diseño del Brazo Robótico UTN.

En la *Tabla 1.3* se realiza una comparación de los tipos de robots manipuladores y se elige el de mejores prestaciones para el proyecto.

De la *Sección 1.5* se elige el diseño de Gripper que mejor se adapte a las necesidades del proyecto, basado en los parámetros de la *Sección 1.6*.

En un software CAD se diseñan y se ensamblan los elementos que conforman el Gripper encaminados a la manufactura de cada uno.

Se seleccionan los materiales a utilizar en la estructura y en los elementos que componen el sistema de transmisión del Gripper, para seleccionar el material hay que tener en cuenta algunos aspectos como las condiciones a las que va a estar expuesto el Gripper (ambiente químico y térmico), las condiciones mecánicas de operación, la disponibilidad en el mercado, el proceso de fabricación y montaje. La selección de materiales permite obtener mejores

resultados en el diseño del modelo ya que este se optimiza de acuerdo al peso y al tamaño de cada pieza y material.

Para validar el funcionamiento y las características del Gripper como distancias de los elementos y rozamientos entre sí, se realiza un prototipo en plástico mediante una impresora 3D. Los errores se corrigen en el diseño CAD.

Posteriormente se realiza el análisis de elementos finitos en el mecanismo para comprobar la resistencia a las cargas a las que se encuentra sometido, asegurando la fiabilidad del diseño. Después se manufactura el diseño final con los materiales elegidos.

A continuación, cada elemento del Gripper se ensambla y se une a las demás partes del brazo robótico “UTN” (base, hombro, antebrazo), cerciorándose que éstas se acoplen correctamente.

Se elige el sensor de fuerza y el actuador a utilizar de acuerdo a los parámetros de diseño como: torque, velocidad, precisión, etc., se realiza el acondicionamiento del sensor y se elabora el circuito electrónico para controlar el movimiento del actuador.

Mediante programación se establecen los rangos de movimiento de las mordazas del Gripper.

Se realizan las placas de circuito impreso (PCB) y la conexión de las partes electrónicas.

2.2 DISEÑO MECÁNICO

Se realizan los cálculos de esfuerzos en los elementos del gripper, se calculan los engranajes y el torque del actuador, se muestran las condiciones de borde del mecanismo para el análisis de elementos finitos.

2.2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

En la *Tabla 2.1* se detallan los parámetros de la *Sección 1.6*.

Tabla 2.1.

Parámetros de diseño del Gripper

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Forma del objeto	Objetos con 2 caras planas o cilíndricos no lisos
Peso del objeto	1000 g
Abertura máxima de las mordazas	6 cm (7.5 cm sin cauchos antideslizantes) Longitud de las mordazas: 6 cm
Velocidad	Dictada por el actuador
Longitud del mecanizado de las mordazas	36 mm de radio para sujetar botellas y otros objetos cilíndricos
Retención del objeto	Tiempo suficiente para trasladar el objeto de un lugar al otro, no tiene auto bloqueo para retener al objeto por intervalos largos de tiempo en el aire
Medio ambiente	Trabaja a temperatura ambiental
Funcionamiento síncrono	Si, las 2 mordazas se accionan al mismo tiempo
Cambio de herramienta	El Gripper es desmontable para poder cambiar de efector final al brazo robótico "UTN"

La morfología que mejor se adapta a los parámetros de la *Tabla 2.1* para la elaboración del proyecto es un mecanismo de 4 barras que mantienen verticalmente a 2 mordazas paralelas semejante al de la *Sección 1.5.2.8*, cuenta con un engrane conductor y 2 conducidos para elevar el torque de salida. El Gripper tiene un grado de libertad.

2.2.2 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El sistema de transmisión que se elegirá es de engranes rectos porque son menos costosos y más fáciles de manufacturar en relación a los helicoidales y al tornillo sin fin. Es importante

conocer que el Gripper no retiene al objeto por largos periodos de tiempo, no ejecuta sus movimientos a altas velocidades y tiene buena precisión.

2.2.3 SELECCIÓN DE MATERIALES

Después de comparar los materiales de la *Tabla 1.8* y de acuerdo a los aspectos expuestos anteriormente en la *Sección 2.1*, se elige el **Aluminio ASTM A1200 Temple H14** para el “cuerpo” y las diferentes piezas del Gripper por su bajo peso, precio y alta resistencia; los pasadores y pernos que unen la estructura son de **Hierro** por su buena resistencia y bajo precio; la transmisión por engranes rectos es fabricada en **Grilón** al ser un material liviano y con muy buenas propiedades de resistencia que se aprecian en la *Sección 1.9*. Se realiza un prototipo en plástico **PLA**. Cabe recalcar que los materiales utilizados están disponibles en el mercado local y son fáciles de mecanizar.

2.2.4 DISEÑO DEL GRIPPER

A continuación se realizan los cálculos de los elementos que conforman el Gripper.

LEY DE GRASHOF

La ley de Grashof establece una relación entre las dimensiones de las barras del mecanismo para que al menos una barra realice una revolución completa, generando una trayectoria circular. La ley dice: “para que exista un movimiento relativo de rotación continua entre dos elementos es necesario que la suma de las longitudes de los eslabones más corto y más largo no supere a la suma de las longitudes de los otros dos” (Cuadrilátero articulado, 2006).

Con los datos de la *Figura 2.1*, en la *Ecuación 1* se observa que se cumple la ley de Grashof.

Ecuación 1. Ley de Grashof

$$b_6 + b_1 \leq b_2 + b_3$$

$$23 + 40 \leq 40 + 23$$

SÍNTESIS GRÁFICA DEL MECANISMO DE 4 BARRAS

En la *Figura 2.1* se muestra la síntesis del mecanismo de 4 barras del gripper con los datos expuestos a continuación.

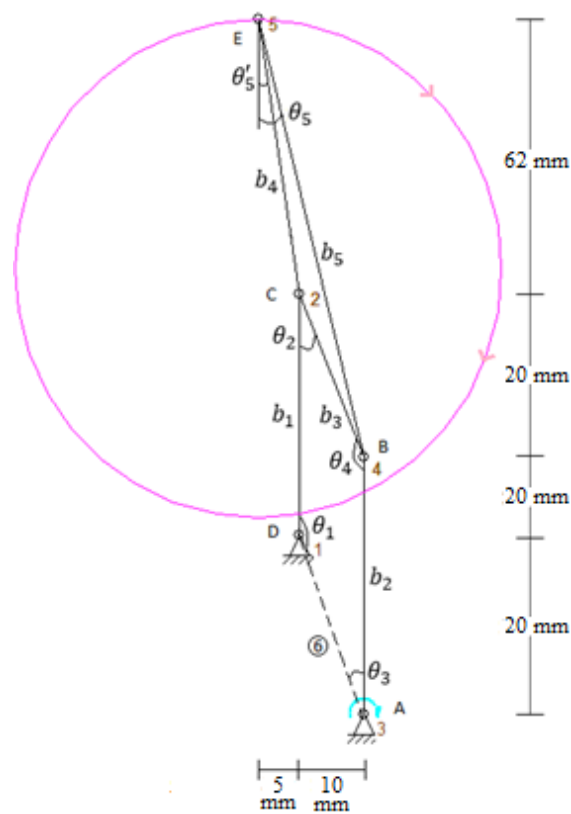


Figura 2.1. Síntesis del mecanismo de 4 barras

Datos del mecanismo:

Barras:	Ángulos:	Objeto a levantar:
$b_1 = 40\text{mm}$	$\theta_1 = 153.69^\circ$	$m = 1\text{kg}$
$b_2 = 40\text{mm}$	$\theta_2 = 26.31^\circ$	$g = 9.81\text{ m/s}^2$
$b_3 = 23\text{mm}$	$\theta_3 = 26.31^\circ$	$\mu = 0.61$

$$b_4 = 63\text{mm} \quad \theta_4 = 153.69^\circ$$

$$b_5 = 84\text{mm} \quad \theta_5 = 10.44^\circ$$

$$b_6 = 23\text{mm} \quad \theta'_5 = 4.76^\circ$$

En la *Figura 2.2* se muestran las fuerzas que actúan en el gripper, primero se calcula la Fuerza Normal, que es la fuerza que ejerce la superficie de la pinza sobre el objeto a sostener, con ayuda de peso del objeto y de la fuerza de rozamiento, se utilizó el valor del coeficiente de rozamiento de 0.61 entre el aluminio (mordaza) y el acero (masa de 1 kg).

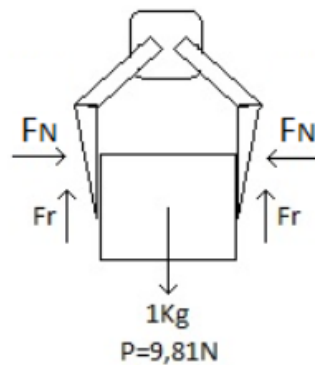


Figura 2.2. DCL de las mordazas al sostener un objeto

El cálculo de la fuerza normal se realiza mediante sumatoria de fuerzas en el eje Y de la

Figura 2.2:

$$\sum F_Y = 0$$

$$2F_r - P = 0$$

$$F_r = \frac{P}{2} = 4.903\text{N}$$

$$F_N = \frac{F_r}{\mu} = 8.038\text{N}$$

El análisis del último eslabón (el que entra en contacto con la superficie del objeto, eslabón b_4 de la *Figura 2.1*) tratado como viga para conocer las reacciones debido a la Fuerza Normal.

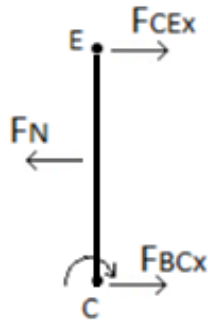


Figura 2.3. Eslabón CE tratado como viga

Las siguientes fuerzas se obtienen mediante sumatorias de momentos en el punto C y sumatoria de fuerzas en el eje X de la *Figura 2.3*.

$$\sum M_C = 0$$

$$-F_N * \frac{b_4}{2} + F_{CEX} * b_4 = 0$$

$$F_{CEX} = 4.02\text{N}$$

$$\sum F_X = 0$$

$$F_{BCX} + F_{CEX} - F_N = 0$$

$$F_{BCX} = 4.02\text{N}$$

Es importante conocer que se analiza el mecanismo de una sola mordaza del gripper la cual está formada entre los puntos BCE como se aprecia en la *Figura 2.1*. En la *Figura 2.4* se muestran las fuerzas que actúan en el punto E y se calculan sus valores.

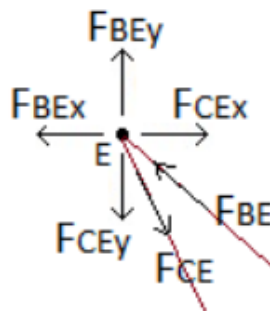


Figura 2.4. Fuerzas que actúan en el punto E

$$\sum F_X = 0$$

$$F_{CEx} - F_{BEEx} = 0$$

$$F_{CEx} - F_{BE} * \sin \theta_5 = 0$$

$$F_{BE} = 22.18\text{N}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$F_{BEy} - F_{CEy} = 0$$

$$F_{CEy} + F_{BE} * \cos \theta_5 = 0$$

$$F_{CEy} = 21.813\text{N}$$

Al realizar un análisis en cada punto de la *Figura 2.1* con las fuerzas que actúan en los ejes X y Y al igual que el punto E, se obtienen las siguientes fuerzas resultantes que atraviesan los diferentes puntos del mecanismo.

Fuerzas Resultantes:

$$F_{CE} = F_{BE} = F_{AD} = 22.18\text{N}$$

$$F_{CD} = F_{AB} = 5.54\text{N} \quad F_{BC} = 9.068\text{N}$$

TORQUE REQUERIDO

El cálculo del torque se realiza de manera estática porque el actuador permanece energizado y conserva el mismo torque al mantener sujeto al objeto contra las mordazas, por ende se considera al mecanismo como una estructura. La masa de los eslabones es considerablemente reducida, consecuentemente se asume las masas como despreciables.

En la *Figura 2.5* se observa el diagrama de cuerpo libre del gripper, actúa la fuerza normal producida por la masa de 1 Kg en el extremo de la mordaza (punto E de la *Figura 2.1*), la distancia del punto E al punto A es de 122 mm.

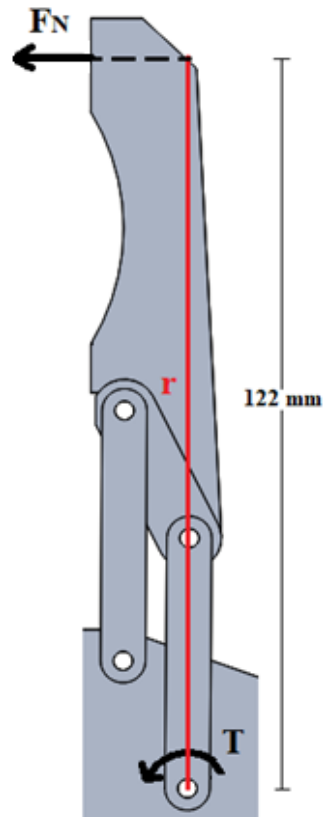


Figura 2.5 DCL para el cálculo del torque del mecanismo

El torque requerido para que el gripper sujete una masa de 1 Kg se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 2. Cálculo de Torque o Momento

$$T = r \times F_N$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

donde:

T = Torque o momento resultante [Nm].

F_N = Fuerza Normal que ejerce el objeto sobre las mordazas [N], para 1kg = 8.038 N

r = Posición de la fuerza normal con respecto al torque [m], $r = 0.122$ m

$$T = 0.122 \text{ m} \times 8.038 \text{ N}$$

$$T = 0.98 \text{ Nm} = 10 \text{ kg} - \text{cm}$$

El gripper contiene 2 mordazas, consecuentemente el torque es:

$$T = 1.96 \text{ Nm}$$

El resultado obtenido se multiplica por un factor de seguridad de 2 para brindarle mayor fiabilidad al diseño ante los rozamientos entre sus partes constitutivas.

$$T = 3.92 \text{ Nm} = 39.97 \text{ kg} - \text{cm}$$

El torque requerido para sujetar una masa de 1 kg es de 40 kg-cm.

SERVOMOTORES

En la *Tabla 2.2* se detallan las características de los servomotores disponibles en el mercado local que cuentan con el torque requerido para el proyecto.

Tabla 2.2.

Características principales de servomotores

Modelo	Torque kg-cm	Velocidad sec/60°	Peso g	Dimensiones (LxExA) mm	Material Engrane
HS-805BB	4.8V: 19.8 6.0V: 24.7	4.8V: 0.19 6.0V: 0.14	152	66*30*58	Nylon
HS-755HB	4.8V: 11.0 6.0V: 13.2	4.8V: 0.28 6.0V: 0.23	110	59*29*49.8	Nylon
CYS-S8218	6.0V: 38.0 7.2V: 40.0	6.0V: 0.20 7.2V: 0.18	164	59.5*29*55.2	Metal
X20-8.4-50 Rango 120°	6.0V: 38.0 8.4V: 45.0	6.0V: 0.20 7.2V: 0.15	78	40.5*21*42	Metal

En base a la *Tabla 2.2* se selecciona el Servomotor Analógico HS-805BB porque cuenta con torque, rango angular, peso y dimensiones necesarias para el mecanismo del Gripper.

El servomotor elegido entrega 20 kg-cm a 5 V, mediante la relación de transmisión de 2:1 producida por los engranes rectos se obtiene un torque de 40 kg-cm, que satisface al torque

requerido. En el Anexo 3 se muestran las especificaciones técnicas del servomotor (Servo City, 2017).

ESPESOR DEL DISEÑO

El cálculo del espesor se realiza con ayuda de la *Ecuación 3* en las barras del mecanismo porque soportan las cargas del diseño al estar sometidas a un esfuerzo cortante doble por los pasadores como se aprecia en la *Figura 2.6*.

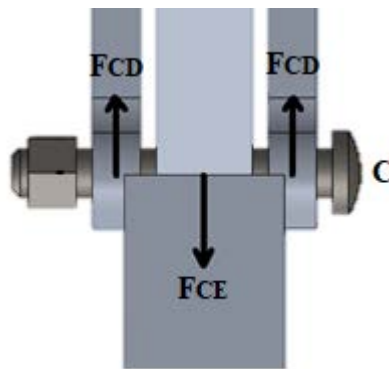


Figura 2.6. Esfuerzo cortante en el punto C

Ecuación 3. Teoría de falla

$$\frac{F_{CE}}{2A_p} = \frac{S_y}{Fs}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

donde:

F_{CE} = Fuerza que actúa en la mordaza [N]

A_p = Área de aplastamiento, existen 2 áreas una en cada barra.

S_y = Resistencia a la tracción del Aluminio ASTM A1200 [MPa]

Fs = Factor de seguridad

El valor de S_y para el aluminio escogido en el proyecto se aprecia en el *Anexo I*, es igual a 130 MPa. El factor de seguridad utilizado es 4 porque existe incertidumbre en las cargas aplicadas. (Budynas & Nisbett, 2008)

El área de aplastamiento se calcula de mediante la *Ecuación 4* con pasadores de 3 mm de diámetro.

Ecuación 4. Área de aplastamiento

$$A_p = \pi * r * e$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

donde:

A_p = área de aplastamiento

r = Radio de la sección circular [mm], $r = 1.5\text{mm}$

e = espesor

Se reemplaza la *Ecuación 4* en la *Ecuación 3* y al despejar el espesor se obtiene lo siguiente:

$$e = \frac{F * F_s}{2 * \pi * r * S_y}$$

$$e = 0.72 \text{ mm}$$

El espesor mínimo requerido para la construcción del gripper es de 0.72 mm debido a las fuerzas que actúan en el mecanismo. Es preciso aclarar que por construcción, estética y dimensiones proporcionales al Brazo Robótico “UTN” se sobredimensiona el material por medio del siguiente análisis:

Para el espesor de la plancha utilizado en las diferentes piezas del Gripper, se toma en cuenta la alta resistencia a la fluencia, el peso y resistencia a esfuerzos de compresión y tracción al doblar en 90° al material.

En la sección 2.2.3 se elige el Aluminio ASTM A1200 para la estructura del gripper, en el mercado local existe planchas de 2, 3 y 4 mm de espesor.

Se ejecutaron simulaciones (análisis de elementos finitos) en el software SolidWorks con las planchas de 2 y 3 mm, como se aprecia en la *Figura 2.7*, la de 2 mm produce mayores desplazamientos y deformaciones del material, la plancha de 3 mm presenta mejores resultados por ende es la escogida para las 6 barras y la base del mecanismo.

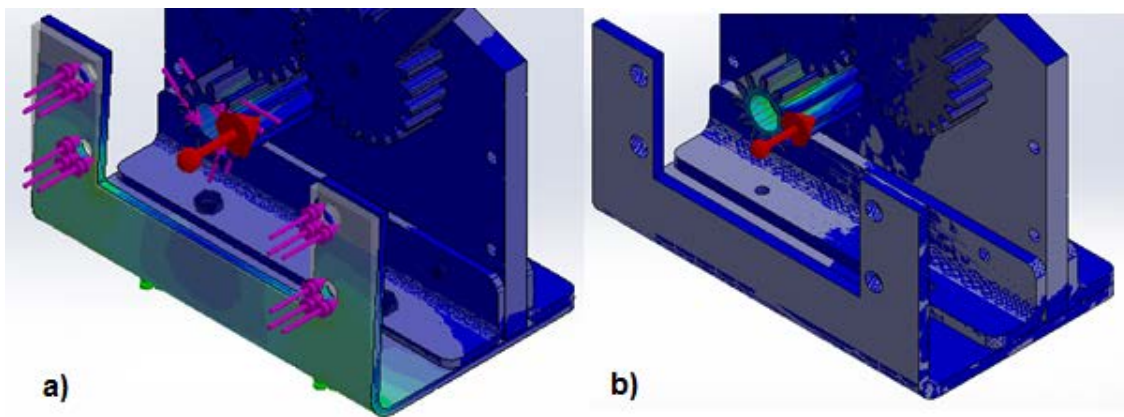


Figura 2.7 a) Deformación en la plancha de 2mm b) Deformación en la plancha de 3mm

El cuerpo y las mordazas del mecanismo son de mayor espesor (6 mm, 15 mm respectivamente) para sujetar y levantar objetos de semejante o mayor contextura que el mismo Gripper.

Los pasadores son de 3 mm de diámetro proporcionales al tamaño de la estructura, no se realizaron en menor diámetro por la dificultad de mecanizar y de conseguir en el mercado local.

El sistema de transmisión tiene mayor espesor por protección ante choques del gripper contra obstáculos o contra la mesa de trabajo.

ESFUERZOS

ESFUERZO CORTANTE DOBLE EN LOS PASADORES

En el esfuerzo cortante doble la carga interna es la mitad de la carga externa; se produce cuando la fuerza aplicada es resistida por 2 secciones transversales (Budynas & Nisbett, 2008).

En la *Figura 2.6* se encuentran las fuerzas que actúan en los pasadores para calcular el esfuerzo cortante doble al sostener un objeto de forma vertical. Donde $F_{CD} = 5.54$ N es la fuerza que pasa a través de las barras.

El área de la sección circular se calcula con pasadores de 3mm de diámetro, de la siguiente manera:

Ecuación 5. Cálculo del área de la sección circular del pasador

$$A = \frac{\pi}{4} * d^2 = 7.069 \text{ mm}^2$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

El esfuerzo cortante doble en los puntos C, B, A y D de la *Figura 2.1* es:

Ecuación 6. Cálculo de esfuerzo cortante doble

$$\tau = \frac{F_{CD}}{A} = 0.78 \text{ MPa}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

El resultado obtenido se justifica en la *Sección 3.2* mediante el análisis de elementos finitos.

ESFUERZO POR APLASTAMIENTO (O APOYO NOMINAL) EN LA MORDAZA DEL GRIPPER

El esfuerzo de aplastamiento se origina en el área de menor espesor de la mordaza que se aprecia en la *Figura 2.8*.

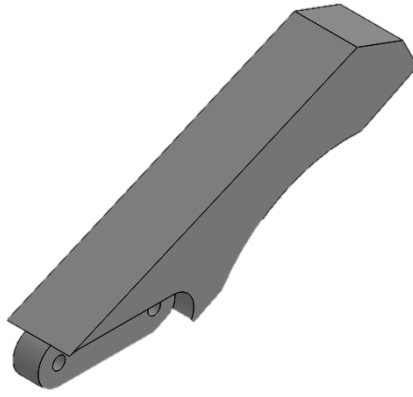


Figura 2.8. Mordaza del Gripper

El esfuerzo por aplastamiento producido por los pasadores en las mordazas del gripper se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 7. Cálculo del esfuerzo por aplastamiento

$$\sigma_c = \frac{F_{CE}}{A_a}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

donde:

F_{CE} = Fuerza en la mordaza = 22.18 N

$A_a = d * espesor$ Área de aplastamiento (sección transversal circular)

$espesor$ = Espesor mínimo de la pinza del gripper = 6 mm

d = Diámetro del pasador = 3 mm

$$\sigma_c = \frac{F_{CE}}{A_a} = 1.232 \text{ MPa}$$

El resultado obtenido se justifica en la *Sección 3.2* mediante el análisis de elementos finitos.

ESFUERZO POR APLASTAMIENTO (O APOYO NOMINAL) EN LAS BARRAS DEL GRIPPER

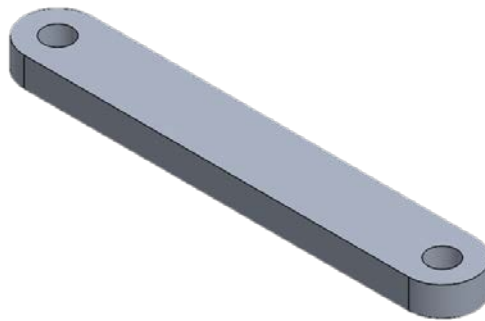


Figura 2.9. Barra del Gripper

El esfuerzo por aplastamiento producido por los pasadores en las barras (*Figura 2.9*) del gripper se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma_c = \frac{F_{CD}}{A_a}$$

donde:

$F_{CD} = 5.54$ N A través de la mordaza actúa una fuerza de 22.18 N, son 4 barras (superiores e inferiores) por cada barra actúa una fuerza de 5.54 N

$A_a = d * espesor$ Área de aplastamiento (sección transversal circular)

$espesor =$ Espesor de las barras del gripper = 3 mm

$d =$ Diámetro del pasador = 3 mm

$$\sigma_c = \frac{F}{A_a} = 0.62 \text{ MPa}$$

El resultado obtenido se justifica en la *Sección 3.2* mediante el análisis de elementos finitos.

CÁLCULO DE ENGRANES

Los cálculos para el diseño de los engranes en milímetros se realizan a partir del diámetro de paso del engrane conducido y el número de dientes deseados para los engranes conductor y

conducido. A continuación se presentan las ecuaciones (Mott, 2008) para calcular los engranes con la nomenclatura de la *Figura 2.10*.

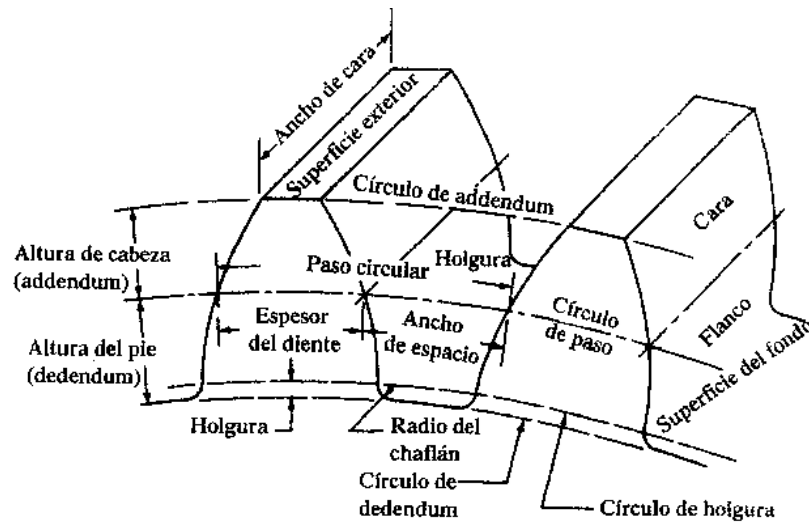


Figura 2.10. Características de los engranes rectos

Fuente: (Mott, 2008)

Datos:

Engrane conducido:

$D_p = 30 \text{ mm}$, $Z = 22$, Ángulo de presión = 20°

Engrane conductor:

$Z = 11$, Ángulo de presión = 20°

Ecuación 8. Cálculo del diámetro exterior.

$$D_{ex} = D_p + 2(h_c)$$

donde:

D_{ex} = Diámetro exterior

D_p = Diámetro de paso

hc = Altura de cabeza

Ecuación 9. Cálculo del diámetro interior.

$$Din = Dp - 2(hp)$$

donde:

Din = Diámetro interior

hp = Altura de pie

Ecuación 10. Cálculo del diámetro de paso.

$$Dp = \frac{Z}{Pd}$$

donde:

Z = Número de dientes

Pd = Paso diametral

Ecuación 11. Cálculo del módulo.

$$m = \frac{Dp}{Z}$$

Ecuación 12. Cálculo de la altura de cabeza.

$$hc = m$$

Ecuación 13. Cálculo del paso circular.

$$Pc = \pi * \frac{Dp}{Z}$$

Ecuación 14. Cálculo de la altura de pie.

$$hp = 1,25(m)$$

Aplicando los datos en las Ecuaciones descritas, se obtienen los siguientes resultados que sirven para el diseño de los engranes en el software SolidWorks, posteriormente se construyen prototipos en una impresora 3D y a partir de los moldes impresos se mecanizan los engranes con el material seleccionado en la sección 2.2.3. Los resultados de las ecuaciones son los siguientes:

Engrane Conducido:

Dex = 33 mm, Dp = 30 mm, Din = 27 mm, Z = 22, Pc = 4.28 mm, m = 1.36, Ancho de cara = 10 mm.

Engrane Conductor:

Dex = 17.7273 mm, Dp = 15 mm, Din = 12 mm, Z = 11, Pc = 4.28 mm, m = 1.36, Ancho de cara = 26 mm.

RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

Para el cálculo de la relación de transmisión se requiere el torque máximo entregado por el actuador (20 kg-cm) y el número de dientes de los engranes conductor y conducido. La relación de transmisión se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 15. Cálculo de la relación de transmisión

$$R_T = \frac{Z_{conductor}}{Z_{conducido}}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$R_T = \frac{11}{22} = 0.5$$

Entonces la razón de cambio del engrane es de 2 a 1 (2:1), es decir que el engrane conducido gira 0.5 vueltas (media vuelta) cada vez que el engrane conductor gira una vuelta completa; el engrane conductor debe girar dos vueltas para que el engrane conducido gire una

vuelta. En el gripper el engrane conductor no gira más de 180 grados por el servomotor, el engrane conducido gira un cuarto de vuelta (90 grados) lo suficiente para abrir y cerrar las mordazas.

La relación de transmisión de velocidad se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 16. Cálculo de la relación de transmisión de velocidad

$$N_{conducido} = \frac{Z_{conductor} * N_{conductor}}{Z_{conducido}}$$

Donde $N_{conductor} = 0.19 \frac{sec}{60^\circ} = 9.63 \frac{rad}{s} = 92 \text{ rpm}$ es la velocidad de giro en rpm del servomotor elegido.

$$N_{conducido} = 46 \text{ rpm} = 0.09 \frac{sec}{60^\circ}$$

Al ser la configuración de los engranes de pequeño a grande se reduce la velocidad de salida y se gana torque en una relación de 2 a 1 como se vio anteriormente; es decir en el engrane conducido se duplica el torque de entrada del engrane conductor. A continuación el cálculo del torque de salida:

$$T_{salida} = 2 * T_{servomotor}$$

$$T_{salida} = 40 \text{ kg} - \text{cm}$$

Se obtiene un torque máximo de 40 kg-cm a la salida del engrane conducido para mover todo el sistema del Gripper y sujetar un objeto de 1kg de masa.

ESFUERZO DE CONTACTO O RESISTENCIA A LA PICADURA

El valor del esfuerzo de contacto en los dientes de los engranes según la norma AGMA (American Gear Manufacturers Association) se calcula de la siguiente manera (Regalado González, 2010):

Ecuación 17. Cálculo del esfuerzo de contacto norma AGMA

$$\sigma_C = Z_E * \sqrt{F_t * K_o * K_v * K_s * \frac{K_H}{d_{w1} * b} * \frac{Z_R}{Z_l}}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

donde:

σ_C = Valor del esfuerzo de contacto [N/mm²]

Z_E = Coeficiente elástico [(N/mm²)^{0.5}]

F_t = Componente tangencial de la fuerza aplicada [N]

K_o = Factor de sobrecarga

K_v = Factor dinámico

K_s = Factor de tamaño

K_H = Factor de distribución de carga

Z_R = Factor del estado de la superficie para el fallo debido al picado superficial

d_{w1} = Diámetro de paso del engrane conductor [mm] = 15 mm

b = Ancho de cara del elemento más angosto [mm] = 10 mm

Z_l = Factor geométrico de resistencia a la picadura superficial

Cálculo del coeficiente elástico Z_E

El coeficiente elástico se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 18. Cálculo del coeficiente elástico del grilón

$$Z_E = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[\left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} \right) + \left(\frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right) \right]}}$$

donde:

Z_E = Coeficiente de elasticidad $[[(\text{N}/\text{mm}^2)^{0.5}]$

ν_1 y ν_2 = Coeficientes de Poisson del engrane conductor y conducido respectivamente

E_1 y E_2 = Módulos de elasticidad del engrane conductor y conducido respectivamente

En la *Tabla 1.9* se aprecian los valores correspondientes al coeficiente de Poisson (0.34) y al módulo de elasticidad del grilón (2620 MPa), reemplazando en la *Ecuación 18* se obtiene el siguiente resultado:

$$Z_E = 6.87 \left[\text{N}/\text{mm}^2 \right]^{0.5}$$

Cálculo de la fuerza tangencial F_t y la fuerza radial F_r

En la *Figura 2.11* se muestra el tren de engranajes del proyecto compuesto de un engrane conductor y 2 engranes conducidos, en la *Figura 2.12* se visualiza el diagrama de cuerpo libre del engrane conducido b.

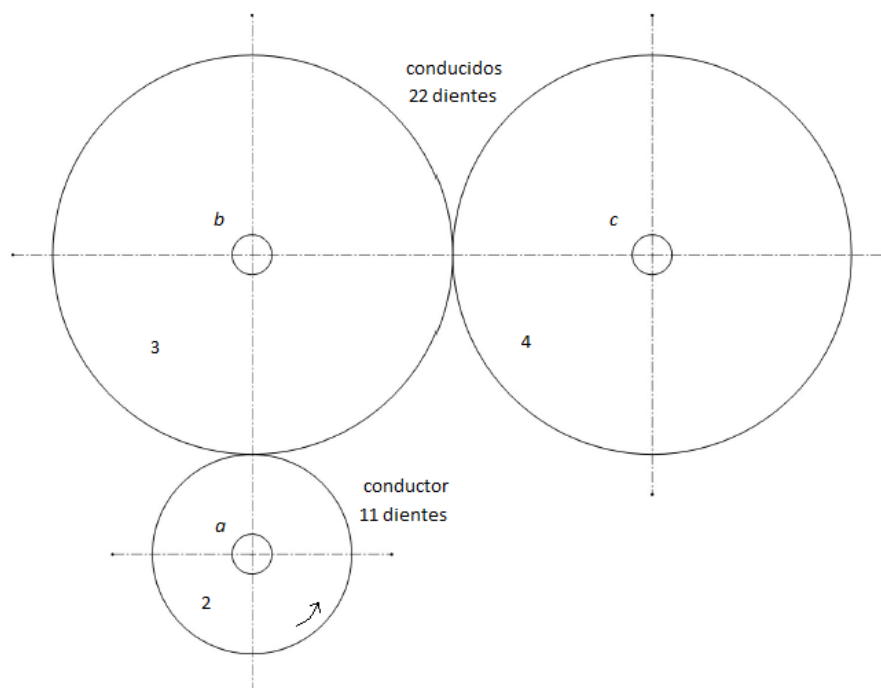


Figura 2.11 Tren de engranajes.

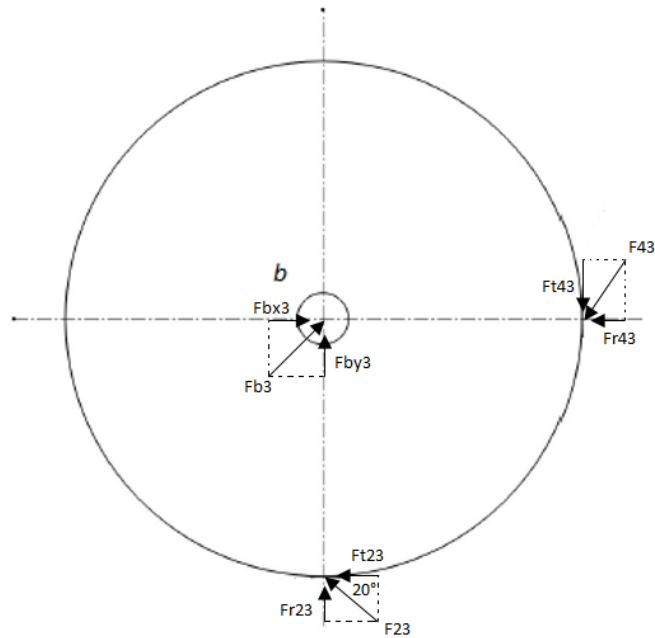


Figura 2.12 DCL del engrane conducido b

La fuerza tangencial se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 19. Cálculo de la fuerza tangencial

$$F_t = \frac{T}{r}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

donde:

F_t = Fuerza tangencial [N]

T = Torque que desarrolla el engrane conductor [1.96 N/m proveniente del servomotor]

r = Radio de paso del engrane ($D_p/2$) [m] = 0.015 m

El engrane 3 es un engrane libre, es decir no transmite potencia y la fuerza tangencial y radial son las mismas que el engrane conductor.

Los valores se obtienen en la sección de cálculo de engranes y relación de transmisión, reemplazando en la Ecuación 19 se consigue lo siguiente:

$$F_{t23} = F_{t43} = 130.66 \text{ N}$$

La fuerza radial es la componente en Y de la fuerza tangencial y no transmite potencia (Budynas & Nisbett, 2008), se calcula de la siguiente forma:

$$F_{r23} = F_{r43} = F_{t23} * \tan 20^\circ = 47.55 \text{ N}$$

La fuerza F resultante es:

$$F_{23} = F_{43} = \frac{F_{t23}}{\cos 20^\circ} = 139.04 \text{ N}$$

Las reacciones del pasador del engrane conductor b en las direcciones X y Y son:

$$F_{bx3} = -(F_{t23} + F_{r43}) = -(-130.66 + 47.55) = 83.11 \text{ N}$$

$$F_{by3} = -(F_{r43} + F_{t23}) = -(47.55 - 130.66) = 83.11 \text{ N}$$

La reacción del pasador resultante es:

$$F_{b3} = \sqrt{(83.11)^2 + (83.11)^2} = 117.54 \text{ N}$$

Cálculo del factor de sobrecarga K_o

El valor del factor de sobrecarga se obtiene de acuerdo a la *Tabla 2.3*, se selecciona el valor de 1 ya que el sistema es accionado uniformemente por el servomotor y existe un choque uniforme en la estructura del gripper.

Tabla 2.3.

Factor de sobrecarga

Fuente de energía	Carga en la máquina impulsada		
	Uniforme	Choque moderado	Choque fuerte
Uniforme	1.00	1.25	1.75 o superior
Choque ligero	1.25	1.5	2.00 o superior
Choque mediano	1.50	1.75	2.25 o superior

Fuente: (Regalado González, 2010)

Cálculo del factor dinámico K_v

El factor dinámico es mayor a 1, aparece debido a las vibraciones que existen en los dientes de los engranes. Se estableció $K_v = 1$ porque el sistema de transmisión del gripper no se encuentra sometido a grandes vibraciones.

Cálculo del factor de tamaño K_s

Para encontrar el valor del factor de tamaño no existe un método estándar de cálculo, depende del material, de la forma y tamaño de los dientes, ancho de cara etc. Se elige $K_s = 1$.

Cálculo del factor de distribución de carga K_H

El factor de distribución se obtiene de acuerdo a la *Tabla 2.4*, se selecciona el valor de 1.3 ya que el ancho de cara de los engranes del proyecto son menores a 50 mm.

Tabla 2.4.

Factor de distribución de carga

Condición de soporte	Ancho de cara (mm)			
	≤50	150	225	≥400
Montaje exacto, engranajes de precisión, bajas holguras de cojinetes, deflexiones mínimas	1.30	1.40	1.50	1.80
Montajes menos rígidos, contacto a todo lo ancho de cara, engranajes menos precisos	1.60	1.70	1.80	2.0
Exactitud y montaje de modo que exista contacto incompleto con la cara				>2.0

Fuente: (Regalado González, 2010)

Cálculo del factor de condición superficial Z_R

El factor de condición superficial se obtiene mediante la *Tabla 2.5*, se selecciona el valor de 1.25 por defectos de acabado en la superficie de los engranes.

Tabla 2.5.

Factor de condición superficial.

Condición Superficial	Z_R
Defectos de acabados en la superficie	1.25
Esfuerzos residuales	1.25
Combinación de ambas	1.5

Fuente: (Regalado González, 2010)

Cálculo del factor geométrico Z_I

El factor geométrico depende de la geometría de los dientes, con un ángulo de presión de 20° se establece $Z_I = 0.2$

Reemplazando los valores en la *Ecuación 17* se obtiene el siguiente resultado de esfuerzo de contacto de los engranes:

$$\sigma_C = 6.87 * \sqrt{130.66 * 1 * 1 * 1 * \frac{1.3}{15 * 10} * \frac{1.25}{0.2}} = 18.27 \text{ MPa}$$

ESFUERZO DE FLEXIÓN

El esfuerzo de flexión del engrane conductor y conducido se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 20. Cálculo del esfuerzo de flexión norma AGMA

$$\sigma = F_t * K_o * K_v * K_s * \frac{1}{b * m_t} * \frac{K_H * K_B}{Y_j}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

donde:

 σ = Esfuerzo de flexión [MPa] m_t = Módulo métrico transversal = 1.36

K_B = Factor de espesor del aro

Y_J = Factor geométrico de resistencia a la flexión

Cálculo de espesor del aro K_B

El espesor del aro se obtiene en función de la relación siguiente:

Ecuación 21. Cálculo del espesor del aro

$$m_B = \frac{t_R}{h_t}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

donde:

m_B = Relación de apoyo

t_R = Espesor del aro debajo del diente [pulg]

h_t = Altura del diente [pulg]

Engrane conductor:

$$t_R = 4.8 \text{ mm} = 0.19 \text{ pulg}$$

$$h_t = 3,31 \text{ mm} = 0,13 \text{ pulg}$$

$$m_B = 1.46$$

Engranes conducidos:

$$t_R = 11.8 \text{ mm} = 0.46 \text{ pulg}$$

$$h_t = 3,31 \text{ mm} = 0,13 \text{ pulg}$$

$$m_B = 3.54$$

En la *Figura 2.13* se aprecia que para valores de m_B mayores a 1.2 corresponde un valor de $K_B = 1$ para el engrane conductor y para el conducido.

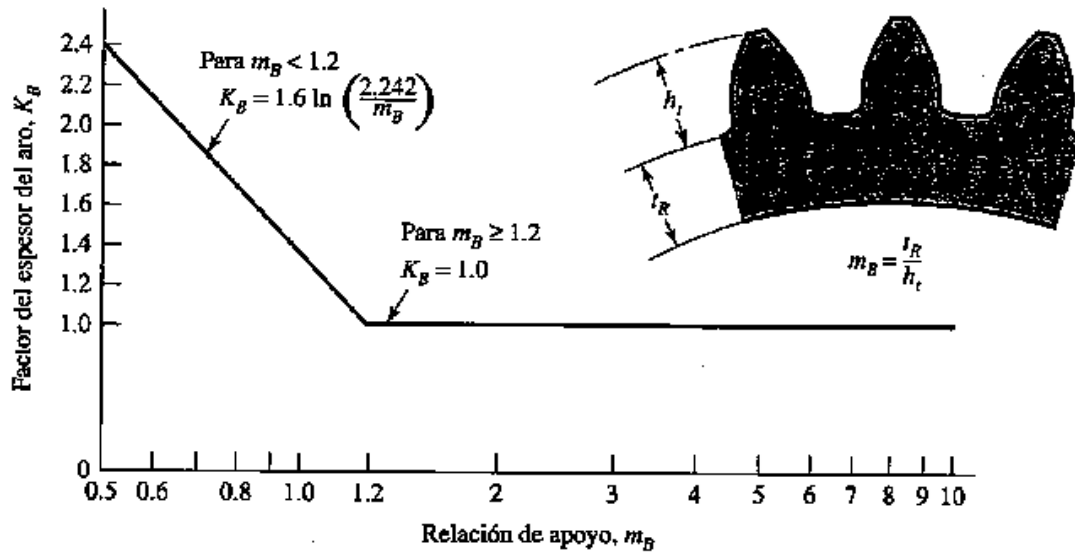


Figura 2.13 Factor de espesor del aro

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

Cálculo del factor geométrico de resistencia a la flexión Y_J

En el *Anexo 2* se muestra la gráfica para obtener los factores geométricos para engranes rectos con 20° de ángulo de presión. Para el engrane conductor $Y_J = 0.28$, para el engrane conducido $Y_J = 0.31$.

Reemplazando los valores en la *Ecuación 20* se obtiene el siguiente resultado de esfuerzo de flexión para el engrane conductor:

$$\sigma = 130.66 * 1 * 1 * 1 * \frac{1}{26 * 1.36} * \frac{1.3 * 1}{0.28} = 17.16 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de flexión para el engrane conducido:

$$\sigma = 130.66 * 1 * 1 * 1 * \frac{1}{10 * 1.36} * \frac{1.3 * 1}{0.31} = 40.29 \text{ MPa}$$

2.2.5 ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

El software SolidWorks ejecuta un análisis minucioso en cada pieza del diseño tomando en cuenta las fuerzas que actúan en él, y entrega algunos resultados tales como: los esfuerzos de Von Mises, los desplazamientos del diseño, el factor de seguridad de cada pieza, entre otros.

2.2.5.1 CONDICIONES DE BORDE DEL DISEÑO

Para realizar las condiciones de borde hay que aplicar el material elegido a cada pieza, establecer las sujeciones y las fuerzas a las que está sometido el diseño.

En la *Figura 2.14* de color violeta se visualizan las fuerzas que actúan en el Gripper.

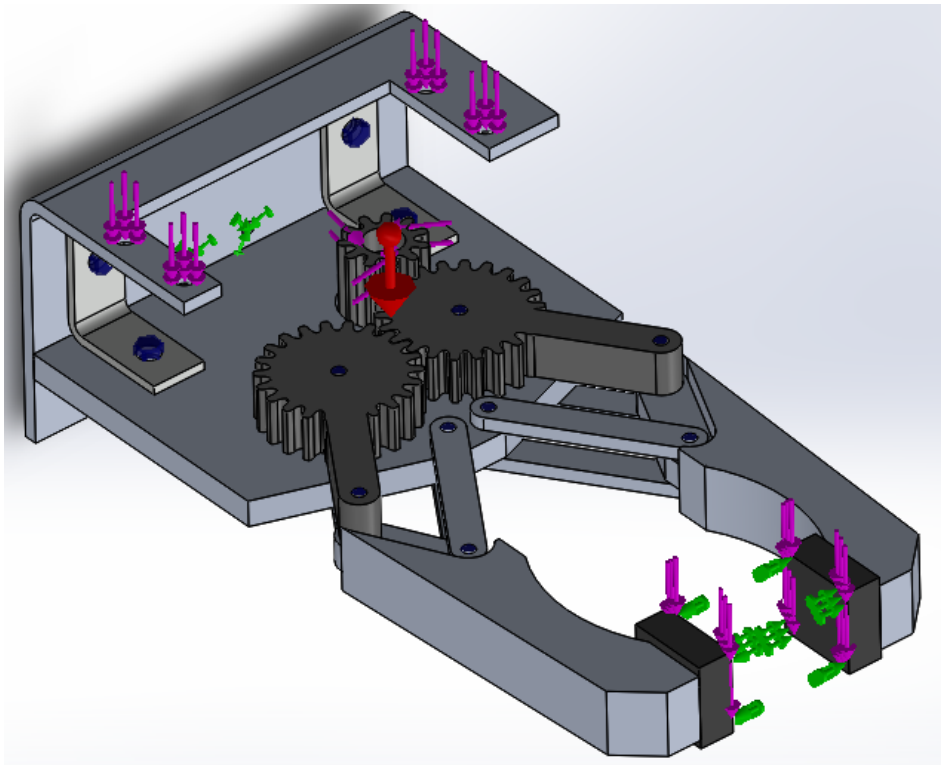


Figura 2.14. Condiciones de Borde del Gripper

En la *Figura 2.15* de color verde se aprecian las sujeciones o geometría fija del sistema, el Gripper irá sujeto mediante pernos a un acople en la muñeca del brazo robótico “UTN”. De color azul se visualizan las conexiones por pasadores y por pernos. De color rojo se representa la gravedad.

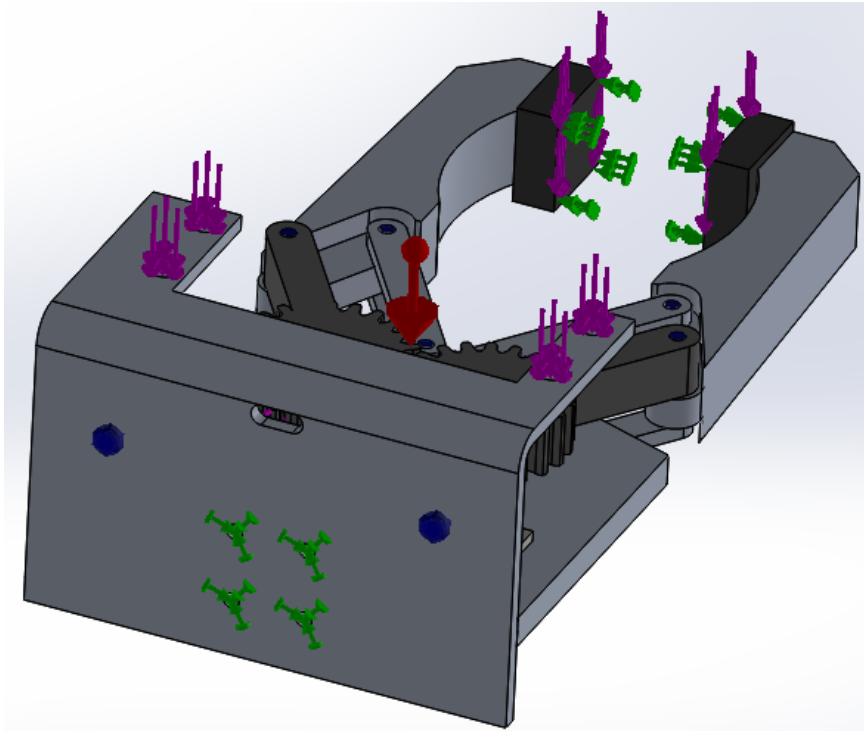


Figura 2.15. Sujeciones del diseño del Gripper

En la *Figura 2.16* se visualiza el torque proveniente del actuador (2Nm) en el engrane conductor del mecanismo.

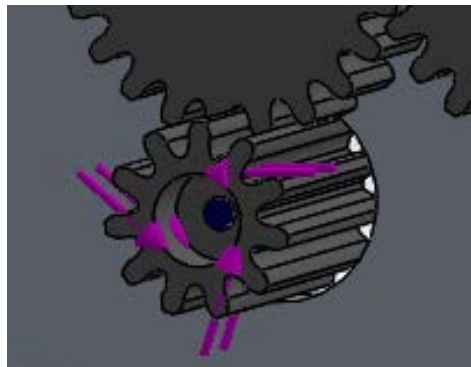


Figura 2.16. Momento del actuador

En la *Figura 2.17* se visualizan las fuerzas verticales que actúan en las mordazas al retener un objeto de 1 Kg (10N) en el lugar en que las mismas retienen al objeto. Se fija la zona de contacto para lograr el equilibrio del sistema.

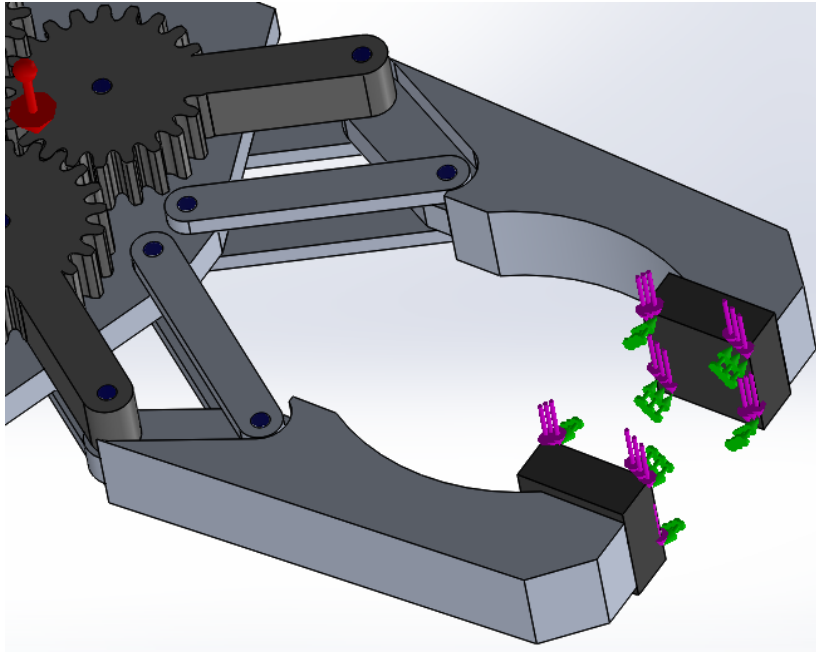


Figura 2.17. Fuerzas que actúan en las mordazas

En la *Figura 2.18* se visualizan las fuerzas del peso del actuador (1.5 N) sobre la base del Gripper.

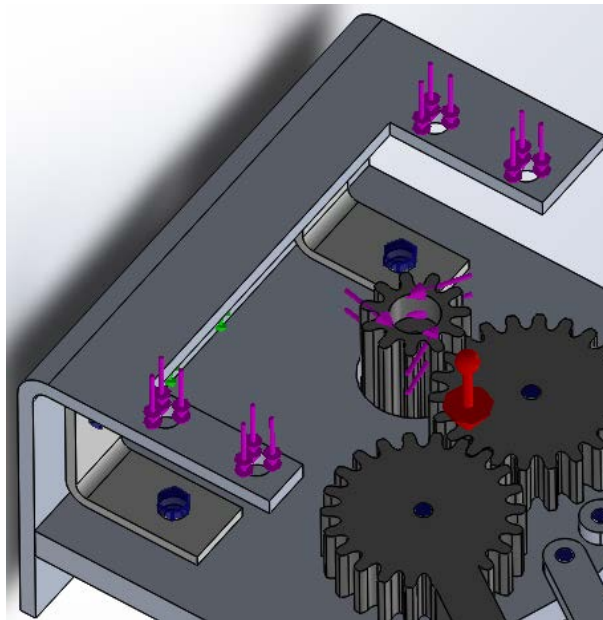


Figura 2.18. Peso del actuador en la base del Gripper

2.3 DISEÑO DEL CONTROL

2.3.1 ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

El gripper es desmontable e intercambiable por otro efector final, consecuentemente se requiere un circuito capaz de suministrar mayor corriente a la salida para futuras aplicaciones por ejemplo el taladrado. Se utiliza el regulador de voltaje LM338K que entrega de 1.2 a 35 voltios con corrientes de hasta 5 amperios según su hoja de datos técnicos (Farnell, 2017), un bypass de corriente formado por el Transistor PNP Darlington TIP146 de hasta 80 voltios y 10 amperios según su hoja de datos (Farnell, 2017), de esta manera se alimentan actuadores que consuman hasta 10 amperios. En el *Anexo 4* se muestra el diagrama PCB del circuito.

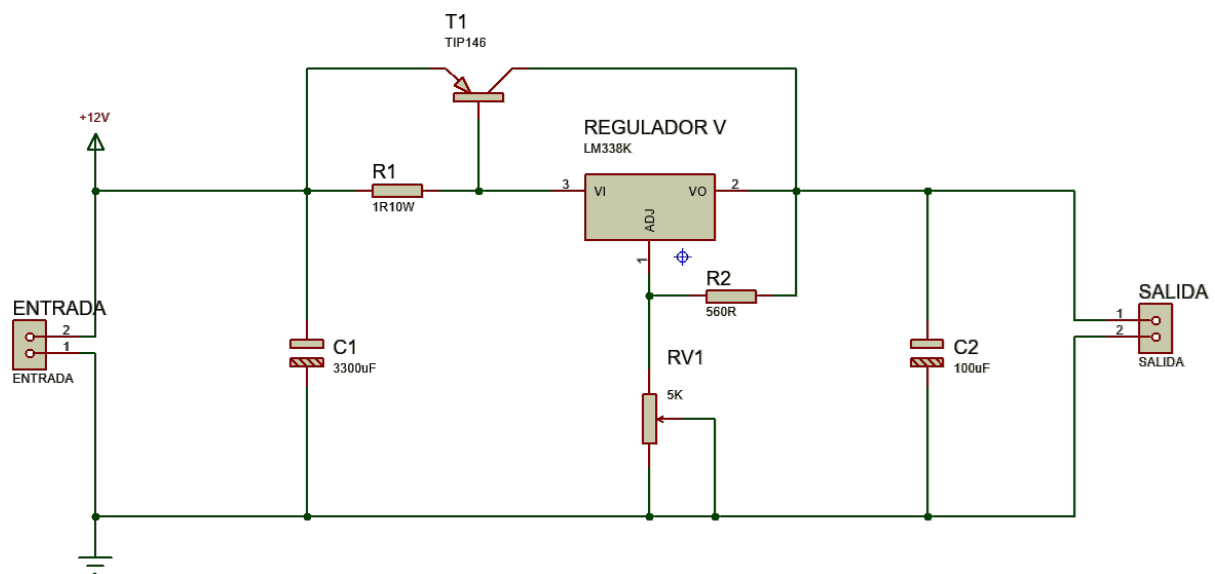


Figura 2.19 Circuito de control de salida 1.2 a 12 V a 10 A

En la *Figura 2.19* se aprecia el circuito formado por un regulador de voltaje LM338K que mediante una fuente de poder de 12 V entrega de 1.2 a 12 V, dicho voltaje es controlado por una resistencia de 560 Ω y un potenciómetro de 5 K Ω . El bypass de corriente está formado por un transistor PNP Darlington (transistor que combina 2 transistores PNP con el emisor de uno conectado a la base del otro y un colector común) cuya base se encuentra conectada antes del regulador de voltaje, el emisor del transistor al positivo de la fuente de poder y el colector

a la salida del regulador de voltaje. El transistor PNP necesita una caída de voltaje mayor a 0.7 voltios entre la base y el emisor para conducir, mediante la Ley de Ohm se calcula la resistencia necesaria para dicha caída de voltaje, con una corriente de 0.7 amperios para dirigir la alta corriente a través del transistor y proteger al regulador de voltaje:

Ecuación 22. Ley de Ohm

$$R = \frac{0.7 \text{ V}}{0.7 \text{ A}} = 1 \Omega$$

La resistencia de 1Ω debe ser de 10 watts ya que la corriente es alta; la *Ecuación 22* indica que la resistencia de 1Ω entre la base y el emisor causa una caída de voltaje de 0.7 voltios cuando pasan 0.7 amperios por el regulador de voltaje, de esta manera el transistor empieza a conducir.

Por último se agregaron 2 condensadores electrolíticos para filtrar la señal, a la entrada de 3300 uF y a la salida de 100 uF a 16 V.

Es necesario que el regulador de voltaje y el transistor posean disipadores de calor. A continuación, con ayuda de la *Ecuación 23* se realiza el cálculo del disipador de calor para el transistor TIP146 con valores obtenidos de su hoja de datos técnicos.

Ecuación 23. Cálculo del disipador de calor

$$R_{da} = \frac{[T_j * k] - T_a}{P} - (R_{jc} + R_{cd})$$

Fuente: (Trujillo, Pozo, & Triviño, 2011)

donde:

R_{da} = Resistencia térmica entre el disipador y el aire [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

T_j = Temperatura de la unión semiconductor [$^{\circ}\text{C}$]

T_a = Temperatura del aire circundante [$^{\circ}\text{C}$]

$P = I_C * V_{CE}$ = Potencia disipada en forma de calor por el transistor [W]

R_{jc} = Resistencia térmica entre la unión y la cápsula [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

R_{cd} = Resistencia térmica entre la cápsula y el disipador [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

k = Coeficiente de seguridad, 0.5 para un diseño normal con temperatura moderada.

Reemplazando los valores se obtiene:

$$R_{da} = \frac{[150 * 0.5] - 25}{2 * 12} - (1) = 1.08 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

El valor de $1.08 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ indica que el transistor requiere un disipador de tamaño moderado, en el TIP146 se atornilló un disipador de $3 \times 3 \times 2 \text{ cm}$ y un rectángulo de Aluminio de $9 \times 5 \times 0.3 \text{ cm}$ para disipar el calor.

Cálculo de disipador para el regulador de voltaje LM338K con valores de su hoja de datos técnicos:

$$R_{da} = \frac{[125 * 0.5] - 25}{10} - (1.4) = 2.35 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

El valor de $2.35 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ indica que se necesita un disipador apenas más grande que el regulador de voltaje, se utilizó un disipador de Aluminio de $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$ disponible en el mercado local.

2.3.2 ACONDICIONAMIENTO DEL SENSOR DE FUERZA

El sistema de control del Gripper es en lazo cerrado, se implementa un sensor de fuerza que permita detener la posición del actuador.

El servomotor cuenta con un control interno, no obstante se necesita de otra señal de control para que el Gripper abra o cierre las mordazas de acuerdo a la presión sobre el objeto,

la presión es directamente proporcional al peso del objeto, es decir, a mayor peso del objeto mayor presión debe ejercer el Gripper para sujetarlo.

El sensor que se utiliza es el FlexiForce A201 que presenta una respuesta aproximadamente lineal (Tekscan, 2017). En el *Anexo 5* se muestra el diagrama PCB del circuito.

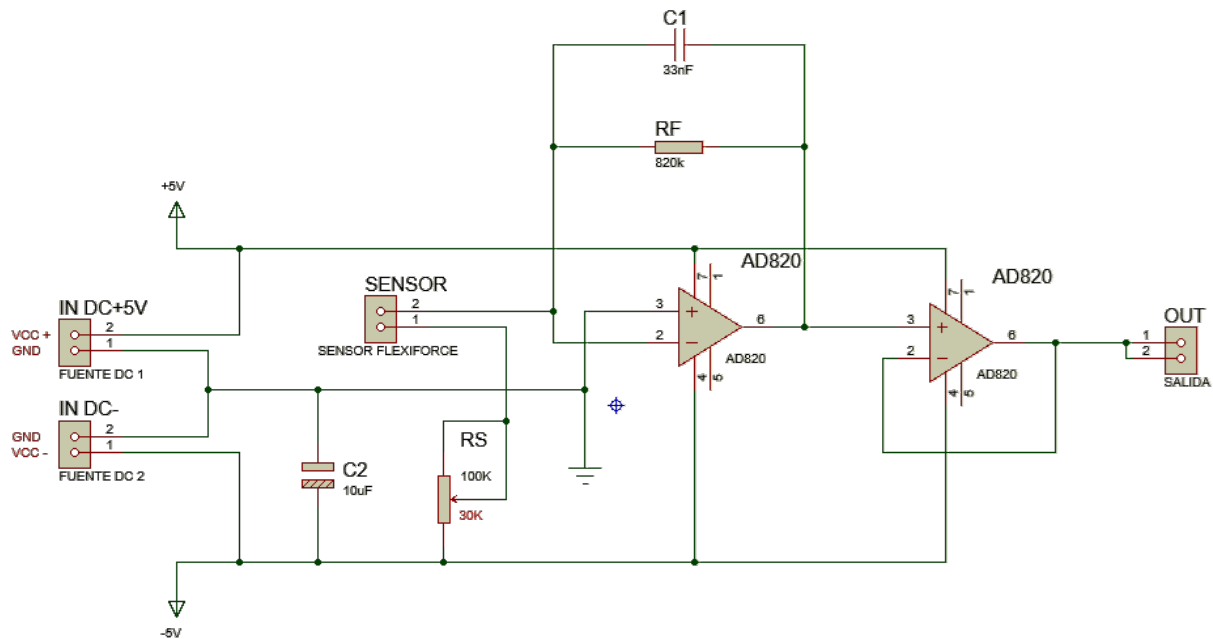


Figura 2.20. Circuito de acondicionamiento del sensor FlexiForce

En la *Figura 2.20* se aprecia el circuito de acondicionamiento de la señal del sensor FlexiForce para obtener rangos de voltajes de 0 a 5 V a la salida; se utilizan 2 amplificadores operacionales AD820 alimentados a +5 V y -5 V, uno en modo inversor recomendado en la hoja de datos técnicos del sensor y otro en modo seguidor de tensión o ganancia unitaria para acoplar las impedancias.

El valor de la resistencia de retroalimentación R_F se obtiene mediante la gráfica disponible en la hoja de datos del sensor que se visualiza en la *Figura 2.21*. Para obtener un voltaje de salida de 0 a 5 V con masas menores a 1 Kg se requiere un valor de R_F mayor a 370

$K\Omega$, consecuentemente para R_F se estableció el valor de $820 K\Omega$ en el circuito de la *Figura 2.20*.

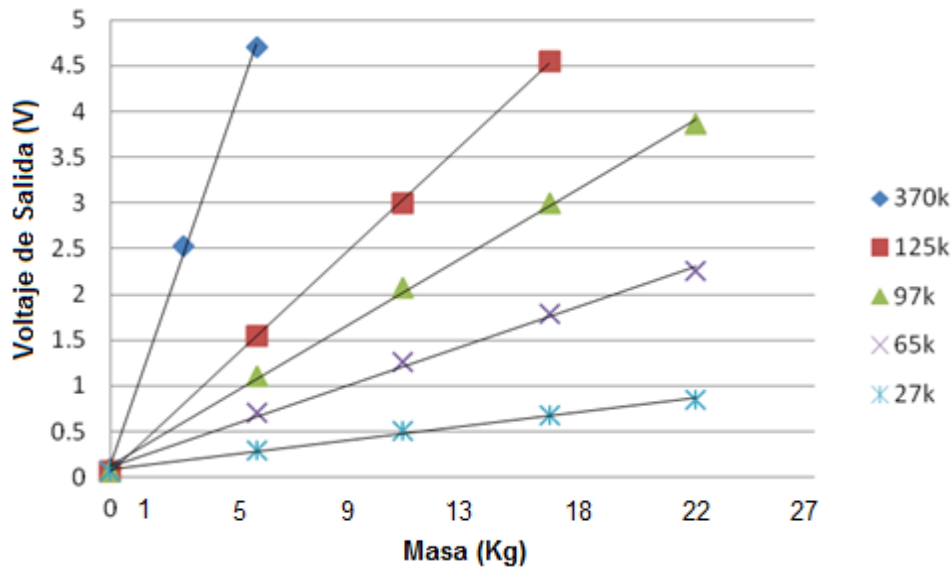


Figura 2.21. Voltaje vs Fuerza del sensor FlexiForce

En el circuito de la *Figura 2.20* se agregó un potenciómetro R_S conectado en serie con el sensor FlexiForce para sintonizar mejor la señal de salida, el cual se estableció en un valor de $30 K\Omega$.

Se calculó un Filtro Activo Paso Bajo para eliminar el ruido producido por la fuente de poder, con una frecuencia de corte de 60 Hz ; de la siguiente manera:

Ecuación 24. Cálculo de la frecuencia de corte

$$f_c = \frac{1}{2\pi * R * C}$$

Fuente: (Barrientos, 1997)

donde:

f_c = Frecuencia de corte [Hz]

R = Resistencia [Ohm]

C = Capacitor [F]

$$C = \frac{1}{2\pi * R * f_c} = \frac{1}{2\pi * 820000 * 60} = 3.23 \text{ nF}$$

El valor comercial del capacitor existente en el mercado es de 3.3 nanofaradios, con una resistencia de 820 KOhmios se obtiene el filtro activo paso bajo.

El cálculo de voltaje de salida se realiza de la siguiente manera:

Ecuación 25. Cálculo del voltaje de salida del amplificador operacional

$$V_o = -\frac{R_F}{R_S}(V_i)$$

Fuente: (Barrientos, 1997)

donde:

V_o = Voltaje de salida del amplificador operacional [V]

V_i = Voltaje de entrada del amplificador operacional [V] = -5 V

R_F = Resistencia de retroalimentación [Ohm] = 820 K Ω

R_S = Resistencia del sensor [Ohm] = 1.5 M Ω para la masa de 1 Kg

$$V_o = 3.5 \text{ V}$$

El voltaje de salida es 3.5 V correspondiente a 1 kg.

La ganancia del amplificador operacional se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 26. Cálculo de la ganancia del amplificador operacional

$$G = \frac{V_o}{V_i} = 0.7$$

Fuente: (Barrientos, 1997)

2.3.3 LINEALIDAD Y REPETIBILIDAD DEL SENSOR DE FUERZA

Para determinar la linealidad y la repetibilidad del sensor de fuerza se tomó datos del voltaje de salida de la placa con distintos objetos de diferente masa como se aprecia en la *Tabla 2.6*, en el *Anexo 7* se muestran fotografías de los objetos utilizados.

Tabla 2.6

Linealidad del sensor de fuerza.

No.	Masa [Kg]	Fuerza [N]	Voltaje de salida de la placa[V]
1	0,02	0,2	0,1
2	0,064	0,63	0,2
3	0,120	1,18	0,49
4	0,333	3,27	1,17
5	0,483	4,74	1,6
6	0,650	6,38	2,3
7	0,826	8,1	2,75
8	1	10	3,5

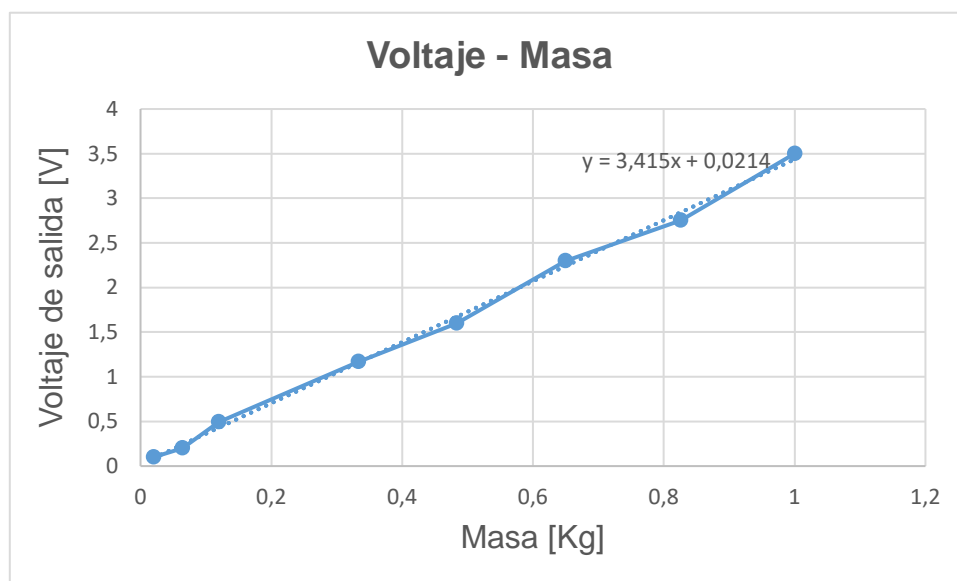


Figura 2.22 Voltaje de salida vs masa, sensor de fuerza

En la *Figura 2.22* se obtiene una respuesta aproximadamente lineal del sensor de fuerza con los datos de la *Tabla 2.6*.

Tabla 2.7

Repetibilidad del sensor de fuerza.

No.	Masa [Kg]	Voltaje de salida de la placa[V]				
		1	2	3	4	5
1	0,02	0,1	0,07	0,013	0,012	0,015
2	0,064	0,2	0,25	0,2	0,14	0,12
3	0,120	0,49	0,52	0,4	0,46	0,5
4	0,333	1,17	1,26	1,2	1,16	1,14
5	0,483	1,6	1,52	1,64	1,72	1,68
6	0,650	2,3	2,24	2,19	2,29	2,36
7	0,826	2,75	2,81	2,76	2,68	2,7
8	1	3,5	3,43	3,26	3,67	3,53

En la *Tabla 2.7* se aprecia que el sensor de fuerza no cuenta con buena repetibilidad pero es aceptable para el desarrollo de este proyecto porque se ejecuta un control ON/OFF en el que se promedian los datos obtenidos de la masa de un 1 Kg, a fin de obtener el valor de retroalimentación, siendo 3.5 V el escogido con una desviación típica de 0,15.

2.3.4 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL SENSOR DE FUERZA

Para obtener la ecuación de la recta del sensor de fuerza se realiza la gráfica Voltaje de salida vs fuerza aplicada en el área de contacto del sensor con los datos de la *Tabla 2.6*.

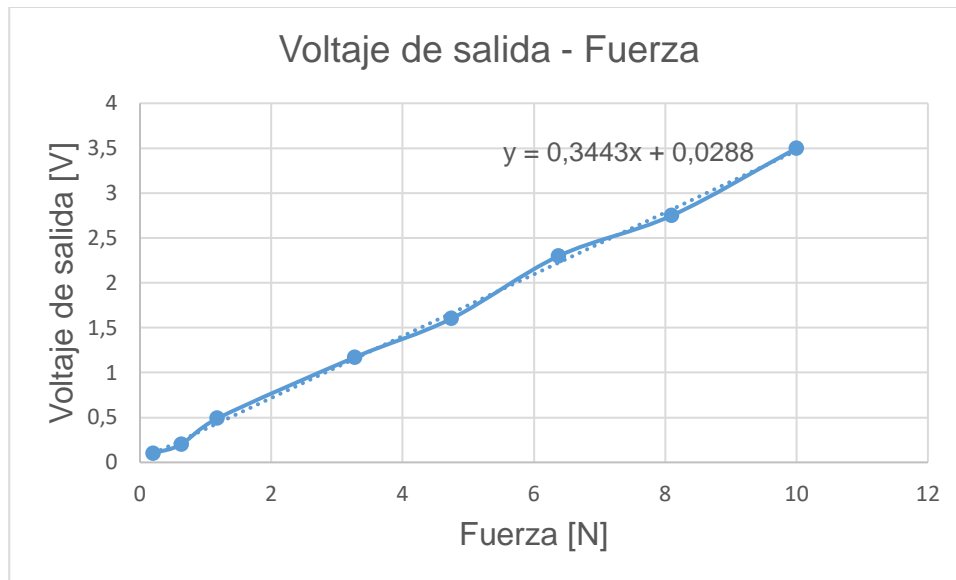


Figura 2.23 Voltaje de salida vs Fuerza

En la *Figura 2.23* se aprecia la ecuación de la recta formada por los datos analizados, misma que se muestra en la *Ecuación 27*:

Ecuación 27. Ecuación lineal.

$$y = 0.3443x + 0.0288$$

donde:

x = El valor de la fuerza aplicada [N]

y = El voltaje de salida [V]

Para determinar la función de transferencia del sensor de fuerza, a la *Ecuación 27* se aplica la transformada de Laplace, obteniendo como resultado lo siguiente:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{0.3443}{s^2} + \frac{0.0288}{s}$$

La función de transferencia del sensor de fuerza se obtiene mediante la herramienta *ident* del software Matlab® con los datos de voltaje y fuerza de la *Tabla 2.6*. Con una estimación del

95.48% se obtiene la gráfica de la *Figura 2.24* semejante a la gráfica de la *Figura 2.23*, es decir, la estimación es correcta.

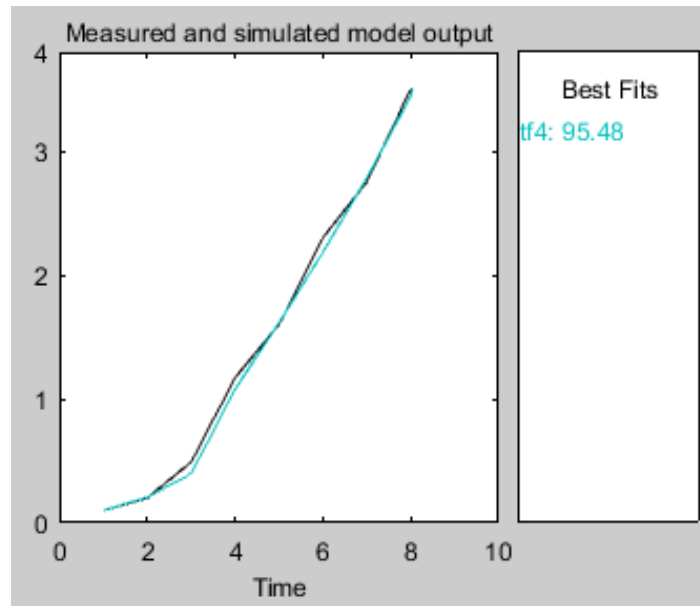


Figura 2.24 Estimación del sistema de control de Ident

La función de transferencia obtenida en Matlab con los datos de la *Tabla 2.6* es la siguiente:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{0.3177 s + 6.448e05}{s + 1.84e06}$$

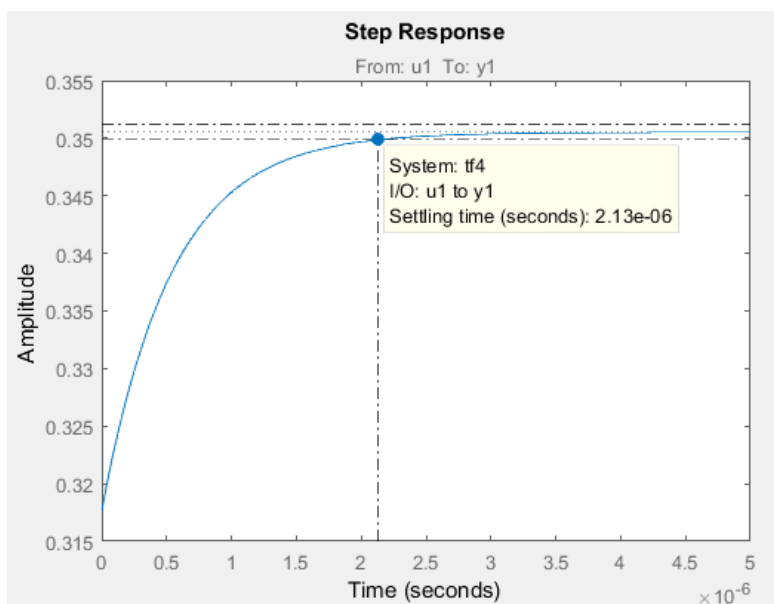


Figura 2.25 Función de Transferencia

En la *Figura 2.25* se muestra la gráfica de la función de transferencia con una estimación del 95.48%.

2.3.5 PROGRAMACIÓN PARA EL CONTROL ON / OFF

El programa de control del Gripper (*Figuras 2.26 y 2.27*) es realizado en el Software de National Instruments LabVIEW®, se utiliza una placa de arduino mega 2560 como tarjeta de adquisición de datos, en el *Anexo 8* se muestran sus características.



Figura 2.26 Panel frontal del programa de control del Gripper en LabVIEW

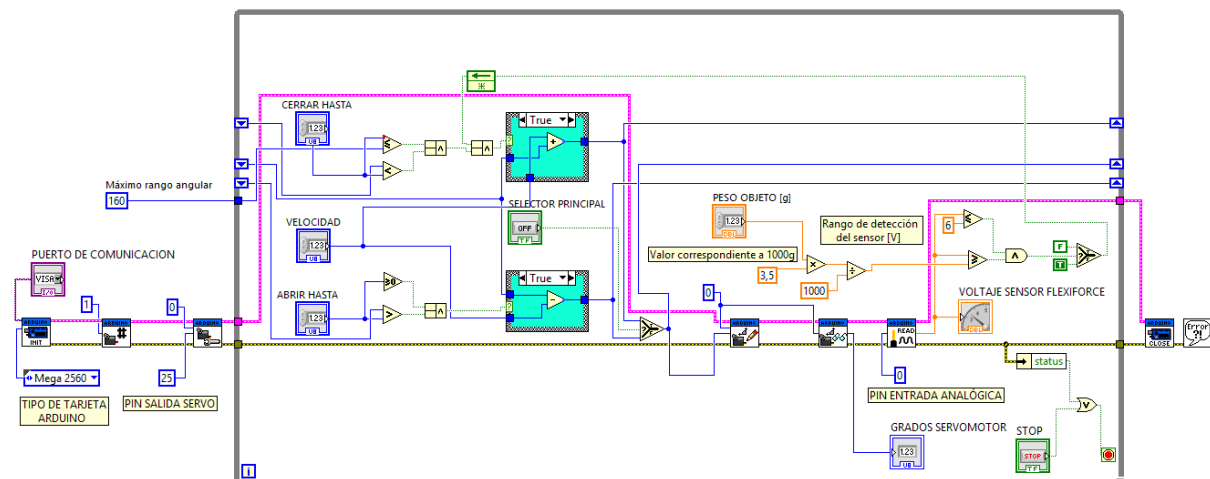


Figura 2.27 Diagrama de bloques del programa de control del Gripper en LabVIEW

El control del Gripper cuenta con 4 controles numéricos y 1 botón:

- ❖ “Abrir Hasta” y “Cerrar Hasta” para establecer el rango de apertura de las mordazas.

- ❖ “Velocidad” para ingresar la velocidad del servomotor.
- ❖ “Peso a levantar [g]” para ingresar la masa del objeto a levantar.
- ❖ “Abrir/Cerrar” Botón para abrir y cerrar las mordazas del Gripper.

Se escriben ángulos de 0 a 160° (correspondiente a la abertura máxima de las mordazas) en el servomotor, se establece el número de grados de avance o retroceso del actuador en el control numérico “Velocidad”, gracias al sensor de fuerza que actúa como final de carrera se logra detener al servomotor en un valor determinado. Para obtener dicho valor se realiza una comparación de acuerdo a la masa de 1 Kg (3.5 V) y así conocer el valor en el que debe detenerse el servomotor para sujetar una masa de X gramos ingresados en el control numérico.

En el *Anexo 9* se encuentra el programa para mover cada articulación del brazo robótico.

A continuación, en la *Figura 2.28* se muestra el diagrama de flujo para el control del Gripper:

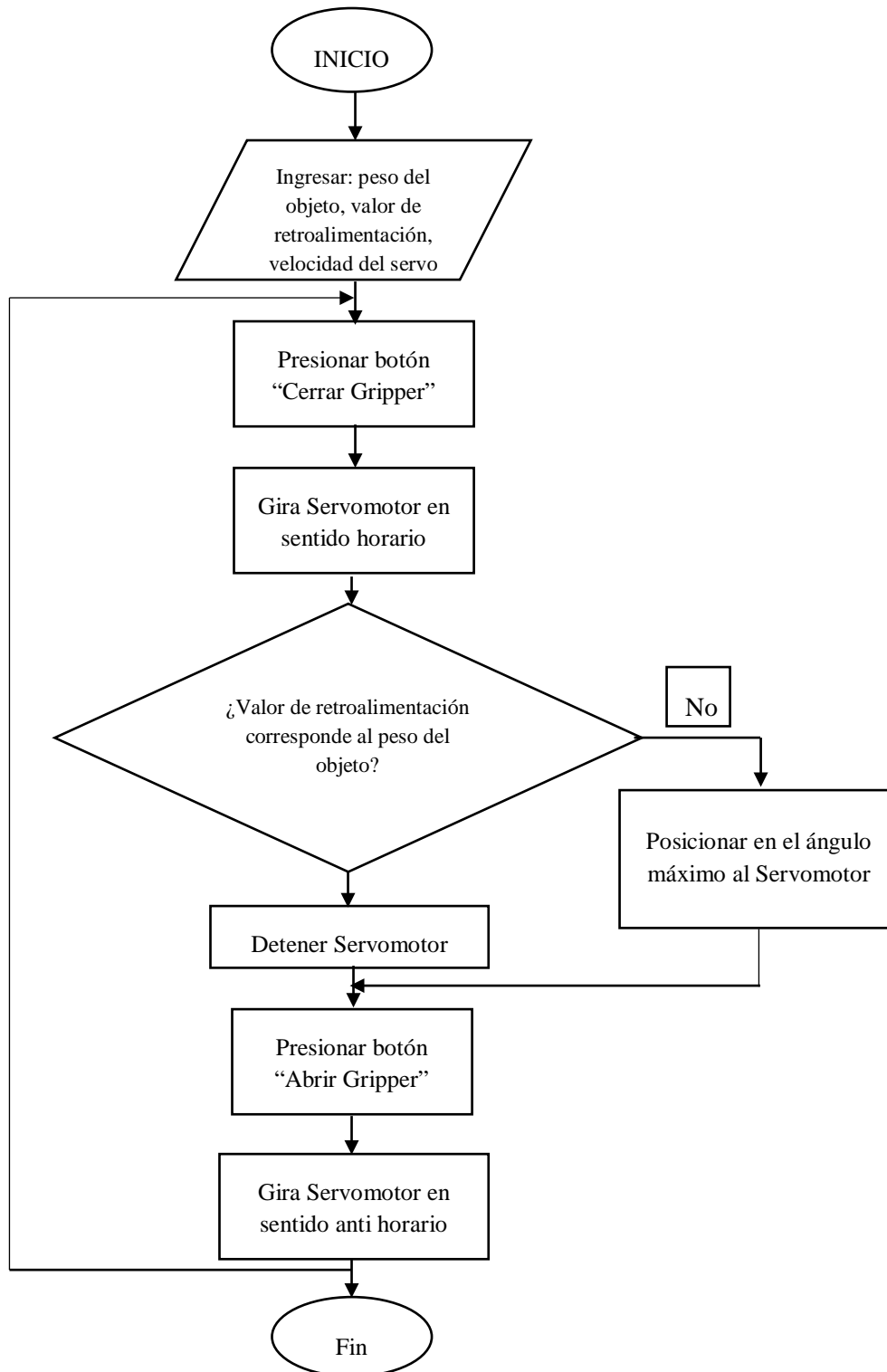


Figura 2.28 Diagrama de flujo para el control del Gripper

CAPITULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 DISEÑO MECÁNICO

La distribución elegida es de 2 mordazas paralelas con vínculos de 4 barras (2 impulsoras y 2 pasivas) semejante al que se aprecia en la *Sección 1.5.2.8*, esto facilita la tarea de mantener presionado al objeto contra la pinza hasta que cierre, las mordazas son accionadas por un sistema de transmisión de engranes rectos (relación de transmisión 2:1) y el servomotor HS-805BB con el torque necesario para que el gripper sujete y levante una masa de 1 Kg.

3.2 ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

3.2.1 ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DE TENSIÓN VON MISES

El análisis de convergencia sirve para encontrar el valor adecuado del esfuerzo de Von Mises del diseño. Se realizó mediante diferentes iteraciones variando el número de elementos hasta encontrar el valor de esfuerzo con menor error, siempre y cuando sea menor al límite de fluencia del material.

Tabla 3.1.

Análisis del error entre esfuerzos.

Iteración	Núm. de Elementos	Esfuerzo [MPa]	Error [%]
1	31900	24,165	
2	33246	23,383	3,24
3	34290	23,67	1,23
4	36037	23,893	0,48
5	37184	23,418	0,59
6	38429	23,66	1,03
7	40330	23,452	0,88
8	41491	23,299	0,65
9	43439	23,678	1,63
10	44568	23,825	0,62

En base a los datos de la *Tabla 3.1* se realiza la gráfica de convergencia de la *Figura 3.1*, indica que la iteración número 4 posee el menor error porcentual de 0,48 con 36037 elementos y un esfuerzo de 23,893 MPa.

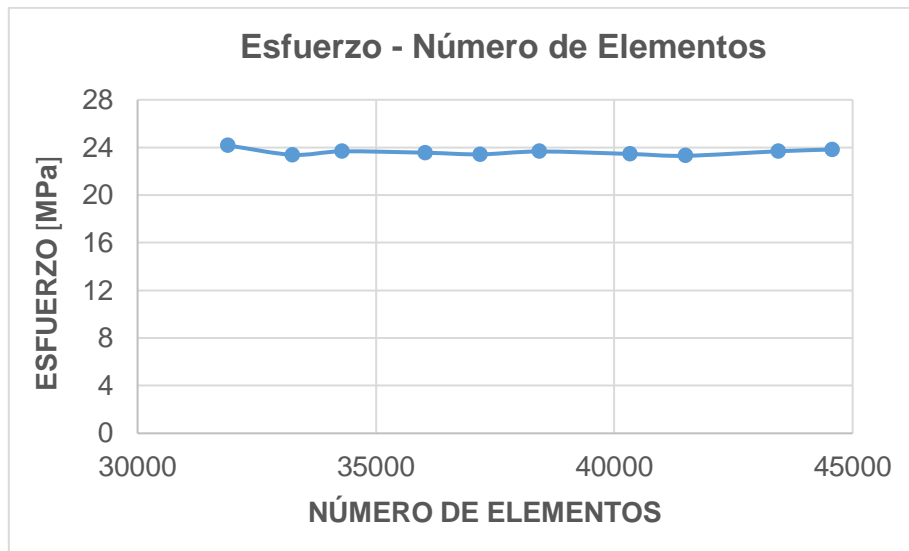


Figura 3.1. Análisis de convergencia

A continuación, se muestran los resultados del Análisis de Elementos Finitos con el número de elementos escogido.

3.2.2 ESFUERZOS

El máximo esfuerzo se aprecia en la *Figura 3.1* en el engrane conductor del mecanismo, debido a que está sometido al torque del actuador y debe soportar el peso del objeto a levantar. En la *Sección 2.2.4* se calcularon 2 tipos de esfuerzos (cortante doble y por aplastamiento) cuyos resultados no sobrepasaron a 2 MPa al igual que en la *Figura 3.2*, todo el sistema se encuentra de color azul que corresponde a valores menores que 2 MPa según la escala ubicada a la derecha de la imagen.

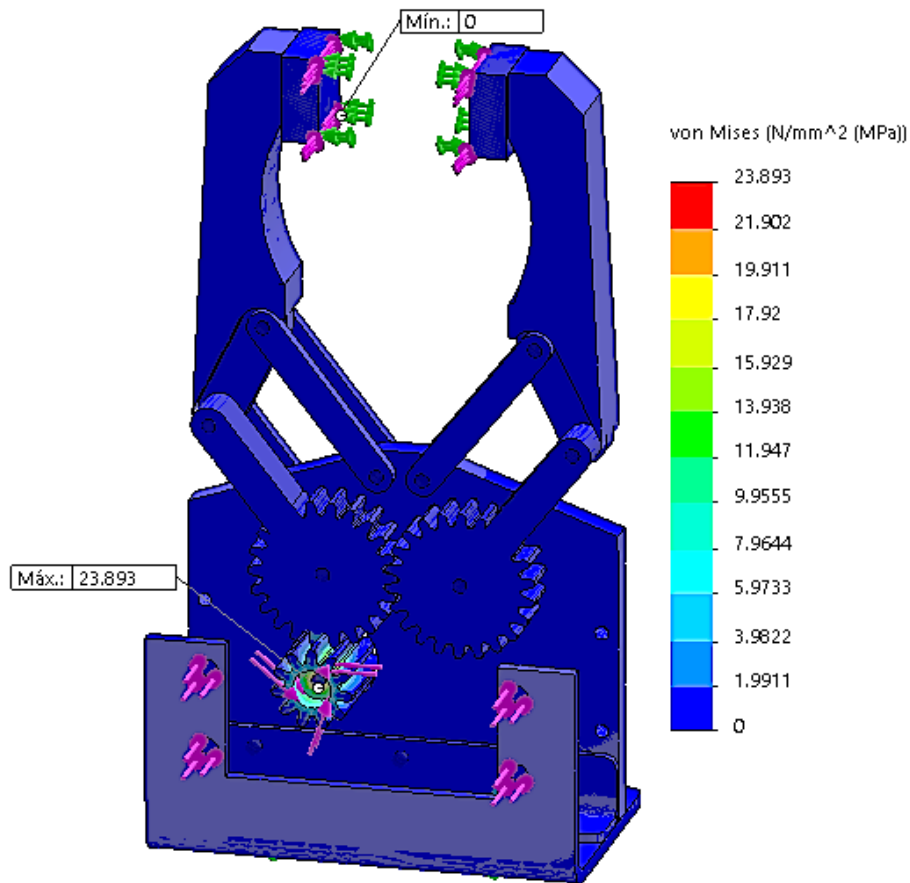


Figura 3.2. Esfuerzos de Von Mises

De igual manera, el esfuerzo de flexión del engrane conductor calculado es de 17.16 MPa, en la *Figura 3.3* se muestra el valor de 18.24 MPa. Los resultados de los esfuerzos son menores a los esfuerzos de admisibles de cada material.

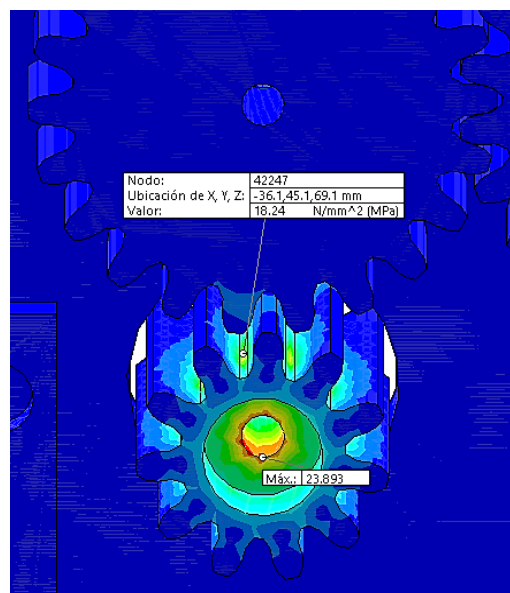


Figura 3.3 Esfuerzo de flexión en el engrane conductor

3.2.3 DESPLAZAMIENTOS

Los espesores de las mordazas y en general de las diferentes piezas que forman el Gripper, ayudan a contrarrestar los desplazamientos que surgen al aplicar las cargas. En la *Figura 3.4* se observa que el desplazamiento es mínimo en los extremos de las mordazas según la escala ubicada a la derecha de la imagen, de esta manera se asegura la fiabilidad del diseño, cabe recalcar que los desplazamientos varían de acuerdo al peso del objeto a levantar.

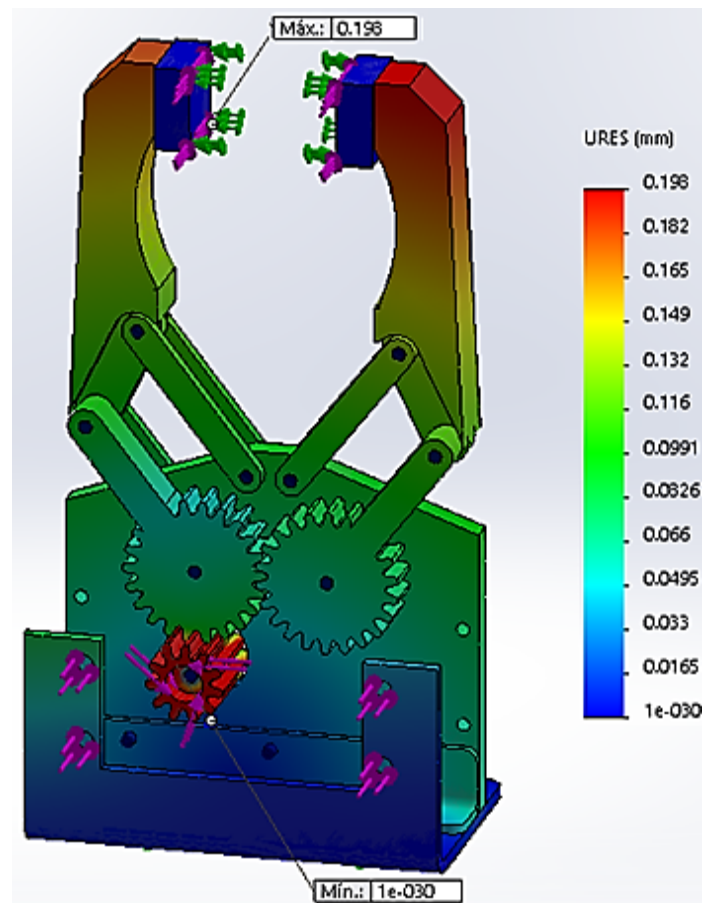


Figura 3.4. Desplazamientos

3.2.4 FACTOR DE SEGURIDAD

El mínimo factor de seguridad es de 2.87 como se aprecia en la *Figura 3.5*, se encuentra en la base del mecanismo porque soporta el peso de la estructura del gripper y el peso del objeto a levantar.

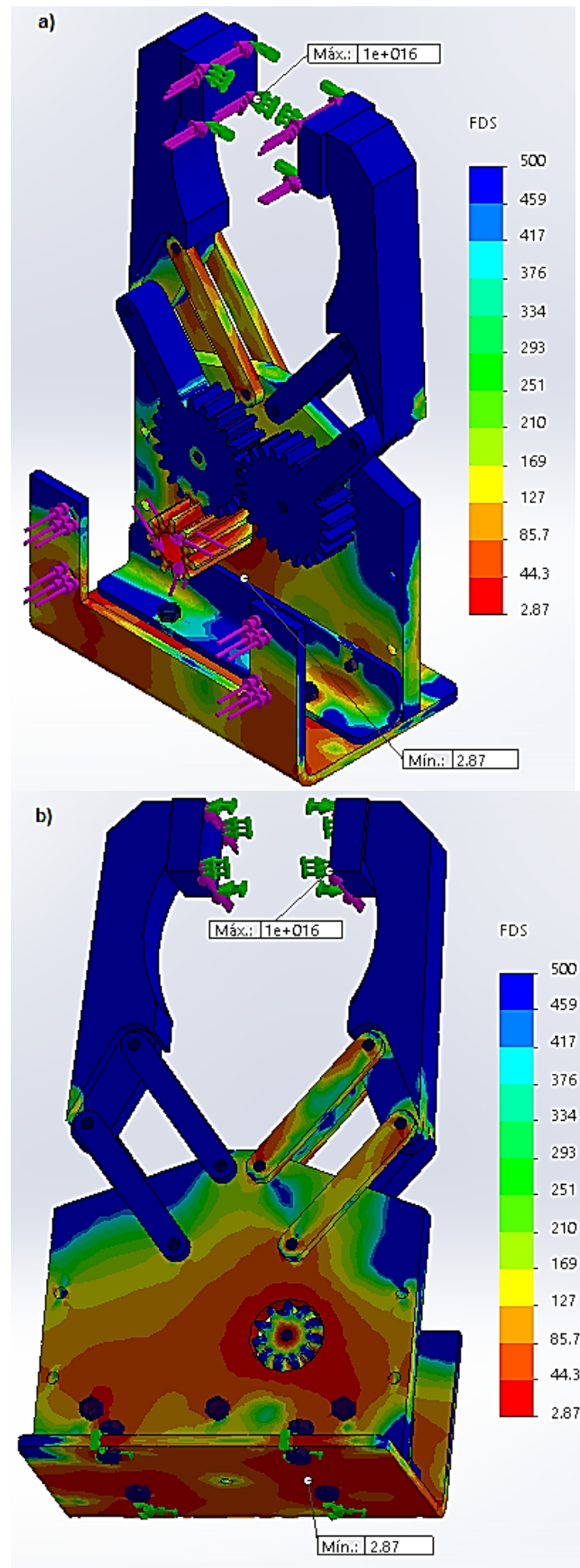


Figura 3.5. a) Factor de Seguridad vista superior b) Factor de Seguridad vista posterior

3.3 MANUFACTURA

La detección temprana de errores en el mecanismo del Gripper se facilitó gracias a la construcción de un prototipo en una impresora 3D y plástico PLA. En la *Figura 3.6* se visualiza el diseño del prototipo propuesto del gripper.

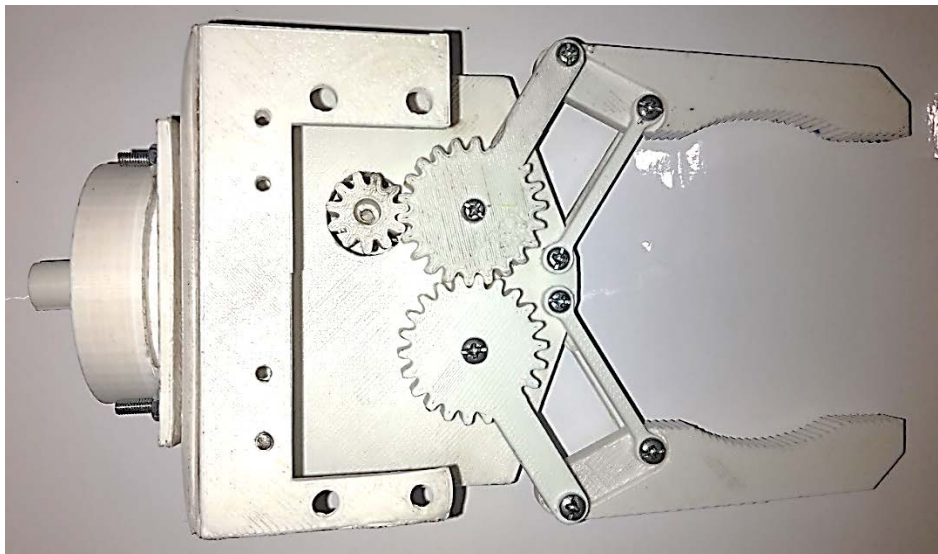


Figura 3.6 Prototipo del Gripper en plástico PLA



Luego de haber diseñado, impreso y ensamblado cada parte que conforma el gripper, se observó que eran necesarias realizar las siguientes correcciones: las mordazas no deben ser dentadas porque el objeto a levantar se desliza, además existe dificultad en colocar al sensor y a los cauchos antideslizantes, también deben tener mayor espesor que el sensor de fuerza a utilizar; es conveniente que las barras sean más anchas para aumentar su rigidez; la base tiene que ser una sola pieza doblada en ángulo recto; las “L” que sujetan al cuerpo con la base requieren de mayor longitud; el acople muñeca – gripper debe ser fácil de mecanizar y capaz de desmontarse del brazo robótico rápidamente; por último se requieren soportes para mantener fijos a los pasadores de cada articulación.

En la construcción de las diferentes partes del Gripper se aplicaron las correcciones antes expuestas utilizando los materiales de la *Sección 2.2.3*, se emplearon varias técnicas de

manufactura como: cortes, doblados, taladrados, soldaduras y pulidos. En la *Tabla 3.2* se detallan los procesos empleados en la fabricación de cada parte que conforma el Gripper del brazo robótico “UTN”.


Tabla 3.2.

Procesos de manufactura de las partes del Gripper

COMPONENTE	PROCESO DE FABRICACIÓN	IMAGEN
Cuerpo	<p>Trazado: Se dibuja el diseño sobre la plancha de aluminio de 3mm de espesor</p> <p>Corte: Se cortan 2 piezas de la plancha de aluminio con las medidas del diseño</p> <p>Soldadura: Se sueldan las 2 partes en las esquinas para formar una de 6mm de espesor</p> <p>Taladrado: Se perfora el material de acuerdo al diseño</p> <p>Pulido: Se pule el material hasta lograr un buen acabado estético</p>	
Base	<p>Trazado: Se traza el diseño sobre la plancha de aluminio de 3mm de espesor</p> <p>Corte: Se corta la plancha de aluminio con las medidas del diseño</p> <p>Doblado: Se dobla en 90° el material de acuerdo al diseño</p>	

COMPONENTE	PROCESO DE FABRICACIÓN	IMAGEN
	<p>Taladrado: Se perfora el material de acuerdo al diseño</p> <p>Pulido: Se pule el material hasta lograr un buen acabado estético</p>	
Transmisión por engranes rectos	<p>Los engranes son fabricados en torno y fresadora acorde a las medidas del diseño.</p>	 
Barras	<p>Trazado: Se realiza el trazo del diseño sobre la plancha de aluminio de 3mm de espesor</p> <p>Corte: Se cortan 6 piezas de la plancha de aluminio con las medidas del diseño</p> <p>Taladrado: Se perfora el material de acuerdo al diseño</p>	

COMPONENTE	PROCESO DE FABRICACIÓN	IMAGEN
	<p>Pulido: Se pule el material hasta lograr un buen acabado estético</p>	
<p>Mordazas</p>	<p>Fabricadas en una fresadora y posteriormente pulidas</p> <p>Para reducir el deslizamiento se pegaron cauchos en el área de contacto con el objeto</p>	
<p>Soportes</p>	<p>Trazado: Se delinea el trazo del diseño sobre la plancha de aluminio de 1mm de espesor</p> <p>Corte: Se cortan 5 piezas de la plancha de aluminio con las medidas del diseño</p> <p>Taladrado: Se perfora el material acorde al diseño</p> <p>Pulido: Se pule el material hasta lograr un buen acabado estético</p>	

COMPONENTE	PROCESO DE FABRICACIÓN	IMAGEN
Acople Muñeca - Gripper	El acople es fabricado en torno acorde a las medidas del diseño, cuenta con un agujero roscado para un prisionero de 4mm de diámetro, posteriormente es pulido	

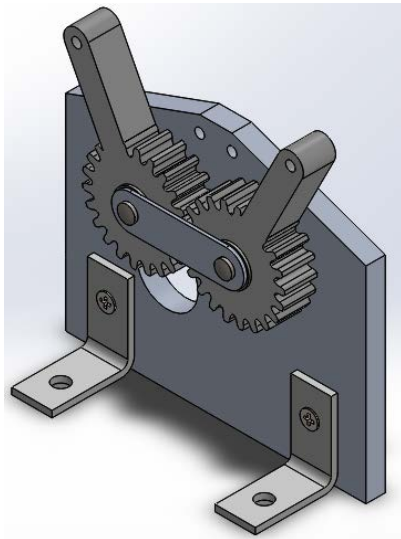
Se recubren con vinil azul y blanco todos los elementos del gripper para mejorar el acabado estético.

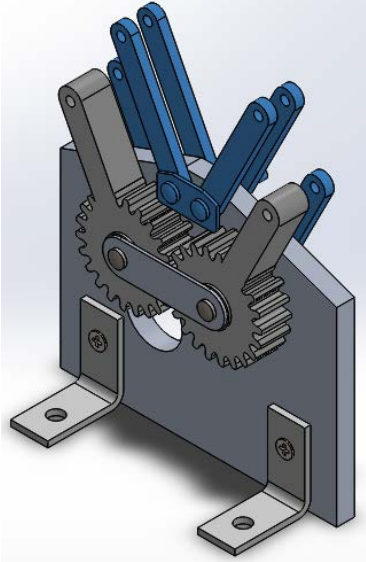
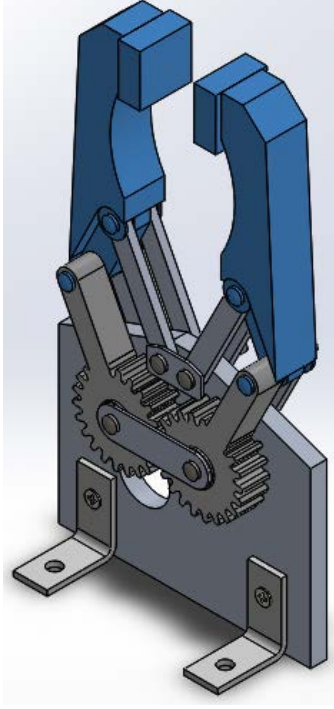
3.4 ENSAMBLAJE

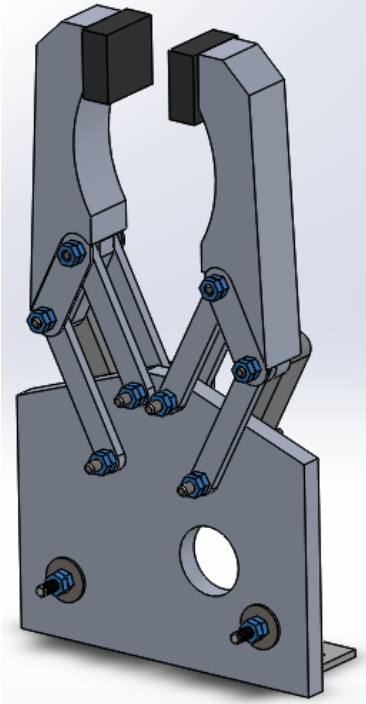
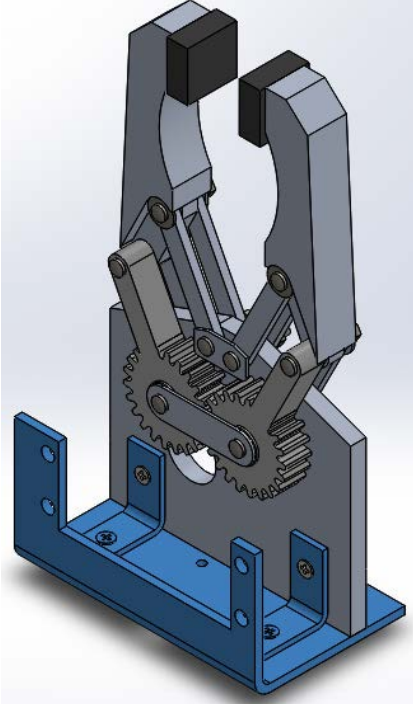
Después de mecanizar los elementos del Gripper se realiza el ensamblaje de las mismas. En la *Tabla 3.3* se describen paso a paso el proceso de montaje de las piezas.

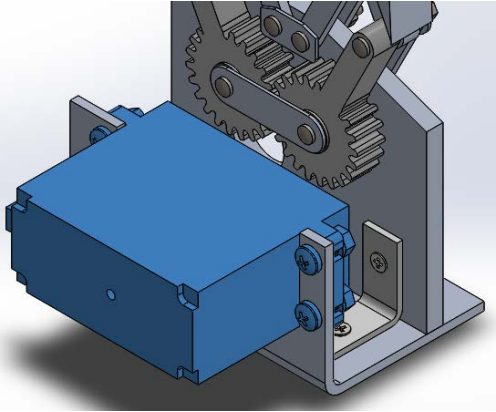
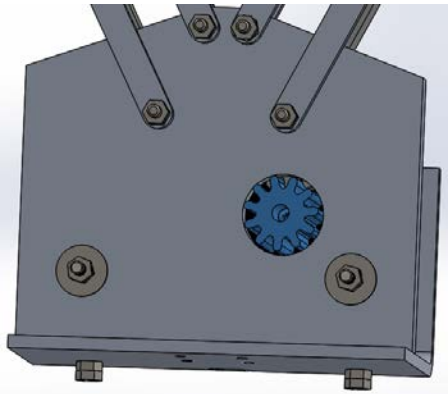
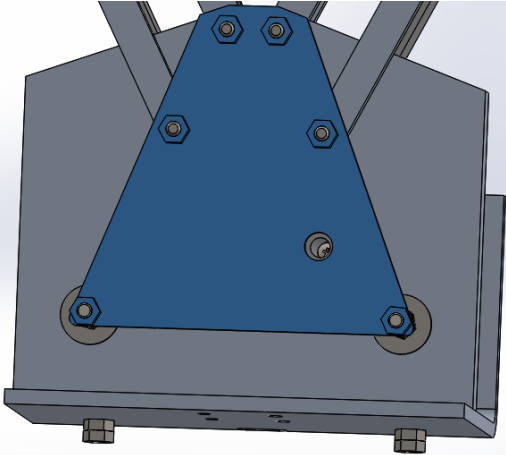
Tabla 3.3.

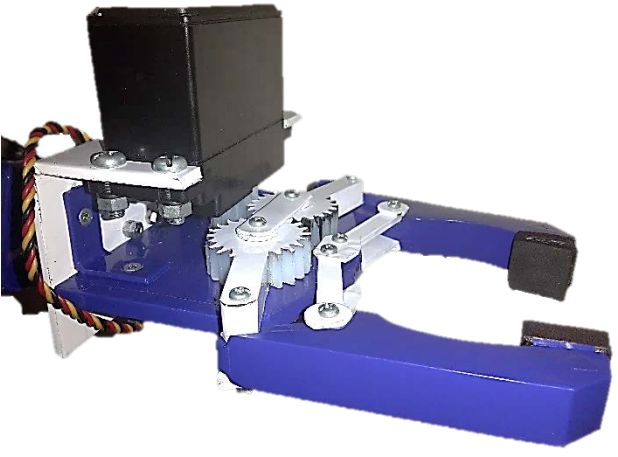
Proceso de ensamblaje del gripper

PASO	PROCESO	IMAGEN
1	<p>Ensamblar los engranes de transmisión con 2 arandelas, el soporte de ejes y 2 pasadores D3x25 mm.</p> <p>Asegurar las 2 bridas "L" con pernos M3x10 mm avellanados, arandelas, tuercas.</p>	

PASO	PROCESO	IMAGEN
2	<p>Ensamblar las 6 barras, el soporte de ejes y 2 pasadores D3x23 mm.</p>	 Este diagrama muestra un mecanismo de engranajes montado en un soporte gris. El soporte tiene un eje central con un engranaje que interactúa con dos engranajes secundarios. Seis barras azules están conectadas a estos engranajes y a otros componentes del mecanismo. El mecanismo está montado sobre un soporte con dos patas inferiores que tienen agujeros para tornillos.
3	<p>Ensamblar las 2 mordazas con 2 cauchos antideslizantes por medio de 2 pasadores D3x25 mm, 2 pasadores D3x22 mm, 2 arandelas de 5 mm de diámetro exterior, y 2 soportes de ejes en la parte posterior.</p>	 Este diagrama muestra el mismo mecanismo de engranajes que en el paso anterior, pero ahora con dos mordazas azules añadidas. Las mordazas están conectadas al mecanismo mediante pasadores y arandelas. El mecanismo sigue montado en el mismo soporte gris con patas inferiores.

PASO	PROCESO	IMAGEN
4	<p>Asegurar con tuerca y contratuerca cada pasador para evitar que se aflojen con el movimiento del gripper y las vibraciones del brazo robótico.</p>	
5	<p>Ensamblar la base con 2 pernos M3x10 mm avellanados y 4 tuercas.</p>	

PASO	PROCESO	IMAGEN
6	Ensamblar el servomotor con 4 pernos M4x10 mm, 4 tuercas y 4 arandelas de presión.	
7	Ensamblar el engrane conductor al servomotor mediante un perno M2x12 mm. Se recomienda colocar pegamento entre el engrane y el spline del servomotor.	
8	Ensamblar el soporte de ejes con 6 tuercas y el acople muñeca-gripper con 4 pernos M3x10 mm avellanados y 8 tuercas.	

PASO	PROCESO	IMAGEN
9	Asegurar el acople muñeca-gripper al eje del motor de giro mediante un prisionero D4 mm. Conectar los cables del servomotor y del sensor al brazo robótico por medio de conectores molex.	

En el *Anexo 10* se encuentra el manual de usuario del brazo robótico UTN y se muestra el ensamblaje de las partes del mismo (base, brazo, antebrazo, gripper).

3.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

La placa de control de la *Figura 3.7* varía el voltaje de 1.2 a 12 V proveniente de la fuente de poder de 12 V. Para comprobar su efectividad se conectaron los servomotores digitales KST X20-8.4-50 de 2.5 amperios de consumo según su hoja de datos (KST, 2017) y el servomotor CYS-S8218 de 5 amperios de consumo, con corrientes de paro que llegan hasta 8 amperios según su hoja de datos (CYSModel, 2017) (*Figuras 3.8 a*) y *b*) respectivamente), donde se observa que en la placa de control empiezan a recalentarse el transistor TIP146 y el regulador de voltaje LM338K con cargas que consumen más de 5 amperios, por lo que es necesario el uso de un disipador de calor y un ventilador en la placa para futuros efectores finales que se agreguen al brazo robótico UTN que demanden un consumo mayor a 5 amperios.



Figura 3.7 Placa de control del efector final de salida 1.2 a 12 V a 10 A

En la *Figura 3.7* se observan los servomotores utilizados.

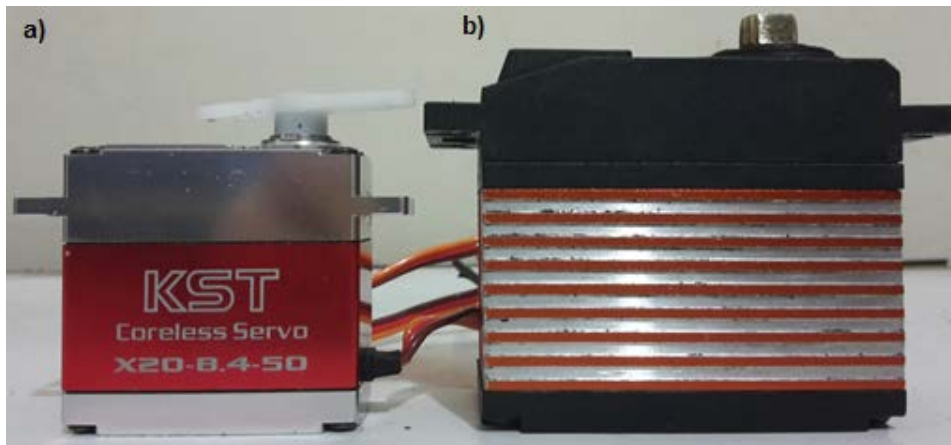


Figura 3.8 a) Servomotor KST X20-8.4-50 b) Servomotor CYS-S8218

Para el acondicionamiento del sensor de fuerza FlexiForce A201 de respuesta aproximadamente lineal y repetibilidad aceptable para el proyecto, se realizó la placa mostrada en la *Figura 3.9*, que consigue un valor de alrededor de 3.5 V de salida cuando el gripper sujeta una masa de 1 Kg; el circuito cuenta con una fuente dual de +5 y -5 V, una resistencia R_f de retroalimentación cuyo valor se analizó en la *Sección 2.3.2*, y un filtro activo paso bajo.

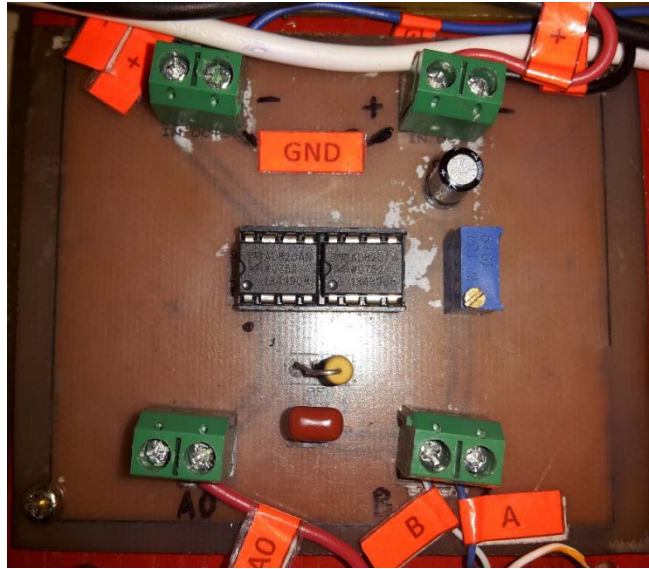


Figura 3.9 Placa de caracterización del sensor de fuerza

El control ON/OFF permite detener al servomotor en función de los valores dictados por el sensor cada vez que exista una variación en su área de contacto y así mantener al objeto sujetado en las mordazas del gripper. Dichos valores del sensor dependen de la masa del objeto a levantar, gracias a la linealidad del sensor se realizan comparaciones a partir del voltaje de 3.5 V correspondiente a 1 Kg, y así lograr sujetar objetos que van desde 0.002 Kg a 1 Kg.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ❖ El análisis bibliográfico determina los parámetros del gripper, la investigación de configuraciones morfológicas permite seleccionar un mecanismo liviano y de proporciones acordes a la geometría del brazo robótico UTN.
- ❖ El Gripper tiene una abertura máxima de 6 cm (7.5 cm sin cauchos antideslizantes) y libertad de desmontaje del brazo robótico UTN, su mecanismo de 4 barras es el adecuado para cumplir el requerimiento de sujetar y levantar 1000 g de masa, es liviano, de bajo costo y fácil de ensamblar.
- ❖ Los elementos de la estructura del Gripper son diseñados en un software CAD, donde se valida la resistencia por medio del análisis de elementos finitos, y se comprueba que un sistema de transmisión con mayor espesor junto a 6 barras paralelas opuestas entre sí, evitan deformaciones en el mecanismo.
- ❖ La construcción de los elementos del gripper se realizó en materiales livianos y resistentes (Al ASTM A1200 para la estructura y GRILÓN para la transmisión), ensamblados por pernos de rosca fina de 3mm de diámetro, de esta manera se obtiene un mecanismo de menor masa que el objeto de 1000 g a levantar.
- ❖ Se logra sujetar automáticamente objetos que varían hasta 6 cm de diámetro (artículos de 20 g a 1000 g), mediante el uso de un sensor de fuerza ubicado en la mordaza y un programa de control realizado en un software.

RECOMENDACIONES

- ❖ En futuros efectores finales realizar filtros físicos y por software para obtener una mejor señal del sensor y del actuador, debido a que la fuente de poder, el arduino y los demás actuadores del brazo robótico UTN generan ruido.
- ❖ Se recomienda aumentar el número de sensores de fuerza o utilizar otro tipo de sensores que abarquen mayor área de contacto entre las mordazas y el objeto a levantar.
- ❖ Agregar un mecanismo de auto bloqueo para que el gripper mantenga sujeto al objeto mientras se apaga al actuador.
- ❖ Se recomienda aumentar la velocidad de funcionamiento del Gripper, ya sea por otro tipo de sistema de transmisión o por otro actuador considerando el peso del mecanismo.
- ❖ Diseñar otro tipo de efector final a acoplarse en el brazo robótico UTN para desempeñar otra actividad como: soldadura, taladrado, pintado, pulido de materiales, etc., que no sobrepase un kilogramo de peso.
- ❖ Implementar sensores de proximidad en el Gripper como medida de precaución.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Laverde, D., Armando Riveros, J., & Ochoa, O. (2013). Gripper diseño y planteamiento. Obtenido de <http://www.zacobria.com/universal-robots-zacobria-sphinx-gripper-inside-outside-function.html>
- Alonzo, F. M., & Bravo, M. E. (2014). Diseño, construcción y control de un brazo robótico. Quito.
- AZOR, J. (2014). *Optimización de las propiedades mecánicas del compuesto PLA/PCL para su aplicación como material biocompatible*.
- Barahona Quelal, B. J. (Febrero de 2011). Construcción de una maquina etiquetadora automática para envases cilíndricos con etiquetas autoadhesivas. Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3758/1/CD-3539.pdf>
- Barrientos, A. (1997). *Fundamentos de Robótica (2da ed.)*. McGraw Hill.
- Becerra, W., & Castro, X. (2009). *Robot Cilíndrico*. Obtenido de <http://luisarmandomorochowikispaces.com/file/view/ROBOT+CILINDRICO.pdf>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cuadrilátero articulado*. (2006). Obtenido de Escuela Politécnica Superior De Ingenieros De Gijón:
<https://www.uniovi.es/DCIF/IMecanica/GestionCortizo/Methodologia/conceptos%20de%20mecanica/Glosario%20de%20terminos/cuadrilateroArticulado3.htm>
- CYSModel*. (2017). Obtenido de <http://www.cysmodel.com/UploadFiles/2014916152940170.pdf>
- Farnell*. (Junio de 2017). Obtenido de LM338K Datasheet:
<http://www.farnell.com/datasheets/1640753.pdf>
- Farnell*. (Junio de 2017). Obtenido de TIP146 Datasheet:
<http://www.farnell.com/datasheets/296716.pdf>

- González Fdez, V. R., López Cruzado, A., & Cabero Esteban, J. A. (2015). *Robots Industriales*.
Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm
- Granta, D. I. (2005). CES EduPack (Version 4.6). Reino Unido: Cambridge.
- Grupo Kopar. (12 de Noviembre de 2014). Obtenido de <http://kopar.com.mx/noticias/?p=284>
- KST. (2017). Obtenido de <http://www.kstsz.com/threestyle/kstsz/product/2009257173.html>
- KUKA Roboter GmbH. (31 de diciembre de 2002). *KUKA*. Obtenido de www.kuka-robotics.com
- Lovine, J. (2002). *Robots, Androids, and Animatrons (McGraw-Hill Ed. Second ed.)*. United States of America.
- Mott, R. L. (2008). *Diseño de elementos de máquinas*. México. D.F: Pearson.
- Plastigen Plásticos de Ingeniería. (26 de 10 de 2015). Obtenido de http://www.plastigen.cl/site/plasticos_ing13.html
- Quizhpi, M. (29 de Enero de 2014). *Monografías*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos99/robotica-industrial/robotica-industrial.shtml>
- Regalado González, J. M. (2010). *Cálculo y diseño de engranajes conforme a la norma ANSI-AGMA 2101-D04*. Madrid.
- Servo City. (2017). *HS-805BB Servo*. Obtenido de <https://www.servocity.com/hs-805bb-servo>
- Tekscan. (Junio de 2017). Obtenido de FlexiForce A201 Sensor: <https://www.tekscan.com/products-solutions/force-sensors/a201>
- Tlegenov, Y., Telegenov, K., & Shintemirov, A. (2015). A Low-Cost Open-Source 3-D-Printed Three-Finger Gripper Platform for Research and Educational Purpose. 645.
- Trujillo, F., Pozo, A., & Triviño, A. (2011). Obtenido de Electrónica de potencia: https://ocw.uma.es/ingenierias/electronica-de-potencia/ejercicios-proyectos-y-casos-1/calculo_de_disipadores.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Aluminio ASTM A 1200 - Temple H14



ALUMINIO PLANCHAS LISAS



Especificaciones Generales

Descripción ASTM A 1200 - TEMPLE H 14

Aplicaciones Estructuras de furgones para camiones.
Forros interiores de buses.
Recubrimiento de paredes.
Utensilios de cocina.
Recipientes para alimentos líquidos corrosivos.
Fabricación de estructuras para lámparas.
Álabes de turbinas.
Ductos.
Maquinado de piezas automotrices y de máquinas.
Bandejas para alimentos.

Dimensiones 1220 x 2440 mm (estándar)

Esesor mm	Resistencia Mecánica	% Elongación
0.7 - 4.00	127 - 135 Kg/mm2	6.5 - 7.5

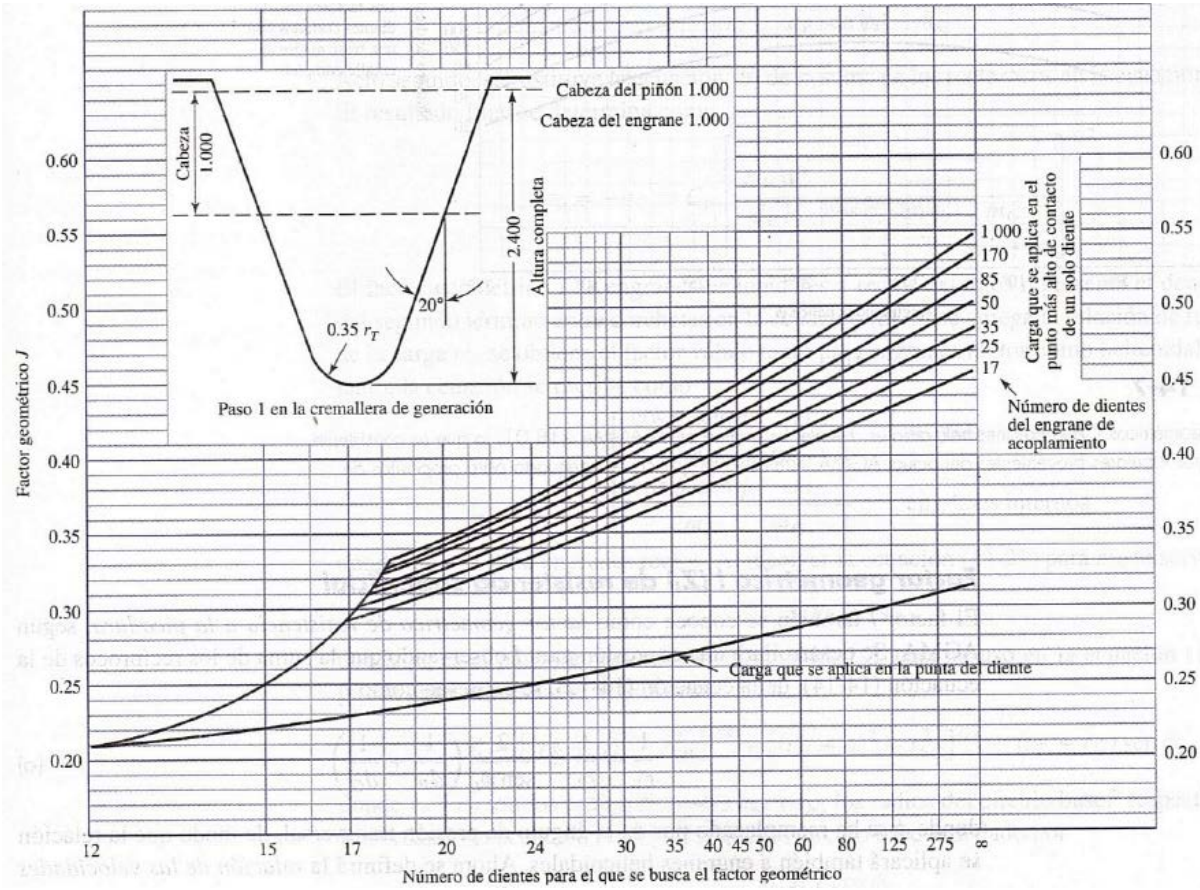
Composición Química %								
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Mn
0.24	0.57	0.030	0.025	0.01	0.047	-	0.01	REMAINDER

ALUMINIO

ALUMINIO PLANCHAS ANTIDESLIZANTES

Fuente: (Catálogo DIPAC, 2017)

Anexo 2. Factores geométricos de engranes rectos



Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

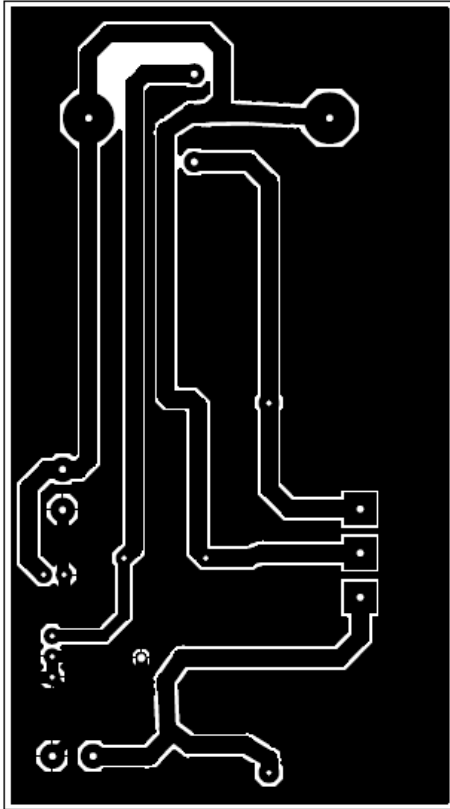
Anexo 3. Especificaciones del Servomotor

Especificación particular	
Artículo No.	HS-805BB
Tipo	Análogo
Peso	152 g (5.36 oz)
Dimensiones	66 *30 * 58 mm
Sistema de control Pulso requerido	(+) Control de ancho de pulso 1500usec Neutral
Voltaje de funcionamiento	4.8 ~ 6 Voltios
Rango de temperatura de funcionamiento	(-) 20 a +60 grados C
Velocidad de funcionamiento (4.8V)	0.19seg / 60 ° sin carga
Velocidad de funcionamiento (6 V)	0,14seg / 60 ° sin carga
Par de torsión (4.8V)	19.8 kg.cm (274.96 oz.in)
Par de torsión (6V)	24.7 kg.cm (343.01 oz.in)
Ángulo de funcionamiento	45° un pulso lateral que viaja 400useg
360° Modificable	Si
Dirección	Horario / Pulso que viaja 556 a 2420useg
Drenaje de corriente (4.8V)	8mA / inactivo y 700mA sin carga de funcionamiento
Drenaje de corriente (6V)	8.7mA / inactivo y 830mA sin carga de funcionamiento
Ancho de banda muerta	8usec
Tipo de motor	Accionamiento de 3 polos de ferrita
Tipo de rodamiento	Rodamiento de doble bola
Cuerno de engranaje spline	15 dientes
Tipo de engranaje	Plástico – Nylon, Espuela de corte recto
Longitud del cable del conector	300mm – calibre 22 AWG
Información del cable	Negro = Negativo, Rojo = Positivo Amarillo = Señal

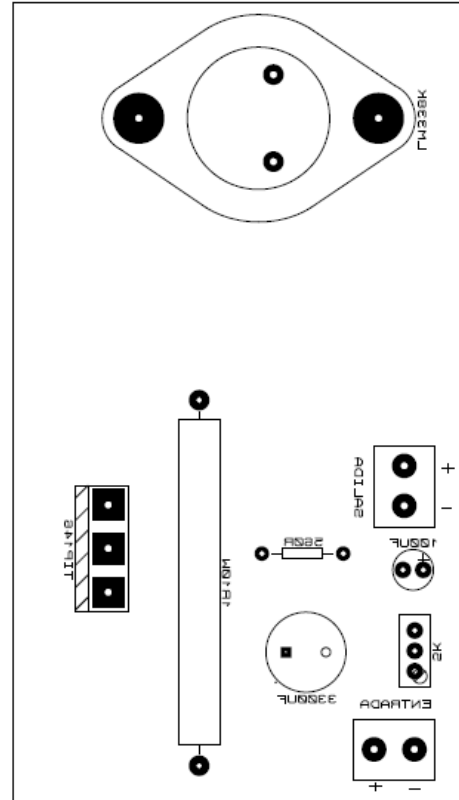
Fuente: (Servo City, 2017)

Anexo 4. Circuito De Control Del Gripper

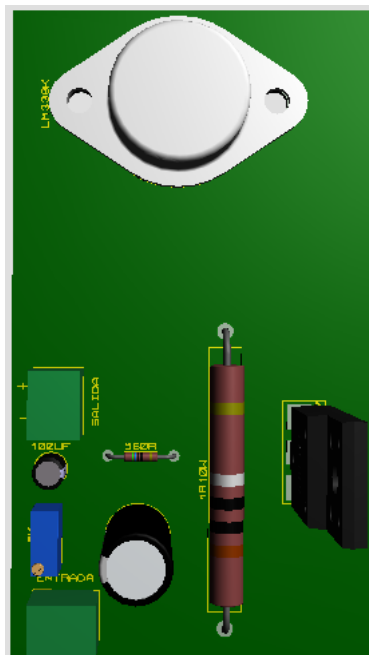
Diagrama De Circuito Impreso



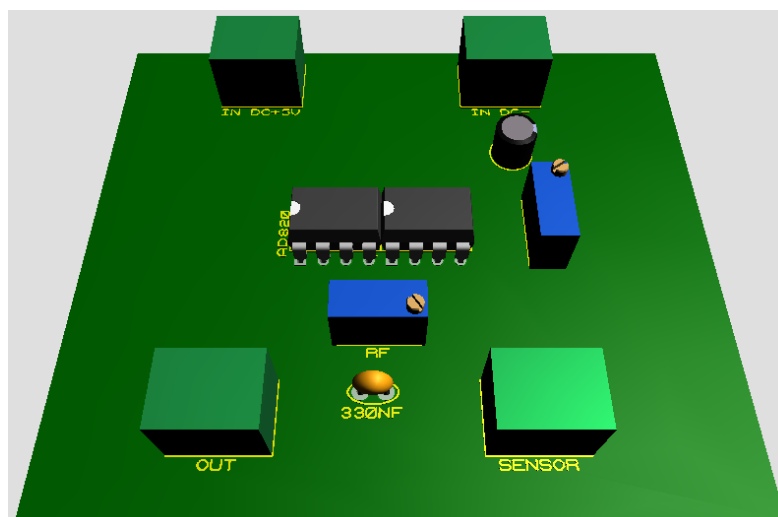
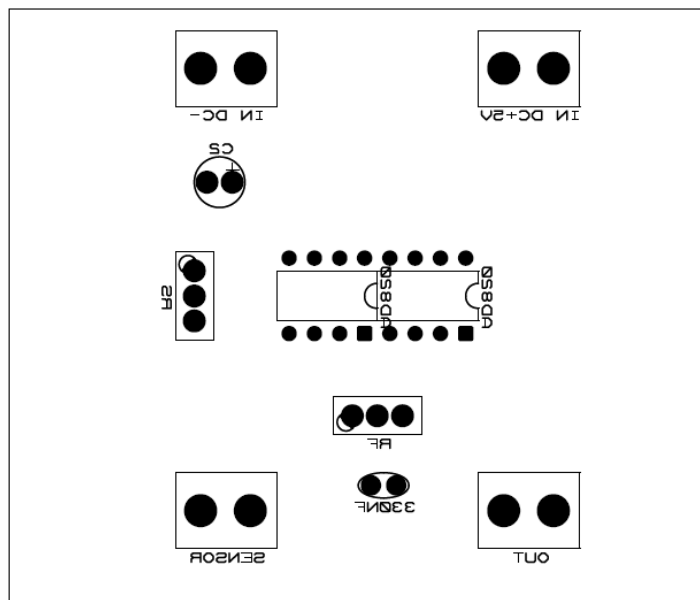
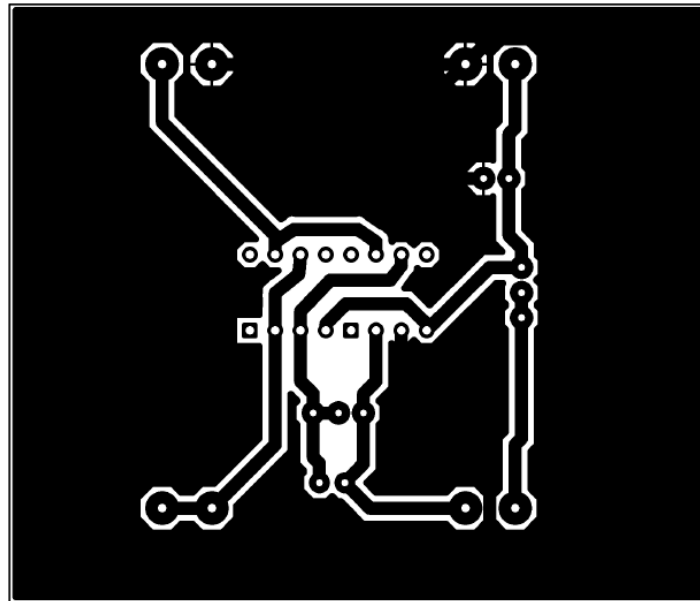
Vista Superior



Vista 3D



Anexo 5. Circuito Impreso Del Sensor Flexiforce



Anexo 6. Sensor FlexiForce A201



FlexiForce® Standard Model A201



The FlexiForce A201 is our standard sensor and meets the requirements of most customers. The A201 is a thin and flexible piezoresistive force sensor that is available off-the-shelf in a variety of lengths for easy proof of concept. These ultra-thin sensors are ideal for non-intrusive force and pressure measurement in a variety of applications. This sensor is designed to use with your own electronics or multimeter.

BENEFITS

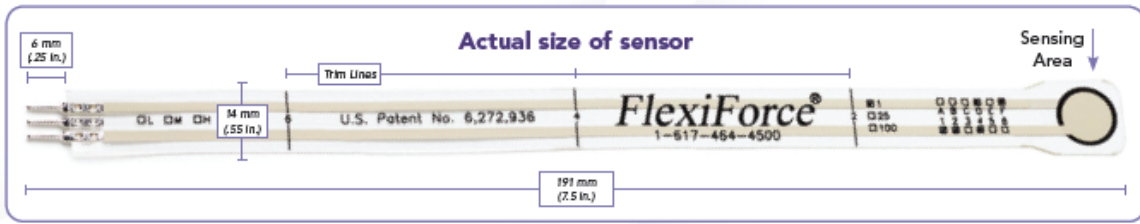
- Thin and flexible
- Easy to use
- Convenient and affordable

PHYSICAL PROPERTIES

Thickness	0.203 mm (0.008 in.)
Length	191 mm (7.5 in.)* (optional trimmed lengths: 152 mm (6 in.), 102 mm (4 in.), 51 mm (2 in.))
Width	14 mm (0.55 in.)
Sensing Area	9.53 mm (0.375 in.) diameter
Connector	3-pin Male Square Pin (center pin is inactive)
Substrate	Polyester (ex: Mylar)
Pin Spacing	2.54 mm (0.1 in.)

✓ ROHS COMPLIANT

* Length does not include pins, please add approximately 6mm (0.25 in.) for pin length for a total length of approximately 197 mm (7.75 in.)

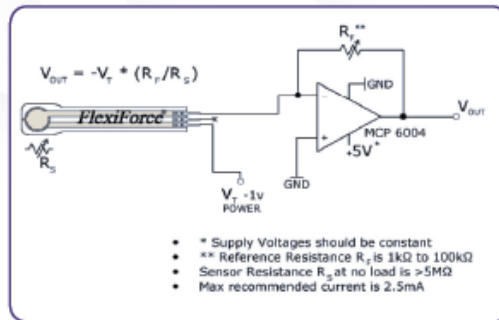


STANDARD FORCE RANGES
(as tested with circuit shown below)

- 4.4 N (0 - 1 lb)
- 111 N (0 - 25 lb)
- 445 N (0 - 100 lb)

In order to measure forces above 100 lb (up to 1000 lb), apply a lower drive voltage (-0.5 V, -0.10 V, etc.) and reduce the resistance of the feedback resistor (1kΩ min.) Conversely, the sensitivity can be increased for measurement of lower forces by increasing the drive voltage or resistance of the feedback resistor.

Recommended Circuit



	Typical Performance	Evaluation Conditions
Linearity (Error)	< ±3%	Line drawn from 0 to 50% load
Repeatability	< ±2.5% of full scale	Conditioned sensor, 80% of full force applied
Hysteresis	< 4.5 % of full scale	Conditioned sensor, 80% of full force applied
Drift	< 5% per logarithmic time scale	Constant load of 111 N (25 lb)
Response Time	< 5µsec	Impact load, output recorded on oscilloscope
Operating Temperature	-40°C - 60°C (-40°F - 140°F)	Time required for the sensor to respond to an input force

- Force reading change per degree of temperature change = 0.36%/°C (±0.2%/°F)



ISO 9001 & 13485

PURCHASE TODAY ONLINE AT
WWW.TEKSCAN.COM/STORE

+1.617.464.4283 | 1.800.248.3669 | info@tekscan.com | www.tekscan.com/flexiforce

Fuente: <https://www.tekscan.com/sites/default/files/resources/FLX-A201-A.pdf>

Anexo 7. Toma de datos del sensor de fuerza

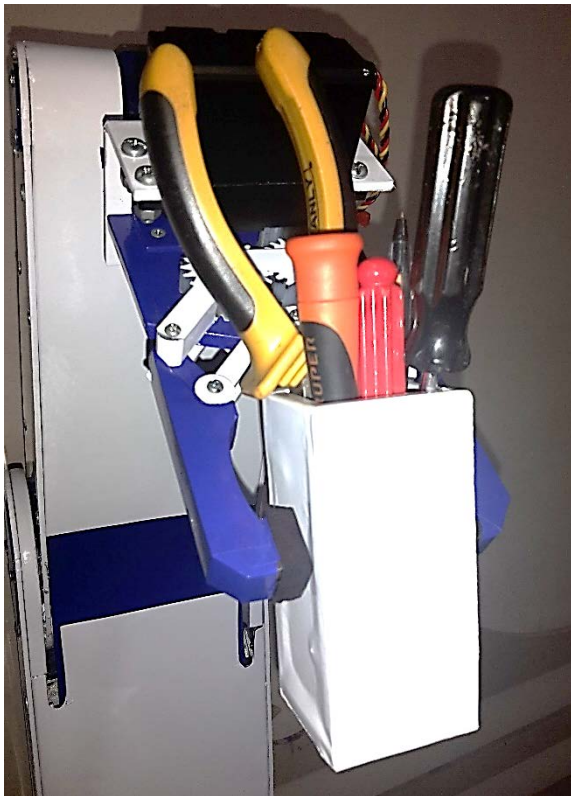
Masa de 1 Kg



Masa de 64 g



Masa de 483 g



Masa de 826 g



Masa de 333 g



Masa de 120 g



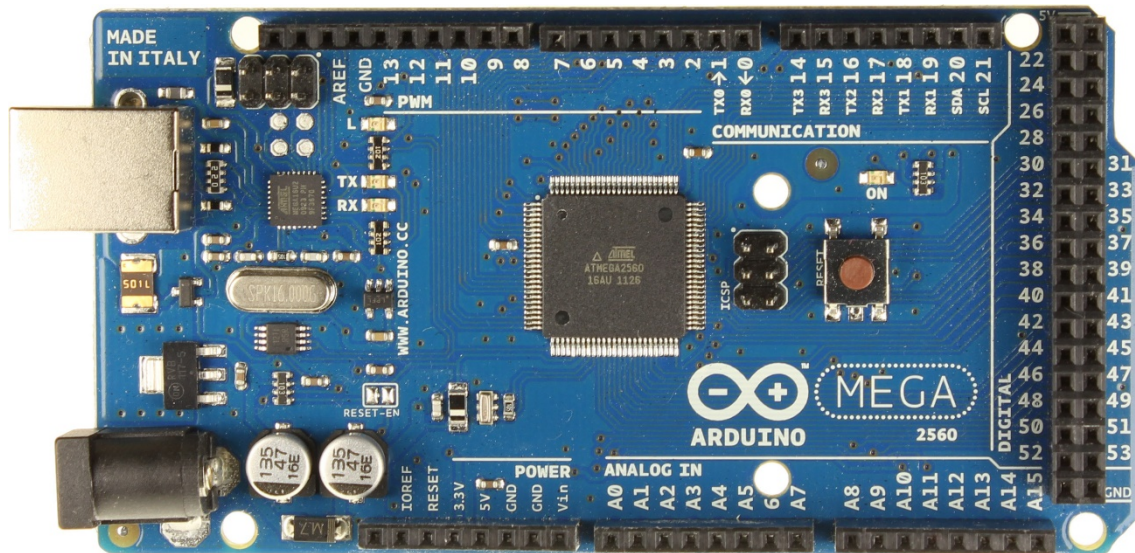
Masa de 650 g



Masa de 20 g



Anexo 8. Arduino MEGA 2560

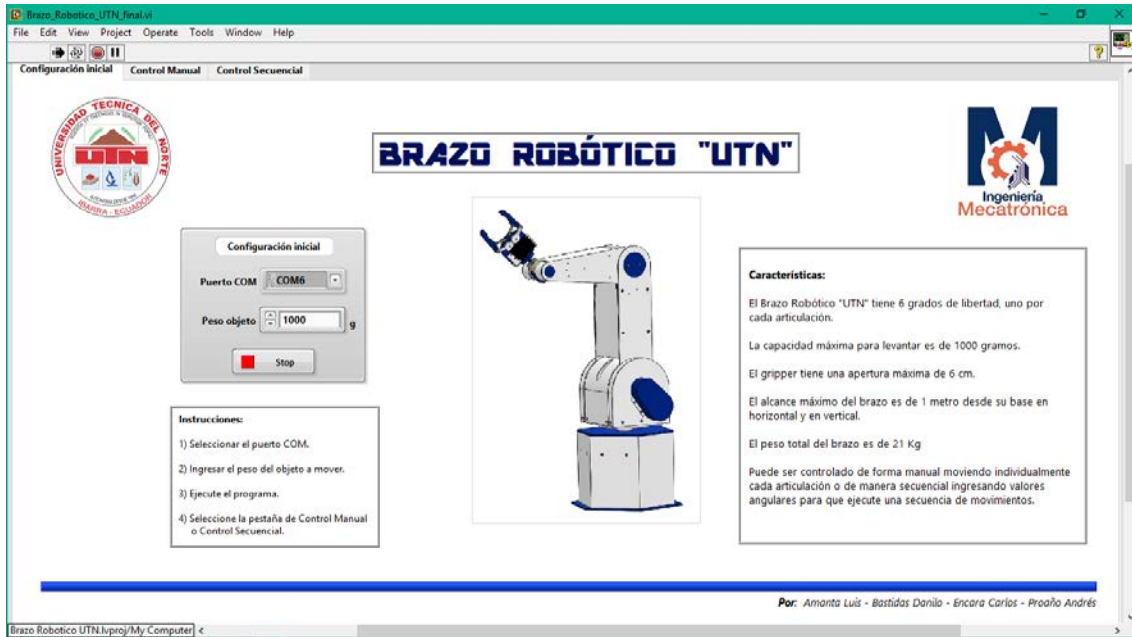


Características:

- ❖ Microcontrolador ATmega2560.
- ❖ Voltaje de operación 5 V.
- ❖ Voltaje de entrada de 7-12 V.
- ❖ Corriente por pin Entrada/Salida 20 mA, para el pin de 3.3 V es 50 mA.
- ❖ 16 entradas análogas.
- ❖ 256k de memoria flash, 8 Kb usado por el bootloader.
- ❖ 54 pines digitales de entrada y salida (14 son salidas PWM).
- ❖ Velocidad del reloj de 16 Mhz
- ❖ SRAM 8 Kb
- ❖ EEPROM 8 Kb
- ❖ Dimensiones 101.52 x 53.3 mm
- ❖ Peso 37 g

Fuente: <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>

Anexo 9. Programación en LabVIEW del brazo robótico UTN



Panel Frontal del programa en accionamiento manual

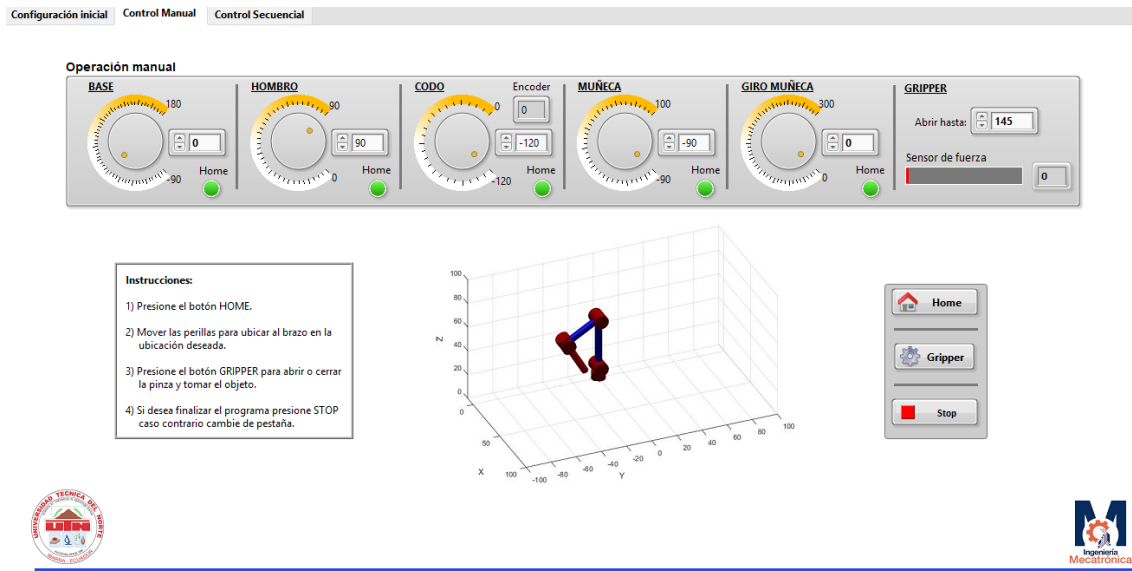
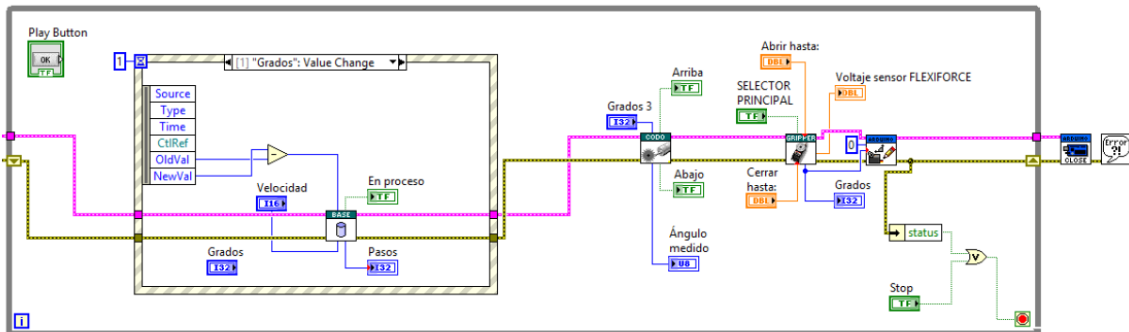


Diagrama de bloques del programa en accionamiento manual



Panel Frontal del programa de control por secuencias

SECUENCIA

Nro	H	M	B	C	G
01	17	80	0	0	0
02	17	80	0	0	0
03	30	80	0	0	0
04	50	80	120	0	0
05	50	80	120	0	0
06	50	80	120	0	0
07	18	80	120	0	0
08	30	80	120	0	0
09	90	-90	60	0	0

Instrucciones:

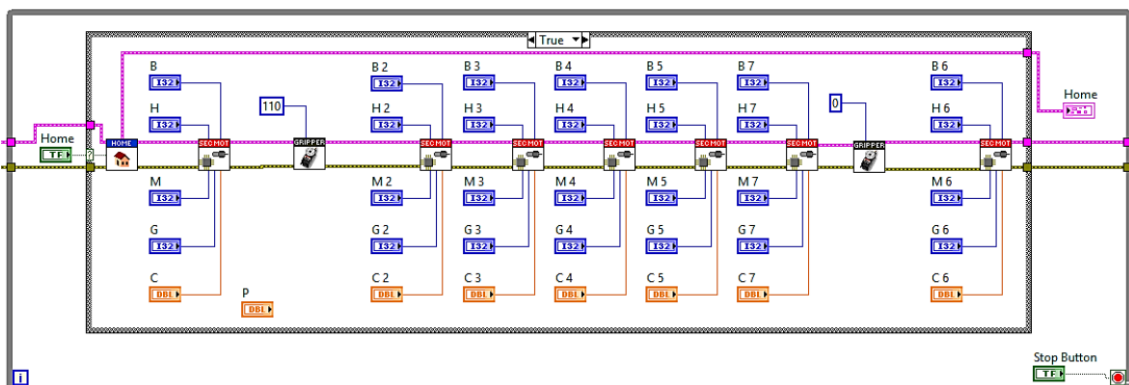
- 1) Presione el botón HOME.
- 2) Colocar el valor angular que se desea mover cada articulación. Tener en cuenta **Valores Máximos**.
- 3) Cada fila representa una secuencia de movimientos.
- 4) Presione PLAY para ejecutar el Brazo Robótico.
- 5) Si desea finalizar el programa presione STOP caso contrario cambie de pestaña.

Valores máximos

(H) Hombro: 90 a 0
 (M) Muñeca: -90 a 90
 (B) Base: 0 a 180
 (C) Codo: 0 a 110
 (G) Giro: 0 a 300

Home Play Stop

Diagrama de bloques del programa de control por secuencias

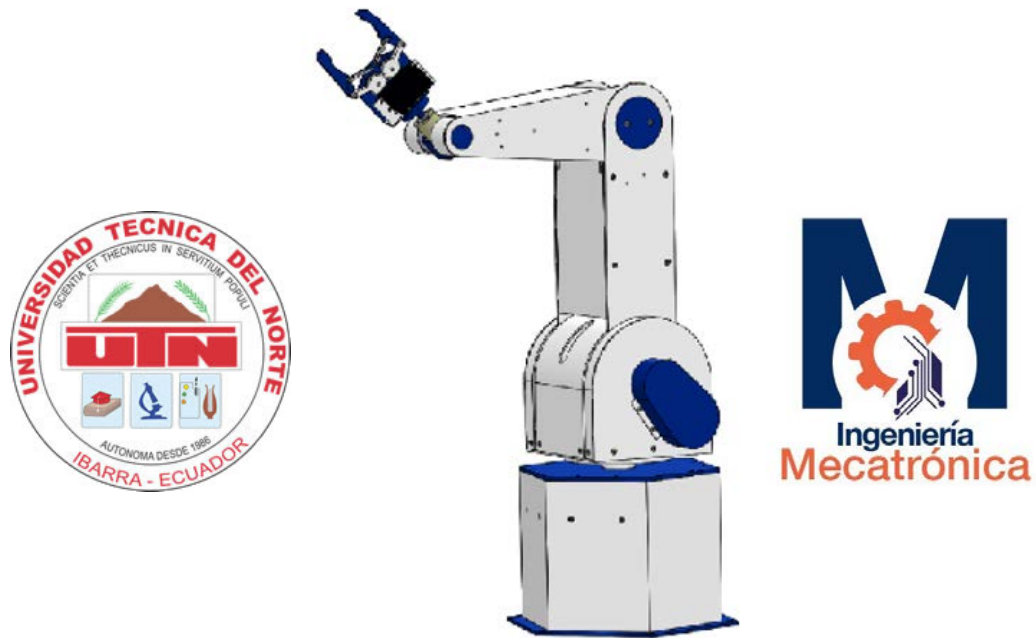


Anexo 10. Manual de usuario del brazo robótico UTN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y ENSAMBLAJE DEL BRAZO ROBÓTICO “UTN”

ELABORADO POR:

Andrés Proaño

Carlos Endara

Danilo Bastidas

Luis Amanta

Ibarra, Septiembre 2017

1 INFORMACIÓN GENERAL

El brazo robótico UTN desarrollado en este proyecto, es un prototipo de laboratorio cuyo fin es permitir a los estudiantes la investigación sobre sistemas mecatrónicos, cadenas de producción industriales, cálculos cinemáticos mediante la programación. Todo esto a través de la operación del brazo.

2 FUNCIONAMIENTO

El brazo robótico UTN se conforma por las siguientes partes: base, hombro-brazo, codo-antebrazo-muñeca y el efector final o Gripper.

- ❖ La base será la que acoja a los sistemas de control como drivers y tarjetas electrónicas y actuadores, también proporciona el movimiento de giro derecha-izquierda sobre su eje de referencia comprendido entre 0 y 180° como mínimo.
- ❖ La articulación hombro-brazo proporciona el movimiento de arriba hacia abajo comprendiendo valores entre 0 y 90° medidos desde su posición horizontal.
- ❖ La articulación de codo-antebrazo-muñeca proporciona también un movimiento arriba-abajo, en la parte de codo y muñeca comprendidos entre 0 y -120° y 0 a 180° respectivamente. También provee a la muñeca de un giro de rotación de 360°.
- ❖ El efector final o Gripper será el encargado de proporcionar la sujeción de objetos de peso entre 0 y 1Kg mediante la acción de abrir y cerrar las pinzas.

3 PRECAUCIONES

- ❖ Para evitar el mal uso o la incorrecta operación del brazo robótico UTN habrá de seguirse los siguientes pasos.
- ❖ Antes de poner en marcha el brazo robótico, revisar conexiones eléctricas y asegúrese de que no existan obstáculos dentro de su área de trabajo.
- ❖ Usar una fuente de alimentación de 12V – 20A (min).
- ❖ El brazo robot UTN está diseñado para levantar una masa máxima de 1 Kg.
- ❖ Revisar que los conectores (DB 9 y DB25) estén sujetos correctamente.
- ❖ Verificar la conexión entre la tarjeta controladora del brazo robot y el computador (LabVIEW-Arduino) antes de energizar el robot.
- ❖ Examinar que la alimentación externa sea de 110V- AC.
- ❖ Examinar que la alimentación del servomotor del Gripper sea de 5 a 6 V
- ❖ Evitar trabajar con el brazo robot dentro de ambientes húmedos o riesgo de contacto eléctrico o agua.

4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La siguiente Tabla nos muestra las especificaciones técnicas del brazo robótico UTN.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BRAZO ROBOTICO	
Detalle	Descripción
Capacidad de carga	1 Kg.
Fuente de alimentación	12VDC – 21A
Material	Aluminio ASTM A 1200
Peso del brazo robot	25 Kg.
Tablero de control	Gabinete metálico
Repetitividad	98%
Precisión	96%

5 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento del brazo robot debe ser realizado solo por personal con conocimientos básicos de electrónica y mecánica, que haya sido capacitado sobre el uso del mismo y conozca su funcionamiento. Para cualquier caso se debe seguir el manual de ensamblado.

La Tabla que se muestra a continuación, describe los problemas que pueden presentarse durante la operación del Brazo robótico UTN.

POSIBLES PROBLEMAS Y SUS SOLUCIONES		
Problema	Posible Causa	Solución
El brazo robot no enciende.	La fuente de energía esta desconectada.	Verificar que el cable de poder se encuentra conectado.
	El breaker está en modo apagado.	Subir la palanca del breaker a modo encendido.
	Los cables no transmiten señales. Desconexión.	Revise continuidad y re-conecte los cables.
	Cables desconectados	Revisar puertos de conexión DB-25 y DB-9
	El paro de emergencia se encuentra presionado.	Desactivar el paro de emergencia girándolo.
El robot no ejecuta las órdenes.	Los conectores DB-9 y DB-25 están desconectados.	Conecte y asegure los conectores.
	El conector en el hombro esta desconectado.	Retire la tapa del hombro y revise la conexión.
	El robot no se comunica con el computador.	Revise que el puerto de comunicación escogido es el adecuado.(puerto COM)
	No llegó a la posición HOME al robot.	En la pantalla del programa de control del robot presione el botón HOME.
	No se detiene en la posición HOME	Revisar finales de carrera rotos o desconectados y asegurarlos.
	Ejecuta órdenes diferentes a las dadas.	Revisar programa de ejecución en software. Revisar que se haya detenido el anterior programa.

6 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

A más de los problemas que se puedan dar durante la operación del brazo robótico los cuales serán corregidos en el instante que se presente, se debe tener un plan de mantenimiento establecido, proporcionando un tiempo de uso para cada parte constitutiva y su mantenimiento respectivo.

La siguiente Tabla muestra la frecuencia y el tipo de mantenimiento para el brazo.

MANTENIMIENTO BRAZO ROBOT UTN						
ESLABÓN	PIEZA	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA			
			Diario	Semanal	Semestral	Anual
BASE	Rodamiento cónico	Revisión y engrasado				X
	Rodamiento radial	Revisión y engrasado				X
	Final de carrera	Revisión y ajuste		X		
	Estructura Externa	limpieza general y ajuste		X		
	Cableado interno	Revisión de drivers	X			
BRAZO	Piñón - Cadena	Revisión tensión y engrasado			X	
	Rodamientos	Revisión y engrasado				X
	Cableado interno	Revisión conexión sockets	X			
	Estructura externa	limpieza general y ajuste		X		
	Final de carrera	Revisión y ajuste		X		
ANTE BRAZO	Engranés	Engrasado			X	
	Banda dentada	Revisión desgaste			X	

	Disco Encoder	Revisión y ajuste			X	
	Final de carrera	Revisión y ajuste		X		
	Estructura externa	limpieza general y ajuste		X		
GRIPPER	Cableado	Revisión conexión	X			
	Engrane Servo	Revisión y ajuste	X			
	Sensor Flexiforce	Revisión conexión y censado	X			
	Estructura Externa	Limpieza y ajuste	X			
BRAZO						
BRAZO	Gabinete de Control	Revisión conexiones y limpieza.			X	
	Motores	Revisión funcionalidad			X	
	Estructura interna	Limpieza y ajuste				X
	Estructura externa	Limpieza y ajuste				X

7 ORDEN A SEGUIR PARA DESMONTAJE Y MONTAJE DEL BRAZO

7.1 MONTAJE DEL BRAZO ROBOT UTN

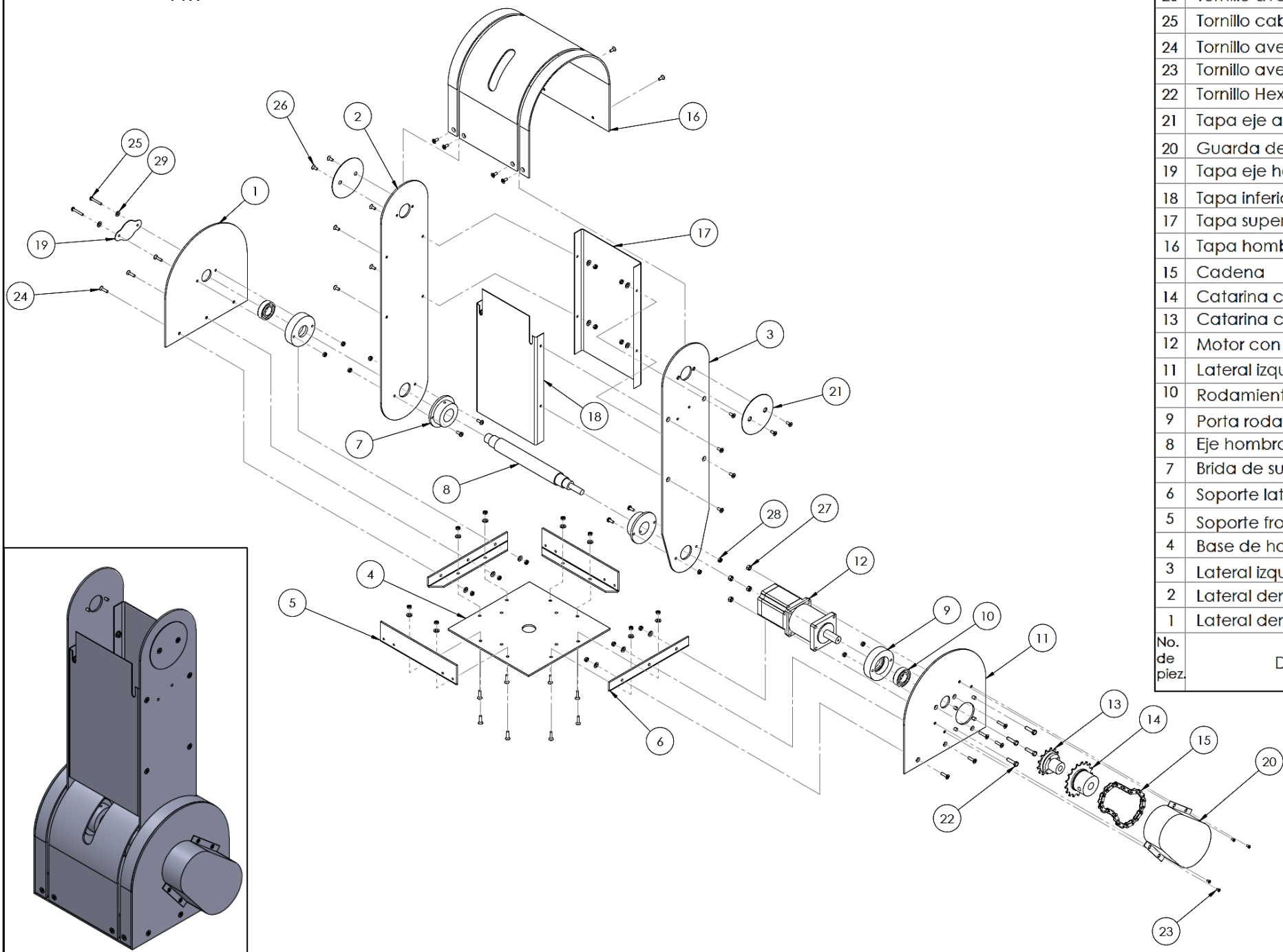
El montaje del brazo robot UTN, se lo realiza ensamblando cada uno de sus eslabones por separado (base, brazo, antebrazo, Gripper), para luego realizar el ensamblaje completo donde se incorporan todos los componentes.

7.2 ENSAMBLAJE DE LA BASE

La siguiente Tabla muestra las partes constitutivas de la base y su trayectoria de ensamblado.

ENSAMBLE	Nº	DESCRIPCIÓN
	1	Tapa Base Inferior
	2	Base Cuerpo
	3	Tapa Base Superior
	4	Eje
	5	Engrane Piñón
	6	Engrane Eje
	7	Porta rodamiento 1
	8	Porta rodamiento 2
	9	Soporte motor
	10	Motor Pasos
	11	Soporte medio
	12	Porta Brazo
	13	Rodamiento Cónico
	14	Rodamiento de bolas
	15	Perno M4x13 (x24)
	16	Perno M5x13 (x4)

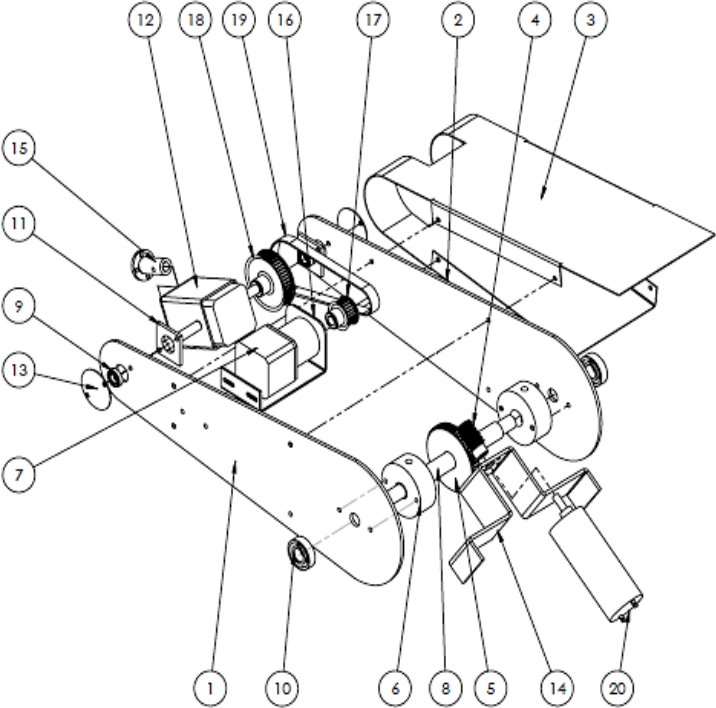
7.3 ENSAMBLAJE DEL BRAZO



29	Arandela M4
28	Tuerca M4
27	Tuerca M5
26	Tornillo avellanado M4 x 0.7 x 10
25	Tornillo cabeza cilíndrica M4 x 0.7 x 20
24	Tornillo avellanado M4 x 0.7 x 16
23	Tornillo avellanado M3 x 0.5 x 6
22	Tornillo Hexagonal M5 x 0.8 x 20
21	Tapa eje antebrazo
20	Guarda de protección
19	Tapa eje hombro
18	Tapa inferior brazo
17	Tapa superior brazo
16	Tapa hombro
15	Cadena
14	Catarina conductora
13	Catarina conducida
12	Motor con caja reductora
11	Lateral izquierdo de hombro
10	Rodamiento
9	Porta rodamiento
8	Eje hombro
7	Brida de sujeción con cuello
6	Soporte lateral base
5	Soporte frontal base
4	Base de hombro
3	Lateral izquierdo de brazo
2	Lateral derecho de brazo
1	Lateral derecho de hombro
No. de pieza	Denominación

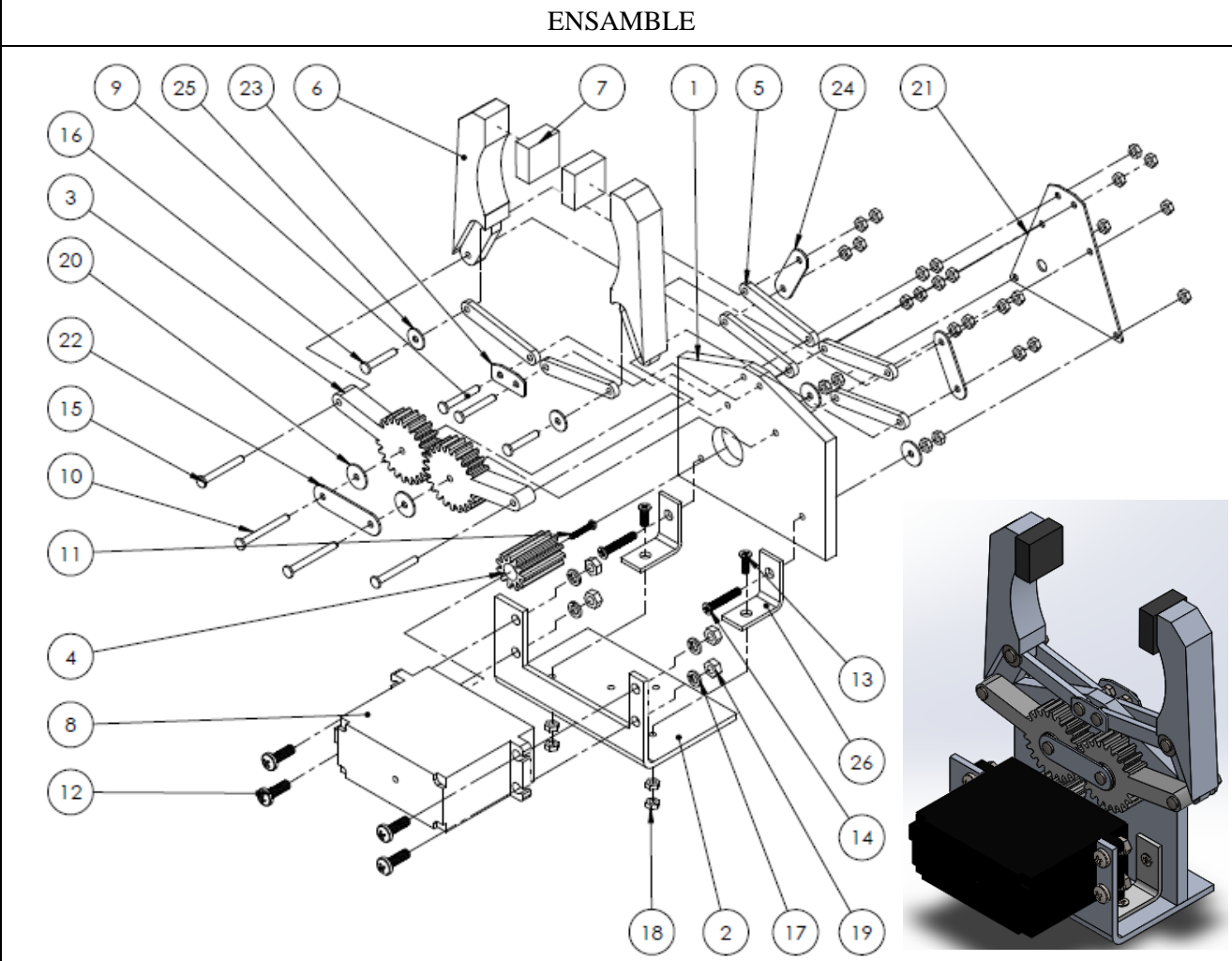
7.4 ENSAMBLAJE DEL ANTEBRAZO.

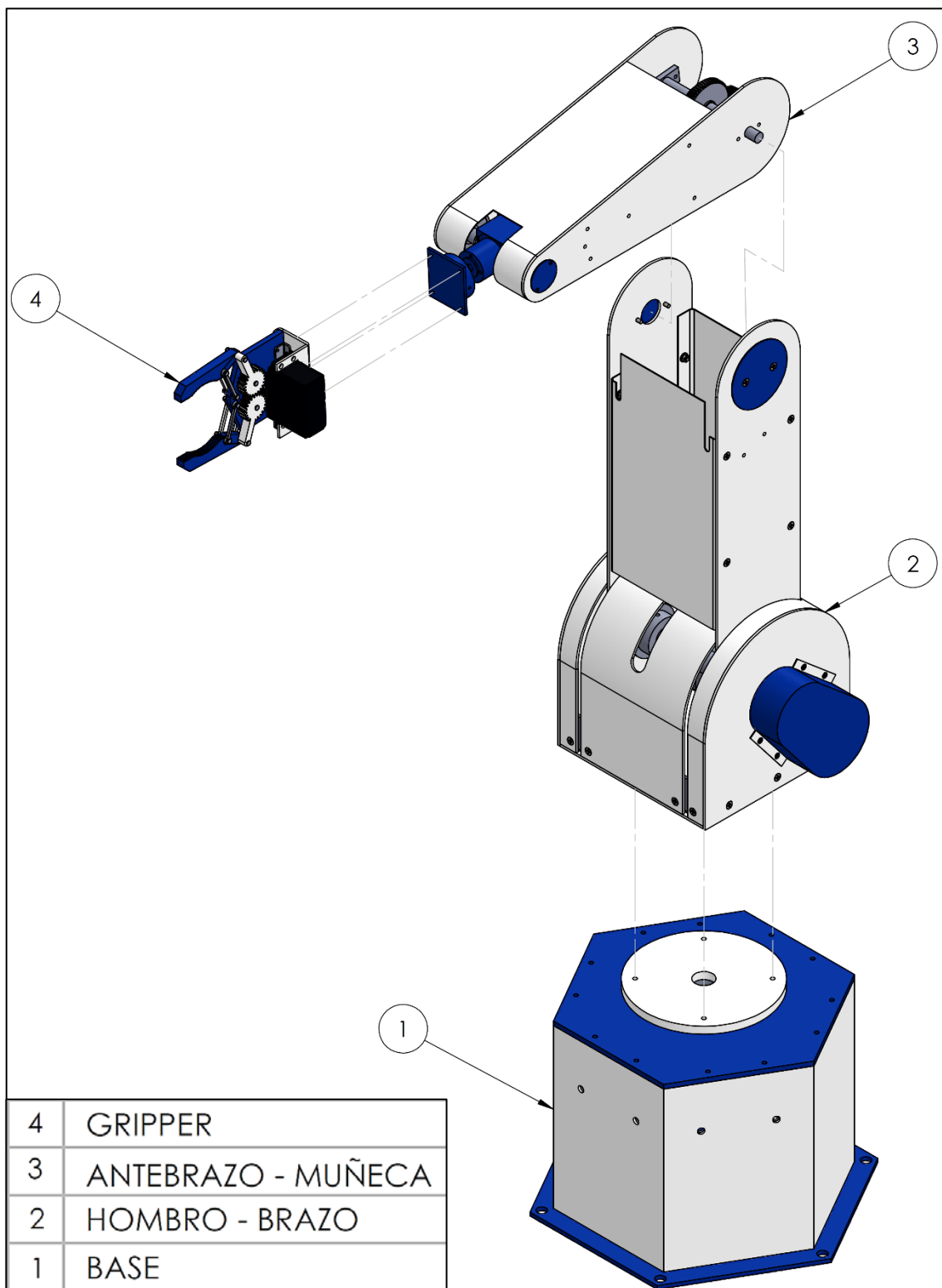
Con ayuda de la Figura, se realiza el montaje de cada una de las piezas que conforman el antebrazo robot.

ENSAMBLE	N°	DESCRIPCION
	1	Tapa Lateral Izquierda
	2	Tapa Lateral Derecha
	3	Tapa Superior Inferior
	4	Sinfín
	5	Engrane helicoidal
	6	Sujetador de Eje
	7	Motor
	8	Eje Codo
	9	Rodamientos muñeca
	10	Rodamientos codo
	11	Porta rodamiento
	12	Pasador
	13	Tapa de rodamiento
	14	Base para motor de codo
	15	Acople Mg
	16	Base para motor
	17	Polea dentada 1
	18	Polea dentada 2
	19	Banda dentada
	20	Motor DC

7.5 ENSAMBLAJE DEL GRIPPER.

A continuación se muestran las partes constitutivas de Gripper, el cual se sujetará mediante 4 pernos de 3mm al acople del motor del giro de la muñeca

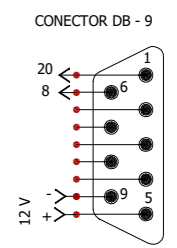
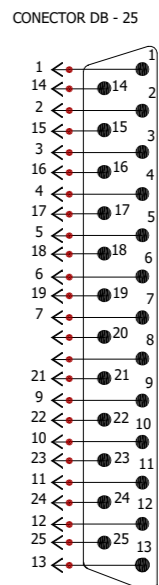
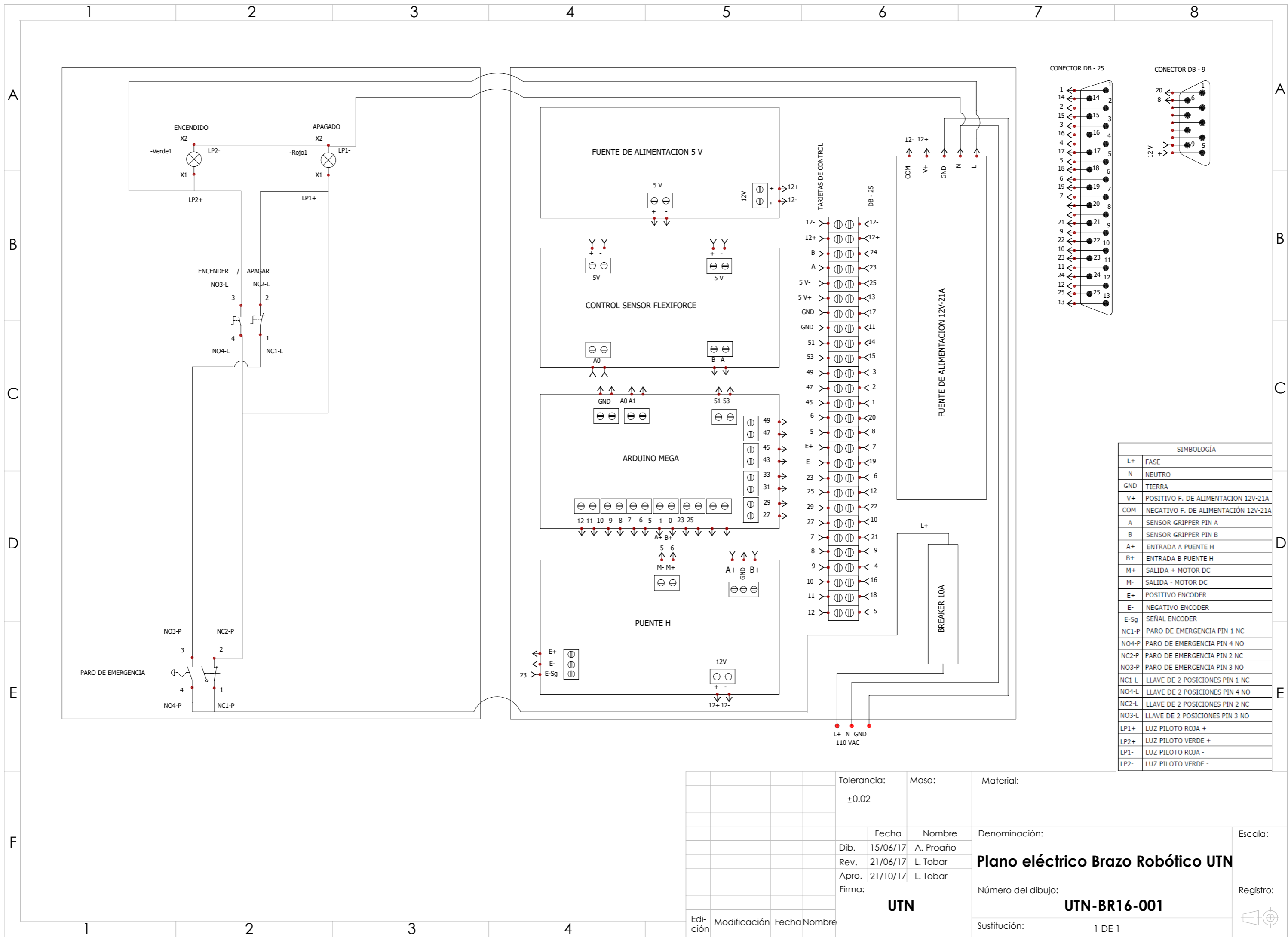
ENSAMBLE		Nº	DESCRIPCION
		1	Cuerpo
		2	Base
		3	Transmisión Gripper (x2)
		4	Transmisión Servomotor
		5	Barra (x6)
		6	Mordaza (x2)
		7	Caucho antideslizante (x2)
		8	Servomotor HS-805BB
		9	Pasador Barras1 D3mm (x2)
		10	Pasador Transmisión1 D3mm (x2)
		11	Perno Engrane Servomotor M2x12mm
		12	Perno Servomotor M5x12mm (x4)
		13	Perno L-Base M3x10mm (x2)
		14	Perno L-Cuerpo M3x20mm (x2)
		15	Pasador Transmisión2 (x2)
		16	Pasador Barras2 (x2)
		17	Arandela de presión Servomotor (x4)
		18	Tuerca 3mm (x30)
		19	Tuerca 5mm Servomotor (x4)
		20	Arandela 3mm (x4)
		21	Soporte Triángulo
		22	Soporte ejes engranes
		23	Soporte ejes barras
		24	Soporte ejes pinza
		25	Arandela 3mm, diámetro exterior 5mm
		26	Brida en L (x2)

8 ENSAMBLE COMPLETO DEL BRAZO ROBÓTICO UTN.

Pasos para el ensamblaje:

- ❖ Fijar la base al suelo o sobre una estructura firme con el fin de evitar balanceo y una posible caída del brazo.
- ❖ Colocar la articulación hombro-brazo sobre la pieza superior de la base (*porta brazo*) y asegurar con 4 pernos (*M5x13*). Nota: la tapa del hombro y las tapas del brazo se ensamblan al final para dar facilidad al conexionado de la parte eléctrica.
- ❖ Asegurar el antebrazo al brazo colocando el eje del codo en los rodamientos de la parte final del brazo.
- ❖ Colocar el motor del codo sobre el brazo y asegurarlo, verificar que este en posición correcta para producir el giro del mismo y el antebrazo.
- ❖ Asegurados los 3 primeros eslabones, se ensambla el efector final (*Gripper*), este se conecta directamente al eje del motor que provee el giro a la muñeca a través de un acople y el uso de un prisionero.
- ❖ Realizar las conexiones eléctricas dentro del brazo robot y hacia el gabinete de control, (revisar conexiones dentro del gabinete).
- ❖ NOTA: Antes de realizar la desconexión del brazo robot, asegurarse de detener la comunicación entre el software y la tarjeta de control, ya que se pueden quedar órdenes grabadas y al momento de volver a encender el brazo robot, este podría ejecutar movimientos no deseados.

Anexo 11. Diagrama eléctrico del brazo robótico UTN



SIMBOLOGÍA	
L+	FASE
N	NEUTRO
GND	TIERRA
V+	POSITIVO F. DE ALIMENTACIÓN 12V-21A
COM	NEGATIVO F. DE ALIMENTACIÓN 12V-21A
A	SENSOR GRIPPER PIN A
B	SENSOR GRIPPER PIN B
A+	ENTRADA A PUENTE H
B+	ENTRADA B PUENTE H
M+	SALIDA + MOTOR DC
M-	SALIDA - MOTOR DC
E+	POSITIVO ENCODER
E-	NEGATIVO ENCODER
E-Sg	SEÑAL ENCODER
NC1-P	PARO DE EMERGENCIA PIN 1 NC
NO4-P	PARO DE EMERGENCIA PIN 4 NO
NC2-P	PARO DE EMERGENCIA PIN 2 NC
NO3-P	PARO DE EMERGENCIA PIN 3 NO
NC1-L	LLAVE DE 2 POSICIONES PIN 1 NC
NO4-L	LLAVE DE 2 POSICIONES PIN 4 NO
NC2-L	LLAVE DE 2 POSICIONES PIN 2 NC
NO3-L	LLAVE DE 2 POSICIONES PIN 3 NO
LP1+	LUZ PILOTO ROJA +
LP2+	LUZ PILOTO VERDE +
LP1-	LUZ PILOTO ROJA -
LP2-	LUZ PILOTO VERDE -

Tolerancia:	Masa:	Material:	
±0.02			
Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib. 15/06/17	A. Proaño	Plano eléctrico Brazo Robótico UTN	
Rev. 21/06/17	L. Tobar		
Apro. 21/10/17	L. Tobar		
Firma:		Número del dibujo:	Registro:
UTN		UTN-BR16-001	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre
Sustitución:		1 DE 1	

Anexo 12. Planos