

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Área Académica Ingeniería Mecatrónica



Diseño y simulación de un sistema mecatrónico para la automatización de procesos de carga, descarga y almacenaje de contenedores de fruta en el Tecnológico de Costa Rica en el centro académico de Limón

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

Manuel de Jesús Sanabria Montoya

Cartago, Junio de 2019

Declaración de Autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Junio de 2019



Manuel de Jesús Sanabria Montoya

Cédula: 1-1488-0537

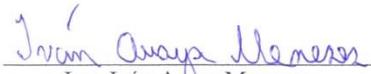
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

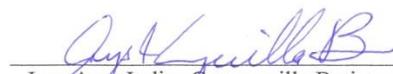
Estudiante: Manuel de Jesús Sanabria Montoya

Proyecto: Diseño y simulación de un sistema mecatrónico para la automatización de procesos de carga, descarga y almacenaje de contenedores de fruta en el Tecnológico de Costa Rica en el centro académico de Limón

Miembros del Tribunal


Ing. Iván Araya Meneses

Profesor lector


Ing. Arlys Indira Carrasquilla Batista

Profesora lectora


Ing. Juan Pablo Arias Cartín
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Cartago, 10 de Junio de 2019

Resumen

El proceso de logística de transporte, carga, descarga y almacenamiento de contenedores de fruta es ampliamente utilizado en empresas como Del Monte para el procesado de la fruta hasta su exportación. Actualmente, esta operación es ejecutada de forma totalmente manual durante 24 horas al día debido a lo lento que se torna y a las múltiples y minuciosas inspecciones que deben realizarse. En ocasiones, es necesario cambiar la fruta de contenedores, dado que puede ser transportada en un recipiente no adecuado o que presenta daños o problemas en su funcionamiento.

Además, los operarios encargados del transporte de la fruta se ven expuestos a situaciones ambientales y logísticas que pueden comprometer el producto. Estas pueden comprometer la integridad del producto por esta razón es importante que el operario se encuentre monitoreando constantemente su contenedor durante el viaje.

Es aquí donde el Tecnológico de Costa Rica sede Centro Académico de Limón, encuentra la necesidad de diseñar, simular y automatizar el proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores de fruta, pues actualmente esta sede no cuenta con una celda para simular este proceso implementado por empresas como Del Monte, lo cual genera a la universidad problemas en la transmisión de conocimiento al estudiantado en el área de automatización de almacenes.

Se realiza entonces en este proyecto el diseño completo de un sistema mecatrónico que permita solucionar la problemática. Se diseña su estructura mecánica, se seleccionan y ubican sus sensores y actuadores, se hace un modelado de la celda mecatrónica en tres dimensiones, se diseña su sistema de control y se diseña su circuitería electrónica e interfaz de potencia. Finalmente se hacen las simulaciones que verifican el funcionamiento del sistema dejando todo listo para proceder a su implementación para completar la celda diseñada.

Palabras clave: contenedor, mecatrónica, conductor, mecatrónica, automatización, robot, seguridad ocupacional, HMI, carga, descarga, optimo.

Abstract

The process of transport logistics, loading, unloading and storage of fruit containers has been used by companies. Currently, this operation is executed entirely manually 24 hours a day due to the slow pace of the multiple and thorough inspections that must correspond. Sometimes, it is necessary to change the fruit of the containers, since it can be transported in a container that is not suitable or that presents damages or problems in its operation.

In addition, the operators in charge of transporting the fruit are also environmental and logistical situations that can compromise the product. These can compromise the integrity of the product for this reason it is important that the operator is constantly monitoring their container during the trip.

This is where the Tecnológico de Costa Rica, Academic Center of Limón, finds the need to design, simulate and automate the process of loading, unloading and storing fruit containers, because it currently does not have an account with a cell to simulate This process is implemented by companies such as Del Monte, in the field of warehouse automation.

It is then carried out in this project the complete design of a mechanical system that allows to solve the problem. Its mechanical structure is designed, its sensors and actuators are selected and located, a mechanical cell mode is made in three dimensions, its control system are designed and its electronic circuitry is designed and power interface. Finally, the simulations that verify the functioning of the system are made.

Keywords: container, mechatronics, driver, mechatronics, automation, robot, occupational safety, HMI, loading, unloading, optimal.

Dedicatoria

por Manuel de Jesús Sanabria Montoya

Este proyecto es la representación de la culminación de mis años de estudio universitarios, los cuales no hubieran sido posibles sin el apoyo de Dios, mi familia y mis amigos. Dedico especialmente este proyecto a mis padres, mi padre Rafael Antonio Sanabria Álvarez por todo su apoyo y más que un padre es un consejero, a mi madre Sandra Isabel Montoya Richmond la cual fue un pilar en mi educación desde niño y siempre me ha brindado su amor incondicional y apoyo, aún en momentos de desesperación.

Quisiera mencionar a mi hermana Alejandra Sanabria Montoya, durante las etapas de la universidad me brindo apoyo económico, experiencia y conocimiento y se ha mantenido pendiente de mi avance a lo largo de toda mi carrera. A mi hermana Lucrecia Sanabria Montoya por brindarme ayuda en momentos difíciles en los cuales he estado enfermo y ayudarme a aprender a mí vivir por mi cuenta. A mi hermana Gabriela Sanabria Montoya la cual siempre me ha mostrado cariño y un gran orgullo por mis éxitos.

A mis amigos que se han convertido en parte importante de mi apoyo durante mi crecimiento en todos los ámbitos de mi vida, tanto personalmente como profesional. Por brindar sus consejos en momentos de aflicción y estrés. Les deseo muchos triunfos y el mejor de los éxitos en sus vidas.

A Dios por ser mi más grande apoyo y por guiarme a lo largo de estos años de carrera universitaria.

Agradecimientos

Agradezco al Tecnológico de Costa Rica por servir durante estos años como mi alma mater y por darme la oportunidad de aportar desde hoy al crecimiento y al desarrollo científico y tecnológico de la sociedad costarricense.

Le doy gracias al Instituto Tecnológico de Costa Rica Centro Académico de Limón y en especial a la Ingeniera Laura Rojas Camacho por permitirme desarrollar mi proyecto de graduación en sus instalaciones aplicando mis conocimientos técnicos a la solución de un problema industrial real.

También doy gracias a los siguientes profesores del Instituto Tecnológico de Costa Rica: Ing. Juan Pablo Arias Cartín, Ing. Arys Carrasquilla Batista, Ing. Iván Araya Meneses por servir de Tribunal Evaluador y apoyarme durante el desarrollo de este proyecto.

Contenido

Capítulo 1: Introducción	14
1.1 Exposición del problema existente.....	14
1.1.1 Generalidades del problema e importancia de su solución	16
1.1.2 Síntesis del problema.....	18
1.2 Enfoque de la solución	18
1.2.1 Requerimientos generales	18
1.2.2 Síntesis de la solución	18
Capítulo 2: Meta y objetivos	21
2.1 Meta.....	21
2.2 Objetivo general	21
2.3 Objetivos específicos	21
Capítulo 3: Marco teórico	22
3.1 El proceso de carga, descarga y almacenaje	22
3.1.1 Descripción general	22
3.1.2 Almacenaje de contenedores de fruta en Del Monte.....	23
3.2 Métodos de automatización usados en la industria para para la carga descarga y almacenaje de contenedores de fruta	23
3.2.1 Sistemas de manipulación en terminales de contenedores	26
3.3 Análisis de resistencia mecánica en el diseño del sistema	35
3.3.1 Cargas, esfuerzos y factor de seguridad	35
3.3.3 Vigas y perfiles metálicos	37
3.4 Actuadores y sistemas de accionamiento.....	39
3.4.1 Descripción y control del motor a pasos.....	39
3.4.2 Determinación del torque para un motor a pasos.....	42
3.4.3 Electroimán	44
3.5 Métodos de censado y monitoreo	45
3.5.1 Sensores inductivos	45
3.5.2 Sensores capacitivos	47
3.5.3 Final de carrera mecánico	48
Capítulo 4: Procedimiento metodológico	49
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	49
4.2 Obtención y análisis de información.....	50
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	51

4.4	Diseño y verificación de la solución	53
4.5	Reevaluación y rediseño	54
	Capítulo 5: Descripción detallada de la solución	56
5.1	Evaluación de soluciones y selección final	56
5.1.1	Definición de requerimientos del sistema	56
5.1.2	Definición de alternativas de diseño	58
5.1.3	Evaluación y selección de alternativas	59
5.1.4	Caracterización del sistema	65
5.2	Diseño mecánico y estructural	67
5.2.1	Ensamblaje y especificaciones mecánicas.....	67
5.2.2	Diseño de brazos robóticos	68
5.2.3	Resistencia mecánica del eje X	69
5.2.3	Resistencia mecánica del eje Y	73
5.2.4	Resistencia mecánica del eje Z	75
5.2.3	Dimensionado de sistemas de accionamiento	77
5.3	Diseño electrónico y de control	81
5.3.1	Diseño de interfaz de potencia entre sensores y unidad de control.....	81
5.3.2	Diseño de interfaz de potencia entre unidad de control y actuadores.....	83
5.3.3	Diseño de circuito de control con Arduino	90
5.3.4	Selección de fuentes de alimentación	91
5.3.5	Programa de control en Arduino de brazos robóticos ®.....	92
5.3.6	Programa de control en modulo Festo.....	92
5.4	Simulación cinemática de robot cartesiano y brazos robóticos	94
5.5	Cálculos de productividad	96
	Capítulo 6: Análisis final de la solución	97
6.1	Beneficios de implementación.....	97
6.2	Limitaciones del sistema	99
	Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones	100
7.1	Conclusiones	100
7.2	Recomendaciones.....	102
	Capítulo 8: Bibliografía	103
	Capítulo 9: Apéndices y anexos.....	107
9.1	Apéndices.....	107
9.1.1	Apéndice A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.....	107

9.1.2 Apéndice A.2 Planos mecánicos de piezas diseñadas.	111
9.1.3 Apéndice A.3 Programación en Arduino para brazos robóticos 1 y 2 para el proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores.	138
9.1.4 Apéndice A.4 Programación en Arduino para el robot cartesiano para el proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores.	141
9.2 Anexos.....	152
9.2.1 Anexo B.1 Modulo programador de Festo MPV-E/A08-M8 [14].....	152
9.2.2 Anexo B.2 Pistones de doble efecto [26].	156
9.2.3 Anexo B.3 Perfil de aluminio MGE 13.0 80X80L de Bosch Rexroth [3].	157
9.2.4 Anexo B.4 Motor a pasos Nema 34 de LAM Technologies [17].	158
9.2.5 Anexo B.5 Motor a pasos Nema 23 de LAM Technologies [17].	159
9.2.6 Anexo B.6 Servomotor SG90 Tower PRO [18].	160
9.2.7 Anexo B.7 Sensor inductivo Festo [24].	161
9.2.8 Anexo B.8 Sensor de proximidad de campo magnético Festo [23].	164
9.2.9 Anexo B.9 Sensor óptico Festo [25].	166
9.2.10 Anexo B.10 Driver de motor a paso STP-DVR-80100[30].	168
9.2.11 Anexo B.11 Driver de motor a pasos STP-DVR-6575 [30].	172
9.2.12 Anexo B.12 Hoja de datos de Arduino Mega [20].	174
9.2.13 Anexo B.13 Hoja de datos de Arduino Uno [20].	175
9.2.14 Anexo B.14 Hoja de datos fuente de poder SE-1500 Series [31]	176
9.2.15 Anexo B.15 Hoja de Datos de fuente de alimentación LEB100F-0524 [31].	179
9.2.16 Anexo B.16 Tabla de costos de implementación del proyecto.....	181
9.2.17 Anexo B.17 Mantenimiento de pistones	182
9.2.18 Anexo B.18 Mantenimiento del compresor: purga.....	185
9.2.19 Anexo B.19 Manual de usuario para la celda mecatrónica	187

Índice de Figuras

Figura 1.1 Contenedor de fruta. Fuente Google imágenes.....	16
Figura 1.2 Grupo de contenedores de fruta. Fuente Google imágenes.....	17
Figura 1.3 Diagrama de bloques general del sistema mecatrónico diseñado.....	19
Figura 3.1 Terminal de Europe Container Terminals en Rotterdam. [6].....	23
Figura 3.2 Esquema de patio de almacenaje de contenedores de fruta. [1].....	25
Figura 3.3 Spreader tandem. Fuente: Bromma [10].....	26
Figura 3.4 Grúas STS en el puerto de Cape Town. Fuente: Liebherr [10].....	26
Figura 3.5 Grúa móvil. Fuente: Konecranes [10].....	27
Figura 3.6 Grúa Wide span Gantry crane. Fuente: Gottewald Port Technology [10].....	27
Figura 3.7 Forklift Fuente: Kalmar [10].....	28
Figura 3.8 Reach Stacker Fuente: Intersagunto Terminales [10].....	28
Figura 3.9 Straddle Carrier en ECT Rotterdam Fuente: Liebherr [10].....	29
Figura 3.10 Rubber Tyred Gantry Cranes Port of Felixstone Fuente: Vahle [10].....	29
Figura 3.11 RTGs APM Terminals Virginia USA Fuente: APM Terminals [10].....	30
Figura 3.12 Esquema representativo de distintas áreas de una terminal de patio de almacenaje de contenedores de fruta. Fuente: Planificación de operaciones [1].....	32
Figura 3.13 Representación de transferencia de contenedores. [1].....	32
Figura 3.14 Representación de grúas apiladoras automatizadas equipadas con un sistema de grúas porticas sobre raíles de tamaños distintos. Fuente: Planificación de operaciones [1].....	32
Figura 3.15 Representación de asignación de una grúa portica a un buque. [1].....	33
Figura 3.16 DP London Gateway. Fuente: Planificación de operaciones [10].....	33
Figura 3.17 Automatismo tipo puente-grúa con 3 grados de libertad [11].....	34
Figura 3.18 Las componentes del esfuerzo en una unidad de superficie [4].....	36
Figura 3.19 Diagrama esfuerzo-deformación de un material [16].....	37
Figura 3.20 Distribución del esfuerzo en el interior de una viga o perfil sometido a una carga [11].....	38
Figura 3.21 Momento flector y deformación en una viga con una carga concentrada en el centro [33]...	39
Figura 3.22 Principio de funcionamiento de un motor a pasos [32].....	40
Figura 3.23 Motor a pasos bipolar y unipolar [32].....	40
Figura 3.24 Funcionamiento de un puente H [19].....	41
Figura 3.25 Circuito de control de motor a pasos bipolar con L298 [13].....	42
Figura 3.26 Torque en función de la velocidad para un motor a pasos energizado con 24V y 36V [22]...	44
Figura 3.27 Electroimán para garra de sucesión [9].....	44
Figura 3.28 Partes internas de un sensor inductivo [14].....	45

Figura 3.29 Funcionamiento de un sensor inductivo [34].....	46
Figura 3.30 Conexión de un sensor inductivo PNP y NPN [34].....	47
Figura 3.31 Funcionamiento de un sensor capacitivo [5].....	47
Figura 3.32 Vista interior de un sensor de final de carrera mecánico [21].....	48
Figura 4.1 Procedimiento seguido para el reconocimiento y la definición del problema.....	49
Figura 4.2 Procedimiento seguido para la obtención y análisis de la información.....	50
Figura 4.3 Secuencia de pasos seguidos para llegar a la síntesis de una solución.....	52
Figura 5.1 Celda mecatrónica conjunto diseñado para la automatización del almacenaje.....	66
Figura 5.2 Robot cartesiano.....	68
Figura 5.3 Ensamblaje del eje X con el soporte estructural.....	69
Figura 5.4 Deflexión máxima en el módulo del eje X.....	70
Figura 5.5 Cálculo de deflexión f en el eje X a partir de la fuerza F y la longitud L	71
Figura 5.6 Concentración de fuerzas y momentos en el rodamiento del carrito del MLR 10-80.....	72
Figura 5.7 Cálculo de deflexión f en el eje Y a partir de la fuerza F y la longitud L	74
Figura 5.8 Concentración de fuerzas y momentos en el rodamiento del carrito del OBB 55.....	76
Figura 5.9 Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje X.....	79
Figura 5.10 Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje Y.....	80
Figura 5.11 Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje Z.....	80
Figura 5.12 Características del sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos.....	81
Figura 5.13 Salida tipo PNP del sensor de proximidad de los módulos lineales usados.....	82
Figura 5.14 Circuito de potencia de sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales. Elaborado en Proteus ISIS 8 @.....	83
Figura 5.15 Driver STP-DRV-80100 para motor a pasos.....	84
Figura 5.16 Conexiones eléctricas de controlador STP-DRV-80100 para motor a pasos.....	85
Figura 5.17 Detalle de señales de control del controlador STP-DRV-80100 para motor a paso.....	86
Figura 5.18 Detalle de conexión de motores en serie o paralelo en el controlador.....	87
Figura 5.19 Driver STP-DRV-6575 para motor a pasos.....	88
Figura 5.20 Detalles de señales de control del controlador STP-DRV-6575 para motor a pasos.....	89
Figura 5.21 Circuito de control de módulo.....	90
Figura 5.22 Circuito de control de módulo Festo para el pistón clasificador.....	92
Figura 5.23 Circuito de control de módulo Festo para la banda transportadora de entrada.....	93
Figura 5.24 Simulación de movimiento de robot cartesiano.....	94
Figura 5.25 Simulación de movimiento de sistema de descarga y almacenaje de contenedores.....	95

Índice de tablas

Tabla 3.1 Desventajas y ventajas de automatización de una terminal portuaria. [10].....	26
Tabla 3.2. identificación de maquinaria que se emplea en terminales de contenedores automatizadas Fuente: Terminales automatizadas [6].....	26
Tabla 3.3 Resumen de características de equipo de patio. Fuente: Planificación de operaciones [1]....	33
Tabla 3.4 Secuencia de excitación de paso completo para bobinas de un motor a pasos bipolar.....	44
Tabla 5.1 Definición de requerimientos del sistema.....	56
Tabla 5.2 Definición de alternativas de diseño.....	58
Tabla 5.3 Evaluación y selección de alternativas de diseño.....	60
Tabla 5.4 Parámetros máximos permisibles para el módulo MLR 10-80.....	72
Tabla 5.5 Parámetros máximos permisibles para el módulo OBB 55.....	76
Tabla 5.6 Resumen de resultados de cálculos dinámicos y requerimientos de movilidad.....	78
Tabla 5.7 Resumen de actuadores y señales a adaptar para la etapa de potencia entre actuadores y el control.....	84
Tabla 5.8 Resumen de potencias requeridas para la fuente de alimentación.....	91
Tabla 5.9 Resumen de fuentes de alimentación escogidas.....	91
Tabla 5.10 Duración del proceso de carga y descarga de contenedores semanales en Del Monte...	96

Capítulo 1: Introducción

En este documento se presentó al lector las generalidades de la problemática existente en el Instituto Tecnológico de Costa Rica y la importancia de su solución. Se describieron, además las principales características del proceso de logística de transporte, carga, descarga y almacenaje de contenedores de fruta y sus implicaciones en la salud y la seguridad ocupacional de los operarios y de la integridad de la fruta, quienes actualmente ejecutan dicho proceso de forma totalmente manual. También se presentó un panorama general de la forma en la que se propone solucionar esta problemática y del porqué el diseño de sistemas mecatrónicos ofreció una alternativa de solución versátil, ágil y eficiente en este caso.

1.1 Exposición del problema existente

El trabajo que se plantea se pretende desarrollar en el contexto del Tecnológico de Costa Rica, Centro Académico de Limón. El TEC es reconocido internacionalmente como una de las mejores universidades de Costa Rica, se encarga del desarrollo académico de estudiantes en su mayoría en el área de la ingeniería. Actúa como importante generador de recurso intelectual y desarrollo técnico del estudiantado.

El Centro Académico cuenta con un laboratorio de Producción Industrial, enfocado entre otras múltiples tareas, en la logística de almacenes, similares a los patios de almacenaje de empresas como Del Monte. Este laboratorio tiene la necesidad de implementar una celda mecatrónica que permita al estudiantado interactuar con sistemas de almacenaje y clasificación de productos, máxime que lo anterior corresponde específicamente al énfasis de esta carrera en la sede del Caribe.

El proyecto se desarrollaría específicamente dentro de la temática de carga y descarga y almacenaje de contenedores de fruta, simulando un patio de carga y descarga de contenedores. Dicho proceso consiste en el transporte de contenedores de frutas, siendo procesados desde que llegan de las fruterías hasta que son almacenados en los barcos de transporte de contenedores, por ejemplo, hay contenedores de banano que necesitan temperaturas de 13,6 grados Celsius; si los

contenedores fallan al suministrar dicha temperatura el producto comienza a madurarse.

Actualmente este proceso se basa en una planificación de la demanda de contenedores de fruta de manera diaria, semanal y mensual; si bien es cierto que se lleva el control de viaje de cada uno de estos contenedores, este mismo no es inteligente, dado que existen varios tipos de actos que violentan la autenticidad y que pueden haber surgido a través del tiempo en el transporte de la fruta, afectando sus condiciones idóneas y la fiabilidad del producto. Este proceso depende de las condiciones físicas de los contenedores como por ejemplo refrigeración, intercambio de gases, humedad, y en algunos casos es importante el olor; cabe resaltar que el almacenamiento de melón no se debe llevar en conjunto con el del banano, dado que la emanación de etileno del melón madura el banano, por lo que en el proyecto se llevaría a cabo el diseño y la simulación de un sistema mecatrónico que permita automatizar completamente el proceso de carga y descarga de contenedores de fruta por medio de una celda mecatrónica, mostrando un control inteligente del proceso, y optimizando tiempos tanto del recorrido como del almacenaje y realizando un sensorizado en tiempo real.

El proyecto involucra todas las etapas requeridas en el diseño de sistemas mecatrónicos. Será necesario hacer el diseño mecánico de la solución, seleccionar y ubicar apropiadamente actuadores y sensores, diseñar la configuración eléctrica y electrónica, desarrollar el sistema de control con una interfaz de usuario amigable y versátil, hacer simulaciones para verificar el funcionamiento del diseño y hacer estudios estadísticos que comparen el rendimiento actual de la carga y descarga de los contenedores con la que se obtendrá con dicho sistema mecatrónico, con el que se obtendrá con dicho modelo. Luego de pasar por todas las etapas involucradas en el diseño de sistemas mecatrónicos, se hará una simulación del funcionamiento del mecanismo y del sistema de control mediante una interconexión entre el software utilizado para el modelado mecánico y el usado para programar el control.



Figura 1.1 Contenedor de fruta. Fuente Google imágenes.

1.1.1 Generalidades del problema e importancia de su solución

Actualmente, el proceso consiste desde la carga de fruta a los contenedores en las fruterías, posteriormente, se transportan en camiones hasta la sede de la empresa Del Monte en la provincia de Limón, posteriormente en ese lugar se verifican el estado de los contenedores, es importante que cada recipiente cumpla con los estándares requeridos en olor, que no contenga algún residuo de otros productos y que su sistema de refrigeración funcione de manera correcta. Una vez aprobados los contenedores son movidos hacia su área respectiva para ser almacenados según el tipo de fruta que contengan, a la espera de ser cargados en los barcos porta-contenedores en puerto Moin o en puerto Alemán, para continuar su etapa de exportación. Durante la operación de mantenimiento, se lleva a cabo una secuencia repetitiva de lavados, en los que un contenedor que contiene componentes ajenos a los esperados será estudiado para concluir la causa de lo sucedido y si se encuentra en condiciones de mantenerse en funcionamiento. Por otro lado, los contenedores en mal estado se llevan al área de mantenimiento para identificar si se encuentra en condiciones de ser reparado o será

retirado del sistema. En la figura 1.2, se muestra un grupo de contenedores que almacenan fruta en la empresa Del Monte.



Figura 1.2 Grupo de contenedores de fruta. Fuente Google imágenes.

Otro de los problemas que se derivan es que no existe una celda mecatrónica para simular este proceso en el Centro Académico de Limón, afectando de gran manera la preparación adecuada de los estudiantes en el área de automatización de almacenes cuando ingresen a la industria.

En síntesis, la problemática de este proyecto radica en encontrar la mejor forma de desarrollar un sistema mecatrónico que conlleve a satisfacer el requerimiento de una celda que simule los procesos de carga, descarga y almacenaje de contenedores de fruta. Se ha identificado que la ejecución manual de dicha operación trae consigo problemas de error humano y a su vez compromete la seguridad y salud ocupacional en el recinto. Además, las condiciones cambiantes de variables tan importantes como los tiempos en este procedimiento pueden repercutir en la calidad e integridad de las frutas. Todo lo anterior, afecta hoy la productividad.

Con un equipo como el propuesto en este proyecto, se estaría satisfaciendo los requerimientos de la universidad para obtener una celda mecatrónica con el funcionamiento indicado. Se espera también, que su implementación, traiga consigo mejoras en la productividad del proceso a macroescala.

1.1.2 Síntesis del problema

Se desea diseñar una celda mecatrónica que permita la automatización de la carga, descarga y almacenaje de contenedores en el Tecnológico de Costa Rica simulando un patio de almacenaje de contenedores.

1.2 Enfoque de la solución

1.2.1 Requerimientos generales

Como requerimiento general, en este proyecto se debe elaborar el diseño completo de un sistema automatizado, que se encargue de ejecutar toda la secuencia de pasos requeridos en el proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores de fruta. El diseño ideado, debe ser tal que describa una solución versátil y ajustable a diferentes escenarios de operación. Lo anterior implica, que tanto el orden de las etapas como los tiempos de estas, deben ser configurables por el usuario.

Se debe mantener un control estricto de las características del contenedor de esa manera el sistema decidirá si debe almacenar o descartar cada contenedor. Además, cuando un contenedor se encuentre en mal estado en alguna de las etapas se lleve a un sector de análisis y de descarte, estos contenedores rechazados deben ser contabilizados. Por otro parte, se deben analizar las condiciones de los contenedores tanto cuando entran al patio de almacenaje como cuando salen del mismo.

1.2.2 Síntesis de la solución

Para cumplir con los requerimientos anteriores, se diseñó en este proyecto un robot cartesiano. El mismo, tiene movilidad en 3 ejes de coordenadas que le permiten

posicionar el punto de trabajo en posiciones predefinidas, el mismo es el encargado de colocar los contenedores en los almacenes. Además, cuenta con 2 brazos robóticos que se encargan de descargar los contenedores y llevarlos hasta el robot cartesiano.

En la figura 1.3, se muestra un diagrama de bloques en el cual se explica, de forma general, la interconexión entre todos los componentes del sistema y la forma en la que estos intercambian información entre sí.

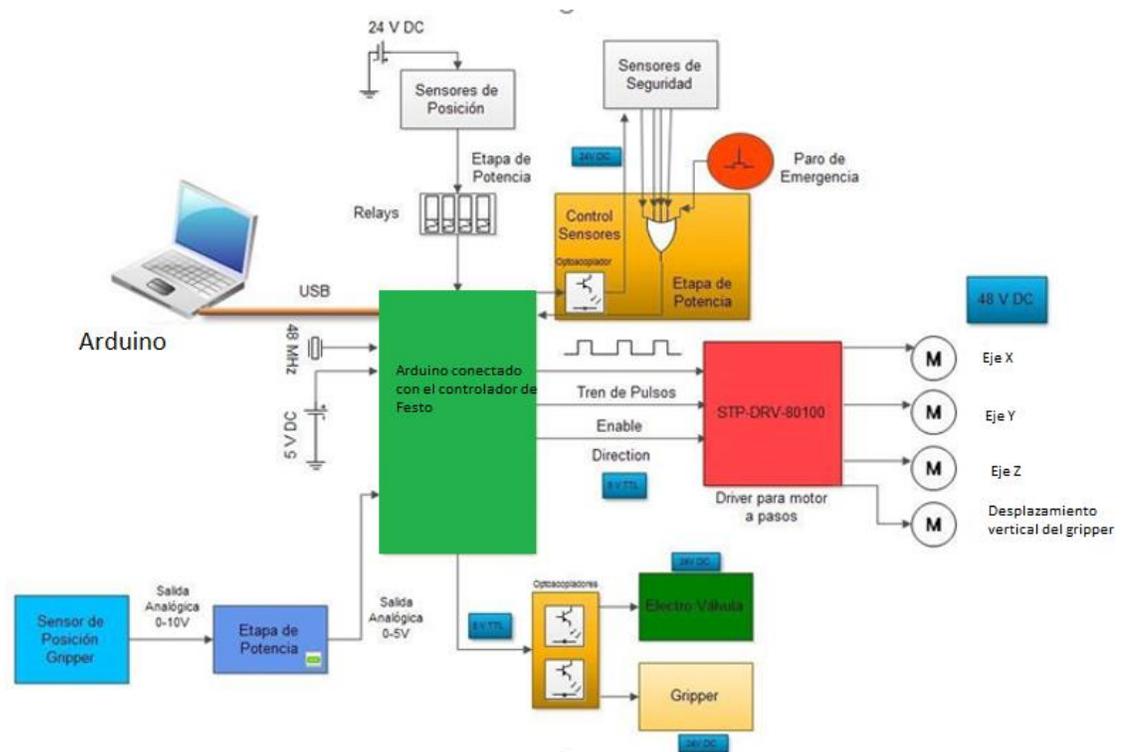


Figura 1.3 Diagrama de bloques general del sistema mecatrónico diseñado.

Elaborado en Edraw Max 7.6 ®

Tal y como lo muestra la figura 1.3, la unidad de control del robot cartesiano será un microcontrolador Arduino Mega. El mismo se comunicará con todos los sensores y actuadores del sistema y será el encargado de administrar las señales en el módulo de almacenamiento.

Para el movimiento del robot, se utilizarán motores a pasos alimentados a 48 V, los cuales permitirán mantener un control preciso del posicionamiento. La ubicación

inicial del sistema se determina utilizando sensores inductivos en los finales de carrera de los ejes. A partir de aquí, se mantiene un control a lazo abierto de la posición, valiéndose de la ventaja que ofrecen los motores a pasos, de conocer siempre la posición de su eje, sin necesidad de usar sensores adicionales.

Para la descarga y carga del robot se utilizarán brazos robóticos con 6 grados de libertad, que le permitirán al robot descargar cada contenedor en las bandas transportadoras para ser clasificadas según su estado. El contenedor se sujeta utilizando una pinza robótica operada con corriente directa. Esta pinza, tendrá solo dos posiciones posibles: abierta y cerrada.

Finalmente, para mantener la seguridad del operario, se utilizarán botones de paro de emergencia y se rodeará al sistema con sensores ópticos como protección de seguridad. Cuando detecte una invasión del espacio de trabajo del robot, la operación se interrumpirá de forma inmediata.

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

Diseñar e implementar una celda mecatrónica automatizada, para simular el proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores de fruta en el Tecnológico de Costa Rica.

2.2 Objetivo general

Diseñar una celda mecatrónica que permita automatizar el proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores de fruta en el Tecnológico de Costa Rica, que contribuya como material didáctico en el aporte de conocimiento de la institución y una reducción de gastos y tiempos invertidos en la mismo.

2.3 Objetivos específicos

1. Modelar la estructura mecánica del sistema mecatrónico y verificar la resistencia de las distintas partes componentes.
2. Diseñar los sistemas de acople, ajustes y soportes mecánicos de componentes.
3. Diseñar el circuito de control que permitirá programar las rutinas y operar el equipo.
4. Programar las subrutinas de carga, descarga, transporte, clasificación y almacenamiento de los contenedores.
5. Simular todos los subsistemas electrónicos y verificar su funcionamiento.
6. Hacer una simulación de la cinemática del mecanismo y del funcionamiento del sistema de control.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 El proceso de carga, descarga y almacenaje

3.1.1 Descripción general

El almacenaje de contenedores es un procedimiento logístico que permite llevar a cabo desde la descarga de contenedores desde que entran al patio de contenedores hasta la carga de contenedores a los barcos de las navieras para su exportación. Consiste en procesar de uno a uno los contenedores, se detecta su número de lote el cual en una base de datos será procesado para trazar el estado físico del contenedor como el de la fruta, el cual puede ser actualizado en cualquier momento a lo largo de su proceso de almacenaje [9].

El principal fenómeno de sujeción de contenedores por las garras de los brazos involucrado es sujeción magnética. La sujeción magnética, es un proceso que consiste en la fijación de los contenedores medio de un contacto magnético entre la garra y el contenedor [9].

Generalmente, el almacenaje de contenedores se lleva a corta distancia del puerto, esto les permite a las empresas subsanarse una manera más eficiente, reduciendo pérdidas económicas por entregas parciales de pedidos. Planteado esto, se identifica la importancia de implementar un sistema que permita automatizar el almacenaje de contenedores en los patios de las empresas en Limón [9].

Los contenedores son el elemento clave en el almacenaje de la fruta, dado que impactan de manera directa en su conservación tanto dentro como fuera de los patios. Considerando esto para el desarrollo de una celda mecatrónica se debe tomar en cuenta este impacto y sus efectos cuando se procesan los contenedores. Cada contenedor cuenta con un sistema de refrigeración que funciona tanto eléctricamente como por combustión, esto permite mantener la fruta a la temperatura adecuada para impedir que se madure. El sistema de refrigeración debe ser inspeccionado tanto a la salida de contenedores como a su llega al patio de descarga. Las principales características que deben considerarse a la hora de inspeccionar los contenedores

para que se encuentren en estado óptimo se encuentran dividido entre: físicas y trazabilidad. [9]

3.1.2 Almacenaje de contenedores de fruta en Del Monte

En Del Monte, el proceso se lleva a cabo por grúas vehiculares, pero en plantas a nivel mundial lleva a cabo por plataformas porta-contenedores y grúas porticas como se muestra en la figura 3.1, en esta terminal vehículos transportan hasta los barcos cada contenedor y la grúa se encarga de cargar en los marcos cada uno en su respectiva posición. [6]



Figura 3.1 Terminal de Europe Container Terminals en Rotterdam. Fuente: Terminales automatizadas. [6]

3.2 Métodos de automatización usados en la industria para para la carga descarga y almacenaje de contenedores de fruta

Las necesidades de crecimiento de tráfico, el aumento del tamaño de buques y las reducciones del tiempo de escala en los puertos ha producido que las terminales deban trabajar con una mayor carga de trabajo cada vez mayor y ser más eficientes, ajustándose a costes para poder ser más competitivos con la fuerte competencia. La automatización ofrece regularidad, solvencia, control y seguridad en la ejecución de las operaciones de la terminal. Permite el acceso al control pormenorizado de un gran

número de variables en los procesos con lo que se permite ajustar las operaciones y los costes a los requerimientos de la terminal en cada momento. [10]

Es importante analizar las ventajas y desventajas que involucran la automatización de una terminal portuaria, se pueden apreciar en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Desventajas y ventajas de automatización de una terminal portuaria. Elaboración propia.
[10]

Ventajas	Desventajas
Mayor predictibilidad y consistencia de las operaciones	Fuerte inversión
Potencial ahorro de costes operativos	Posibilidad de conflicto social
Incremento de los aspectos de Seguridad e Higiene en el trabajo	Criticidad de la falta de redundancia operativa
Menor tiempo de inactividad debido a la influencia de factores externos	Las terminales automatizadas carecen de flexibilidad
Incremento de las jornadas de trabajo, debido a que las maquinas puede funcionar 24/7	Niveles de actividad caen temporalmente
Mayor eficiencia energética, siendo una opción potencialmente más ecológica	Procesos llevados a cabo por una terminal no son necesariamente estables y homogéneos
Menor coste de mantenimiento, derivado de una reducción de los equipos de combustión	La automatización no necesariamente supone una manipulación más rápida y mayores niveles de servicio
Menor coste de mantenimiento	Los proyectos de automatización tienen un mayor riesgo y son más difíciles de implementar.
Mayor precisión y prevención del error humano	
Reducción daños en equipos y cargas	
Disminución del factor de pico	
Mayor densidad de contenedores	

Tabla 3.2. identificación de maquinaria que se emplea en terminales de contenedores automatizadas
Fuente: Terminales automatizadas [6]

MAQUINARIA EMPLEADA EN TERMINALES AUTOMATIZADAS		
Grúa pórtico para operaciones buque-tierra	STS	<i>Ship to shore gantry crane</i>
Grúa pórtico sobre railes	RMG	<i>Rail mounted gantry crane</i>
Grúa apiladora automatizada	ASC	<i>Automated stacking crane</i>
Vehículo de transferencia interna	ITV	<i>Internal transfer vehicle</i>
Vehículo de guiado automático	AGV	<i>Automated guided vehicle</i>
Vehículo de transferencia automático	ALV	<i>Automated lifting vehicle</i>
Grúa pórtico sobre neumáticos	RTG	<i>Rubber tyred gantry crane</i>
Grúa pórtico sobre railes automatizada	ARMG	<i>Automated rail mounted gantry</i>
Grúa pórtico sobre railes de carga lateral	C-ARMG	<i>Cantilever automated rail mounted gantry)</i>
Tractor-remolque de terminal	TT	<i>Terminal tractor trailer</i>
Vehículo de transferencia autoguiado con plataforma elevadora	L-AGV	<i>Lifting AGV</i>

En la empresa *Del Monte*, se llevan a cabo procesos carga descarga y almacenaje de contenedores de fruta como el banano, melón y piña. De los tres productos, el banano tiene alta criticidad en su almacenaje, dado que no se debe apilar junto con el melón debido a que este acelera su maduración, en la figura 3.2, se muestra una distribución del patio de contenedores desde el momento en que ingresan hasta su culminación cuando son despachados.

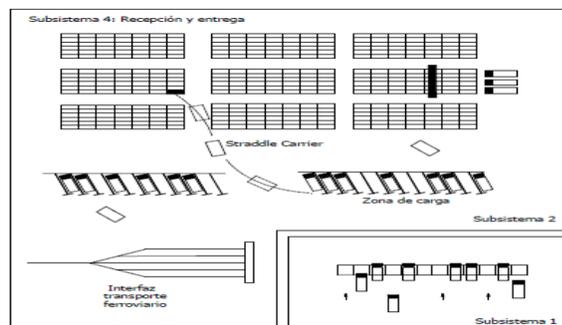


Figura 3.2 Esquema de patio de almacenaje de contenedores de fruta. Fuente: Planificación de operaciones [1]

La función del patio es crítica, dado que permite a la compañía mantener la refrigeración de la fruta por medio de sus sistemas de alimentación a los contenedores, a partir de este momento el funcionamiento del sistema de refrigeración empieza a funcionar con electricidad en vez de combustible.

3.2.1 Sistemas de manipulación en terminales de contenedores

Spreader

Es el mecanismo que conecta la grúa con el contenedor, agarra el contenedor por sus cuatros esquinas, introduciendo el sistema de twist-locks que bloquea y sujeta el contenedor de forma que se pueda manipular. [10]



Figura 3.3 Spreader tandem. Fuente: Bromma [10]

Grúas Ship to Shore (STS)

Las grúas STS son grúas porticas que se desplazan sobre raíles, con una pluma abatible por donde circula un carro para aproximarse en la prolongación vertical al contenedor que se desea cargar, una vez llega la posición el spreader desciende por medio de unos cables, hasta posicionarse sobre la tapa del contenedor, lo engancha por medio de los twist-locks y posteriormente asciende para transportar el contenedor. [10]



Figura 3.4 Grúas STS en el puerto de Cape Town. Fuente: Liebherr [10]

Grúas móviles

Son ampliamente utilizadas en terminales de graneles, de mercancía general y en terminales multipropósito. Para la operación se debe considerar tanto el izado y el descenso de la mercancía como el giro para posicionar el contenedor desde el muelle en el barco.



Figura 3.5 Grúa móvil. Fuente: Konecranes [10]

Grúas de largo alcance (WSG)

Estas grúas son una variante de las STS, en las que las pilas de almacenamiento comienzan entre las piernas o pilares de la grúa. Este equipo es utilizado en puertos fluviales, donde se operan barcos menores y donde las zonas de almacenamiento suelen tener dimensiones más reducidas. [10]



Figura 3.6 Grúa Wide span Gantry crane. Fuente: Gottewald Port Technology [10]

Plataformas

Es una plataforma donde se carga el contenedor y que debe ser remolcada por una cabeza tractora hasta el área de almacenamiento. [10]

Carretillas

Son un equipo con una gran variedad de modalidades, que les permite en mayor grado el apilamiento de los contenedores en la terminal a diferentes alturas, en otro caso se puede utilizar para la interconexión, recepción y entrega en la terminal. [10]



Figura 3.7 Forklift Fuente: Kalmar [10]

Reach stackers

Es una carretilla con un brazo telescópico inclinado con spreader. Puede apilar a varias alturas y acceder a la segunda columna de apilado, permite apilar hasta 3 a 4 alturas con contenedores llenos. [10]



Figura 3.8 Reach Stacker Fuente: Intersagunto Terminales [10]

Straddle carriers (SC)

Las straddle carriers son carretillas porticas que pueden cargar contenedores a horcajadas, habiendo distintos modelos que permiten cargar varios contenedores y depositarlos a distintas alturas. [10]



Figura 3.9 Straddle Carrier en ECT Rotterdam Fuente: Liebherr [10]

Rubber Tyred gantry cranes (RTG)

Son grúas porticas sobre ruedas neumáticas, propulsadas usualmente por motores diésel que en la actualidad se están sustituyendo por fuentes eléctricas. Las ruedas siguen trayectorias rectilíneas y se disponen lugares determinados en la terminal en las que puedan las ruedas hacer giros con seguridad y sin deteriorar la maquinaria. [10]



Figura 3.10 Rubber Tyred Gantry Cranes Port of Felixstone Fuente: Vahle [10]

Rail mounted gantry cranes (RMG)

Suelen ser de mayor tamaño comparadas con las RTG. Son muy populares debido al control y eficiencia, pueden tener hasta el doble de velocidad de desplazamiento. [10]



Figura 3.11 RTGs APM Terminals Virginia USA Fuente: APM Terminals [10]

Por otro lado, estos sistemas y módulos permiten automatizar de manera parcial o total etapas dentro del patio de almacenaje o en el puerto de carga, cada uno de ellos presentan ventajas y desventajas que serán expuestas a continuación, se pueden revisar estos módulos en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Resumen de características de equipo de patio. Fuente: Planificación de operaciones [1]

	Plataformas	Carretillas	Reachstackers	Straddle Carriers	RTGs	RMGs
Altura de apilado	1	3 (Llenos) 6-9 vacíos	3	2 a 3	3 a 5	4 a 5
Anchura de pila	no	4 (Llenos) Vacíos en bloque	4	1	6 a 10	8 a 12
Densidad Superficial	Muy baja	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Requisitos de pavimentación	Muy bajos	Muy bajos	Muy bajos	Medios	Altos	Muy altos
Coste de adquisición	Alto	Bajo	Medio	Alto	Alto	Alto
Coste de mantenimiento	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto
Años de vida útil	5	6 a 7	8 a 10	7 a 8	10	20
Posibilidad de automatización	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Media	Alta	Muy alta
Costes de personal	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Muy bajo
Capacitación de personal	Baja	Baja	Baja	Alta	Alta	Bajo
Integridad de contenedores	Alta	Baja	Baja	Baja	Media	Alta
Flexibilidad de operaciones	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta
Facilidad de ampliación	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Baja
Facilidad de cambio de layout	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Muy baja
Eficiencia energética	Baja	Baja	Baja	Baja	Media/alta	Alta
Posibilidad de mejoras tácticas	Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
						

La importancia del equipo de patio está enfocada a la capacidad operativa y tiempos de respuesta para el almacenaje de los contenedores tanto en el patio como en puerto de carga, como se observa en la figura 3.11, el patio de almacenaje con frecuencia reach stackers y RTG, mientras en el puerto predominan el uso de RMGs como método de automatización. Por otra parte, todos estos equipos y módulos deben ser acoplados para de esta manera generar un sistema logístico de transporte, carga, descarga y almacenaje de contenedores reduciendo contratiempos y cuellos de botella en el proceso.

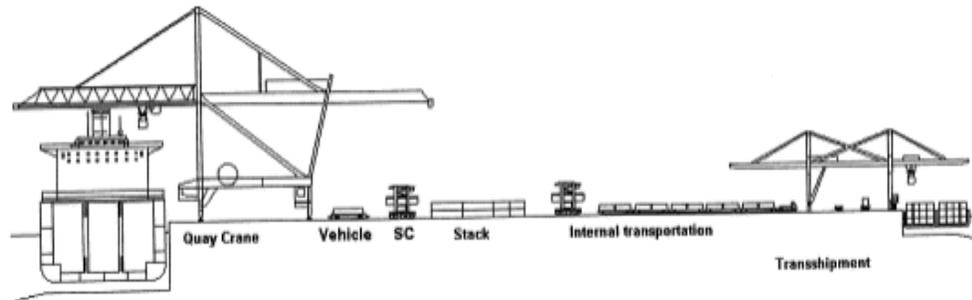


Figura 3.12 Esquema representativo de distintas áreas de una terminal de patio de almacenaje de contenedores de fruta. Fuente: Planificación de operaciones [1]

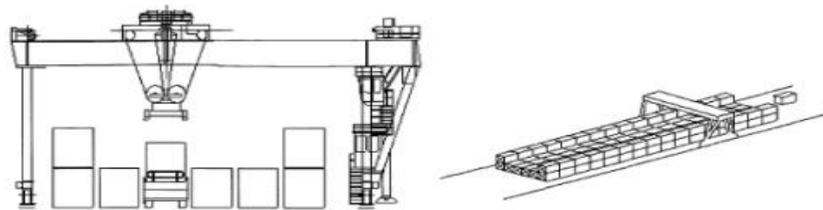


Figura 3.13 Representación de transferencia de contenedores. Fuente: Planificación de operaciones [1]



Figura 3.14 Representación de grúas apiladoras automatizadas equipadas con un sistema de grúas porticadas sobre raíles de tamaños distintos. Fuente: Planificación de operaciones [1]

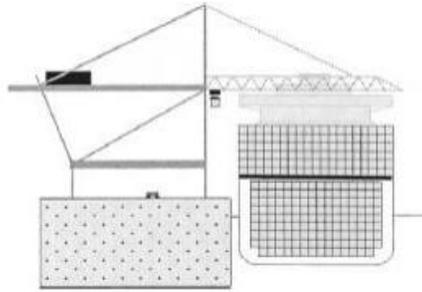


Figura 3.15 Representación de asignación de una grúa portica a un buque. Fuente: Planificación de operaciones [1]



Figura 3.16 DP London Gateway. Fuente: Planificación de operaciones [10]

En la figura 3.15 se representa una grúa portica a un buque que se encarga de carga o descargar contenedores de la terminal al buque. La figura 3.16 permite observar un panorama general de una implementación de automatización de una terminal portuaria por medio de equipo de transporte de contenedores.



Figura 3.17 Automatismo tipo puente-grúa con 3 grados de libertad [11].

Al contar con tres grados de libertad, los sistemas estructuralmente semejantes al mostrado en la figura 3.17, son capaces de manipular múltiples líneas de almacenes con contenedores sin la necesidad de que estas se encuentren estrictamente alineadas en una sola hilera. Además, pueden cubrir toda un área de almacenes con varios tipos de frutas.

Por lo general, los automatismos anteriores son controlados mediante controladores lógicos programables (PLC). Sin embargo, es posible encontrar soluciones implementadas con unidades de microcontrolador con una interfaz de potencia adecuada. El tipo de control utilizado dependerá de los requerimientos específicos de cada aplicación, además del presupuesto disponible para implementación. [17]

3.3 Análisis de resistencia mecánica en el diseño del sistema

3.3.1 Cargas, esfuerzos y factor de seguridad

El análisis de las cargas estáticas, dinámicas y los esfuerzos a los que se somete una pieza o elemento determinado es una de las tareas más importantes en el diseño de ingeniería mecánica. El ingeniero, es capaz de determinar si el diseño falla o no mediante una comparación entre el cálculo del esfuerzo en un punto crítico y la resistencia mecánica del material. La fuerza y el momento totales que actúan sobre la superficie de una pieza se manifiestan a sí mismos como distribuciones de fuerzas a través de toda el área [4].

Por definición, el esfuerzo se define como la fuerza (F) por unidad de superficie o de área (A) a la que se somete un objeto. En otras palabras, expresa la relación existente entre la carga y el área en la que esta se aplica, como se muestra en la ecuación 3.1. Así, sus unidades de medida en el sistema internacional es el Pascal (Pa) con $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ [4].

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \left[\frac{N}{m^2} = Pa \right] \quad (3.1)$$

El esfuerzo total al que se somete un punto en la superficie de una pieza tiene componentes en la dirección normal y tangencial a la superficie. Los esfuerzos en dirección normal se denotan con la letra griega σ (sigma) y pueden ser de tensión (cuando son salientes) o de compresión (si son entrantes) [4]. Por otro lado, los esfuerzos tangenciales, se denotan con la letra griega τ (tau) y reciben el nombre de esfuerzos cortantes. Estos últimos, pueden ser cortante puro (ocasionados por una fuerza) o bien pueden ser esfuerzos de torsión (ocasionados por un momento par en el componente). En la figura 3.17 se muestran las componentes del esfuerzo explicadas, en una unidad de superficie.

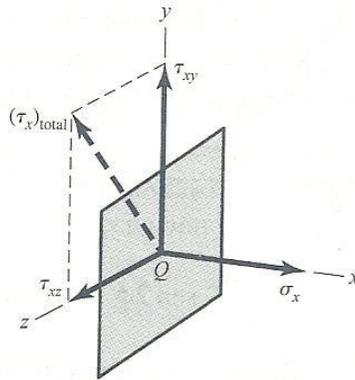


Figura 3.18 Las componentes del esfuerzo en una unidad de superficie [4].

Como se muestra en la figura 3.18, el esfuerzo total en una unidad de superficie se expresa como un vector compuesto por componentes ortogonales. Dichas componentes, pueden ser esfuerzos de tipo normal o esfuerzos cortantes aplicados al material. Para determinar si un componente resiste o no una carga, se compara el esfuerzo calculado contra el valor de resistencia permisible según la especificación del fabricante del material. Se define así, el factor de seguridad de un diseño como se muestra en la ecuación 3.2 [4].

$$F.S. = \frac{\text{Esfuerzo permisible}}{\text{Esfuerzo calculado}} \quad (3.2)$$

Si el factor de seguridad es menor que 1, el elemento falla (no es seguro). Si es uno el material se encuentra en falla inminente. Si es mayor a 1, se concluye que el elemento resiste las condiciones de carga que experimenta.

3.3.2 Deformación y deflexión de materiales

Cuando se aplica una carga sobre una pieza o elemento mecánico, el esfuerzo resultante, genera inevitablemente una deformación del material. Es por ello que al diseñar, se deben consultar los diagramas de esfuerzo-deformación de los materiales [16]. En la figura 3.18, se ejemplifica en el diagrama esfuerzo-deformación típico para un material dúctil.

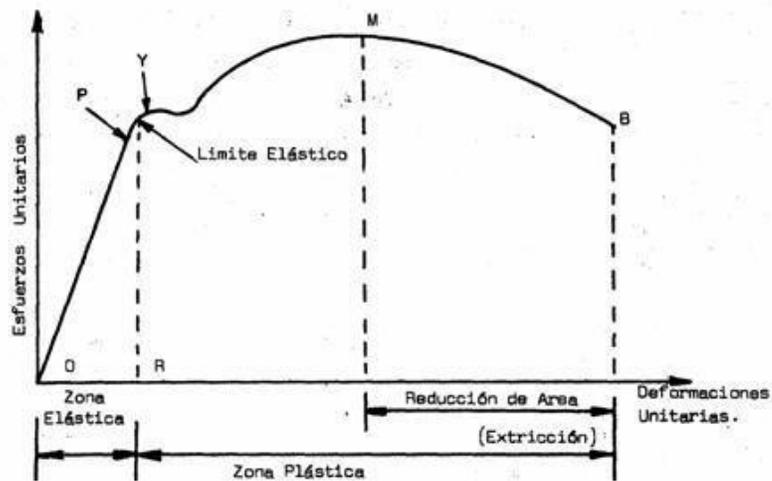


Figura 3.19 Diagrama esfuerzo-deformación de un material [16].

Como se puede observar en la figura 3.19, como el diagrama esfuerzo-deformación se divide en dos zonas principales: la zona elástica (zona donde el material retorna a su forma inicial al quitar la fuerza, sin efectos de deformación irreversible), y la zona plástica (zona de deformaciones irreversibles). Al diseñar, se debe cuidar que las deformaciones no salgan de la zona elástica del material. El final de la zona elástica, lo marca el esfuerzo de fluencia propio del material (en el punto Y en la figura 3.19). Después de dicho esfuerzo, las deformaciones en el material serán permanentes. Si el esfuerzo supera el esfuerzo último del material (en el punto M en la figura 3.19), el material termina fallando y rompiéndose.

Los valores de esfuerzo de fluencia, permisible y esfuerzo último, pueden consultarse en las hojas de datos de los materiales. [16]

3.3.3 Vigas y perfiles metálicos

Las deformaciones y los esfuerzos internos también son factores importantes en el diseño de vigas y perfiles metálicos. Cuando se aplica una carga central sobre una viga apoyada en sus dos extremos, la distribución del esfuerzo es tal, que en la parte superior de la viga se da una compresión y en la parte inferior de esta una

tensión. La línea en el interior de la viga, donde se da la transición de compresión a tensión, se conoce como línea neutra y el esfuerzo resultante en ella es nulo [11]. La figura 3.19 explica este comportamiento del esfuerzo en el interior de una viga o perfil.

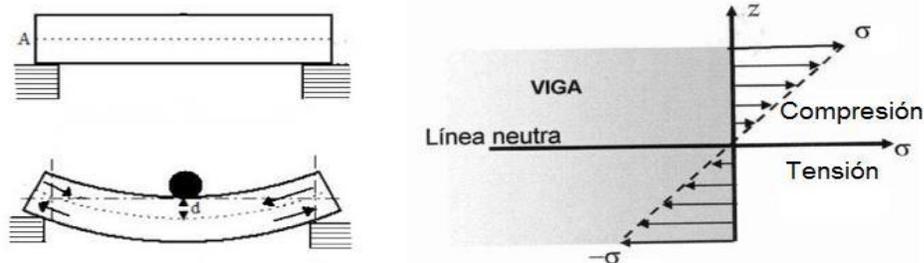


Figura 3.20 Distribución del esfuerzo en el interior de una viga o perfil sometido a una carga [11].

El esfuerzo en el interior de una viga es entonces variable en toda la altura de su perfil, tal y como se ilustra en la figura 3.20. Por lo tanto, para calcular el esfuerzo a flexión, en algún punto específico de la sección transversal, se utiliza la ecuación 3.3 [11].

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (3.3)$$

Donde, M = momento flector.

I = momento de inercia de la sección

transversal.

c = distancia del punto al eje neutro

(dirección z en figura 3.20).

Por otro lado, el momento flector M en una viga o perfil, es variable a lo largo de su longitud. Se tiene que al aplicar una fuerza P, sobre el centro de una viga de longitud L apoyada en sus extremos, el momento flector M adquiere la distribución mostrada en la figura 3.21.

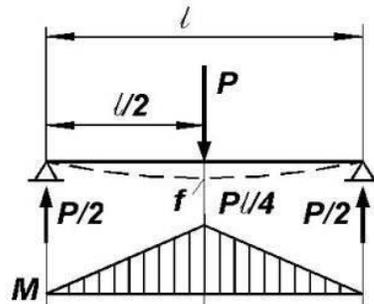


Figura 3.21 Momento flector y deformación en una viga con una carga concentrada en el centro [33].

El momento flector máximo, bajo las condiciones de carga y apoyo del perfil de la figura 3.21, se da en el punto de aplicación de la fuerza P y se calcula como se muestra en la ecuación 3.4 [33]:

$$M_{max} = \frac{PL}{4} \quad (3.4)$$

El momento de inercia I , por su parte, dependerá de la forma y del área del perfil de la viga. Por lo general, el fabricante especifica este valor en las hojas de especificaciones técnicas.

3.4 Actuadores y sistemas de accionamiento

3.4.1 Descripción y control del motor a pasos

Los motores a pasos son utilizados actualmente en una gran gama de aplicaciones gracias a su alta precisión en el posicionamiento. Tienen la particularidad de moverse un paso por cada pulso aplicado. El paso del motor puede ir desde movimientos de $1,8^\circ$ hasta movimientos de 90° [32]. Según la secuencia de pulsos que se aplique y la frecuencia de esta, el motor puede moverse a una posición específica o puede girar de forma continua a la velocidad deseada.

Otra característica de los motores a pasos es que pueden quedar enclavados en una posición si una o más de sus bobinas está energizada, o bien, pueden quedar libres cuando no hay corriente que circule por sus devanados. Las bobinas e imanes

en su interior adquieren distintas configuraciones. La más común, es aquella en la que el rotor lo constituyen imanes permanentes y el estator un conjunto de bobinados [32].

Para mover un motor a pasos, se energizan dos de sus bobinas simultáneamente de la forma que se ilustra en la figura 3.22.

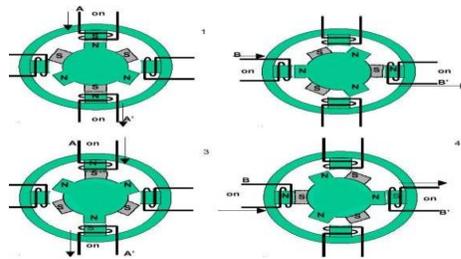


Figura 3.22 Principio de funcionamiento de un motor a pasos [32].

En la figura 3.22, se puede observar como la dirección de la corriente en las bobinas del estator, determina la polaridad magnética de cada polo. Así, los imanes permanentes del rotor son atraídos por los polos con polaridad opuesta a la suya. La rotación del eje se provoca energizando las bobinas de forma secuencial. Los motores a pasos, con rotor de imán permanente, se clasifican en unipolares o bipolares. Los unipolares, no requieren de una inversión en la dirección de la corriente en sus devanados mientras que los bipolares sí la requieren. Tal y como se muestra en la figura 3.23, los unipolares, suelen tener seis cables de control mientras que los bipolares solamente cuatro [17].

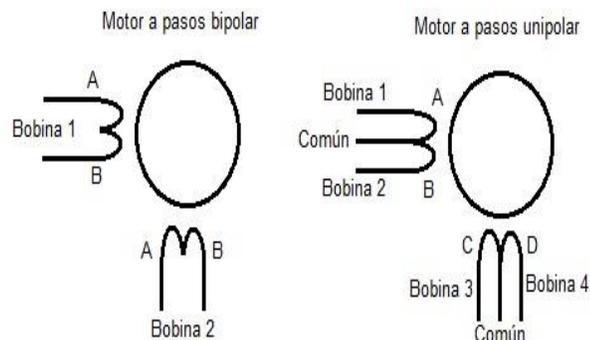


Figura 3.23 Motor a pasos bipolar y unipolar [32].

Las bobinas en los motores a pasos unipolares, tal y como se ilustra en la figura 3.23, tienen una derivación central utilizada como terminal común. Debido a esto, las otras terminales de las bobinas solo pueden tener la polaridad opuesta, por lo que la dirección de su corriente es invariable [32].

En el caso de los motores a pasos bipolares, la dirección de la corriente en sus bobinas es variable. Para invertir el flujo de corriente, se requiere un arreglo de transistores en puente H. Será necesario utilizar un puente H por cada bobina del motor. Así, para un motor bipolar de 2 bobinas (4 cables) se requieren 2 puentes H. El funcionamiento y configuración eléctrica de un puente H, se ilustra en la figura 3.24.

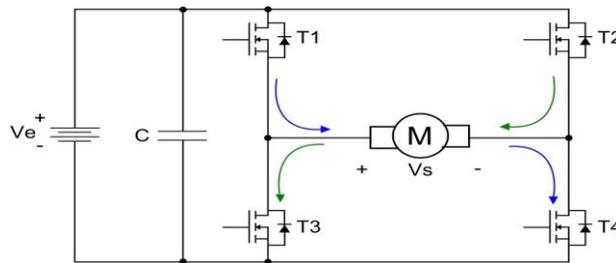


Figura 3.24 Funcionamiento de un puente H [19].

Cuando en el circuito de la figura 3.24, los interruptores $T1$ y $T4$ se cierran y los otros están abiertos, el sentido de la corriente en la bobina del motor es el mostrado en color azul. Cuando los interruptores cerrados son más bien el $T2$ y $T3$, el sentido de la corriente es el mostrado en color verde.

La importancia del puente H radica en que permite aplicar al motor, el valor de voltaje que requiere para energizar sus bobinas, a partir de los valores lógicos de bajo voltaje que salen del microcontrolador. Estos valores lógicos son los utilizados para controlar los transistores en el puente H de la figura 3.24 [19].

Por lo general, para controlar motores a pasos bipolares se utilizan puentes H integrados como el L293 y el L298. En la figura 3.25, se muestra un circuito típico de control utilizando L298.

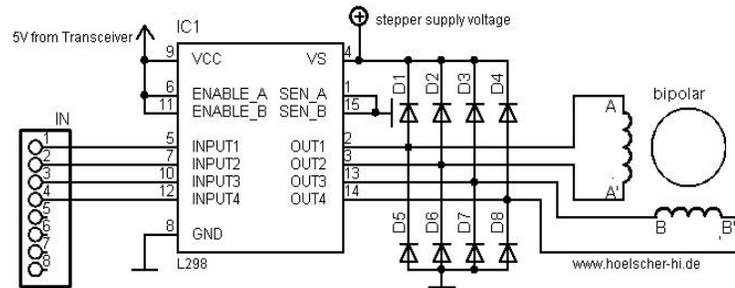


Figura 3.25 Circuito de control de motor a pasos bipolar con L298 [13].

Las entradas lógicas 1, 2, 3 y 4 en el circuito de la figura 3.25, se controlan por lo general con un microcontrolador, siguiendo la secuencia de excitación mostrada en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Secuencia de excitación de paso completo para bobinas de un motor a pasos bipolar.

Paso	Bobina 1		Bobina 2	
	Terminal A	Terminal A'	Terminal B	Terminal B'
1	0	1	0	1
2	0	1	1	0
3	1	0	1	0
4	1	0	0	1

LAM Technologies [17].

La tabla 3.4 detalla la secuencia para un movimiento de paso completo en un motor bipolar. Además, existen secuencias para mover el motor medio paso a la vez, de forma tal que se obtiene mayor precisión en el posicionamiento [17].

3.4.2 Determinación del torque para un motor a pasos

Para selección de un motor a pasos en un sistema mecatrónico, será necesario verificar que su par máximo según la especificación técnica sea suficiente para mover la carga a la que se someterá, el par motor necesario para acelerar la masa se calcula como la inercia de las masas respecto al eje de rotación por la aceleración que se les aplica [2]. La ecuación 3.5 describe dicha relación.

$$\tau = J \cdot \alpha \quad (3.5)$$

Donde, τ = torque de motor.

J = momento de inercia de masas

respecto al eje de rotación.

α = aceleración angular aplicada.

Expresando la ecuación 3.5 en forma más generalizada para una condición de carga del motor, se tiene que el torque necesario τ_{Total} para generar una aceleración determinada α , se obtiene como se indica en la ecuación 3.6 [2].

$$\tau_{Total} = \tau_C + (J_M + J_C) \cdot \alpha \quad (3.6)$$

Donde, τ_C = torque de carga.

J_M = momento de inercia del motor.

J_C = momento de inercia de la carga.

La aceleración angular α , se puede determinar a partir del cambio de velocidades angulares y el tiempo necesario para dicho cambio de acuerdo con la ecuación 3.7.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t_1 - t_0} \quad (3.7)$$

Donde ω representa la velocidad angular y t el tiempo.

El torque que puede entregar un motor a pasos es función directa de la velocidad a la que se le haga girar, por esta razón siempre se debe considerar la información que suministra el diagrama de torque contra velocidad de un motor a pasos. En la figura 3.26 se muestra el diagrama torque-velocidad del motor Nema 23 780083 [22].

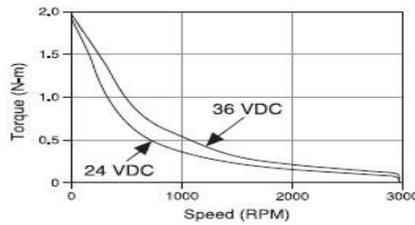


Figura 3.26 Torque en función de la velocidad para un motor a pasos energizado con 24V y 36V [22].

De la figura 3.25, se puede inferir que el par máximo que puede generar este motor a pasos es de aproximadamente 2 Nm. Dicho torque, se da a velocidad 0 rpm, es decir al arranque del motor. Una vez que el motor acelera, el torque entregado disminuye con la velocidad como se indica en la figura 3.25.

3.4.3 Electroimán

Un electroimán, es un dispositivo que utiliza corriente eléctrica para generar un campo magnético. Generalmente se construye enrollando alambre de metal alrededor de un núcleo de hierro o acero. Así, la fuerza de empuje que se genera es función de la corriente aplicada al electroimán [9]. En la figura 3.27, se ilustra el comportamiento del campo magnético al aplicar una corriente a un electroimán.

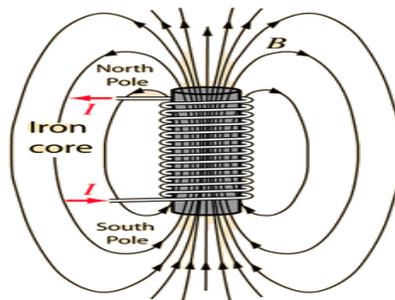


Figura 3.27 Electroimán para garra de sucesión [9].

El campo magnético en el interior del electroimán en la figura 3.27, se puede calcular con base en una idealización admitida de la Ley de Ampere. Esta relación, se muestra en la ecuación 3.8.

$$B = \frac{\mu NI}{L} \quad (3.8)$$

Donde, B = campo magnético.

μ = permeabilidad magnética del espacio

libre.

N = número de espiras del solenoide.

I = corriente eléctrica.

L = longitud del solenoide.

Un solenoide lineal, puede funcionar con corriente alterna o con corriente directa. Cuando la corriente que circula por la bobina es variable, la fuerza de empuje resultante es mayor. Por lo anterior, cuando se utiliza un solenoide lineal con corriente directa, se utiliza una señal pulsante cuyo ciclo de trabajo es función de la fuerza de empuje. A menor ciclo de trabajo de la señal pulsante, mayor fuerza de empuje [9].

3.5 Métodos de censado y monitoreo

3.5.1 Sensores inductivos

Los sensores inductivos, son ampliamente utilizados en la industria para detectar la presencia o proximidad de un objeto metálico. Constan de una bobina enrollada en un núcleo metálico, en la cual se hace circular una corriente eléctrica para generar un campo magnético. La figura 3.28, ilustra las partes de las que se compone un sensor inductivo.

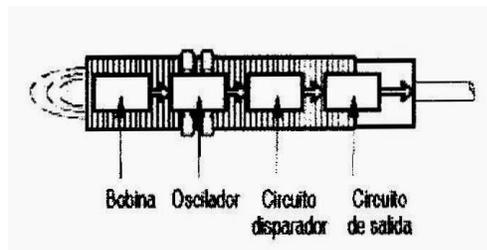


Figura 3.28 Partes internas de un sensor inductivo [14].

La corriente que circula en la bobina de la figura 3.28, la genera un circuito oscilador en el interior del sensor. También, cuentan con un circuito detector de nivel, un disparador de señal y un circuito de salida [15].

Cuando un objeto metálico se aproxima al campo magnético del sensor, se inducen en él corrientes de Eddy. Estas corrientes, a su vez, generan un campo magnético opuesto al campo del sensor, lo cual representa un aumento en la carga del oscilador. Como respuesta, el circuito oscilador disminuye la amplitud de sus oscilaciones. El circuito de disparo monitorea la amplitud de estas oscilaciones y a un nivel predeterminado conmuta el estado de la salida del sensor [34]. El funcionamiento de un sensor inductivo se explica en la figura 3.29.

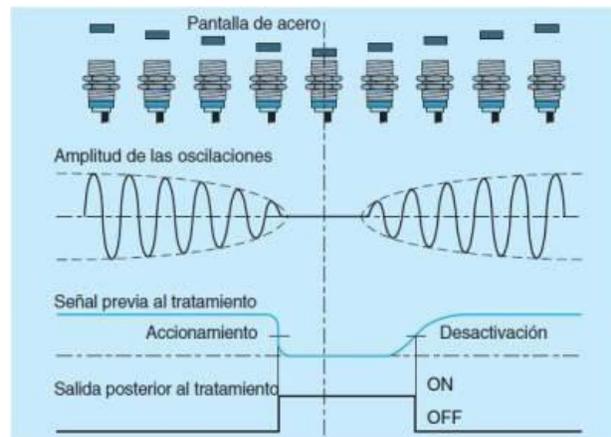


Figura 3.29 Funcionamiento de un sensor inductivo [34].

En la figura 3.29 se muestra como la amplitud de las oscilaciones en un sensor inductivo, disminuye al acercarse el objeto censado. El circuito de disparo se acciona entonces, cuando dicha amplitud alcanza un valor predefinido mediante la calibración del sensor [34].

Los contactos de salida en un sensor inductivo pueden ser NA (normalmente abiertos) o NC (normalmente cerrados). El contacto NA es aquel en el que el transistor o tiristor de salida se activa en presencia de un objeto metálico. El contacto NC es más bien aquel cuyo transistor o tiristor se desactiva en presencia de un objeto. Este transistor de salida también puede ser NPN (de canal N) o PNP (de canal P), lo cual

determina la forma de conexión del sensor [34]. En la figura 3.30 se muestra la forma en la que se conecta un sensor según el tipo de transistor que tenga en su salida.

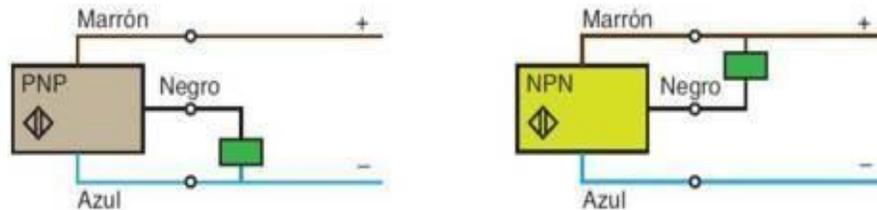


Figura 3.30 Conexión de un sensor inductivo PNP y NPN [34].

Tal y como se ilustra en la figura 3.30, en un sensor de canal PNP, la carga se conecta al terminal negativo, mientras que en uno de canal NPN la carga se conecta al terminal positivo.

3.5.2 Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos, son similares a los inductivos. La principal diferencia entre ellos es que los sensores capacitivos trabajan con campo electrostático en lugar de electromagnético. Gracias a ello, este tipo de sensor puede detectar la presencia o proximidad de cualquier objeto sin importar si este es metálico o no.

El sensor capacitivo, está formado por dos electrodos concéntricos separados por un material dieléctrico formando un capacitor. Cuando un objeto se aproxima a la superficie de sensado y este entra al campo electrostático de los electrodos, cambia la capacitancia del circuito oscilador y el mismo comienza a oscilar [5]. El funcionamiento de un sensor capacitivo se ilustra en la figura 3.31.

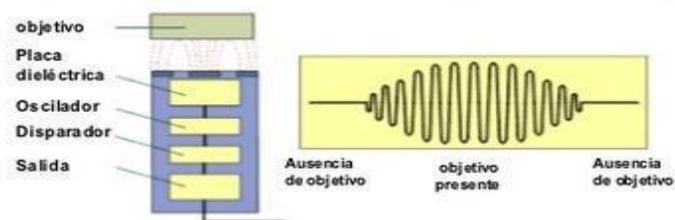


Figura 3.31 Funcionamiento de un sensor capacitivo [5].

En la figura 3.31, se puede observar como a diferencia de los sensores inductivos, los capacitivos aumentan sus oscilaciones cuando un objeto entra en su campo de detección.

3.5.3 Final de carrera mecánico

Estos sensores, son dispositivos que por medio de una acción mecánica conmutan una señal eléctrica de salida. Tal y como su nombre lo indica, generalmente se utilizan para detectar el final de carrera de un objeto móvil y así enviar una señal al circuito de control. En su interior, suelen tener contactos normalmente abiertos y/o normalmente cerrados. En la figura 3.32 se ilustra la composición interna de un sensor de final de carrera mecánico.

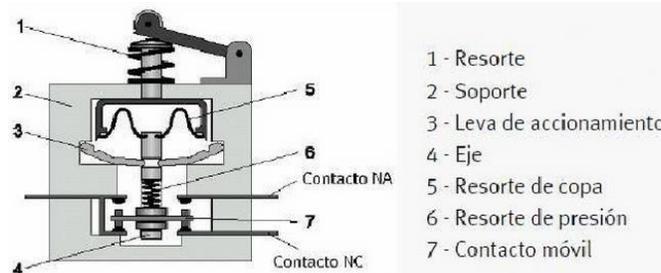


Figura 3.32 Vista interior de un sensor de final de carrera mecánico [21].

Se puede observar en la figura 3.32, como estos sensores generalmente se componen de dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos eléctricos, y una cabeza que detecta el movimiento [21].

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

En este capítulo se resumen las etapas del método de diseño en ingeniería que se siguieron para llegar a la solución del problema. Se hace referencia a cada fase del proceso iniciando desde la definición de la problemática y la recolección de información, hasta la definición y evaluación de las alternativas de diseño. Finalmente, se indica la forma en la que se simuló y verificó el funcionamiento de la solución seleccionada.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Para reconocer y definir el problema en este proyecto, se ejecutaron las acciones representadas gráficamente en el esquema de la figura 4.1.

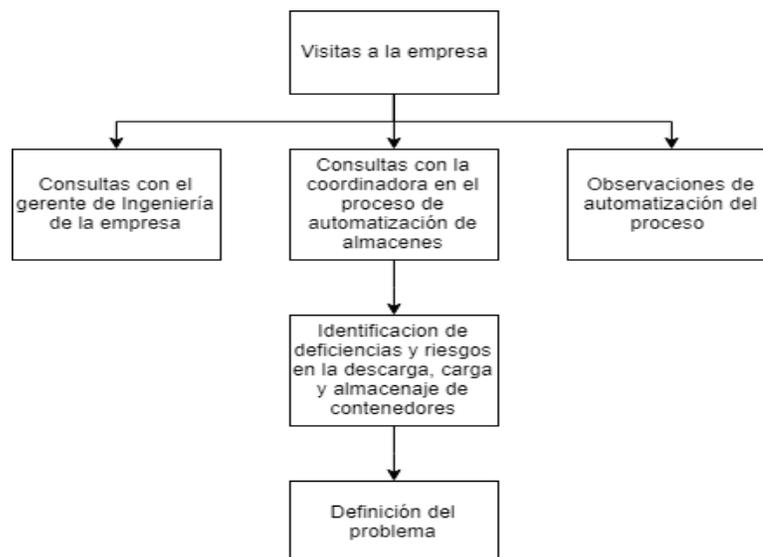


Figura 4.1 Procedimiento seguido para el reconocimiento y la definición del problema.

Elaborado en Draw.io, elaboración propia.

Tal y como se detalla en la figura 4.1, para identificar el problema a solucionar, se hicieron varias visitas a la empresa en las que se llevaron a cabo múltiples consultas y observaciones del proceso. Inicialmente, se contó con el apoyo del Gerente de Ingeniería en Del Monte, quien suministró información importante sobre la problemática actual y sobre las expectativas de la empresa hacia la problemática del proceso.

Paralelamente, se recibió ayuda por parte de la coordinadora de carrera en cargada del proceso de automatización de almacenes en el Centro Académico de Limón, quien brindó detalles del procedimiento y permitió tener una perspectiva más amplia de los requerimientos en la celda mecatrónica.

A partir de la información recolectada mediante estas consultas, y a través de observaciones, se pudieron identificar las principales deficiencias en la operación y la gran cantidad de recursos que se invierten al no tener una celda mecatrónica para poder implementar simulaciones de este proceso. Los recursos invertidos en el este traslado de estudiantes entre sedes, representa aproximadamente a 2 millones al año, información suministrada por la coordinadora de carrera de Ingeniería en Producción Industrial Centro Académico de Limón. De esta forma, se planteó finalmente la problemática a solucionar en este proyecto y se definió su meta y alcance.

4.2 Obtención y análisis de información

El procedimiento seguido para la obtención y análisis de la información en este proyecto se explica de forma gráfica mediante la figura 4.2.

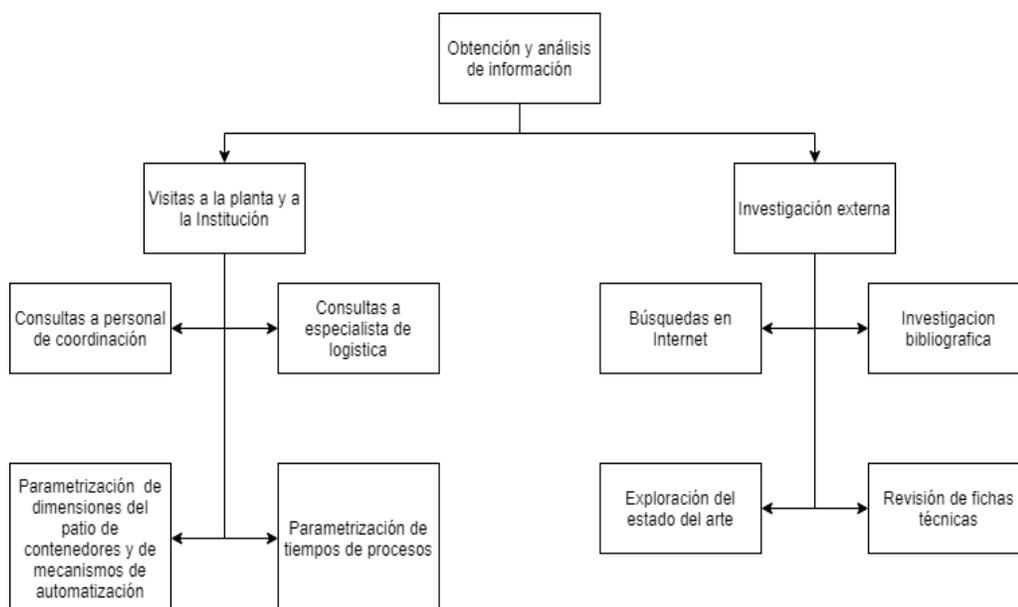


Figura 4.2 Procedimiento seguido para la obtención y análisis de la información.

Elaborado en Draw.io, elaboración propia.

Como se muestra en la figura 4.2, antes de iniciar con el diseño del sistema, se hicieron varias visitas a la planta y se realizó investigación externa con el objetivo de recopilar y analizar información relevante.

Para obtener información sobre los requerimientos del diseño, se consultó a la coordinadora de la automatización de almacenes y al especialista de logística que actualmente se encargan de ejecutar el proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores de fruta. De esta forma, se consiguió una descripción detallada del proceso y se obtuvo la guía de procedimiento usada en la operación.

Además, durante las visitas a la planta, se hicieron varias sesiones de medición en las cuales se obtuvieron las dimensiones de contenedores e información de brazos cartesianos utilizados, para poder realizar una parametrización de estos y adaptarlos a la celda mecatrónica en diseño. Dichas sesiones, permitieron recolectar información valiosa para iniciar la elaboración de planos y el diseño de la estructura mecánica del sistema.

Se realizó adicionalmente, la medición de tiempos y contenedores procesados durante las visitas. De esta manera, con esta información se logró parametrizar los tiempos del proceso para adaptarlos al nuevo ambiente en diseño del sistema automatizado.

La figura 4.2, señala también, como se llevó a cabo investigación externa mediante búsquedas exhaustivas en internet y en referencias bibliográficas. Se logró así, explorar el estado del arte y se pudo desarrollar un concepto del sistema a diseñar. A partir de dicha investigación y con el apoyo de fichas técnicas de fabricantes, se identificaron varias alternativas de diseño y se procedió a la evaluación de estas.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

El procedimiento seguido para plantear las alternativas de diseño y llegar finalmente a la síntesis de una solución en este proyecto, se explica gráficamente en el esquema de la figura 4.3.

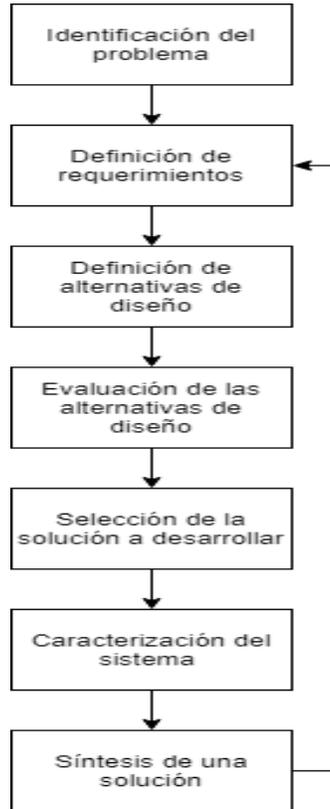


Figura 4.3 Secuencia de pasos seguidos para llegar a la síntesis de una solución.

Elaborado en Draw.io, elaboración propia.

Como lo muestra la figura 4.3, se definieron inicialmente los requerimientos del sistema a diseñar. Para ello, se analizó toda la información suministrada por personal de la empresa, de la institución y adquirida mediante investigación. Para cada uno de los requerimientos identificados, se plantearon múltiples alternativas de solución. Las mismas, se definieron con base en la investigación previa del estado del arte y las opciones expuestas en fichas técnicas de fabricantes.

Posteriormente, se evaluaron las ventajas y desventajas de cada una de las soluciones planteadas. De esta forma, se pudo hacer una comparación entre alternativas, y se identificó la solución más apropiada de acuerdo a las necesidades del proyecto. Finalmente, se procedió a hacer la síntesis de una solución, definiendo las especificaciones y las características de funcionamiento del sistema a diseñar. El

procedimiento anterior, se ejecutó de forma iterativa hasta llegar a la síntesis de la solución más satisfactoria y acorde a los requerimientos planteados.

4.4 Diseño y verificación de la solución

Una vez hecha la síntesis de la solución seleccionada, se procedió a desarrollar el diseño del sistema, y a verificar su funcionamiento mediante las simulaciones respectivas. Para ello, se siguió la secuencia de pasos que se muestra a continuación.

1. Planeación de la estructura mecánica del sistema.
2. Selección de motores y actuadores para el sistema.
3. Selección de sensores y sistemas de monitoreo.
4. Diseño de sistemas de transmisión de potencia, acoples, ajustes y soportes de componentes.
5. Selección de materiales para construcción.
6. Planeación de la instalación eléctrica en el sistema.
7. Modelado tridimensional de los componentes y partes del sistema con CAD.
8. Modelado tridimensional del ensamblaje del sistema con CAD.
9. Generación de planos mecánicos para las partes a manufacturar.
10. Valoración económica de la estructura mecánica, sensores y actuadores.
11. Recopilación de información sobre la secuencia y tiempos requeridos en el proceso.
12. Descripción de la lógica del proceso mediante diagramas de flujo.
13. Diseño de circuitos electrónicos y de la unidad de control.
14. Diseño de la interfaz de potencia para operar sensores y actuadores.
15. Diseño de las tarjetas de circuito impreso requeridas.
16. Diseño gráfico de una interfaz de usuario de acuerdo con los requerimientos.
17. Programación del sistema de control para el sistema.
18. Programación de la interfaz de usuario del sistema.

19. Valoración económica de los subsistemas electrónicos, sistema de control e interfaz.

20. Simulación de los subsistemas electrónicos y verificación de funcionamiento.

21. Preparación del modelado tridimensional para la simulación de movimiento.

22. Simulación de la cinemática del mecanismo.

23. Cálculo del presupuesto final requerido para implementación.

24. Documentación final.

4.5 Reevaluación y rediseño

La solución desarrollada en este proyecto podría rediseñarse en el futuro de distintas maneras sin afectar la utilidad final del sistema. Las posibilidades de reevaluación y rediseño son tan amplias como el proyecto en sí, y pueden encontrarse tanto en la composición y construcción mecánica del equipo, como en su método de control y subsistemas electrónicos.

Por ejemplo, la estructura mecánica del sistema es susceptible a modificaciones importantes en cuanto al tipo de módulos lineales de movimiento utilizados, brazos con grados de libertad, capacidad en los almacenes, cantidad de bandas de clasificación. La marca seleccionada en este proyecto es una de las tantas que cuentan con una amplia gama de módulos y con los cuales es posible hacer múltiples combinaciones. Por lo tanto, si al hacer una reevaluación del sistema, se determina que debe hacerse alguna variación, el diseñador no tendría mayores complicaciones.

Los sensores y actuadores seleccionados también podrían ser modificados. En caso de ser necesario, podrían utilizarse sensores de final de carrera mecánico, fotoeléctricos, o de otra naturaleza en lugar de los ópticos escogidos. Los motores a pasos y servomotores podrían sustituirse por motores DC incorporando el sistema de monitoreo correspondiente mediante codificadores de posición y su sistema de transmisión respectivo.

Por otro lado, el sistema de control podría modificarse y utilizar una tarjeta integrada y prefabricada con microcontrolador. Esto, en lugar de fabricar una propia tal y como se plantea en este proyecto. También, podría implementarse un sistema de control mediante PLC (controlador lógico programable), si se contase con los recursos económicos para hacerlo.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

En este capítulo, se exponen los detalles del diseño desarrollado y los resultados obtenidos en las simulaciones de funcionamiento. Inicialmente, se hace referencia a los criterios de diseño considerados, se evalúan las alternativas de solución y se expone la selección final. Posteriormente, se ofrece una descripción detallada del diseño mecánico y estructural, fundamentando el desarrollo mediante las relaciones matemáticas y físicas involucradas. Se describe también, el diseño de los subsistemas electrónicos y el método de control diseñado para el equipo. Finalmente, se presentan los resultados de las simulaciones realizadas, y los cálculos de productividad actual en el proceso.

5.1 Evaluación de soluciones y selección final

5.1.1 Definición de requerimientos del sistema

Para iniciar con el diseño del equipo, se definieron los requerimientos mínimos del sistema. En la tabla 5.1, se ofrece una breve descripción de cada requerimiento definido y se hace una clasificación de estos.

Tabla 5.1 Definición de requerimientos del sistema.

Requerimiento		Descripción
Requerimientos de movilidad y sistemas de accionamiento	Desplazamiento del contenedor	Movilidad en 1 eje cartesiano para un desplazamiento unidimensional.
	Posicionamiento del contenedor	Precisión de ± 2 mm en el posicionamiento de los contenedores en su respectivo transporte.
	Orientación del contenedor	Giros de $\pm 90^\circ$ para ajustar la orientación del contenedor.
	Agarre del contenedor	Agarre del contenedor por su agarradera de forma segura y firme.

Continuación de la tabla 5.1.

Requerimientos de censado y monitoreo	Monitoreo de posición	Censado de la posición de todos los ejes de movilidad del equipo.
	Monitoreo de orientación	Censado de la orientación del contenedor.
	Monitoreo de alrededores	Censado de los alrededores del equipo para detectar invasiones del área de trabajo.
Requerimientos mecánicos y estructurales	Resistencia mecánica	Resistencia a momentos flectores, esfuerzos de compresión, tensión y flexión internos.
	Transmisión de potencia	Transmisión para movimientos rápidos, precisos y con alta repetibilidad.
	Resistencia a la corrosión	Materiales con alta resistencia a la corrosión.
Requerimientos eléctricos y electrónicos	Interfaz de potencia	Adaptación de señales de control a la potencia requerida para operar sensores y actuadores.
	Transmisión de datos	Transmisión bidireccional de datos con un ordenador.
	Fuente de poder	Fuente con potencia suficiente para alimentar subsistemas de control, sensores y actuadores.
	Cableado	Organización del cableado para no dificultar ni limitar la movilidad del sistema.
Requerimientos de software y control	Unidad central de control	Unidad central de control y procesamiento para administrar todas las señales del sistema.
	Interfaz gráfica de usuario	Interfaz gráfica de usuario amigable y de fácil utilización.
	Programación de rutinas	Programación de rutinas y secuencias personalizadas a partir de subrutinas preprogramadas.

5.1.2 Definición de alternativas de diseño

En esta sección, se hace una breve referencia a las distintas alternativas de diseño que fueron consideradas. Para cada caso, se indica en la tabla 5.2 el requerimiento en cuestión, seguido de los candidatos de diseño contemplados.

Tabla 5.2 Definición de alternativas de diseño.

Requerimiento		Alternativas de diseño	
Requerimientos de movilidad y sistemas de accionamiento	Desplazamiento del contenedor	✓	Sistema tipo pórtico.
		✓	Robot cartesiano.
		✓	Brazo en voladizo.
	Posicionamiento del contenedor	✓	Motores a pasos.
		✓	Servomotores.
Orientación del contenedor	✓	Módulo de rotación comercial.	
	✓	Sistema propio con motor a pasos.	
		✓	Sistema propio con servomotor.
Agarre del contenedor	✓	Gancho mecánico accionado con solenoide.	
	✓	Pinza robótica paralela.	
Requerimientos de censado y monitoreo	Monitoreo de posición	✓	Sensores inductivos.
		✓	Sensor mecánico de final de carrera.
		✓	Codificador de posición.
Monitoreo de orientación	✓	Sensor inductivo.	
		✓	Codificador de posición.
Monitoreo de alrededores	✓	Cortinas fotoeléctricas de seguridad.	
	✓	Barrera óptica de seguridad de un haz.	
Requerimientos mecánicos y estructurales	Resistencia mecánica	✓	Perfiles metálicos.
		✓	Estructura sólida.
	Resistencia a la corrosión	✓	Partes componentes de acero inoxidable.
		✓	Partes componentes de aluminio.
Transmisión de potencia	✓	Transmisión por correa dentada.	
	✓	Transmisión por tornillo de avance.	

Requerimientos eléctricos y electrónicos	Interfaz de potencia	✓	Interfaz construida con relés.
		✓	Interfaz construida con optoacopladores.
		✓	Controlador comercial.

Continuación de la tabla 5.2.

	Transmisión de datos	✓	Transmisión de datos por UART.
		✓	Transmisión de datos por USB.
	Fuente de poder	✓	Fuente comercial con múltiples salidas.
		✓	Fuente de poder con diseño propio.
	Energización de contenedor	✓	Terminales de contacto eléctrico con platinas.
		✓	Terminales de contacto eléctrico con barras.
	Cableado	✓	Cadena portacable metálica.
		✓	Cadena portacable plástica.
Requerimientos de software y control	Unidad central de control	✓	Sistema de control con microcontrolador PIC.
		✓	Sistema de control con PLC.
		✓	Sistema de control con Arduino.
	Interfaz gráfica de usuario	✓	Interfaz gráfica desarrollada en LabView ®.
		✓	Interfaz gráfica desarrollada en Matlab.
		✓	Interfaz gráfica desarrollada en Visual Basic.
	Programación de rutinas	✓	Programación en Matlab.
		✓	Programación en lenguaje C.
		✓	Programación en ensamblador.

5.1.3 Evaluación y selección de alternativas

Las alternativas definidas en la tabla 5.2, se evaluaron tomando en cuenta sus ventajas y desventajas. En la tabla 5.3, se resumen las principales consideraciones, que llevaron a la selección o al descarte de los distintos candidatos de diseño. Para cada caso, se señala la alternativa finalmente escogida. Se utiliza nuevamente, la clasificación de requerimientos establecida en la tabla 5.1.

Tabla 5.3 Evaluación y selección de alternativas de diseño.

Requerimiento	Evaluación de alternativas		Selección
Requerimientos de movilidad y sistemas de accionamiento	Desplazamiento del contenedor	✓ Pórtico: Espacio insuficiente para implementación. ✓ Robot cartesiano: Simplicidad en construcción y facilidad de soporte. ✓ Brazo en voladizo: Requiere un diseño robusto y costoso para soportar los momentos flectores.	Robot cartesiano
	Posicionamiento del contenedor	✓ Servomotores: Sistema de control mucho más complejo, son más costosos y difíciles de conseguir. Requieren un codificador de posición. ✓ Motores a pasos: Precisión de posicionamiento a bajo costo y sin codificador. Son más fáciles de conseguir.	Motores a pasos
	Orientación del contenedor	✓ Módulo comercial: Alto costo y dificultades en la adaptación mecánica y electrónica. ✓ Sistema con motor a pasos: Fácil implementación y bajo costo. Requiere un sensor.	Sistema de rotación propio con motor a pasos

		<p>✓ Sistema con servomotor: Alto costo y complejidad en el control. Requiere codificador de posición.</p>	
	Agarre del contenedor	<p>✓ Gancho mecánico: Estrategia de agarre complica el control (acercamiento horizontal).</p> <p>✓ Pinza robótica paralela: Simplicidad en control (acercamiento vertical).</p>	Pinza robótica paralela
Requerimientos de sensado y monitoreo	Monitoreo de posición	<p>☐ Sensores inductivos: Incluidos en la mayoría de los módulos lineales de movimiento.</p>	Sensores inductivos para la posición
		<p>✓ Sensor mecánico de final de carrera: Fácil control. Posibilidad de falla mecánica.</p> <p>✓ Codificador: Mayor costo y complejidad de control.</p>	
	Monitoreo de orientación	<p>✓ Sensor inductivo: Bajo costo y simplicidad en el control. Requiere salida analógica.</p>	Sensor inductivo para la orientación

Requerimientos mecánicos y estructurales	Monitoreo de alrededores	<p>✓ Codificador de posición: Mayor complejidad de control.</p> <p>✓ Cortinas fotoeléctricas de seguridad: Cobertura de toda la altura.</p> <p>✓ Barrera óptica de seguridad de un haz: Requiere múltiples unidades para cubrir toda la altura.</p>	<p>Cortinas fotoeléctricas de seguridad</p>
	Resistencia mecánica	<p>✓ Perfiles metálicos: Bajo costo, menor peso y resistencia mecánica suficiente.</p> <p>✓ Estructura sólida: Alto costo, mayor peso, mejor resistencia.</p>	<p>Perfiles metálicos</p>
	Resistencia a la corrosión	<p>✓ Partes de acero inoxidable: Excelente resistencia a la corrosión. Alto costo.</p> <p>✓ Partes de aluminio: Resistencia suficiente a la corrosión. Costo moderado.</p>	<p>Partes de aluminio</p>
	Transmisión de potencia	<p>✓ Transmisión por correa dentada: Movimientos rápidos.</p> <p>✓ Transmisión por tornillo de avance: Gran precisión de posicionamiento. Baja velocidad.</p>	<p>Transmisión por tornillo de avance</p>

Requerimientos eléctricos y electrónicos	Interfaz de potencia	<p>✓ Relés: Frecuencia de conmutación insuficiente.</p> <p>✓ Optoacopladores: Debe implementarse la secuencia de conmutación respectiva en el control.</p> <p>✓ Controlador comercial: Secuencia de conmutación incorporada que facilita el control. Costo moderado.</p>	Controlador comercial
	Transmisión de datos	<p>✓ Transmisión de datos por UART: Facilidad de programación.</p> <p>✓ Transmisión de datos por USB: Fácil utilización y más fácil de conseguir.</p>	Transmisión por USB
	Fuente de poder	<p>✓ Fuente de poder comercial: Múltiples salidas, potencia suficiente, facilidad de implementación y costo moderado.</p> <p>✓ Diseño propio: Componentes de potencia media costosos y difíciles de conseguir.</p>	Fuente de poder comercial

Continuación de la tabla 5.3.

	Cableado	<p>Cadena portacable metálica: Alta resistencia mecánica, susceptible a corrosión.</p> <p>Cadena portacable plástica: Resistencia a la corrosión.</p>	Cadena portacable plástica
<p>Requerimientos de software y control</p>	Unidad central de control	<p>✓ Microcontrolador PIC: Bajo costo de implementación. Alta frecuencia de reloj. Requiere construcción de una tarjeta de circuito impreso.</p> <p>✓ PLC: Altísimo costo de implementación.</p> <p>✓ Arduino: Bajo costo de implementación y facilidad en el control. Frecuencia de reloj y salidas/entradas insuficientes.</p>	Microcontrolador Arduino
	Interfaz gráfica de usuario	<p>✓ Interfaz en LabView: Programación gráfica simple. Licencias no disponibles en la empresa.</p> <p>✓ Interfaz en Matlab: Cuenta con licencia en la empresa.</p>	Interfaz gráfica en Matlab

		✓ Interfaz en Visual Basic: Fácil programación. Se cuenta con licencia.	
	Programación de rutinas	✓ Programación en Mplab: Fácil integración con simulación electrónica en Proteus. ✓ Programación en lenguaje C: Mayor dificultad para hacer integración con simulación electrónica. ✓ Programación en ensamblador: Alta complejidad de implementación.	Programación de rutinas en Mplab

5.1.4 Caracterización del sistema

Una vez hecho el análisis de alternativas y las consideraciones antes expuestas, se logró caracterizar el sistema a diseñar. En general, se desarrolla en este proyecto, el diseño de un robot cartesiano con tres grados de libertad para el posicionamiento y dos grados de libertad adicionales para la orientación (giro) y el agarre del contenedor respectivamente.

En la figura 5.1, se muestra el robot cartesiano diseñado para la automatización del almacenaje de contenedores en el Tecnológico de Costa Rica sede Centro Académico de Limón.

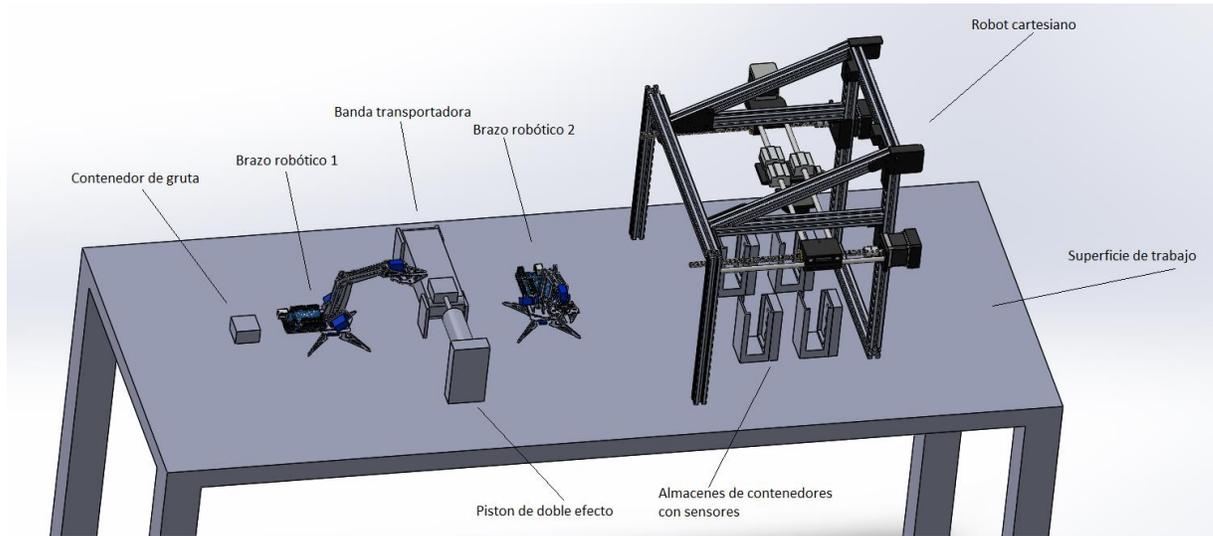


Figura 5.1 Celda mecatrónica conjunto diseñado para la automatización del almacenaje.

Elaborado en SolidWorks 2019 ®. Elaboración propia.

El robot de la figura 5.1, se construyó a partir de perfiles 2020 T-Slot Aluminum y de 2040 Aluminum Extrusion para la base. Todos ellos, utilizan una transmisión por tornillo de avance con diámetro 8 mm para el movimiento del carro, y se soportan mediante perfiles de aluminio MGE 13.0 de tamaño 80x80 mm (también de Bosch Rexroth).

Se utilizan motores a pasos Nema 34 para los tres grados de libertad de posición, todos operados a 48 VDC. Para el agarre del contenedor, se utiliza un electroimán que hace sujeción al contenedor como el diseño industrial de garra twist-lock. Además, se diseñan las pinzas robóticas a acoplar en dicho módulo en los brazos robóticos, estos mismos utilizan servomotores SG90 Tower Pro, como accionadores de sus grados de libertad.

Los motores, son operados utilizando un controlador STP-DRV-80100. El mismo, recibe un tren de pulsos proveniente de un microcontrolador Arduino Mega, que se encarga de administrar todas las señales de sensores y actuadores en el sistema.

Para el censado y monitoreo de los ejes del robot, se utilizan sensores inductivos en los finales de carrera de cada grado de libertad. Dichos sensores, se

utilizan exclusivamente para el restablecimiento de la posición de los motores cuando el sistema lo requiera. A partir de estas posiciones claves, se aprovecha la precisión en el posicionamiento de los motores a pasos, para conocer siempre la ubicación del robot.

Los alrededores del sistema se monitorean mediante sensores ópticos. En caso de presentarse una invasión del espacio de trabajo, los sensores envían una señal a la unidad de control y se detiene inmediatamente la operación de la celda mecatrónica. De esta forma, se resguarda la seguridad del usuario.

Por otra parte, las rutinas de operación se programaron en el microcontrolador utilizando Arduino. Entre las rutinas programadas, se implementó una rutina para el almacenaje de manera inteligente. Este, se realiza colocando los carritos que llevan los contenedores en sus pistas respectivas una vez los sensores detectan la presencia de los carros en el plantel el brazo robótico 1 se encarga de transportar el contenedor a la instalación de clasificación. Se desarrolló también, la comunicación entre la unidad de control y el ordenador donde se instala la interfaz se realizó mediante USB (Universal Serial Bus).

5.2 Diseño mecánico y estructural

5.2.1 Ensamblaje y especificaciones mecánicas

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema diseñado consiste en un robot cartesiano con movilidad en tres ejes principales. La orientación y el signo de dichos ejes, se establece en la figura 5.2.

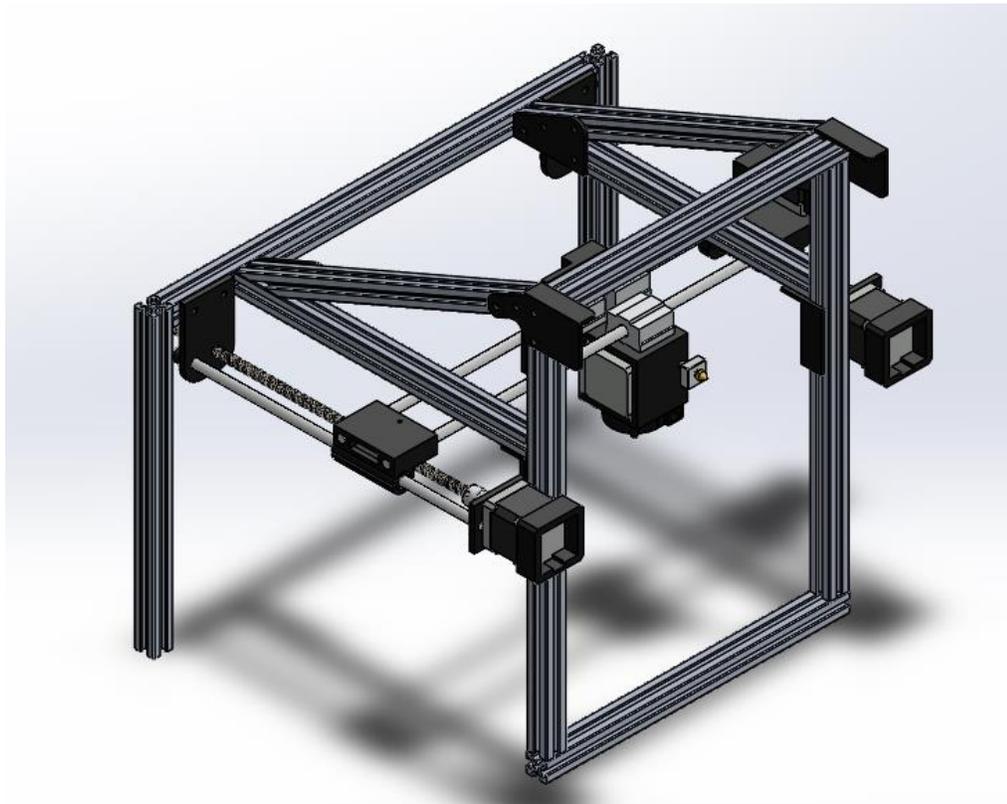


Figura 5.2 Robot cartesiano.

Elaborado en SolidWorks 2019 ®.

En la figura 5.2, los módulos de movimiento lineal para los ejes X y Y corresponden a una banda que desplaza el carrito con la pinza y en eje paralelo presenta un desplazamiento por medio de tornillo de avance. El eje Z, por su parte, lo constituye un desplazamiento por tornillo de avance.

5.2.2 Diseño de brazos robóticos

Como se puede observar en la figura 5.3 los brazos robóticos constan de cuatro servomotores, los cuales le permiten moverse en forma de semi-esfera alrededor de los ejes X y Y, el diseño de este brazo fue realizado con servomotores SG90 por lo cual, presenta una movilidad de 180 grados y su programación está hecha en Arduino, sin necesidad de usar otros drivers o transmisiones.

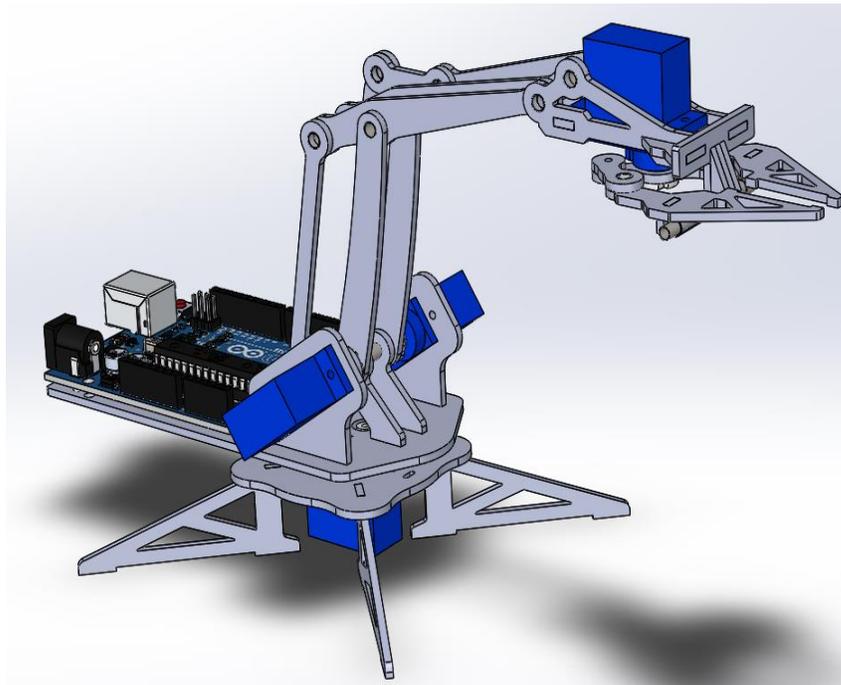


Figura 5.3 Ensamblaje del eje X con el soporte estructural.

Elaborado en SolidWorks 2019 ©.

Como se observa en la figura 5.3, el brazo robótico está compuesto por cuatro servomotores anteriormente mostrados, la estructura articulaciones, los soportes y la garra están hechos de acrílico 3 mm, cortado por medio de una cortadora laser.

5.2.3 Resistencia mecánica del eje X

Los módulos de movimiento lineal que componen el eje X se soportan únicamente mediante dos apoyos en los extremos como se mostró en la figura 5.1. Bajo estas condiciones mecánicas, la carga máxima permisible, se verá limitada por la deflexión (deformación) que se genere en el módulo. La deflexión máxima se produce, cuando la carga F se aplica en el centro de la longitud en voladizo, como se muestra en la figura 5.4.

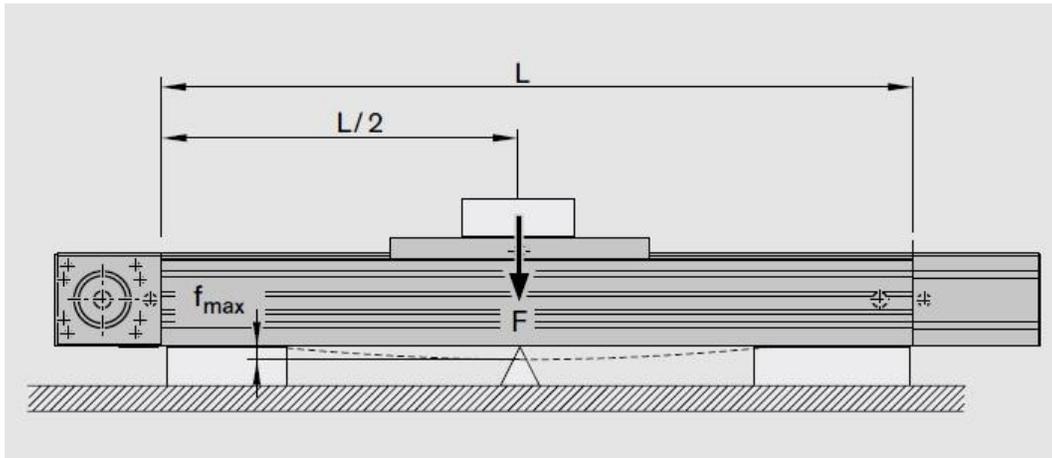


Figura 5.4 Deflexión máxima en el módulo del eje X [3].

Si la deflexión del sistema, en la figura 5.4, supera el valor máximo permisible f_{max} , se requerirían puntos de apoyo adicionales para soportar la carga.

La deformación producida en el módulo MLR 10-80, dependerá de su longitud L (mm) y de la fuerza F (N) que se le aplique. En este caso, los módulos del eje X, tienen una longitud de 500 mm y la carga que soportarán, según los cálculos, será de alrededor de 0.5 kg. Dado que la carga se reparte entre dos módulos, se tiene que la fuerza en cada módulo es aproximadamente:

$$F = \frac{0.5 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2}{2} = 2.45 \text{ N} \quad (5.1)$$

Partiendo de la fuerza, y la longitud del módulo, la deflexión del sistema se obtiene mediante el gráfico de la figura 5.5 como sigue.

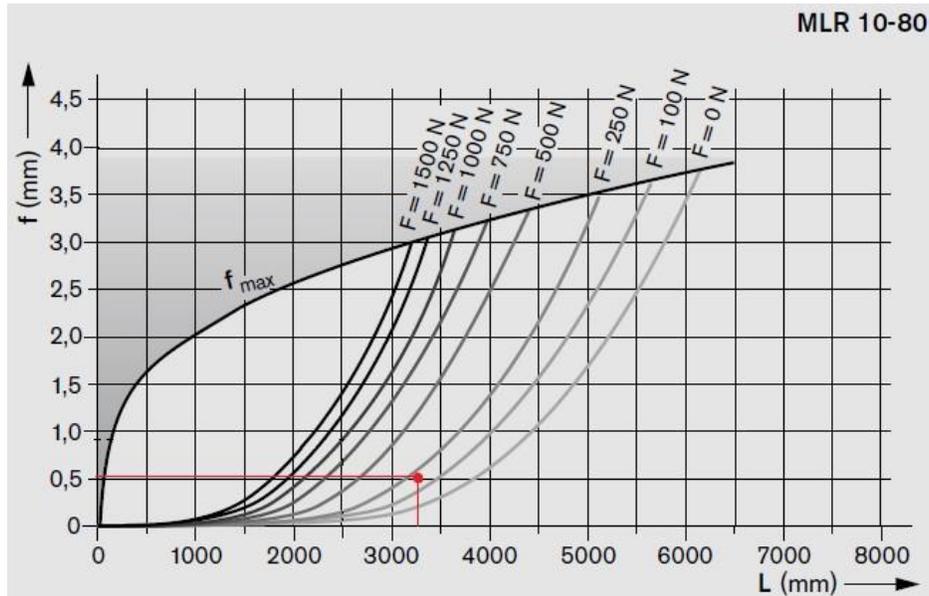


Figura 5.5 Cálculo de deflexión f en el eje X a partir de la fuerza F y la longitud L [3].

El punto marcado en rojo en la figura 5.5, corresponde a las condiciones de carga del eje X del sistema. El gráfico muestra, que la deflexión producida estará alrededor de los $0,5\text{ mm}$. Este valor, está muy por debajo de la curva de deformación máxima f_{\max} , lo cual quiere decir, que la deflexión producida está dentro del valor permisible.

Otro punto importante por considerar, en la resistencia mecánica del eje X, es la combinación de cargas y momentos de torsión a los que se somete el rodamiento interno del carrito. En la figura 5.6, se muestra la forma en la que esta combinación de cargas incide sobre dicho rodamiento.

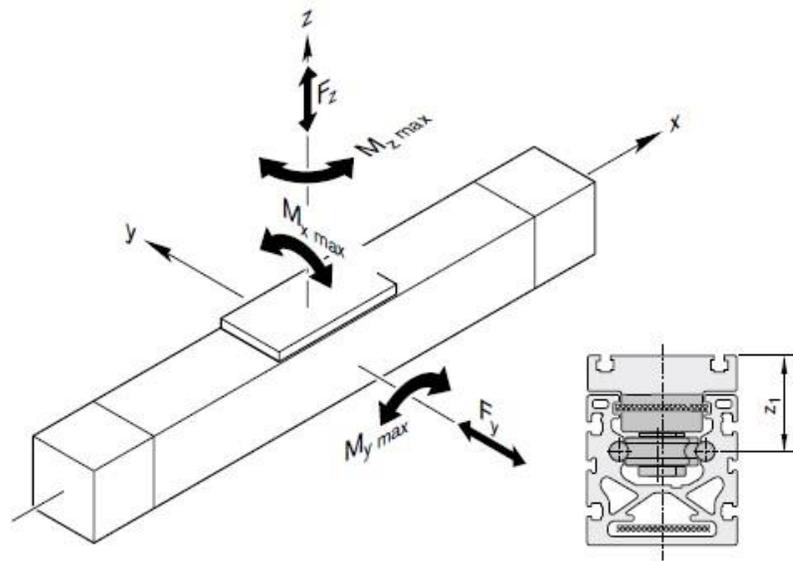


Figura 5.6 Concentración de fuerzas y momentos en el rodamiento del carrito del MLR 10-80 [3].

La especificación técnica del fabricante (Anexo B.1), define los valores máximos permisibles para las cargas representadas en la figura 5.6. En la tabla 5.4, se detallan estos valores de cargas, el par motor aplicable y la velocidad máxima a la que puede moverse el módulo MLR10-80. La longitud l es la mitad de la longitud total de perfil, por lo tanto, $l_z = l_y = 250\text{mm}$, $l_x = 32.5\text{mm}$

$$M_{x\max} = F_{y\max} * l = 2.45\text{N} * 0.250\text{m} = 0.6125\text{Nm}$$

Tabla 5.4 Parámetros máximos permisibles para el módulo MLR 10-80.

Fuerzas máximas permisibles (N)		Momentos de torsión máximos permisibles (Nm)			Máximo torque de motor aplicable (Nm)	Máxima velocidad de desplazamiento (m/s)
$F_{y\max}$	$F_{z\max}$	$M_{x\max}$	$M_{y\max}$	$M_{z\max}$		
1500	1500	48.75	375	375	27	10

Bosch Rexroth [3].

El fabricante recomienda, que la suma de las cargas, divididas entre sus valores máximos permisibles, sea menor que 1. Esta relación, se expresa en la ecuación 5.2.

$$\frac{|F_y|}{F_{y\max}} + \frac{|F_z|}{F_{z\max}} + \frac{|M_x|}{M_{x\max}} + \frac{|M_y|}{M_{y\max}} + \frac{|M_z|}{M_{z\max}} \leq 1$$

(5.2)

Gracias a la configuración mecánica del sistema, la fuerza F_y y los momentos de torsión M_x y M_z , señalados en la figura 5.9, son prácticamente nulos. En este caso, el rodamiento del carrito se somete principalmente a una fuerza F_z de 196 N y a un momento de torsión M_y . Este momento, se obtiene como el producto del peso transportado, por la distancia en X a la que se encuentra su centro de masa (medida desde el centro del carrito).

$$M_y = 2.45 \text{ N} \cdot 0,035 \text{ m} = 0.08575 \text{ Nm} \quad (5.3)$$

Así, a partir de la ecuación 5.1, se tiene que:

$$\frac{|F_z|}{F_{z\max}} + \frac{|M_y|}{M_{y\max}} = \frac{2.45 \text{ N}}{1500 \text{ N}} + \frac{0.08575}{375} = 0.001862 \leq 1 \quad (5.4)$$

$$FS = \frac{1}{0.001862} = 537.63$$

Se concluye entonces, que el eje X del robot, soporta de forma segura la combinación de cargas a la que se somete, dado que su factor de seguridad es de 537.63.

5.2.3 Resistencia mecánica del eje Y

De manera similar a como sucede en el eje X, el módulo lineal del eje Y, se soporta únicamente con dos apoyos en los extremos. Debido a esto, las deflexiones del módulo se comportan de forma homóloga a cómo se explicó en la sección 5.2.2.

La masa transportada por el MLR 10-80 del eje Y, es de aproximadamente 0.5 kg. En este caso, la carga no se divide, pues el eje lo constituye un único módulo lineal con una longitud de 500 mm.

Así, el peso soportado por el módulo Y, es entonces:

$$F = 0.5 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4.9 \text{ N} \quad (5.5)$$

Partiendo de la fuerza, y la longitud del eje, la deflexión del sistema se obtiene mediante el gráfico de la figura 5.7.

MLR 10-80

Fuerza (F) [N]	Deflexión (f) [mm] a L=500 mm
1500	~3.0
1250	~2.5
1000	~2.0
750	~1.5
500	~1.0
250	~0.5
100	~0.2
0	~0.0

Figura 5.7 Cálculo de deflexión f en el eje Y a partir de la fuerza F y la longitud L [3].

El punto marcado en rojo en la figura 5.7, corresponde a las condiciones de carga del eje Y del sistema. El gráfico muestra, que, debido a la corta longitud del módulo lineal, la deflexión producida es prácticamente nula.

Con respecto a la concentración de fuerzas y momentos en el rodamiento del carrito, en este caso, las cargas F_y , M_y y M_z , señalados en la figura 5.6, son prácticamente nulas. El rodamiento del eje Y, se somete principalmente a una

pág. 74

fuerza F_z de 4.9 N y a un momento torsor M_x . Este momento, se obtiene como el producto del peso transportado, por la distancia en Y a la que se encuentra su centro de masa (medida desde el centro del carrito).

$$M_x = 4.9N * 0.065m = 0.3165Nm \quad (5.6)$$

Así, a partir de la ecuación 5.2, se tiene que:

$$\frac{|Fz|}{Fzmax} + \frac{|Mx|}{Mxmax} = \frac{2.45 N}{1500 N} + \frac{0.3165}{48.75} = 0.0081256 \quad (5.7)$$

$$FS = \frac{1}{0.0081256} = 123.067$$

Se concluye entonces, que el eje Y del robot, soporta de forma segura la combinación de cargas a la que se somete, dado que el factor de seguridad es de 123.067.

5.2.4 Resistencia mecánica del eje Z

El eje Z del sistema, lo constituye un módulo lineal de la serie OBB 55. A diferencia de los ejes X y Y, en este caso, el módulo no se somete a condiciones de flexión importantes. Se estudiará entonces, que la combinación de fuerzas y momentos torsores en el carrito, no excedan el valor permisible definido por el fabricante. En la figura 5.8, se muestra la forma en la que esta combinación de cargas incide sobre el rodamiento del OBB 55.

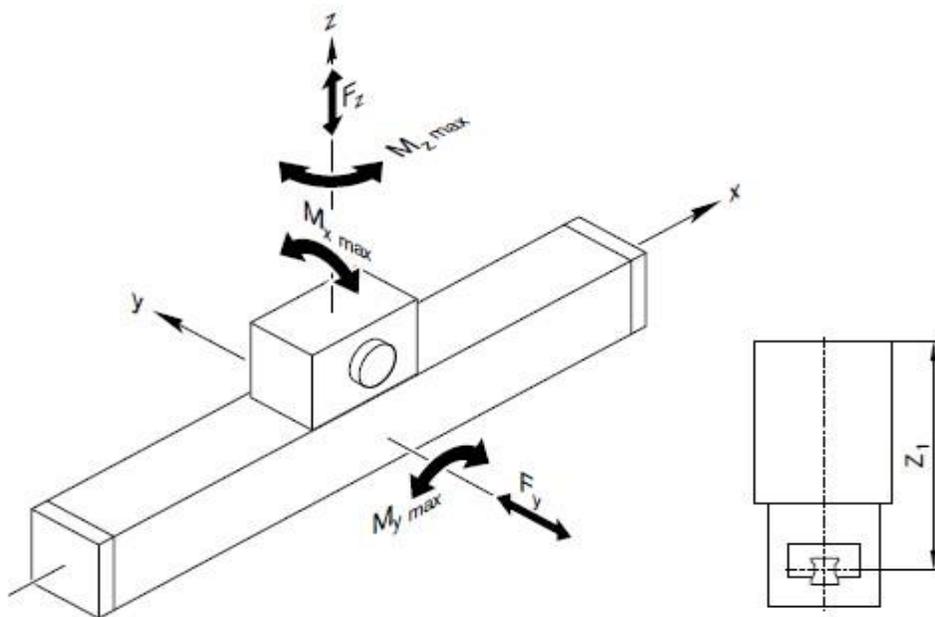


Figura 5.8 Concentración de fuerzas y momentos en el rodamiento del carrito del OBB 55 [3].

Cabe destacar, que, en el robot diseñado, el carrito de la figura 5.8, se mantiene fijo en su posición, y el perfil de aluminio es el que se somete al movimiento.

La especificación técnica del fabricante (Anexo B.2), define los valores máximos permisibles para las cargas representadas en la figura 5.8. En la tabla 5.5, se detallan estos valores de cargas, el par motor aplicable y la velocidad máxima a la que puede moverse el módulo OBB 55.

Tabla 5.5 Parámetros máximos permisibles para el módulo OBB 55.

Fuerzas máximas permisibles (N)		Momentos de torsión máximos permisibles (Nm)			Máximo torque de motor aplicable (Nm)	Máxima velocidad de desplazamiento (m/s)
$F_{y\max}$	$F_{z\max}$	$M_{x\max}$	$M_{y\max}$	$M_{z\max}$		
6500	6500	211.25	1625	1625	12	5

Bosch Rexroth [3].

Al igual que en los módulos MLR 10-80, el fabricante recomienda, que la combinación de cargas en el OBB55 se apegue a la relación expuesta en la ecuación 5.2 de la sección 5.2.2.

Gracias a la configuración mecánica del sistema, el módulo OBB 55, no se somete a fuerzas F_y ni F_z (señaladas en la figura 5.8). Además, los momentos de torsión M_x y M_z son prácticamente nulos. En este caso, se ha determinado que el sistema se somete principalmente, a un momento de torsión M_y . Este momento, se obtiene como el producto del peso transportado, por la distancia en Z a la que se encuentra su centro de masa (medida desde el centro del carrito).

$$M_y = 2.45 \text{ N} \cdot 0,25 \text{ m} = 0.6125 \text{ Nm} \quad (5.8)$$

Así, a partir de la ecuación 5.1, se tiene que:

$$\frac{|M_y|}{M_{y\max}} = \frac{|0.6125|}{1625} = 0.00037692 < 1 \quad (5.9)$$

$$FS = \frac{1}{0.00037692} = 2653.082$$

Se concluye entonces, que el eje Z del robot, soporta de forma segura la combinación de cargas a la que se somete, dado que el factor de seguridad encontrado es de 2553.082

5.2.3 Dimensionado de sistemas de accionamiento

Para seleccionar los motores que accionan los ejes del robot, se inició por definir las velocidades y aceleraciones de operación deseadas tanto en la manda como en los tornillos de avance. A partir de estos requerimientos de movilidad lineal, se obtuvieron las magnitudes rotacionales requeridas en los ejes de cada motor. Se procedió entonces, a realizar los cálculos dinámicos tomando en consideración los pesos transportados. Se incluyeron en las operaciones, las componentes inerciales a

vencer, para provocar el movimiento de las masas y para la rotación de las poleas en los módulos. Las fuerzas de fricción, que se oponen al movimiento de los ejes del sistema, también fueron incluidas en el modelo dinámico.

Para realizar los cálculos del par se define un diámetro de 65 mm y una velocidad del carrito deseada 1.2 m/s y una aceleración deseada de 6 m/s², 36.48 N es la fuerza necesaria para mover al sistema en su coordenada crítica.

$$\frac{1.2m}{s} * \frac{60 s}{1 min} * \frac{1 rev}{2\pi * 0.0325} = 351 rpm \text{ velocidad en rpm}$$

$$\frac{351 rev}{min} * \frac{1 min}{60 s} * \frac{2\pi}{1 rev} = 36.756 rad/s \text{ velocidad angular}$$

$$\frac{351 rev}{min} * \pi = 1170.4 pasos/s \text{ pasos}$$

$$T = F * d = 36.48 N * 0.250 m = 9.12 Nm \text{ aceleración angular}$$

Para cada grado de libertad del robot, se utilizó un diagrama de cuerpo libre. En estos, se aplicaron las ecuaciones de equilibrio dinámico haciendo uso de la segunda ley de Newton. Como resultado de dichas ecuaciones, se obtuvieron los pares de motor resumidos en la tabla 5.4.

Tabla 5.6 Resumen de resultados de cálculos dinámicos y requerimientos de movilidad.

	Velocidad deseada	Aceleración deseada	Velocidad del motor requerida		Aceleración del motor requerida	Par requerido para acelerar	Par motor escogido
	m/s	m/s ²	rpm	pasos/s	rad/s ²	Nm	Nm
Movimiento eje X	1,2	6,0	351,0	1170,4	183,85	9,12	12,1
Movimiento eje Y	1,0	5,0	262,6	975,4	153,21	4,57	8,1
Movimiento eje Z	1,0	5,0	363,6	1212,1	190,40	6,63	9,2

Los valores de par motor, especificados en la tabla 5.6, corresponden a los torques de los motores seleccionados. Debe considerarse, que el torque máximo en un motor a pasos se reduce considerablemente al aumentar su velocidad de giro. Por

lo tanto, es importante verificar la capacidad de los motores escogidos, con base en sus curvas torque-velocidad.

La figura 5.9, muestra la curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje X. Para este grado de libertad, se seleccionó un motor Nema 34 LAM Technologies de 12,1 Nm, operado a 48 V (hoja de datos en Anexo B.5).

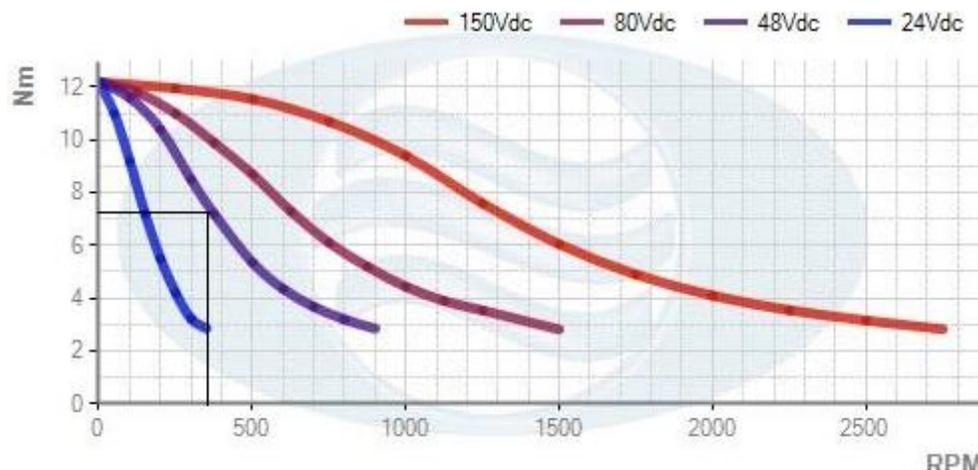


Figura 5.9 Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje X [17].

En la curva de la figura 5.9, se puede observar como el motor alimentado a 48 V, es capaz de entregar el par requerido en el arranque de 9,12 Nm. Conforme el motor aumenta su velocidad, el par que requiere para mantener el movimiento disminuye. Por lo tanto, la reducción de su capacidad de torque, ilustrada en la figura 5.17, no representa un problema para la movilidad del eje X.

Seguidamente, se muestra en la figura 5.10, la curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje Y. En este caso, se seleccionó un motor Nema 34 LAM Technologies de 8,1 Nm; también operado a 48 V (hoja de datos en Anexo B.5).

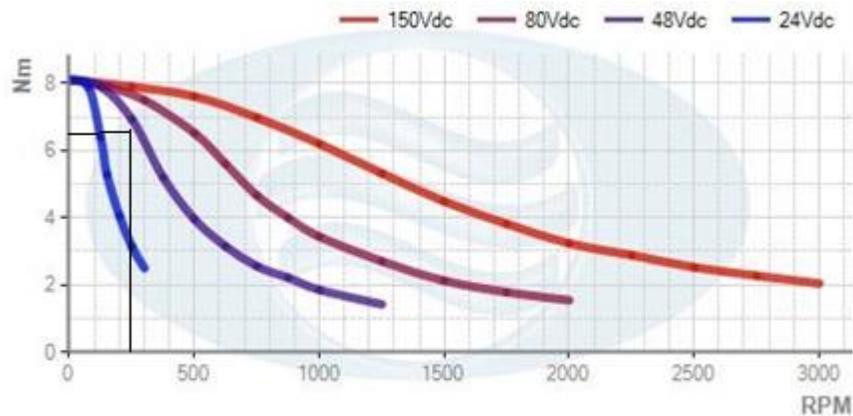


Figura 5.10 Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje Y [17].

Según los resultados de los cálculos dinámicos, mostrados en la tabla 5.4, el par requerido en el arranque, en este grado de libertad, será de aproximadamente 4,57 Nm. En el gráfico de la figura 5.10, se puede observar como el motor alimentado a 48 V, es capaz de entregar un par de arranque de hasta 8,1 Nm. Cuando el motor alcance la velocidad deseada de 262,6 rpm, su capacidad máxima de torque habrá caído a aproximadamente 7 Nm. Este torque, es aún mayor que el par máximo de 4,57 Nm que se requiere para mover al eje Y desde el reposo.

También, se muestra en la figura 5.11, la curva torque-velocidad para el motor del eje Z. Para este eje, se seleccionó un motor Nema 34 LAM Technologies de 9,2 Nm (hoja de datos en Anexo B.5).

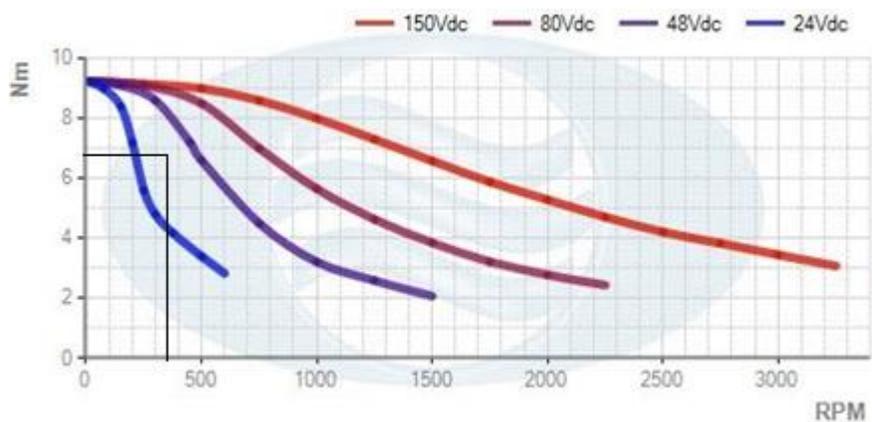


Figura 5.11 Curva torque-velocidad para el motor a pasos del eje Z [17].

Se puede observar, en la figura 5.11, como el motor a pasos seleccionado (alimentado a 48 V), no tendría problemas para entregar el par requerido al arranque de 6,63 Nm. Cuando el motor alcance la velocidad requerida de 363,6 rpm, su capacidad de torque se habrá reducido a un valor aproximado de 8 Nm. Nuevamente, este valor de torque es aún mayor que los 6,63 Nm que se requieren para mover el eje Z desde el reposo. Por lo tanto, el motor seleccionado tiene capacidad suficiente para acelerar la masa transportada de acuerdo con los requerimientos estipulados en la tabla 5.4.

5.3 Diseño electrónico y de control

5.3.1 Diseño de interfaz de potencia entre sensores y unidad de control

En el diseño, se utilizaron sensores de proximidad inductivos para lograr identificar las posiciones más importantes en los ejes de coordenadas X-Y-Z. Dichos sensores, los provee el fabricante de los módulos de desplazamiento lineal con los que se trabajó. Cuentan con las características eléctricas descritas en la figura 5.13 tomadas del apéndice B9. Además, cuentan con una carcasa lista para instalar en los módulos lineales, lo cual facilita su instalación.

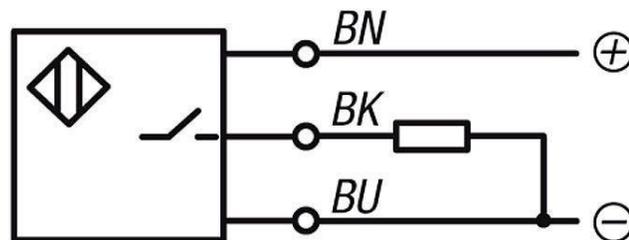
Proximity switches

Proximity switch with potted cable (3 x 0.14 mm ² Unitronic)	
Technical data	
Housing form	NO
Minisensor	Form A DIN 41635
Operating voltage	10 ... 30 V DC
Residual ripple	≤ 10%
Load	200 mA
No-load current	≤ 20 mA
Switching frequency	max. 1500 Hz
Temperature-related shift in make point	≤ 4 μm/K
Output signal steepness	≥ 1V/μs
Repeatability of make point per EN 50008	≤ 0.1 mm
Cable length	3 m
MTTF _d as per EN ISO 13849-1	30 – 100 years

Figura 5.12 Características del sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales [3].

Con base en los datos de corriente con carga y sin carga y voltaje de salida, mostrados en la figura 5.12, se realizó una etapa de potencia con la cual fuera posible alimentar los sensores y adaptar sus señales al sistema de control. Se escogió un voltaje de alimentación de 24 VDC, el cual es un valor común en fuentes de alimentación comerciales. Por otro lado, el control opera a 5 VDC con la premisa de que los sensores inductivos de productividad presentan salidas de tipo PNP como la descrita en la figura 5.13.

Connection diagram:



BN = brown
BK = black
BU = blue

Figura 5.13 Salida tipo PNP del sensor de proximidad de los módulos lineales usados [7].

Se debe de conectar la carga entre la salida y tierra como se muestra en la figura 5.13. Lo anterior, permite obtener una señal digital en el control cuando el sensor detecta la proximidad de un objeto.

A continuación, las características de la señal a tratar:

- No se requiere una alta frecuencia de conmutación debido a la velocidad del equipo.
- Salida de tipo digital con una caída de máximo 10% con respecto a la alimentación debido al ripple.
- Normalmente abierto.

Debido a las características presentadas anteriormente, se realiza un diseño basado en relays electromecánicos de 24 VDC. Ello permite adaptar la señal a 5 VDC a un bajo costo.

En la figura 5.14, se muestra el circuito utilizado para la simulación en el programa Proteus ISIS 8 ®.

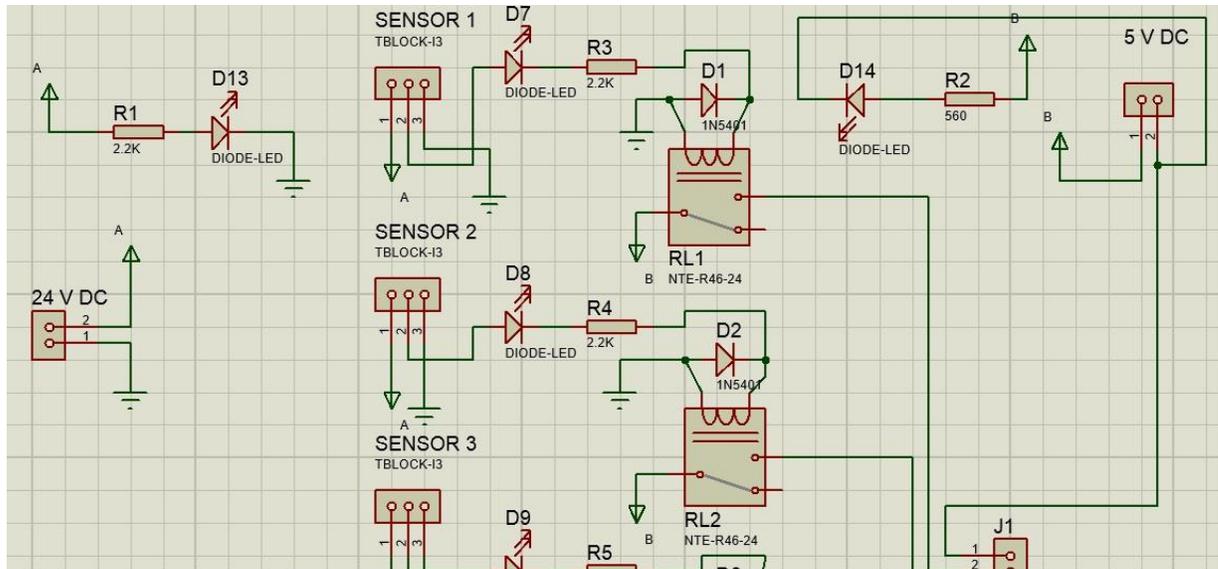


Figura 5.14 Circuito de potencia de sensor de proximidad Unitronic A DIN 46335 usado en los módulos lineales. Elaborado en Proteus ISIS 8 ®.

En el diseño de la figura 5.14, se pueden observar varios componentes utilizados como protección y como indicadores. Se cuenta con un diodo IN5401 de protección en cada bobina de entrada de los 6 relays. Además, se utiliza un LED indicador para identificar cuando la señal de los sensores está en alto. El diseño de este circuito es planteado a partir del planteado en el marco teórico, las resistencias de 560 ohmios son protecciones para los LEDs, las resistencias de 2200 ohmios son la protección de LEDs a 24 V.

5.3.2 Diseño de interfaz de potencia entre unidad de control y actuadores

El diseño de la interfaz de potencia entre la unidad de control y los actuadores se trabaja con distintas alimentaciones, así como con potencias mayores. En la tabla

5.7, se listan los diferentes actuadores y señales que se deben de adaptar. En los apéndices B.5 y B.6 se detallan los datos de los motores de los ejes X, Y, Z y la rotación del barril. Además, se muestran en el apéndice B.3 las características de la pinza robótica.

Tabla 5.7 Resumen de actuadores y señales a adaptar para la etapa de potencia entre actuadores y el control.

Dispositivo o señal por tratar	Voltaje de operación [VDC]	Potencia [W]
Motor eje X NEMA 34	48	480,0
Motor eje Y NEMA 34	48	340,8
Motor eje Z NEMA 34	48	340,8
Pinza robótica	5	19,2

Como se puede observar en la tabla 5.7, el componente más crítico es el motor del eje X. Este cuenta con una potencia de 480 W y una corriente de fase de 10 A. Debido a la alta corriente, se recurre a utilizar un controlador STP-DRV-80100. El mismo, admite perfectamente dicha corriente nominal hasta con una alimentación de 80 VDC. En la figura 5.15, se ilustra el controlador de motor utilizado.



Figura 5.15 Driver STP-DRV-80100 para motor a pasos [30].

Para el controlador de la figura 5.15, se muestra el detalle de las conexiones eléctricas en la figura 5.16.

Connection Locations & Pin-out

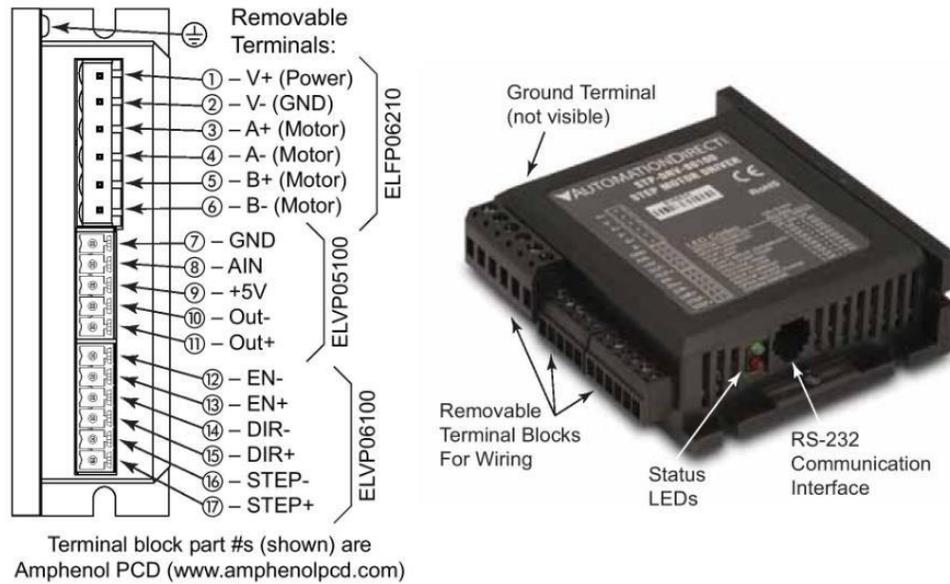


Figura 5.16 Conexiones eléctricas de controlador STP-DRV-80100 para motor a pasos [30].

Es posible apreciar en la figura 5.16, que el controlador cuenta con tres entradas TTL a 5 VDC que permiten realizar el control del motor: la señal de *step* (paso), la de *enable* (habilitar) y la de *direction* (dirección). Estas señales, están asiladas con optoacopladores y tienen protecciones contra ruido. Tales características, se muestran en la figura 5.16.

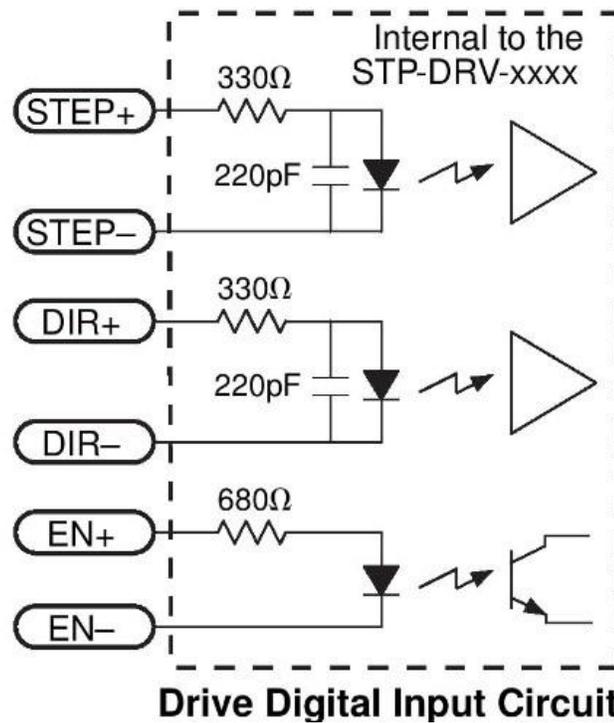


Figura 5.17 Detalle de señales de control del controlador STP-DRV-80100 para motor a pasos [30].

En la figura 5.17, se puede observar los detalles de las resistencias y los capacitores presentes en la parte interna del controlador. En el caso de la señal de *enable*, se cuenta con una resistencia mayor debido a que esta funciona con un voltaje de entre 0 y 12 VDC.

Las conexiones del motor al controlador se realizan como se muestra en la figura 5.18. Para este diseño, se utilizó la conexión en paralelo de los motores (de 8 cables). Esto con el propósito, de obtener un mayor torque de salida tal y como se mencionó en la sección 5.3.6.

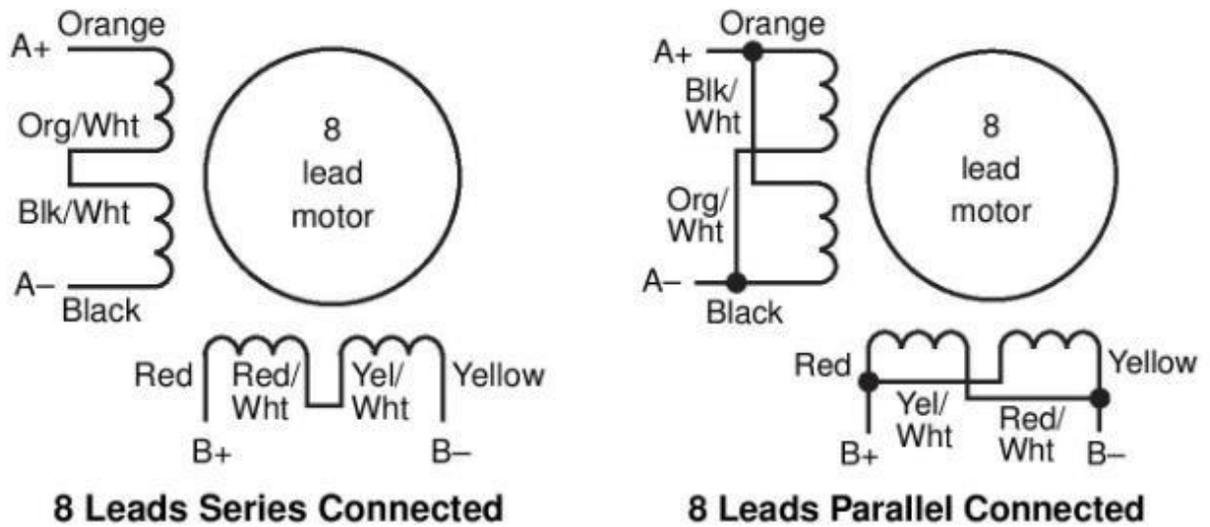


Figura 5.18 Detalle de conexión de motores en serie o paralelo en el controlador STP-DRV-80100 [30].

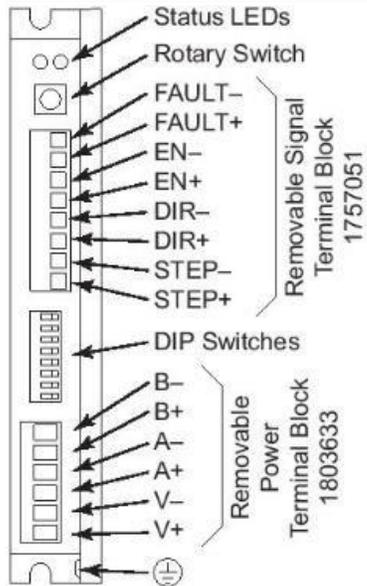
En la figura 5.18, se ilustra la conexión de los motores con sus bobinas en serie (izquierda) y en paralelo (derecha).

Los motores utilizados para los ejes Y y Z, cuentan con corrientes nominales de 7.1 A por fase (Ver anexo B5 para más detalles). No obstante, se utiliza el mismo controlador que se describió anteriormente.

En el caso de la rotación del barril, se utiliza un motor tamaño Nema 23. Este motor, presenta una corriente de fase mucho menor que los demás, por lo que bien se podría utilizar un controlador del mismo tipo que en los motores anteriores. Sin embargo, por motivos económicos, se decidió utilizar un driver que admite una menor corriente como es el caso del STP-DRV-6575 y el STP-DRV-80100 de los mismos fabricantes (para más detalles ver B.12). En este caso, se seleccionó el STP-DRV-6575. El driver y sus conexiones típicas se muestran en la figura 5.18.

Wiring Connections and Configuration Switches

Terminals, Switches, Indicators



Terminal block part #s (shown) are
Phoenix Contact (www.phoenixcontact.com)

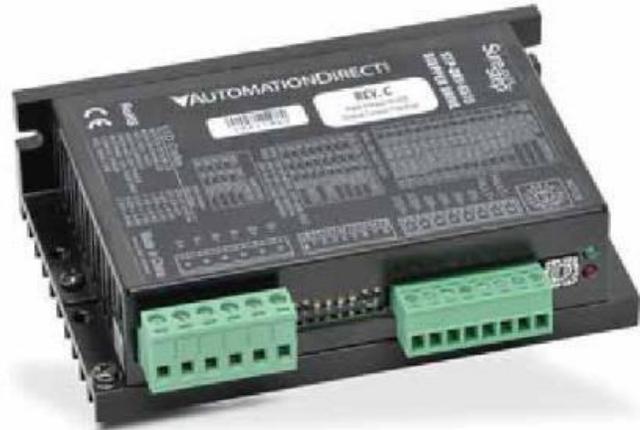


Figura 5.19 Driver STP-DRV-6575 para motor a pasos [30].

En la figura 5.19, se puede observar que el controlador 6575, cuenta también con entradas aisladas con optoacopladores al igual que el 80100. Tiene tres señales de entrada: paso, habilitar y dirección y cuenta con una salida de fallo en la que se indica si existe un error en las conexiones. Las conexiones para este controlador se detallan en la figura 5.20. Debido a que el motor NEMA 23 también es de 8 cables terminales, se utilizó una conexión igual a la descrita en la figura 5.18.

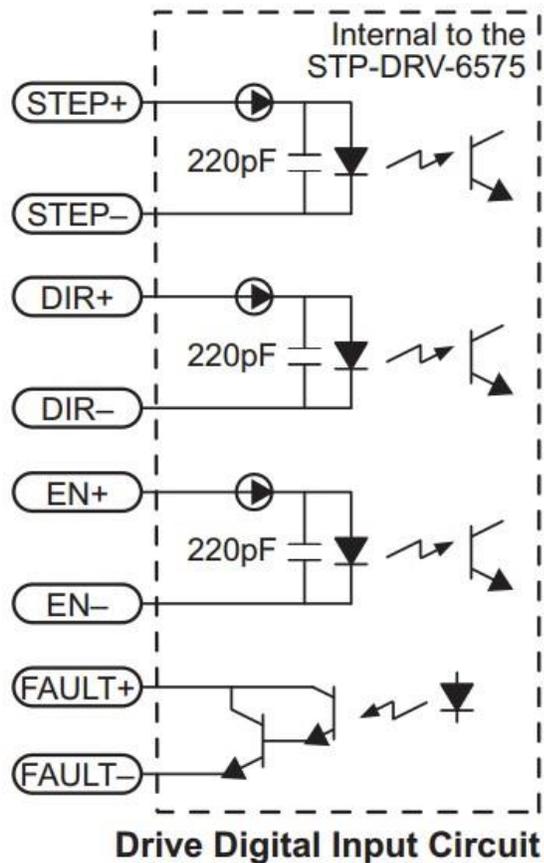


Figura 5.20 Detalles de señales de control del controlador STP-DRV-6575 para motor a pasos [30].

De la misma forma que el controlador 80100, el 6575 cuenta con protecciones contra el ruido en sus entradas como se muestra en la figura 5.20. En este caso, las señales de control pueden ser de 5 a 24 VDC, por lo que no se utiliza la resistencia de protección. Cabe mencionar, que la salida *fault* (fallo) corresponde a una salida digital de 30 VDC.

Por otro lado, tanto la electroválvula como la pinza robótica escogidas, presentan la misma lógica de operación y reciben una señal digital de 0 o 24 VDC. Por lo anterior, se diseñó un mismo circuito para adaptar sus señales de control.

5.3.3 Diseño de circuito de control con Arduino

Con tal de operar todas las señales de entrada y salida, descritas en los circuitos expuestos en las secciones 5.3.1 y 5.3.2, se diseñó el circuito de control mostrado en la figura 5.21, en el cual se realiza la unificación de necesidades de lo que se realizó en las partes anteriores que incluye todos los sensores (inductivos, capacitivos, de seguridad y de los contenedores) y por otra parte la inclusión de los actuadores en este caso se hará por medio de los circuitos neumáticos y programación en Arduino. En términos de valores obtenidos para las resistencias son protecciones estándares para circuitos de control, para que el controlador no reciba una carga mayor a 0.1 A, según la hoja del fabricante, los valores de las capacitancias son para acomodar el rizo de carga y descarga, funcionan como protecciones de voltaje en el circuito.

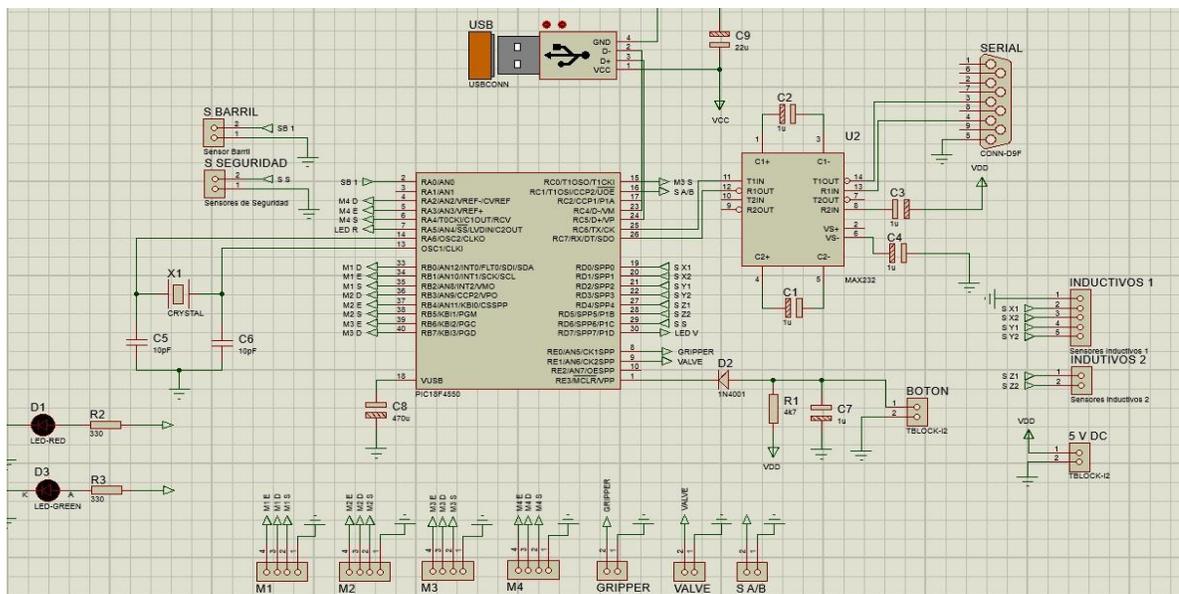


Figura 5.21 Circuito de control de módulo. Simulación realizada en Proteus ISIS 8 ®.

En el circuito de la figura 5.21, se puede observar que las conexiones se manejan por medio de UART (siglas del inglés *Universal Asynchronous Serial Transport*) y por medio de USB (siglas del inglés *Universal Serial Bus*). Se utilizó el circuito integrado MAX232 para adaptar las señales de 12 VDC del UART a los 5 VDC requeridos por el circuito de control. Para la transmisión de datos por USB, se agregó

un cristal externo de 48 MHz. Con base en este circuito, se diseñó la PCB de la figura 5.21. las resistencias de 220 Ohmios son la protección de LEDs a 5 VDC, los capacitores son una protección de picos de tensión 4700 microfaradios, estos valores son recomendados según valores críticos de tensión y corrientes máximos que soportan los componentes electrónicos.

5.3.4 Selección de fuentes de alimentación

Como se ha detallado a lo largo de la sección 5.3, en el sistema se cuenta con voltajes de alimentación de 48 VDC, 24 VDC y 5 VDC. Con base en los datos de la tabla 5.7 y la información presentada en la sección 5.3.1, se llegó a los valores de la tabla 5.8. En dicha tabla, se presenta un resumen de las potencias requeridas para las fuentes de alimentación.

Tabla 5.8 Resumen de potencias requeridas para la fuente de alimentación.

Fuente de alimentación	Voltaje de operación [VDC]	Potencia requerida [W]
Fuente de alimentación para motores	48	1191,36
Fuente para sensores y algunos actuadores	24	62,88
Fuente para circuito de control	5	5,75 W

Tal y como se muestra en la tabla 5.8, el mayor consumo de potencia posible del Arduino es de 5,75 W. Los datos de consumo eléctrico del control se obtienen del anexo B.12. Con base en estos datos, se seleccionan las fuentes de alimentación, las cuales se resumen en la tabla 5.9.

Tabla 5.9. Resumen de fuentes de alimentación escogidas.

Voltaje de operación [VDC]	Potencia requerida [W]	Modelo Seleccionado	Potencia [W]
48	1191,36	SE-1500	1500
24	62,88	LEB100F-0524	100
5	5,75 W		

En la tabla 5.9, se menciona la escogencia del modelo SE-1500 (más detalles en el apéndice B.14) para la alimentación de 48 VDC. En el caso de los 24 VDC y 5 VDC, se escoge la fuente LEB100F-0524 (más detalles en el apéndice B.15). Esta última, cuenta con ambos valores de voltaje de salida y una potencia total de 100 W.

5.3.5 Programa de control en Arduino de brazos robóticos ®.

Para la operación del robot, se diseñó en Arduino sencilla de usar e intuitiva. El menú principal del programa se ilustra en el apéndice A.3.

5.3.6 Programa de control en modulo Festo

Si bien las órdenes de desplazamientos y procedimientos se envían del módulo Festo a las electroválvulas que se encargaran de actuar o retraer los pistones.

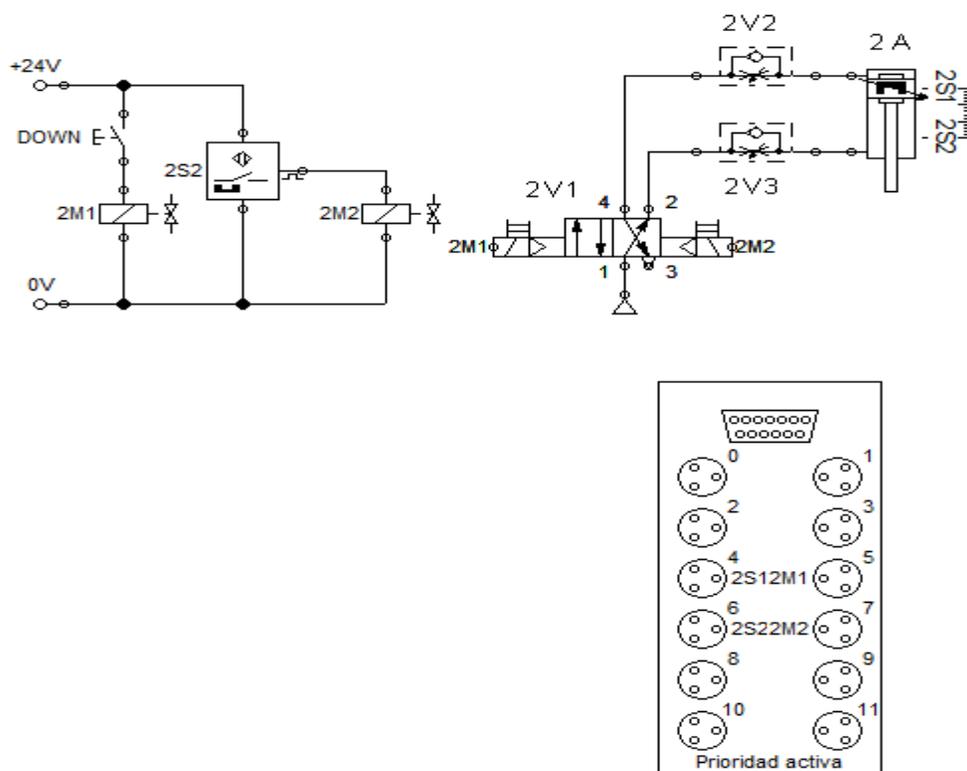


Figura 5.22 Circuito de control de módulo Festo para el pistón clasificador. Elaborado en Fluid Sim.

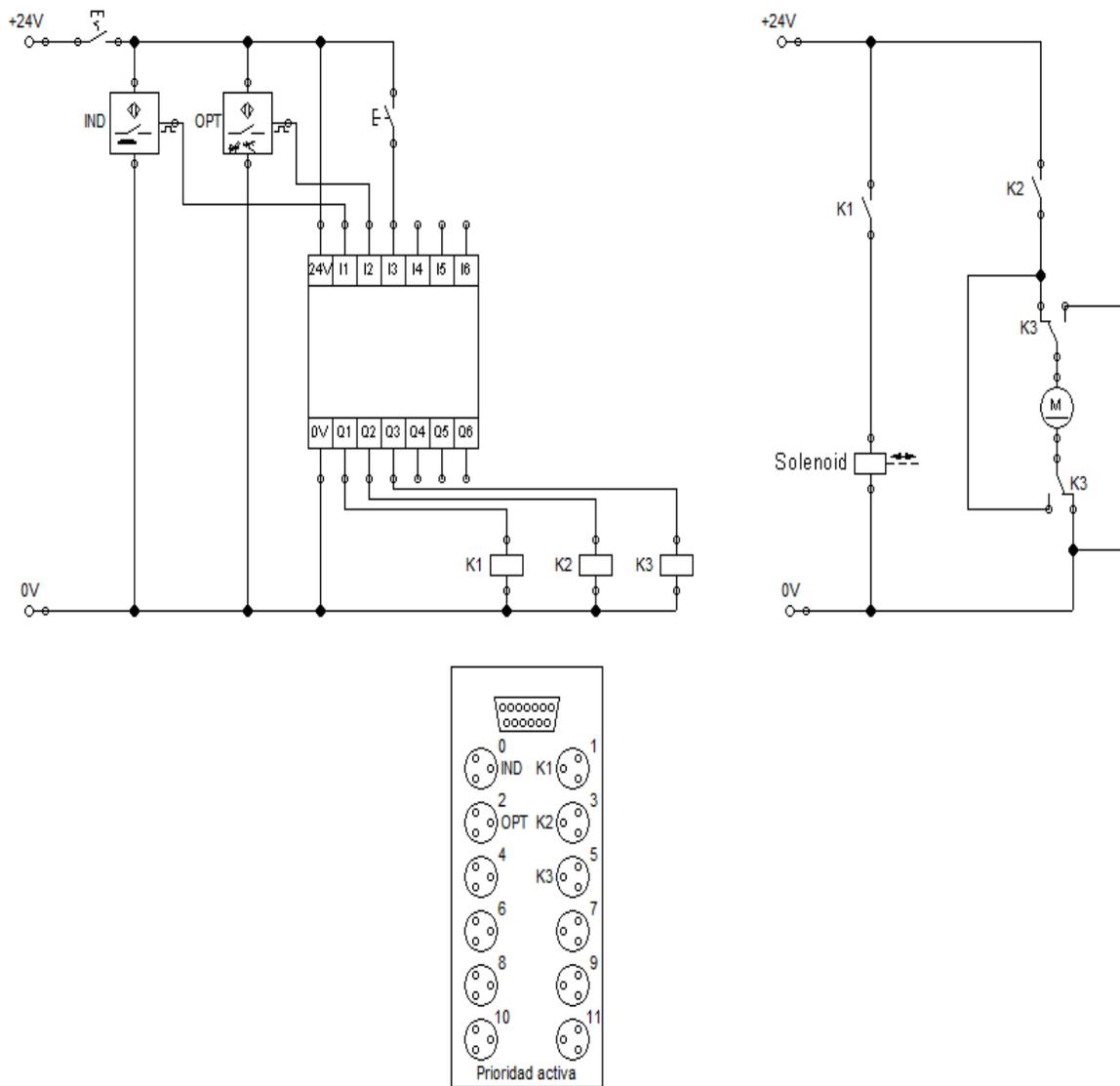


Figura 5.23 Circuito de control de módulo Festo para la banda transportadora de entrada.

Elaborado en Fluid Sim.

Como se muestra en la figura 5.23 este circuito neumático, permite controlar módulos de bandas transportadoras regular su velocidad y sentido de giro.

5.4 Simulación cinemática de robot cartesiano y brazos robóticos

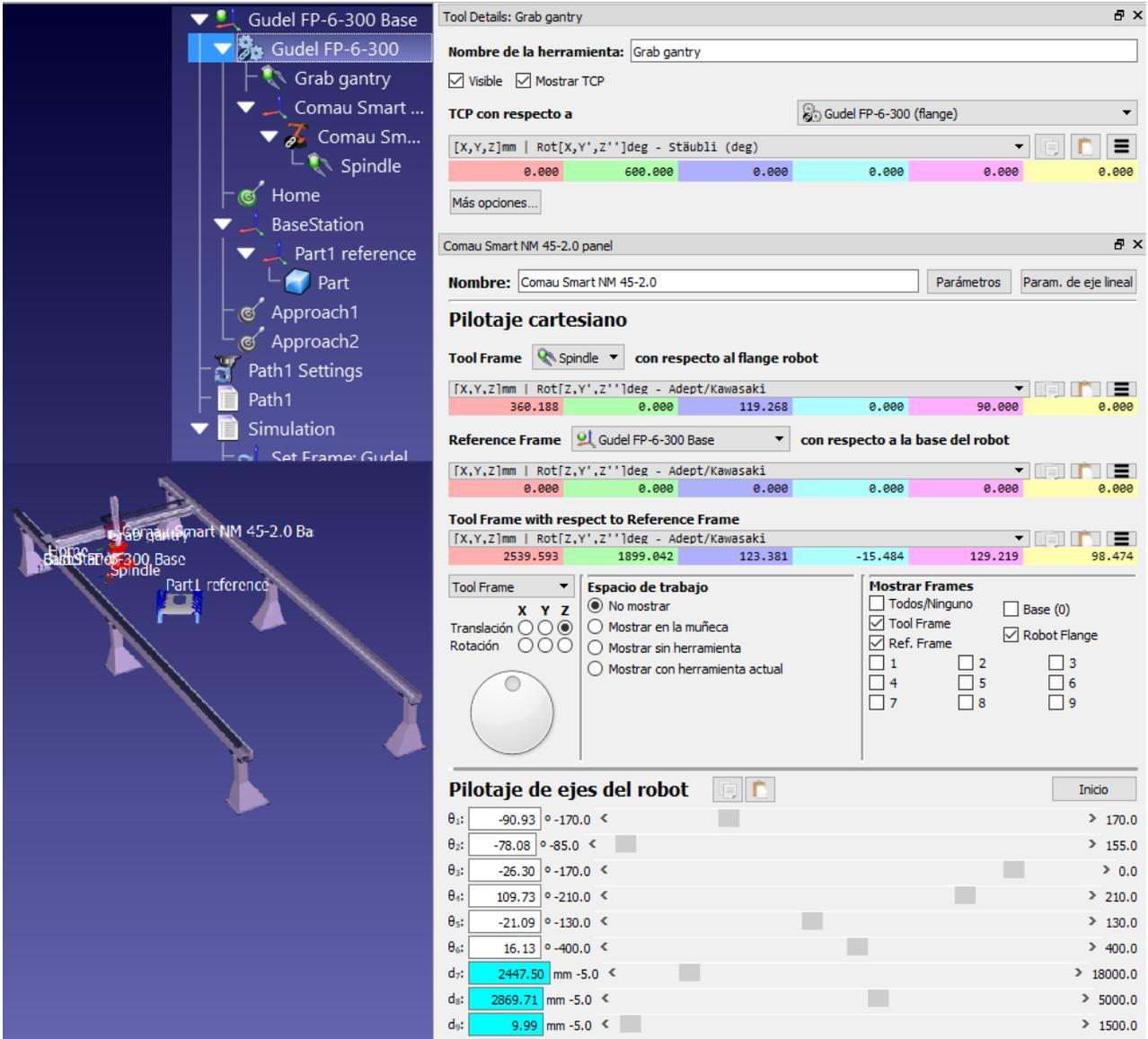


Figura 5.24 Simulación de movimiento de robot cartesiano. Desarrollo RoboDK.

Los ángulos de la figura 5.24 serán utilizados para la programación de la rutina para la automatización del robot cartesiano. A partir de estos parámetros se procede a realizar la programación que se encuentra en el apéndice A.4.

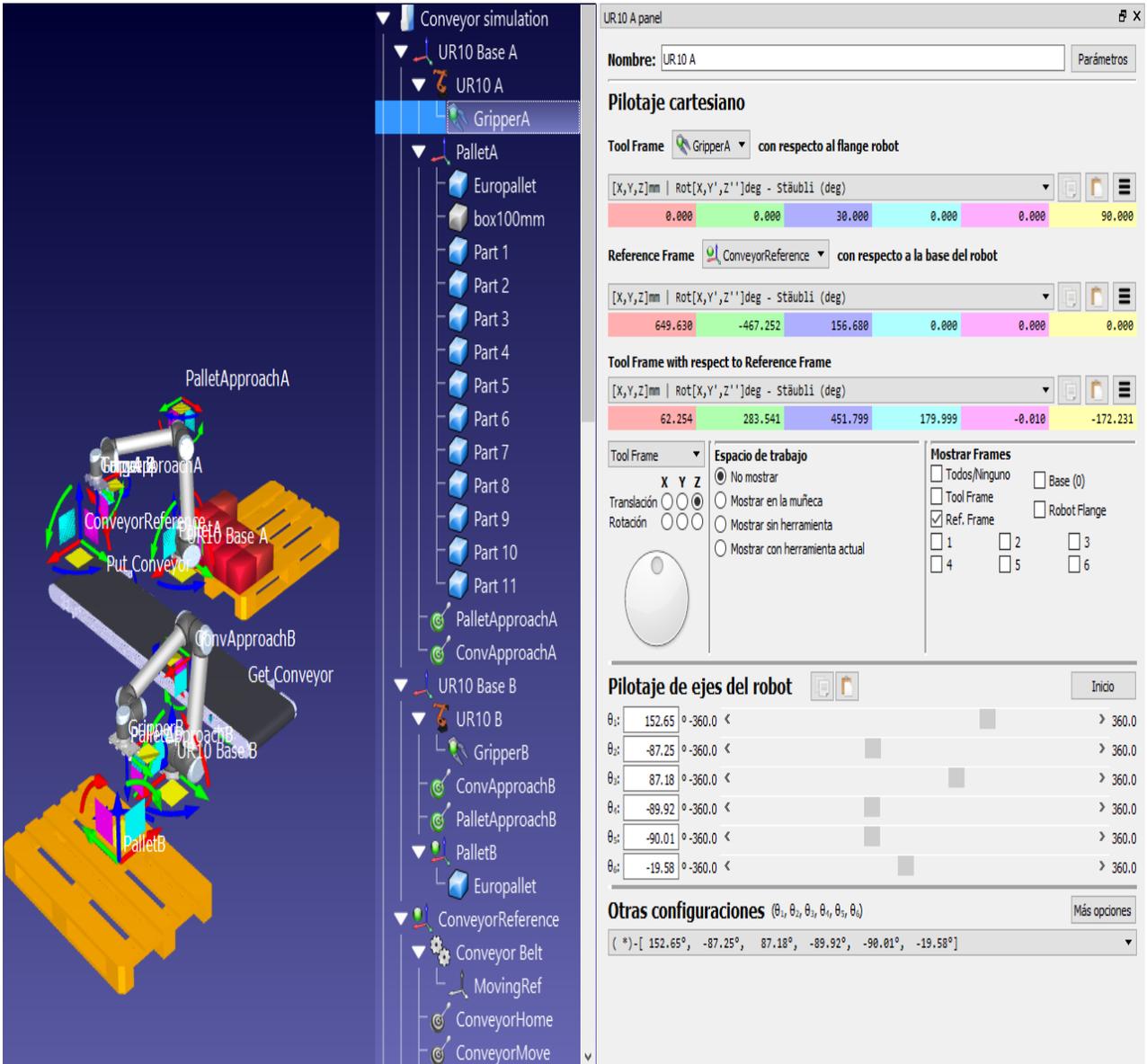


Figura 5.25 Simulación de movimiento de sistema de descarga y almacenaje de contenedores. Desarrollo RoboDK.

Los ángulos que se encuentran en la figura 5.25 se utilizarán para desarrollar la programación de los brazos robóticos 1 y 2, como se puede observar en el apéndice A.3

5.5 Cálculos de productividad

Con el objetivo de analizar el impacto de la implementación de un sistema mecatrónico para la automatización del proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores de fruta, se analizaron las duraciones actuales de la operación con los componentes más importantes para la empresa. Los datos analizados, fueron suministrados por la Ing. Marlon Zúñiga, supervisor de operaciones y logística.

Tomando como premisa que la cantidad de contenedores que se pueden almacenar simultáneamente es de 2 contenedores, debido a que la empresa *Del Monte* cuenta con dos Reach Stacker, esto le permite a la empresa operar la siguiente cantidad de contenedores por, se obtienen los datos presentados en la tabla 5.10.

Tabla 5.10 Duración del proceso de carga y descarga de contenedores semanales en Del Monte.

Lote	Cantidad de contenedores	Duración real [h]
1	250	10
2	250	10
3	100	4

Fuente: Del Monte [8].

En la tabla 5.10 se puede apreciar como algunos de los lotes de contenedores lote 1 es de banano, 2 es de piña y el tercero es de melón, es la entrada y salida de contenedores de cada tipo de fruta de manera semanal, en la empresa Del Monte.

Además, debido a que el Tecnológico de Costa Rica Centro Académico de Limón, no tiene una celda mecatrónica que simule las condiciones de los patios de almacenamiento de contenedores, genera que la institución deba hacer que los estudiantes viajen entre sedes, esto le genera gastos anuales a la institución de aproximadamente 2 millones de colones en términos de transporte. Por lo cual se identifica que la ejecución actual no es la óptima.

Capítulo 6: Análisis final de la solución

6.1 Beneficios de implementación

El sistema mecatrónico diseñado, ofrece una solución ágil y versátil al problema planteado al inicio del proyecto. La configuración mecánica y estructural del sistema, permiten reajustarla y redimensionarla para adaptarla a los distintos módulos de celdas mecatrónica que pueden ser implementadas a futuro en la institución. Además, la versatilidad del sistema no se limita solo a la parte estructural, pues su sistema de control también es reprogramable y ajustable a diferentes escenarios de operación o secuencias de proceso. Para ello, los brazos robóticos cuentan con una programación, debidamente documentada en el código, que resulta intuitiva y de fácil utilización para los usuarios.

El equipo diseñado, es capaz de ejecutar ágilmente toda la secuencia de pasos que comprenden el proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores, cumpliendo con exactitud los tiempos parametrizados del proceso implementado. Con esto, se disminuye la probabilidad de que se presente una variación en los tiempos de procesado entre un contenedor y otro, y por ende reduciendo directamente los atrasos en los lotes de contenedores que deben ser procesados.

Dicha constancia e invariabilidad de los resultados obtenidos con el robot cartesiano, puede repercutir positivamente en la productividad de la operación carga, descarga y almacenaje de contenedores. Una vez comprobado que con el sistema diseñado se obtienen los mismos resultados en procedimientos iguales y sin variaciones entre un lote y otro, los controles de calidad intermedios, que actualmente se ejecutan al finalizar cada subetapa del almacenaje, no serían ya necesarios. Bajo estas circunstancias, sería oportuno disminuir la frecuencia de dichas inspecciones que hoy obligan a detener el proceso constantemente.

Otro aspecto clave y determinante en la eficiencia del sistema, es el consumo de potencia eléctrica necesario para el funcionamiento del sistema. Este consumo se ve modificado mediante la cantidad de dispositivos conectados a la red constantemente, además del consumo individual de los componentes, es de suma

importancia en este diseño la reducción del consumo energético total. Por esta razón el sistema contiene interfaces de potencia entre sus componentes para evitar pérdidas energéticas.

Otra de los grandes beneficios que ofrece el equipo diseñado, es la posibilidad de mantener un recuento en tiempo real de los contenedores que se encuentran almacenados. En este caso, se ha adaptado el diseño al módulo de cuatro almacenes. En él, se podrá trabajar un máximo de hasta doce contenedores por secuencia.

Además, al implementar un sistema como el propuesto en este proyecto, el gasto económico en la logística de los contenedores se reduce, la detección de los contenedores en mal estado o que necesitan mantenimiento son detectados con mayor rapidez. La celda, será la encargada de procesar uno a uno los contenedores, que serán debidamente almacenados en el patio. Por otra parte, el equipo ha sido dotado de buena resistencia a la corrosión. Su estructura, se construye principalmente con aluminio, acrílico y nylon, esto para controlar el factor de humedad a la que se encuentra expuesta la celda mecatrónica.

Por otro lado, la seguridad ocupacional del operario (usuario) y la integridad física del equipo, se resguardan con el diseño elaborado. Para ello, el robot cartesiano cuenta con un sistema de seguridad, que consiste en sensores ópticos y un botón de paro de emergencia. Estos, le permiten suspender la operación y detener el movimiento del equipo, en caso de que haya una situación de emergencia o una invasión del espacio de trabajo.

En el análisis económico, la inversión que se realiza para el diseño e implementación de la celda mecatrónica es de aproximadamente 13 000 dólares como se puede apreciar en el apéndice 9.2.16 Anexo B.16, en el cual se puede observar un desglose de todos los componentes necesarios para la implementación de esta tanto electrónicos como materiales para construir la estructura de la celda y sus sistemas de control. Por otro lado, cabe resaltar que la inversión realmente fue de 587 dólares, dado que el instituto contaba con los 4 módulos, que se obtuvieron como inversión previa.

6.2 Limitaciones del sistema

Como cualquier diseño en ingeniería, a pesar de todas las ventajas y los beneficios obtenidos con la implementación del sistema, también es posible identificar ciertas limitaciones. Por lo tanto, es necesario conocerlas y entenderlas a plenitud.

En primer lugar, para poder mover cada una de las articulaciones del robot, es necesario aplicar un cambio gradual de la velocidad en el motor del eje respectivo. En general, el robot no podría moverse con aceleraciones muy por encima de las definidas en este diseño. Si se intentase mover el robot con dichos valores de aceleración, es posible que los motores a pasos no tengan el torque suficiente para dar la respuesta esperada. Como consecuencia, los mismos no habrán terminado de posicionarse en el paso correspondiente, cuando estarán ingresando nuevos pulsos de accionamiento. Sucede entonces, que algunos de los pulsos enviados por la unidad de control, comenzarían a ser ignorados y se perdería la coherencia entre la cuenta de pulsos que lleva el microcontrolador y la cantidad de pasos que en realidad ejecuta el motor.

El problema anterior, anularía la precisión de posicionamiento que caracteriza a los motores a pasos. De hecho, en cualquier máquina movida por este tipo de motor, se debe tener el cuidado de no exceder demasiado las aceleraciones estipuladas en el diseño, ya que el torque de los motores se escoge con base en estas y en la carga sobre el eje.

Otra de las limitaciones del sistema, es que las articulaciones de los brazos robóticos que manipulan los contenedores no pueden rotarse a más de 180° . La configuración mecánica de dicho grado de libertad se ha diseñado exclusivamente para hacer giros de $\pm 90^\circ$, ya que los requerimientos del diseño no exigían un giro mayor. Si se intentara girar el contenedor en 360° , habría una colisión entre la pista de entrada de contenedores y la garra del brazo robótico 1 como se muestra en la figura 5.1, por lo que se bloquearía la movilidad del motor e incluso dañar el eje de mismo.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- ✓ El sistema mecatrónico diseñado para la automatización del proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores, cumple con los tiempos parametrizados para realizar el procedimiento.
- ✓ Con la implementación del equipo diseñado, se plantea reducir pérdidas económicas por procesamiento inadecuado de los contenedores tanto en el patio de descarga como en la carga en los barcos.
- ✓ El eje X y Y del sistema resisten de forma segura el peso de la masa transportada, pues su deflexión está por debajo del valor máximo permisible de 0,5 mm que se impuso como valor máximo de deformación para que el sistema fuera estable.
- ✓ El peso máximo para soportar en los ejes X y Y no supera el valor permisible de 2.45 N que el fabricante define para los módulos 2040 Aluminum Extrusion 50 cm y 2020 T-Slot Aluminum Extrusion 50 cm.
- ✓ Los rodamientos internos en los soportes de los tres módulos de movimiento lineal soportan de forma segura la combinación de fuerzas y momentos torsores a los que se encuentran sometidos.
- ✓ Los métodos de sujeción, de ajuste, acoples y soportes mecánicos diseñados, permiten ensamblar y desensamblar el robot cartesiano con facilidad y de manera segura.
- ✓ El aluminio serie 6000 T5, seleccionado para la estructura de las partes diseñadas, resiste los esfuerzos internos de Von Mises a los que se someten las piezas.
- ✓ La ubicación de los sensores y métodos de monitoreo, requeridos para el control del robot cartesiano, facilitan el control del equipo, así como el de toda la celda en general.
- ✓ El torque de los motores utilizados no excede el par máximo 12.1 Nm aplicable a las barras roscadas, que el fabricante define en las hojas técnicas.

- ✓ La reducción del torque en los motores con el aumento de la velocidad no representa un problema para el accionamiento de los módulos, gracias a las bajas velocidades de giro requeridas.
- ✓ El sistema de control diseñado permite crear nuevas rutinas de operación o ejecutar rutinas guardadas con anterioridad.
- ✓ El controlador STP-DRV-80100 tiene la potencia suficiente para energizar los devanados de los motores a pasos en paralelo.
- ✓ La utilización de tarjetas de circuito impreso modulares permite hacer reparaciones o trabajos de mantenimiento parciales sin necesidad de extraer toda la unidad de control.
- ✓ Las cadenas porta-cable permiten organizar la instalación eléctrica de tal forma que los cables son accesibles para labores de mantenimiento, así como un medio de protección.
- ✓ El modelo tridimensional de la máquina funciona de guía para el ensamble y desensamble de las partes componentes del sistema.
- ✓ Los subsistemas electrónicos simulados cumplen las funciones específicas para las cuales fueron diseñados.
- ✓ La simulación cinemática del mecanismo comprueba que el sistema cumple con los requerimientos de movilidad definidos.
- ✓ Todas las piezas y partes componentes diseñadas, pueden manufacturarse a partir de los planos de construcción elaborados.
- ✓ Los circuitos esquemáticos hechos, brindan toda la información requerida para la implementación electrónica del sistema.

7.2 Recomendaciones

- ✓ Evitar el uso de sensores o actuadores que requieran de software o controladores exclusivos del fabricante para su control, ya que esto por lo general, eleva significativamente el costo de implementación y limita modificaciones al sistema de manera eficiente.
- ✓ Tener siempre presente, al diseñar un sistema mecatrónico o una celda mecatrónica, que el equipo debe poder desensamblarse por completo para realizar labores de mantenimiento o sustituciones de partes en caso de fallo.
- ✓ Asegurarse de que los fabricantes de los componentes y partes seleccionadas tienen representantes en el país y de preferencia en inventario.
- ✓ Verificar que la fuente de poder utilizada suministre la potencia suficiente para alimentar a todos los sensores, actuadores y circuitos del sistema.
- ✓ Consultar las curvas torque-velocidad para verificar que la reducción del par máximo en los servomotores no limitará la movilidad de los brazos robóticos.
- ✓ Considerar que, al utilizar servomotores, en lugar de motores de pasos, se puede conseguir más torque a mayores velocidades, pero se complica significativamente el control, aumenta de sobremanera el costo y posibles cambios en el sistema de transmisión.
- ✓ Consultar las curvas torque-velocidad para verificar que la reducción del par máximo en los motores a pasos no limitará la movilidad del robot cartesiano.
- ✓ Programar una fase de aceleración y desaceleración para los motores a pasos, para evitar de forma adecuada la pérdida de pasos durante el arranque o parada de los ejes, como método correctivo de la inercia.
- ✓ Se debe recomendar a la institución darles mantenimiento adecuado a los actuadores, dado que se encuentran en una zona que genera películas superficiales, generando rozamientos y atascos en los mismos.
- ✓ Soportes de hule para reducir los efectos de defectos de la superficie y por efectos de vibraciones, los cuales se deberían fijar a la superficie.

Capítulo 8: Bibliografía

- [1] Castro, F. A. (2 de Abril de 2019). Planificación de Operaciones en una Terminal de Contenedores. Obtenido de bibling: http://bibling.us.es/proyectos/abreproy/70712/fichero/TFM_F%C3%A1tima_Abaurrea_rev6.pdf
- [2] Álvarez, O. (2010). Diseño y cálculo de una tracción mecánica. Recuperado el 2 de Abril de 2019, de http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/10272/9/Annex_3.pdf
- [3] Bosch Rexroth Corporation. (Noviembre de 2011). The Drive & Control Company. Alemania. Recuperado el 2 de Abril de 2019, de <http://www.boschrexroth.com/en/xc/products/index>
- [4] Budynas, R. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (9 ed.). México: Mc Graw Hill. Recuperado el 2 de Abril de 2019.
- [5] Canto, C. (2012). Sensores de proximidad capacitivos. (UASLP, Ed.) México. Recuperado el 2 de Abril de 2019, de <http://es.slideshare.net/daylipocoyo/sensores-capacitivos-15157457>
- [6] Larrucea, J. R. (2 de Abril de 2019). TERMINALES AUTOMATIZADAS Y SEMIAUTOMATIZADAS. OPERATIVA Y EQUIPAMIENTOS. Obtenido de Upcommons: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/118227/TERMINALES+AUTOMATIZADAS.pdf;jsessionid=8793DFDC3FEFB5C7A9ACC25989302633?sequence=6>
- [7] Direct Industry. (2019). *Inductive proximity sensor*. Obtenido de <http://www.directindustry.com/prod/norelem/inductive-proximity-sensors-7884416706.html>
- [8] Festo. (2019) Electroválvulas, válvulas neumáticas, midineumática. Obtenido de https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/data/doc_es/PDF/ES/MIDI_ES.PDF
- [9] Mallofré, J. M. (2 de Abril de 2019). TRATAMIENTO DE LAS AVERIAS EN LAS MERCANCIAS TRANSPORTADAS EN CONTENEDOR DRY BOX. Obtenido de TDX: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/7003/01Jmm01de07.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [10] Sánchez, B. F. (2 de Abril de 2019). Repositorio. Obtenido de ESTUDIO DE AUTOMATIZACIÓN:
<https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/152439/retrieve>
- [11] Grúas Thomas. (s.f.). Barcelona, España. Recuperado el 3 de Abril de 2019, de <http://thomasantenimiento.files.wordpress.com/2013/01/pont-monopoutrepsc3a9-avec-palan-c3a0-cable1.jpg>
- [12] Grupo INTERCOM. Construmática. (s.f.). Cálculo de Estructuras de Acero: Caso de las vigas. España. Recuperado el 3 de Abril de 2019, de http://www.construmatica.com/construpedia/C%C3%A1lculo_de_Estructuras_de_Acero:_Caso_de_las_Vigas
- [13] Hölscher, H. (s.f.). Eggenstein-Leopoldshafen, Alemania. Recuperado el 3 de Abril de 2019, de <http://www.hoelscher-hi.de/hendrik/english/stepper.htm>
- [14] Festo. (2019). MPV-E/A08-M8. Obtenido de https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/53817/ElectricalConnection_es_2014-12-2_low.pdf
- [15] Instalaciones Solares SBM. (2014). Tipos de sensores de proximidad. Madrid, España. Recuperado el 3 de Abril de 2019, de <http://tecnologiaelectron.blogspot.com/2014/04/tipos-de-sensores-deproximidad.html>
- [16] Instituto Politécnico Nacional. UPIICSA. (s.f.). Propiedades de los materiales. México. Recuperado el 3 de Abril de 2019, de www.sites.upiicsa.ipn.mx/polilibros/portal/Polilibros/P_terminados/procmanufp-admon-Malpica/122.htm
- [17] LAM Technologies. (s.f.). Nema Steppers. M13430XX, M12330XX Series. Italia. Recuperado el 3 de Abril de 2019, de www.lamtechnologies.com/Product.aspx?lng=EN&idp=M1343041
- [18] Micro JPM. (s.f.). Servomotor SG90 Tower PRO. Costa Rica. Recuperado el 3 de Abril de 2019, de <http://files.microjpm.webnode.com/200000416-ec3e6ed3b6/SG90%20Datasheet.pdf>
- [19] Micro JPM. (s.f.). Servomotor SG90 Tower PRO. Costa Rica. Recuperado el 3 de Abril de 2019, de <http://files.microjpm.webnode.com/200000416-ec3e6ed3b6/SG90%20Datasheet.pdf>

- [20] Arduino. (2009). Arduino. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- [21] Moncada, O. (s.f.). Limit Switch Mecánico. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <http://es.scribd.com/doc/91993351/Limit-Switch-Mecanico>
- [22] National Instruments. (s.f.). Stepper Motors and Encoders. Estados Unidos. Recuperado el 15 de Abril de 2019
- [23] Festo. (2019). Sensores de proximidad SMT/SME-8. Obtenido de https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/data/doc_es/PDF/ES/SMX8_ES.PDF
- [24] Festo. (2019). Detectores de proximidad SIE Inductivo. Obtenido de https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/data/doc_es/PDF/ES/SIEX_ES.PDF
- [25] Festo. (2019). Barrera óptica en horquilla SOOF. Obtenido de https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/data/doc_es/PDF/ES/SOOF_ES.PDF
- [26] Festo. (2019). Actuadores lineales DDLI con sistema de medición de recorrido. Obtenido de https://www.festo.com/cat/es-mx_mx/data/doc_es/PDF/ES/DDLI_ES.PDF
- [27] Quinones, J. I. (2002). *Texas Instruments Incorporated*. Obtenido de Applying acceleration and deceleration profiles to bipolar stepper motors: <http://www.ti.com/lit/an/slyt482/slyt482.pdf>
- [28] SICK Sensor Intelligence. (s.f.). Inductive Proximity Sensors IMA12. Alemania. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <https://www.mysick.com/ecat.aspx?go=FinderSearch&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&FamilyID=424&Category=Produktfinder&Selections=43803>
- [29] Smith, N. (2010). *ANSI PCB Trace Width Calculator*. Obtenido de <http://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html>
- [30] Sure Step stepping systems. (s.f.). *Automation Direct*. Obtenido de <http://www.automationdirect.com/static/specs/surestepdrive.pdf>
- [31] TRC Electronics, Inc. (03 de 03 de 2009). *AC/DC Power Supply, DC/DC Converter & Inverter Solutions*. Obtenido de AC/DC Single Output Power Supply, 1500W: <https://www.trcelectronics.com/ecomm/pdf/se1500.pdf>
- [32] Universidad de Guadalajara. (s.f.). Interconexionando un motor de pasos con el microcontrolador 8051. México. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <http://proton.ucting.udg.mx/~cheko/micro/prac.html>

- [33] Universidad Tecnológica de Perú. (s.f.). Determinación de las propiedades mecánicas de los materiales sometidos a flexión. Lima, Perú. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <http://www.utp.edu.co/~gcalle/Contenidos/Flexion.htm>
- [34] Vaello, J. (2014). Detectores inductivos. España. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <http://automatismoindustrial.com/417-2/>

9.1 Apéndices

9.1.1 Apéndice A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.

AA 7075 T6: Aleación de aluminio rica en zinc con alta resistencia mecánica y a la corrosión.

Actuador: Dispositivo mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico.

Analógico: Magnitud o valor que varía con el tiempo en forma continua.

Ánodo: Electrodo positivo en el cual se produce una reacción de oxidación de los elementos.

Bobina: Elemento formado por espiras de alambre arrollado que almacena energía en forma de campo magnético.

Capacitor: Elemento formado por dos placas separadas por un material dieléctrico que almacena energía en forma de campo eléctrico.

Cátodo: Electrodo negativo en el cual se produce una reacción de reducción de los elementos.

Cojinete: Pieza cilíndrica en que se apoya y gira el eje de un mecanismo con la función de disminuir el rozamiento de las superficies en contacto.

Compresión: Aplastamiento, acción y resultado de comprimir.

Correa dentada: Método de transmisión de energía mecánica en el que tanto los piñones como la correa tienen dientes para evitar el deslizamiento entre ellos.

Cristal de oscilación: componente electrónico que oscila a una frecuencia estable.

Deflexión: Aquella deformación que sufre un elemento por el efecto de las flexiones internas.

Digital: Cualquier señal o modo de transmisión que utiliza valores discretos en lugar de un espectro continuo de valores.

Electroválvula: Válvula accionada por un electroimán, que regula el paso de un fluido.

Esfuerzo: Fuerzas internas distribuidas que resisten un cambio en la forma de un cuerpo. Definido en fuerza por unidad de área.

Estator: Constituye la parte fija de un motor.

Flexión: Encorvamiento transitorio que experimenta un sólido elástico por la acción de una fuerza que lo deforma.

Grado de libertad: Movimiento simple e independiente que puede tener un cuerpo o un punto material.

Inercia: Resistencia de los cuerpos para cambiar su estado de reposo o de movimiento sin la intervención de alguna fuerza.

IRS: siglas en inglés de "Interrupt-Service Routine". Se refiere a la rutina de servicio de interrupciones presente en los microcontroladores.

Límite elástico: Tensión máxima que un material puede resistir sin sufrir deformaciones permanentes.

Mecatrónica: Disciplina que integra sinérgicamente la ingeniería mecánica, electrónica, informática y de control.

Microcontrolador: Circuito integrado reprogramable, capaz de ejecutar órdenes grabadas en memoria.

Momento flector: Momento de fuerza que resulta de una distribución de tensiones sobre la sección transversal de una viga o placa flexionada.

Momento de inercia: Medida de la inercia rotacional de un cuerpo que depende del eje de giro y de la geometría del cuerpo.

Momento de torsión: El producto de la magnitud de una fuerza por su brazo de palanca.

Motor a pasos: Dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos.

NA: Normalmente abierto / No aplica.

NC: Normalmente cerrado.

NPN: Transistor con capas internas de polaridades negativa-positiva-negativa.

PLC: Controlador lógico programable.

PNP: Transistor con capas internas de polaridades positiva-negativa-positiva.

Productividad: Relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, tiempo o energía.

Puente H: Circuito electrónico que permite invertir la polaridad de un motor o devanado de este.

PVC: Policloruro de vinilo. Material termoplástico.

Ripple: Pérdida de voltaje de la salida de un dispositivo con respecto a su alimentación debido al consumo de potencia de los componentes del mismo.

Robot cartesiano: Robot industrial cuyos tres ejes principales de movilidad son lineales y perpendiculares entre sí.

Rodamiento: Cojinete que consta de dos cilindros concéntricos entre los que va colocado un juego de rodillos o bolas que pueden girar libremente.

Rotor: Constituye la parte giratoria de un motor.

RPM: Revoluciones por minuto.

Sensor: Dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles e interpretables de dicha magnitud.

Sensor inductivo: Clase especial de sensores que sirve para detectar materiales metálicos a partir de una alteración de su campo magnético ocasionada por la presencia del objeto.

Servomotor: Dispositivo similar a un motor de corriente directa, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

SPS: Siglas en inglés de "Steps Per Second". Lo cual indica la cantidad de pasos por segundo que da un motor a pasos.

SPSPS: Siglas en inglés de "Steps Per Second Per Second". Lo cual indica la cantidad de veces que cambia SPS por segundo

Tensión: Efecto de fuerzas opuestas aplicadas a un cuerpo.

Torque-par: Magnitud física que produce un giro sobre el cuerpo que la recibe.

Transistor: Dispositivo semiconductor que sirve como interruptor o como amplificador de una señal.

UART: Siglas en inglés de "Universal Asynchronous Receiver-Transmitter". Dispositivo cuya función es convertir datos serie a paralelo para recepción y paralelos a serie para transmisión.

USB: Siglas en inglés de "Universal Serial Bus". Bus universal serie.

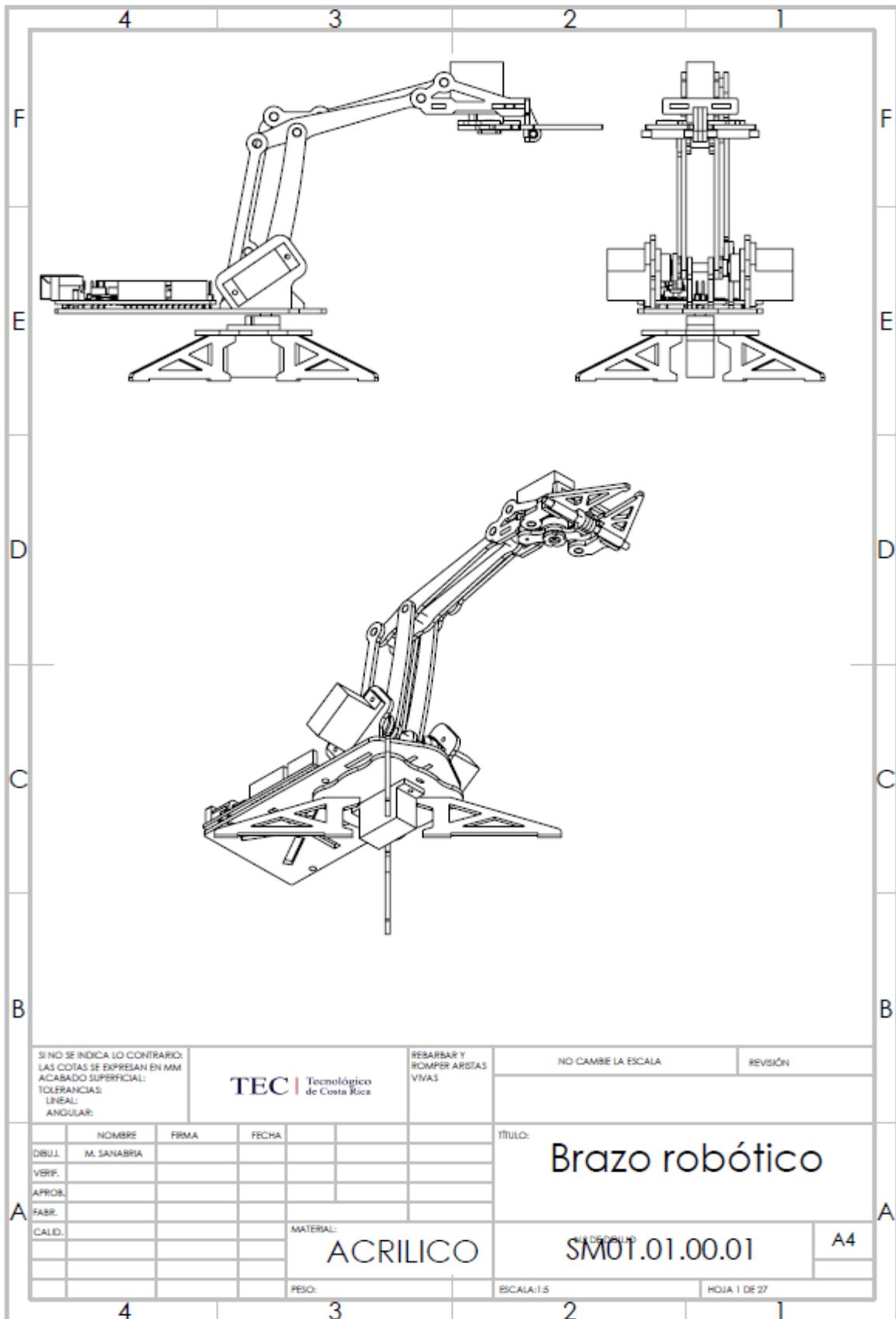
VAC: Voltaje en corriente alterna.

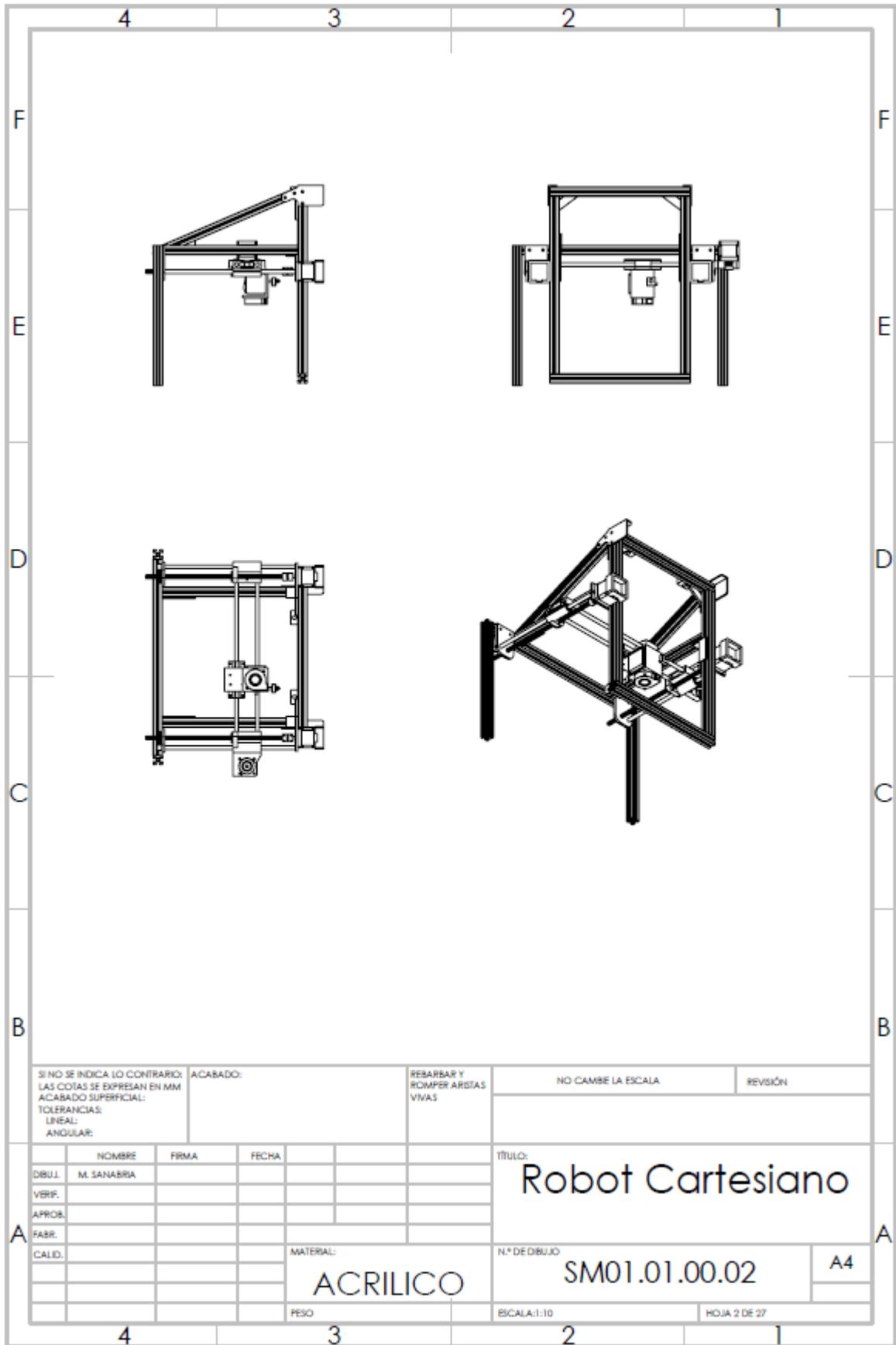
VDC: Voltaje en corriente directa.

Voladizo: Que se prolonga horizontal o inclinadamente más allá del elemento que lo soporta.

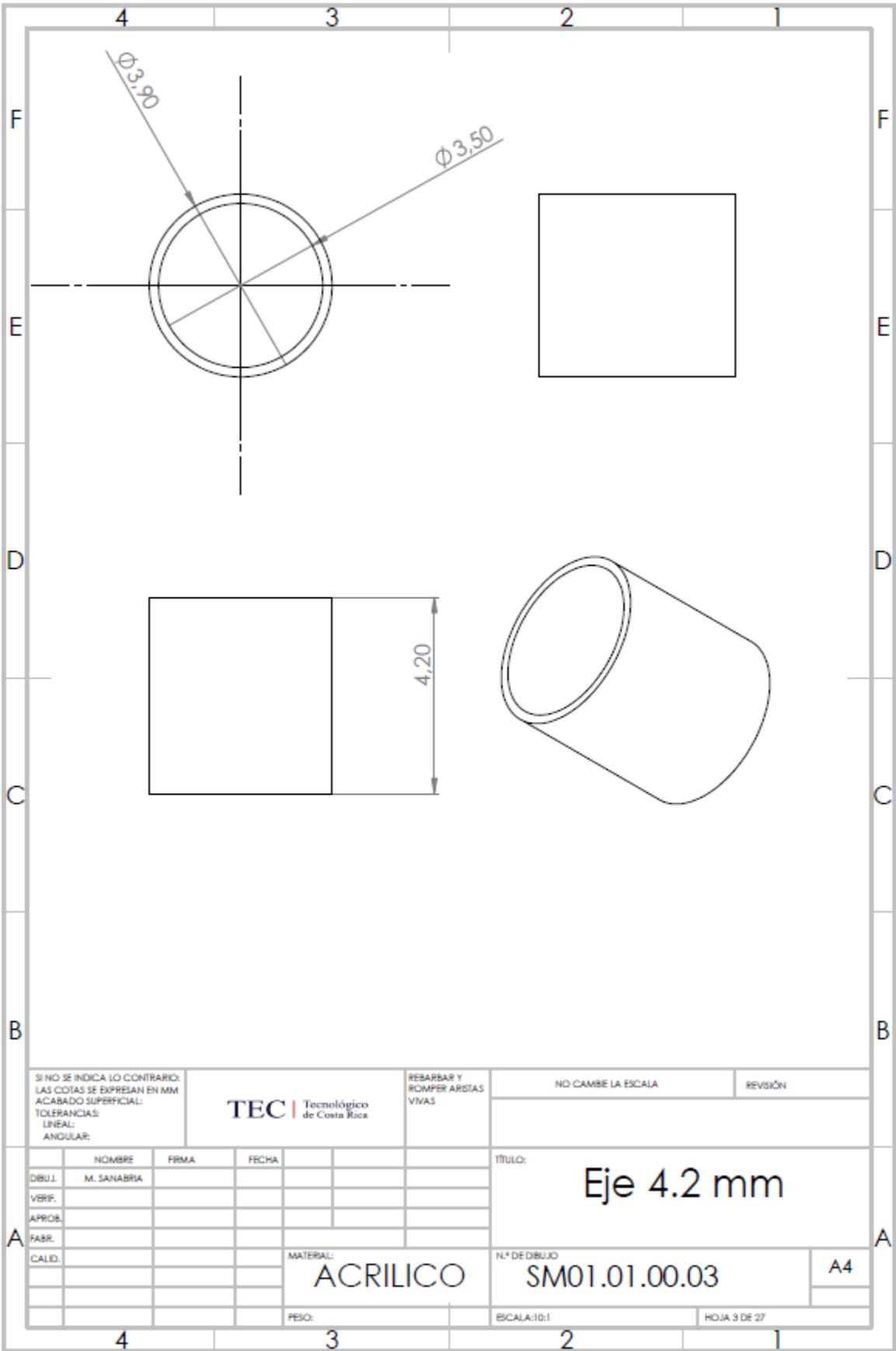
Von Mises: Esfuerzo proporcional a la energía de distorsión absorbida por un material.

9.1.2 Apéndice A.2 Planos mecánicos de piezas diseñadas.





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Robot Cartesiano	
VERIF.	M. SANABRIA				
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL: ACRILICO	N.º DE DIBUJO SM01.01.00.02
				PESO	A4
				ESCALA:1:10	HOJA 2 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARDITAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Eje 4.2 mm

MATERIAL:
ACRILICO

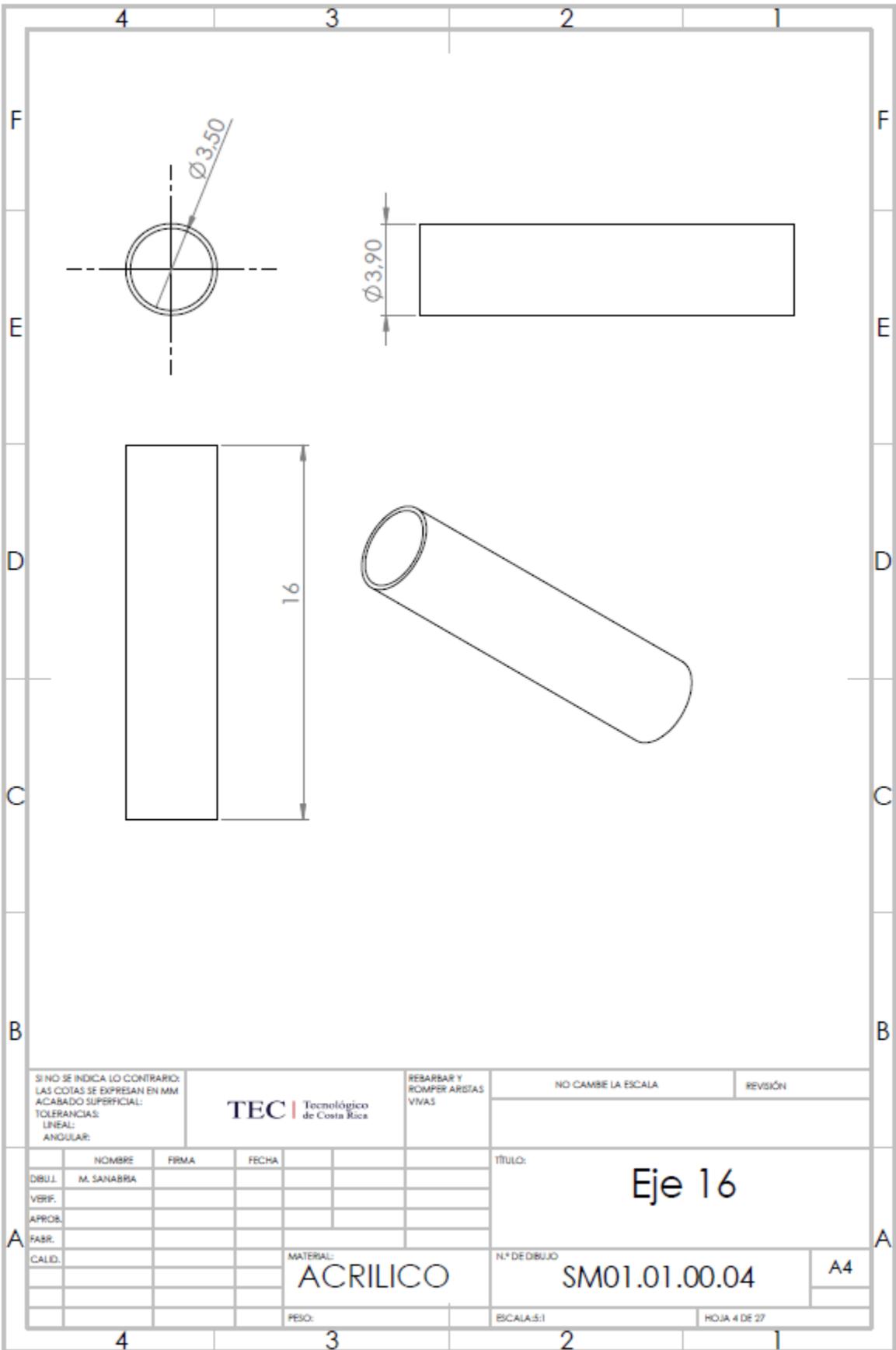
N.º DE DIBUJO:
SM01.01.00.03

A4

PESO:

ESCALA: 10:1

HOJA 3 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

TÍTULO:
Eje 16

CALID.			

MATERIAL:
ACRILICO

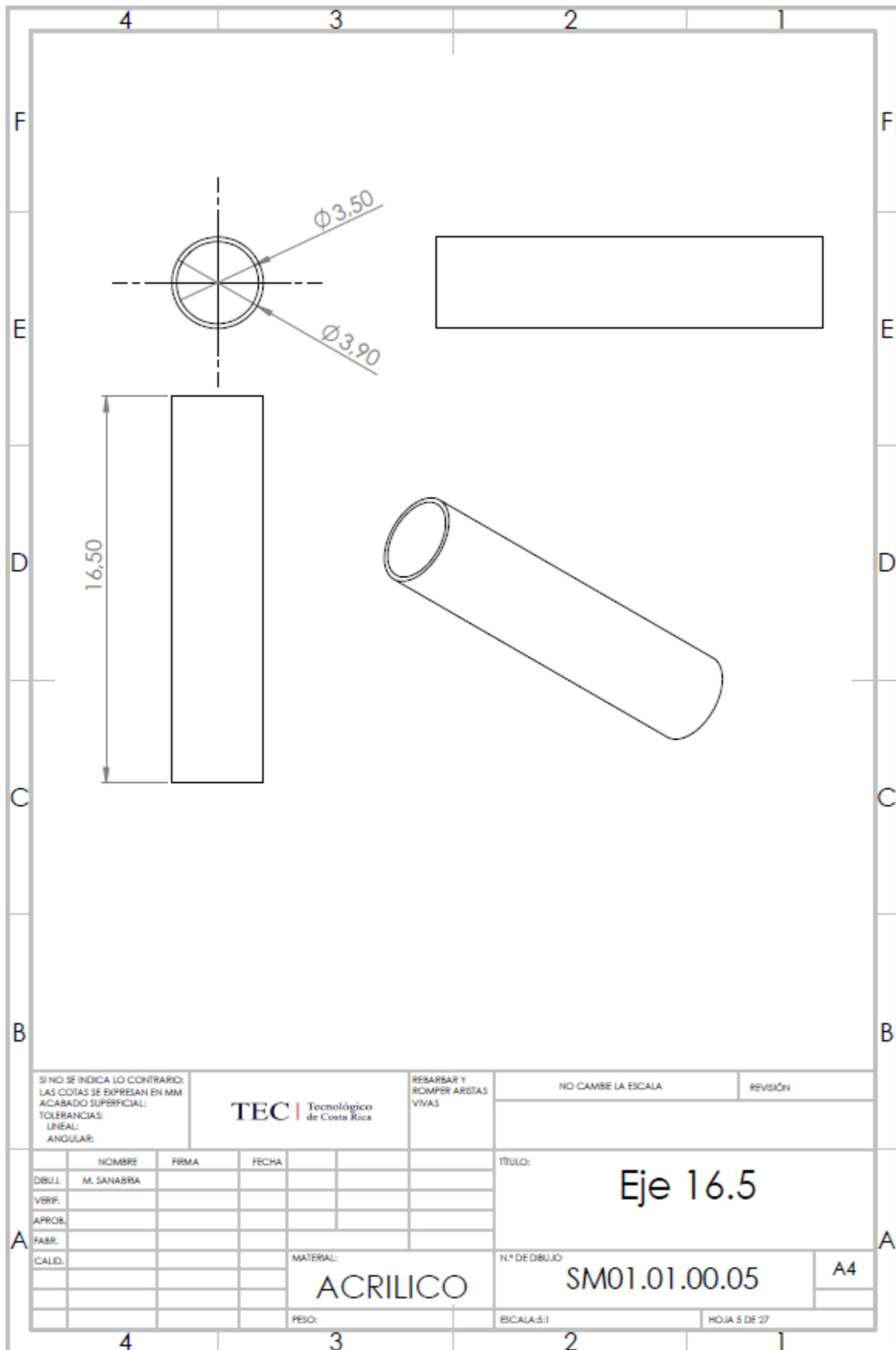
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.04

A4

PESO:

ESCALA: 5:1

HOJA 4 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

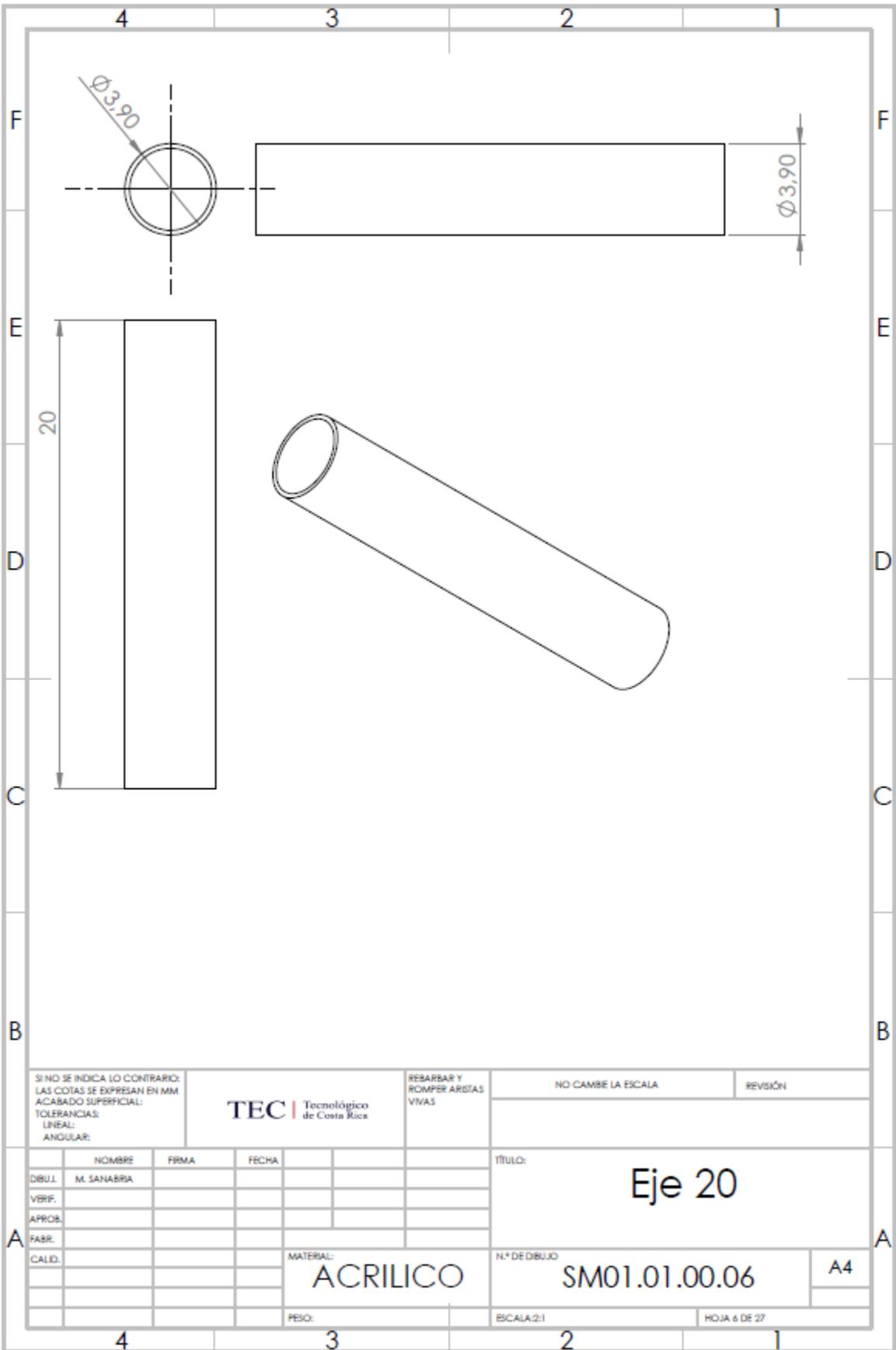
	NOMBRE	FRMA	FECHA	
DBUJ.	M. SANABRIA			
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALED.				

TÍTULO:	Eje 16.5	
N.º DE DIBUJO	SM01.01.00.05	A4
ESCALA: 1:1	HOJA 5 DE 27	

MATERIAL:
ACRILICO

N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.05

A4



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

TÍTULO:
Eje 20

CALID.			

MATERIAL:
ACRILICO

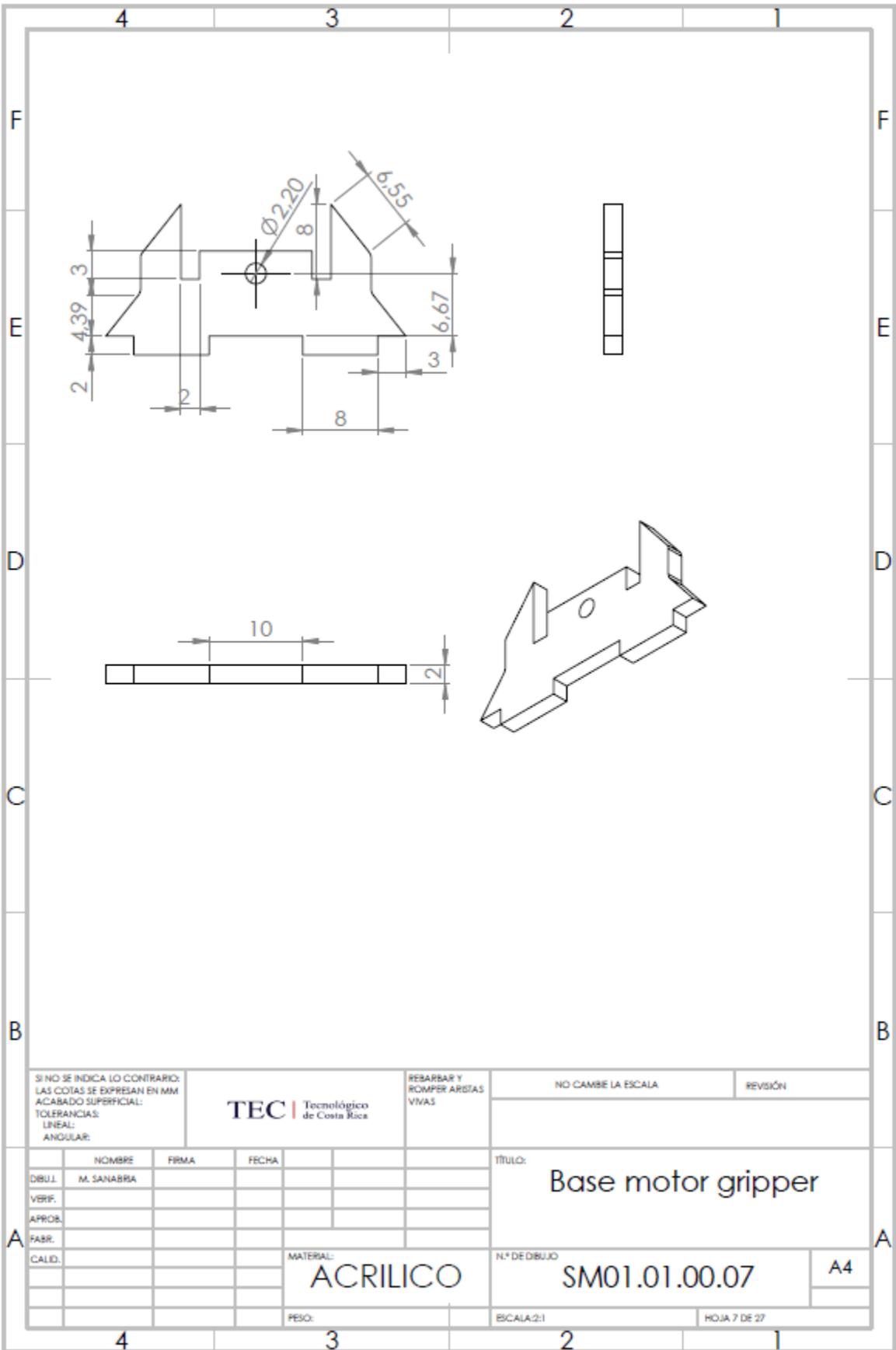
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.06

A4

PESO:

ESCALA: 2:1

HOJA 6 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Base motor gripper

MATERIAL:
ACRILICO

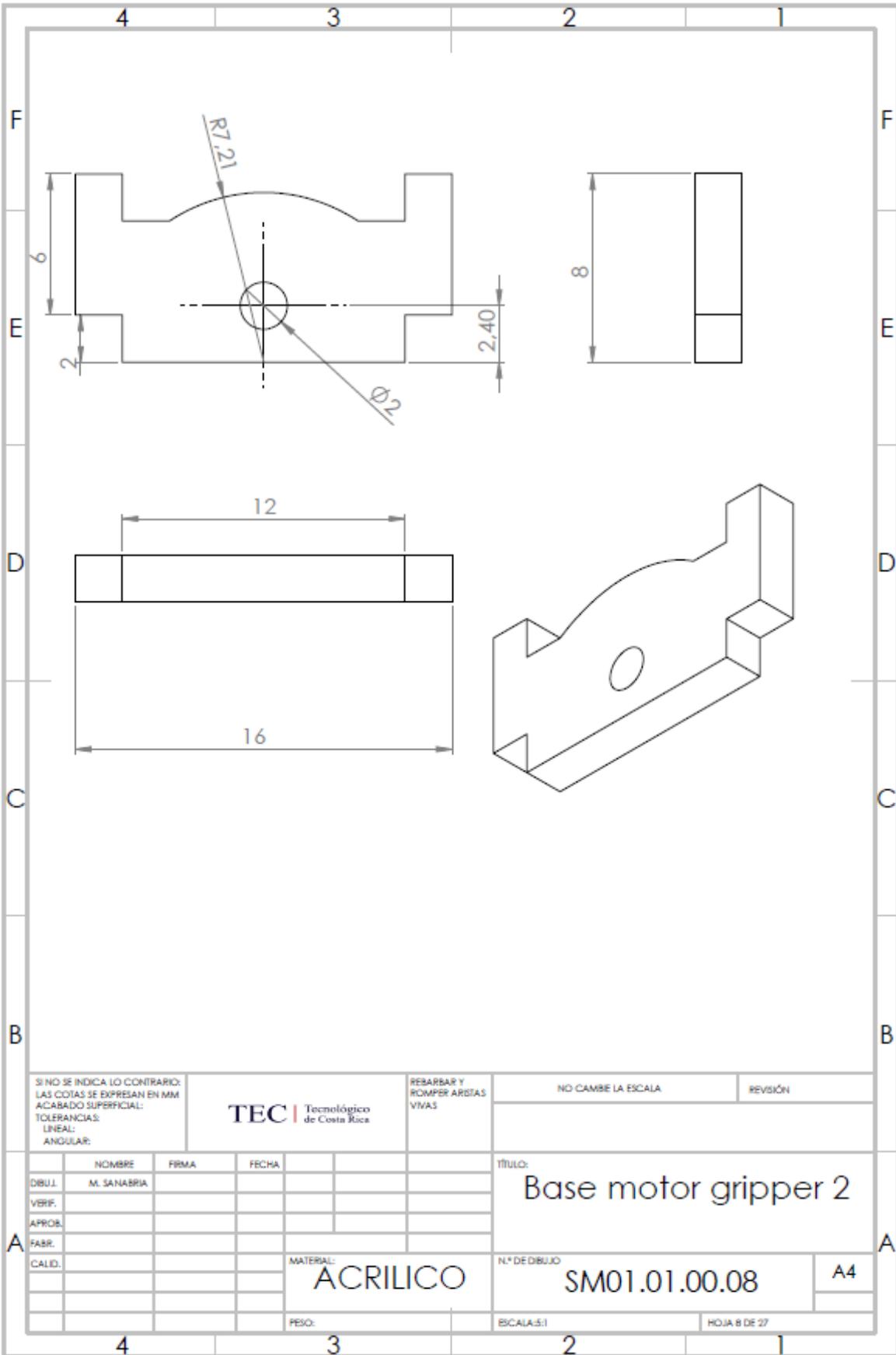
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.07

A4

PESO:

ESCALA: 2:1

HOJA 7 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

RESBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DRUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALD.			

TÍTULO:
Base motor gripper 2

MATERIAL:
ACRILICO

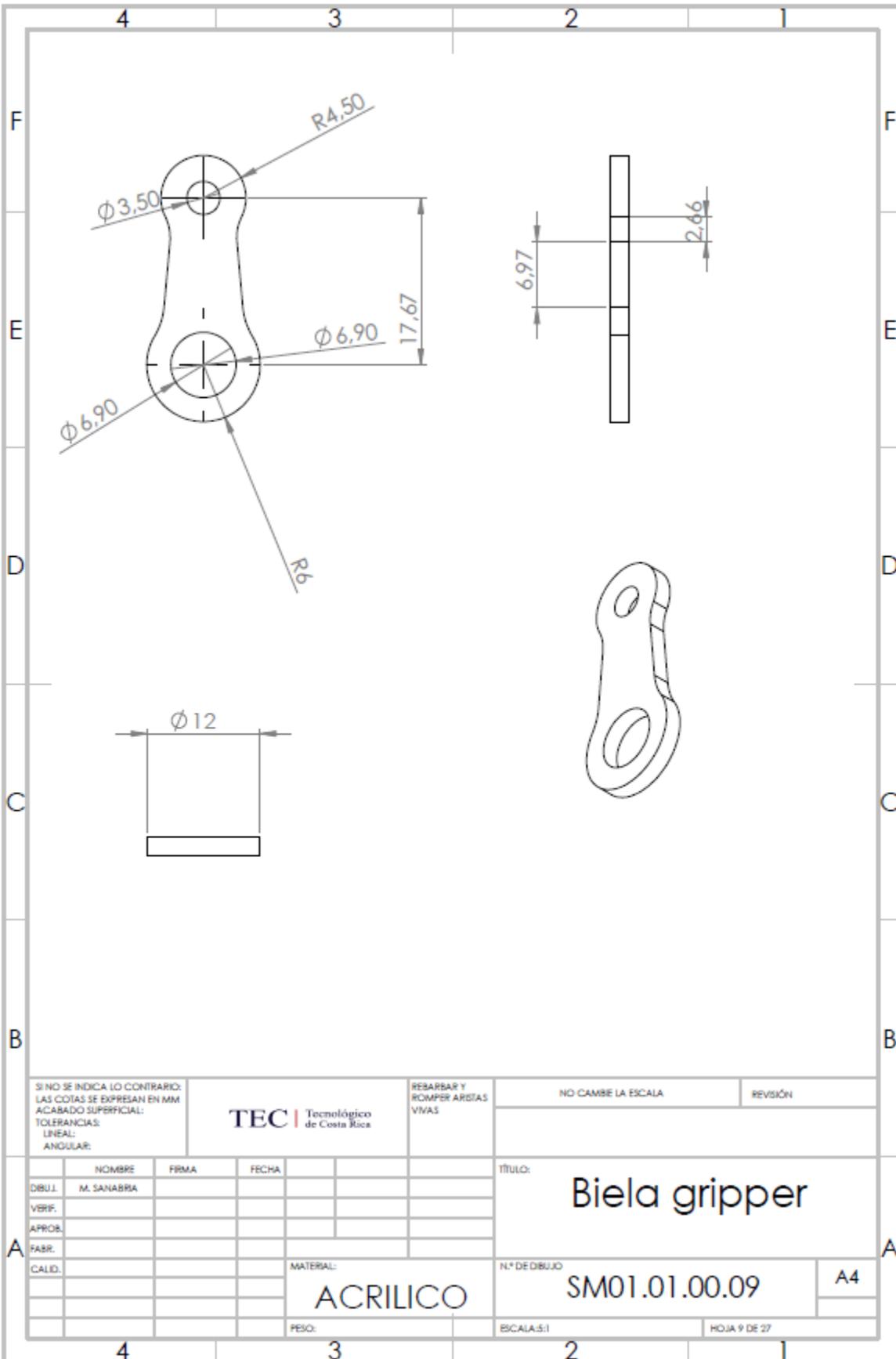
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.08

A4

PESO:

ESCALA: 5:1

HOJA 8 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

RESABAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

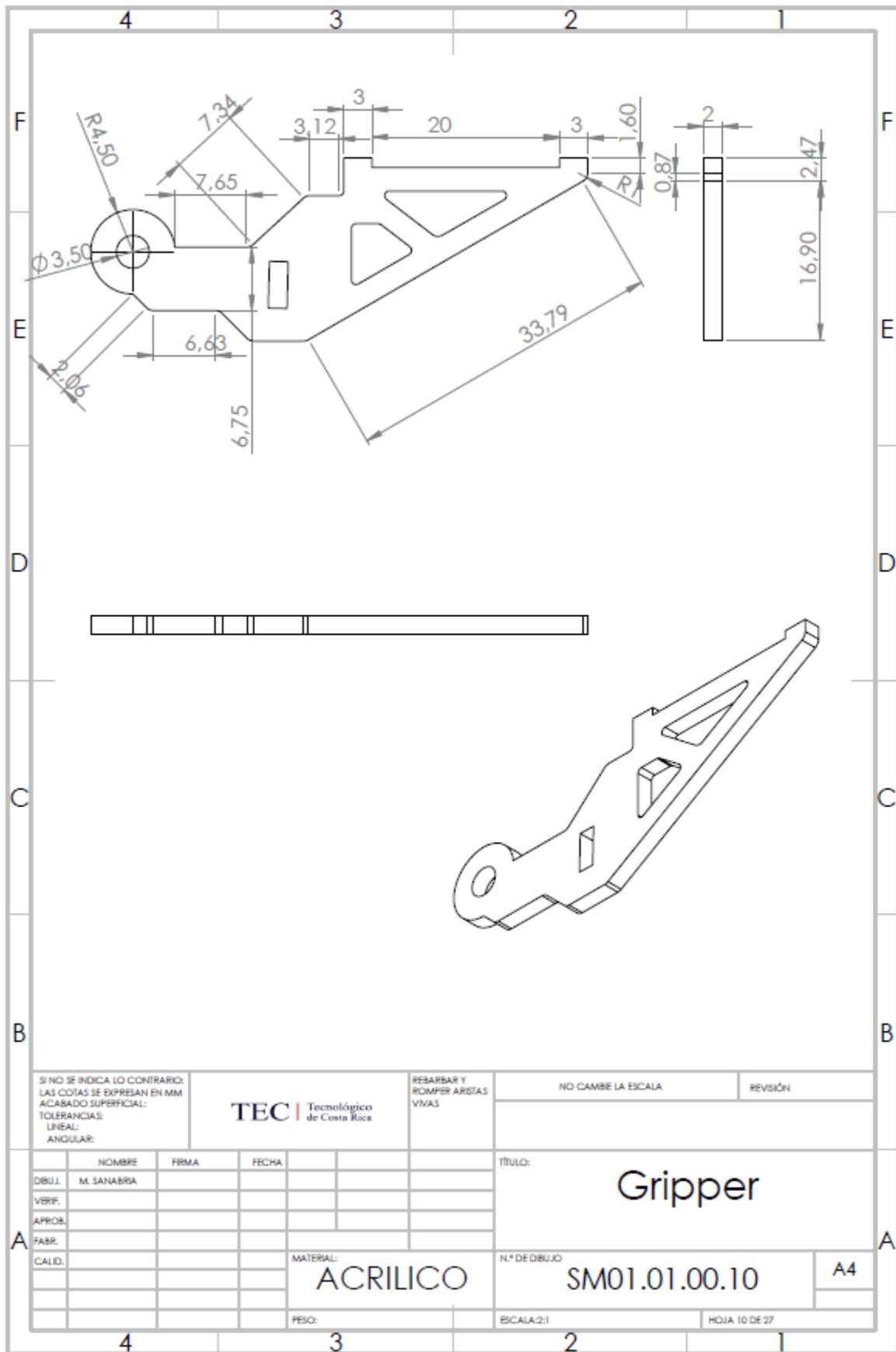
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALD.			

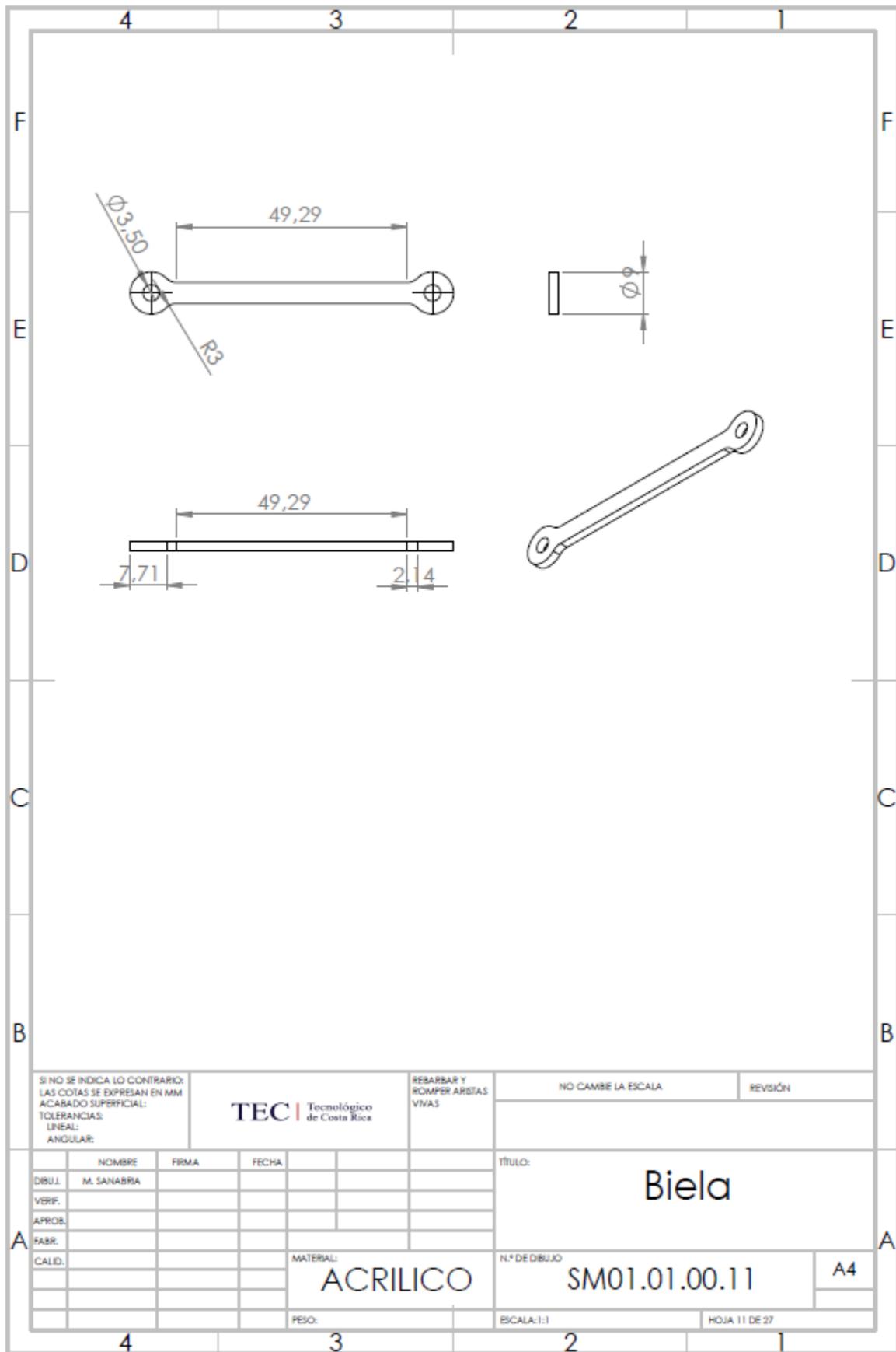
MATERIAL:
ACRILICO

PESO:

TÍTULO: Biela gripper
N.º DE DIBUJO SM01.01.00.09
ESCALA: 5:1
HOJA 9 DE 27

A4





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico
 de Costa Rica

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

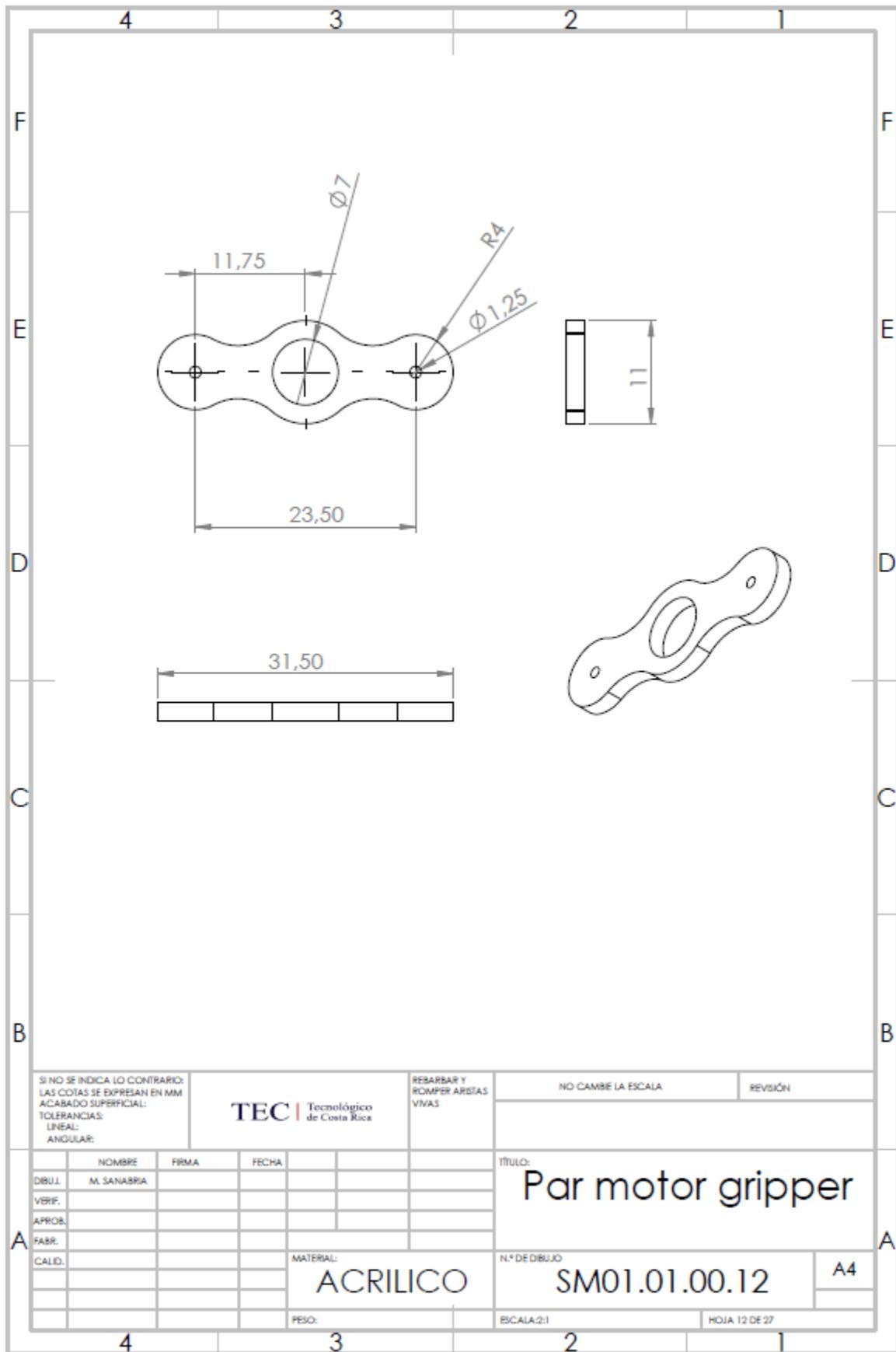
NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DRUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:	Biela	
N.º DE DIBUJO	SM01.01.00.11	A4
PESO:	ESCALA: 1:1	HOJA 11 DE 27

MATERIAL:
ACRILICO



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARSTIAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DRUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Par motor gripper

MATERIAL:
ACRILICO

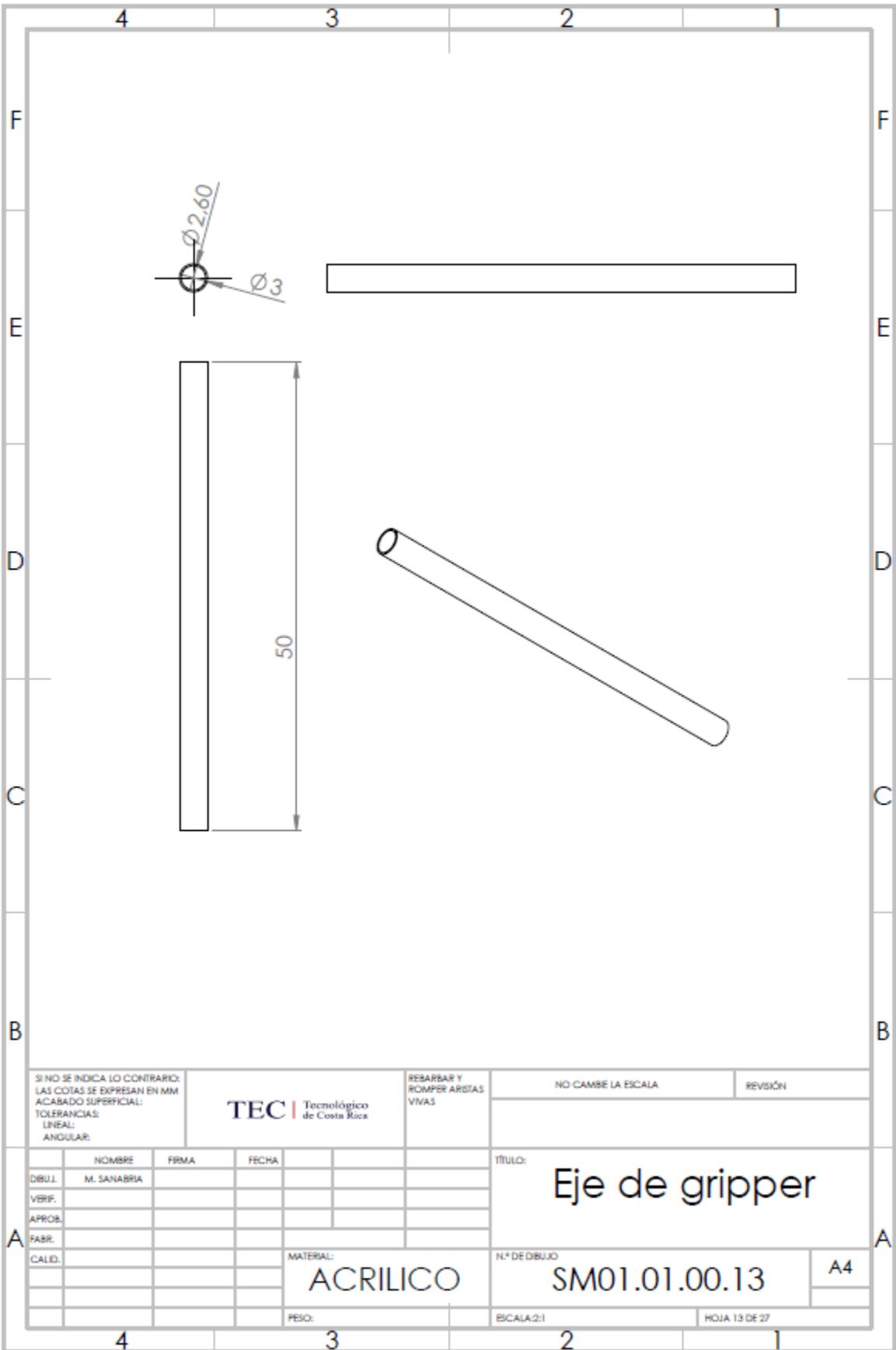
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.12

A4

PESO:

ESCALA:2:1

HOJA 12 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

TÍTULO:
Eje de gripper

MATERIAL:
ACRILICO

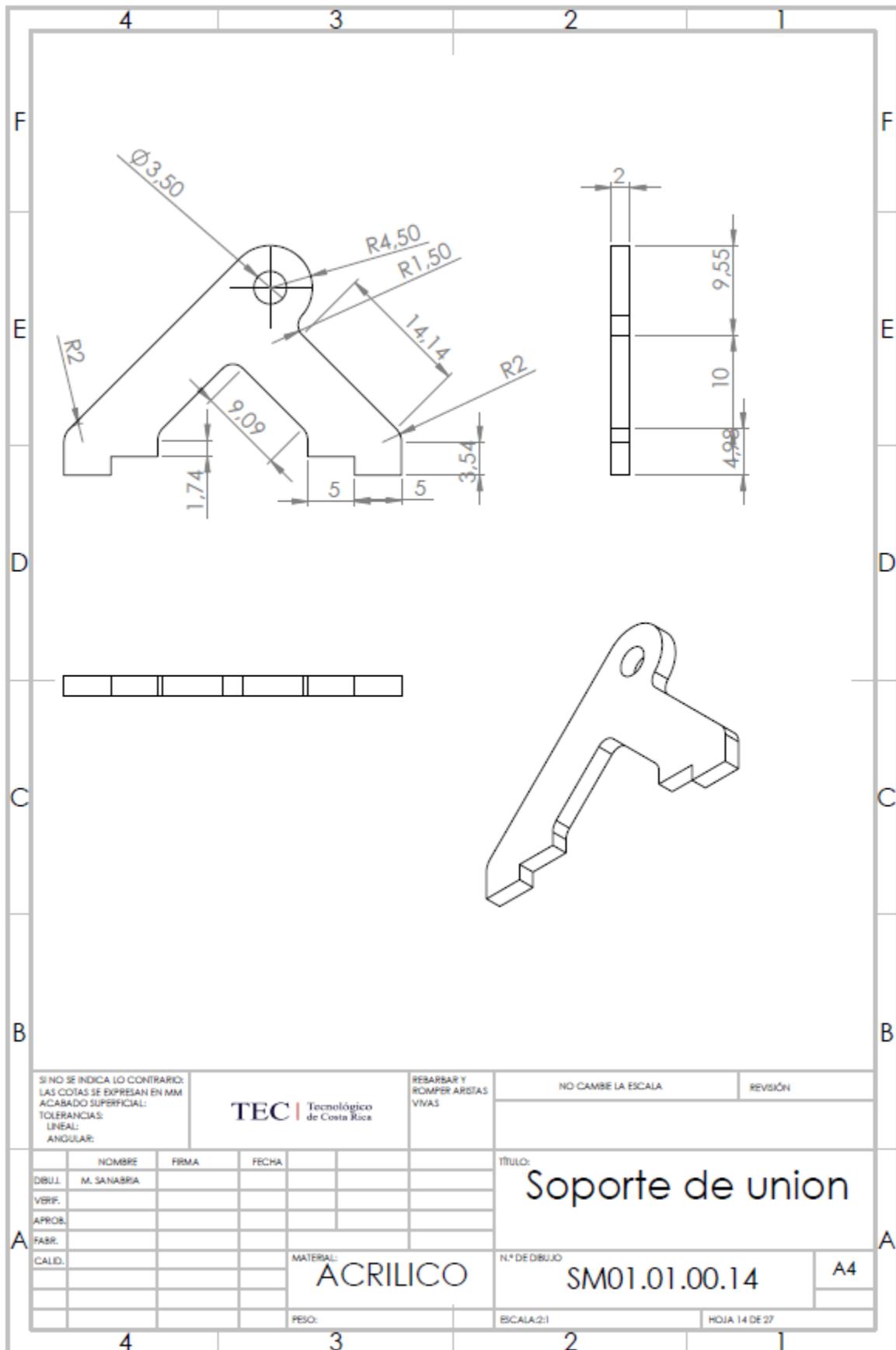
N.º DE DIBUJO:
SM01.01.00.13

A4

PESO:

ESCALA: 2:1

HOJA 13 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALED.			

TÍTULO:
Soporte de union

MATERIAL:
ACRILICO

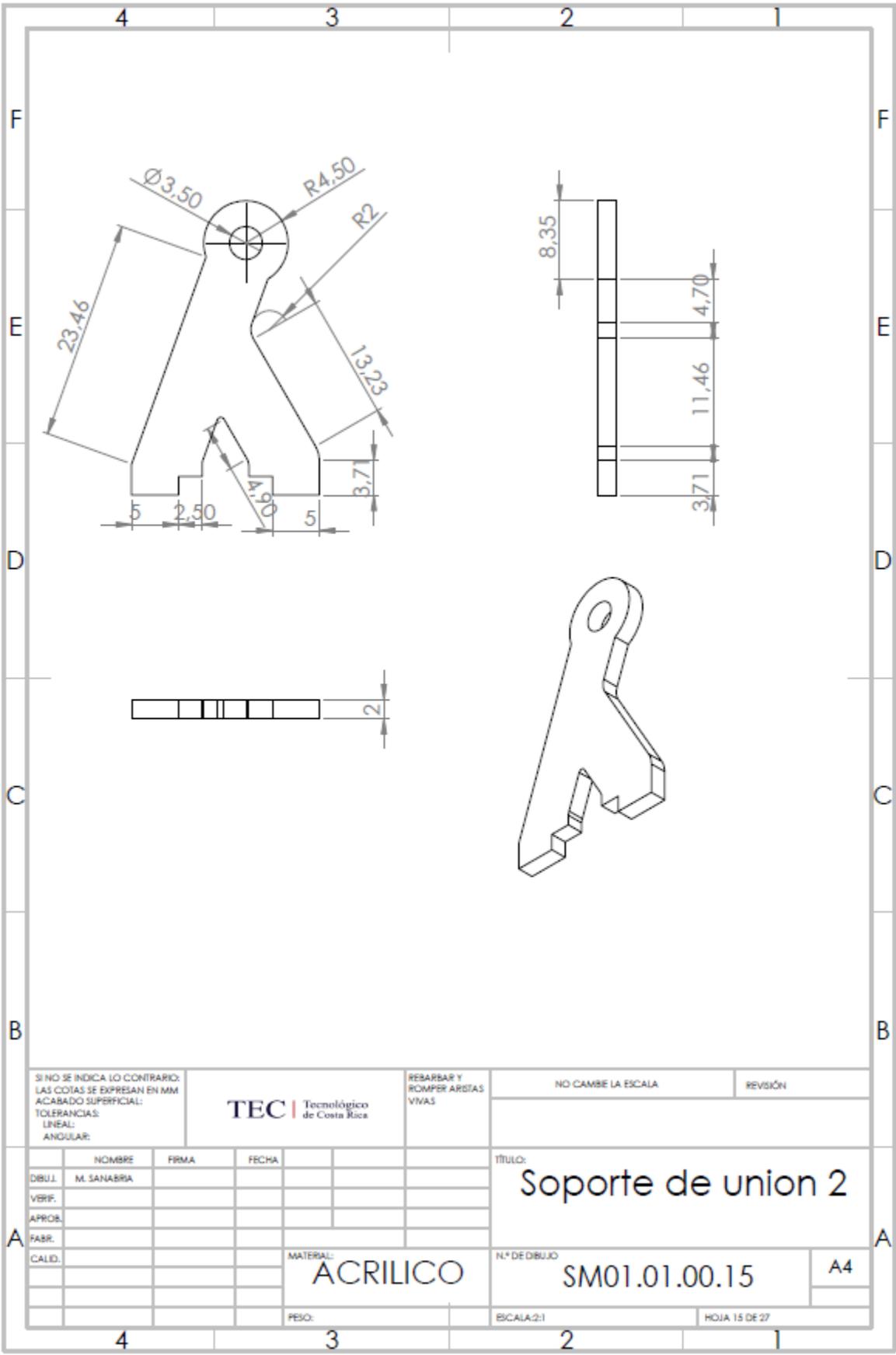
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.14

A4

PESO:

ESCALA:2:1

HOJA 14 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FRMA	FECHA	
DIBUJ.	M. SANABRIA			
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				

TÍTULO:
Soporte de union 2

MATERIAL:
ACRILICO

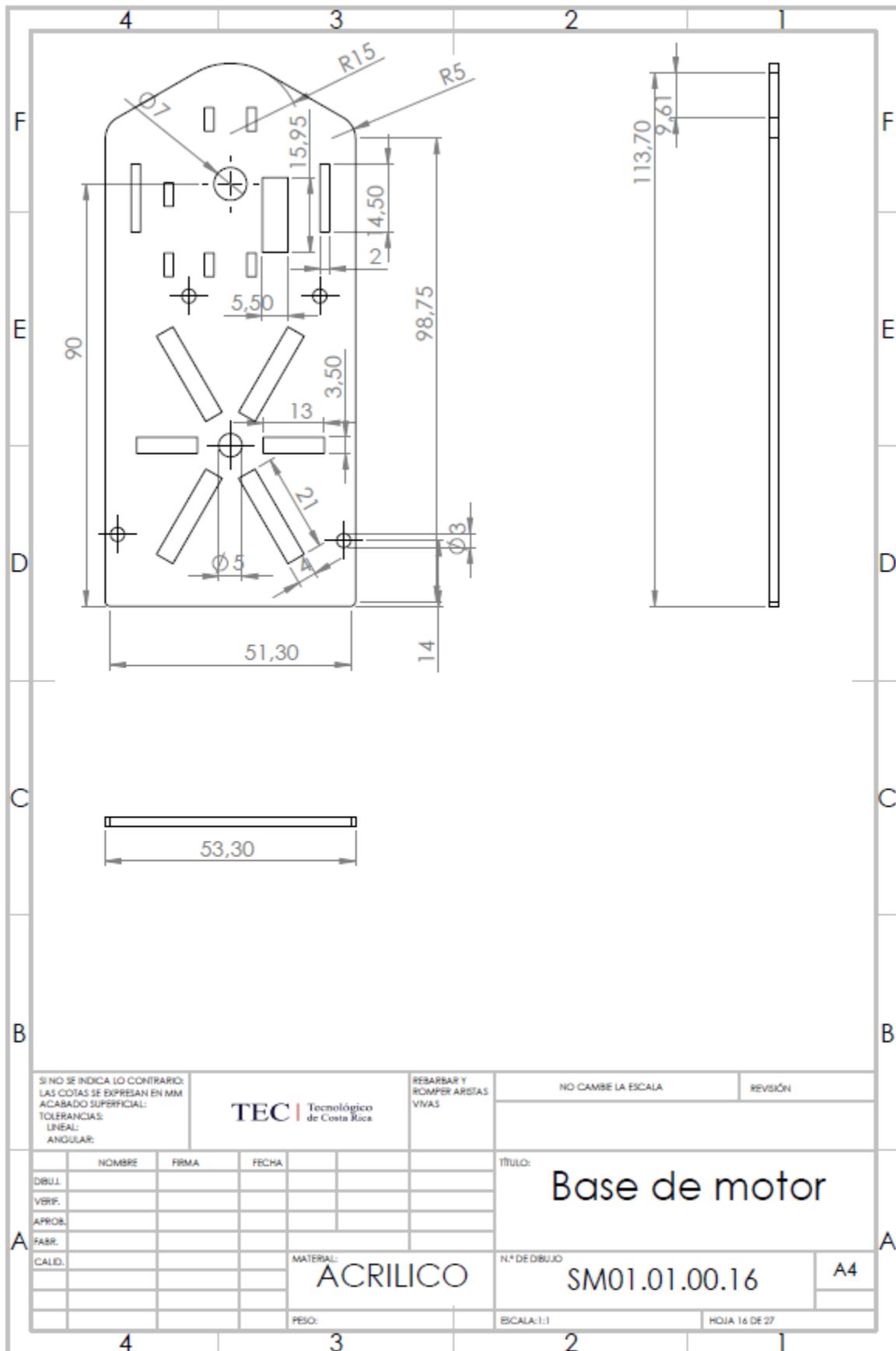
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.15

A4

PESO:

ESCALA:2:1

HOJA 15 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico
 de Costa Rica

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

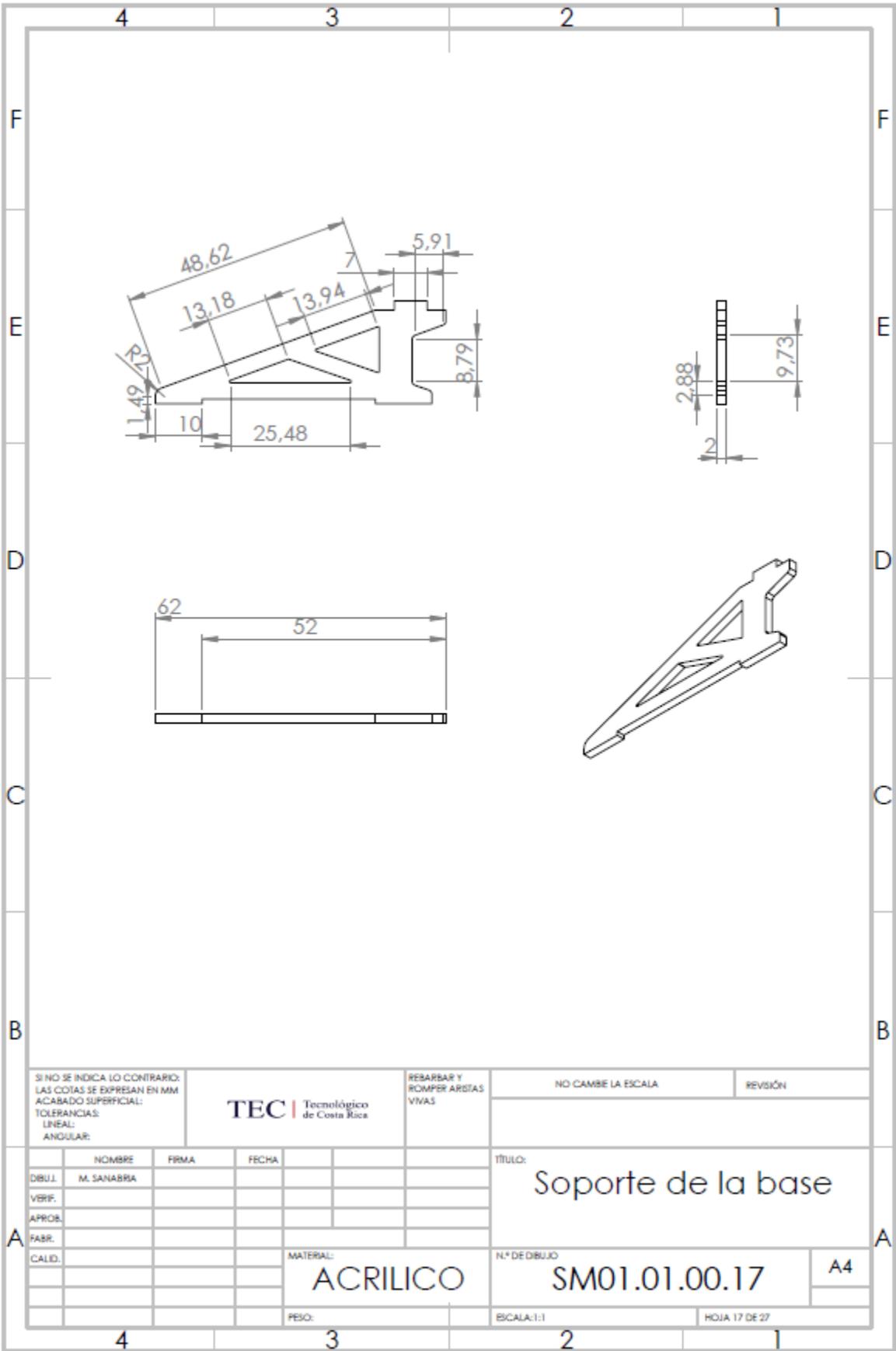
REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALED.			

TÍTULO:	Base de motor	
N.º DE DIBUJO	SM01.01.00.16	A4
ESCALA: 1:1	HOJA 16 DE 27	

MATERIAL:
ACRILICO

PESO:



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FRMA	FECHA	
DIBUJ.	M. SANABRIA			
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				

TÍTULO:

Soporte de la base

MATERIAL:
ACRILICO

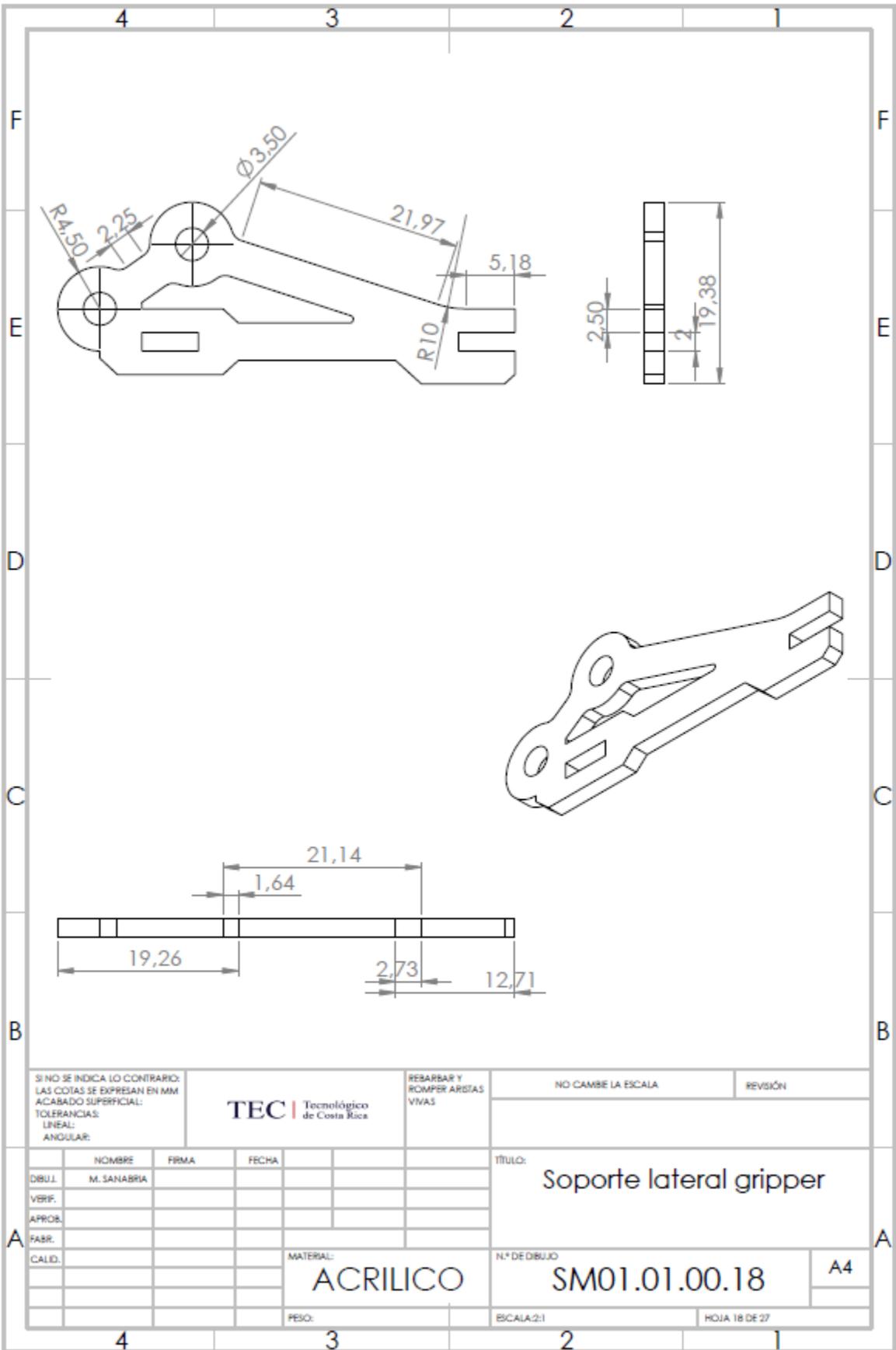
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.17

A4

PESO:

ESCALA: 1:1

HOJA 17 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

TÍTULO:
Soporte lateral gripper

MATERIAL:
ACRILICO

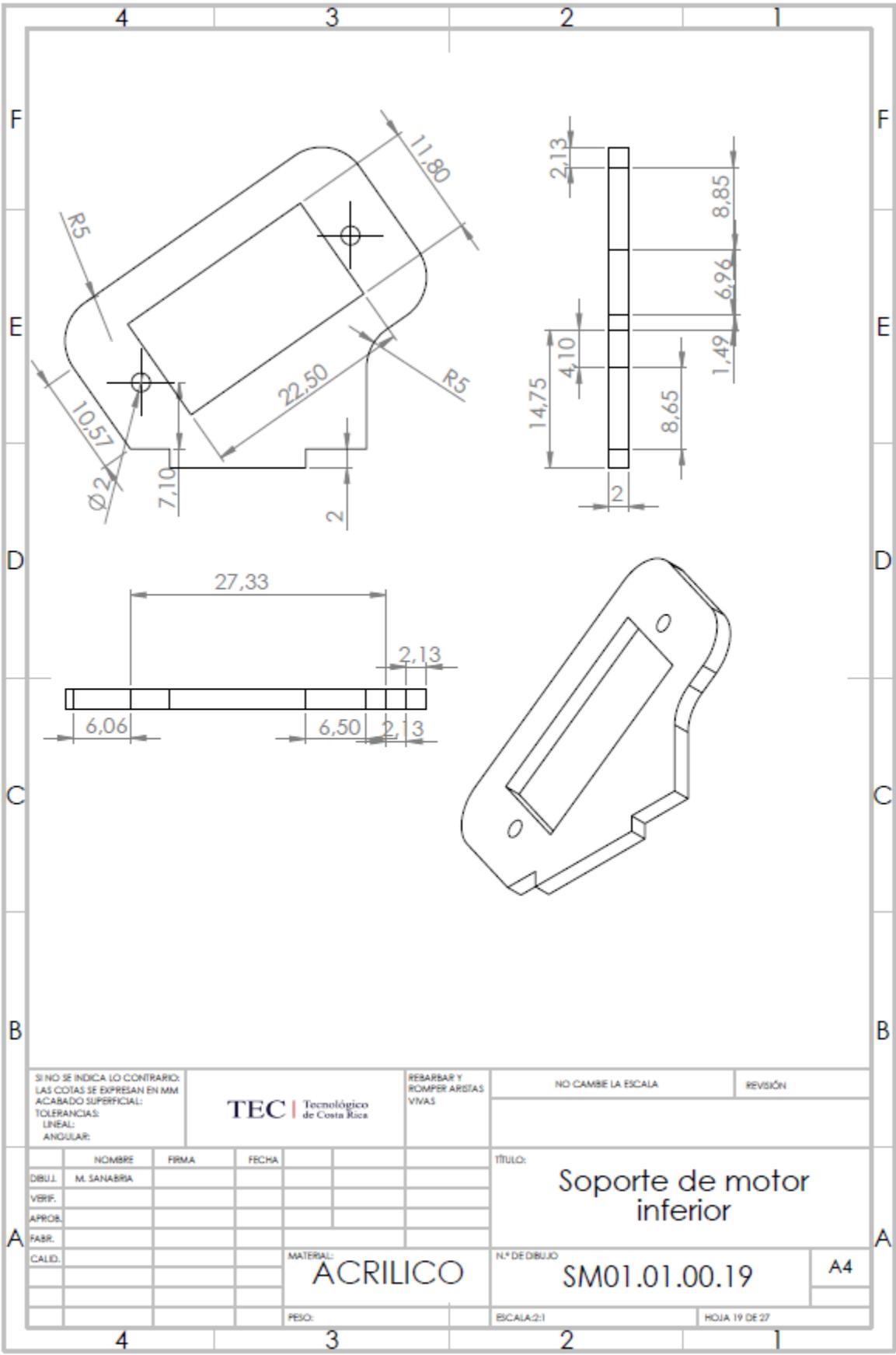
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.18

A4

PESO:

ESCALA: 2:1

HOJA 18 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FRMA	FECHA
DIB.U.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Soporte de motor inferior

MATERIAL:
ACRILICO

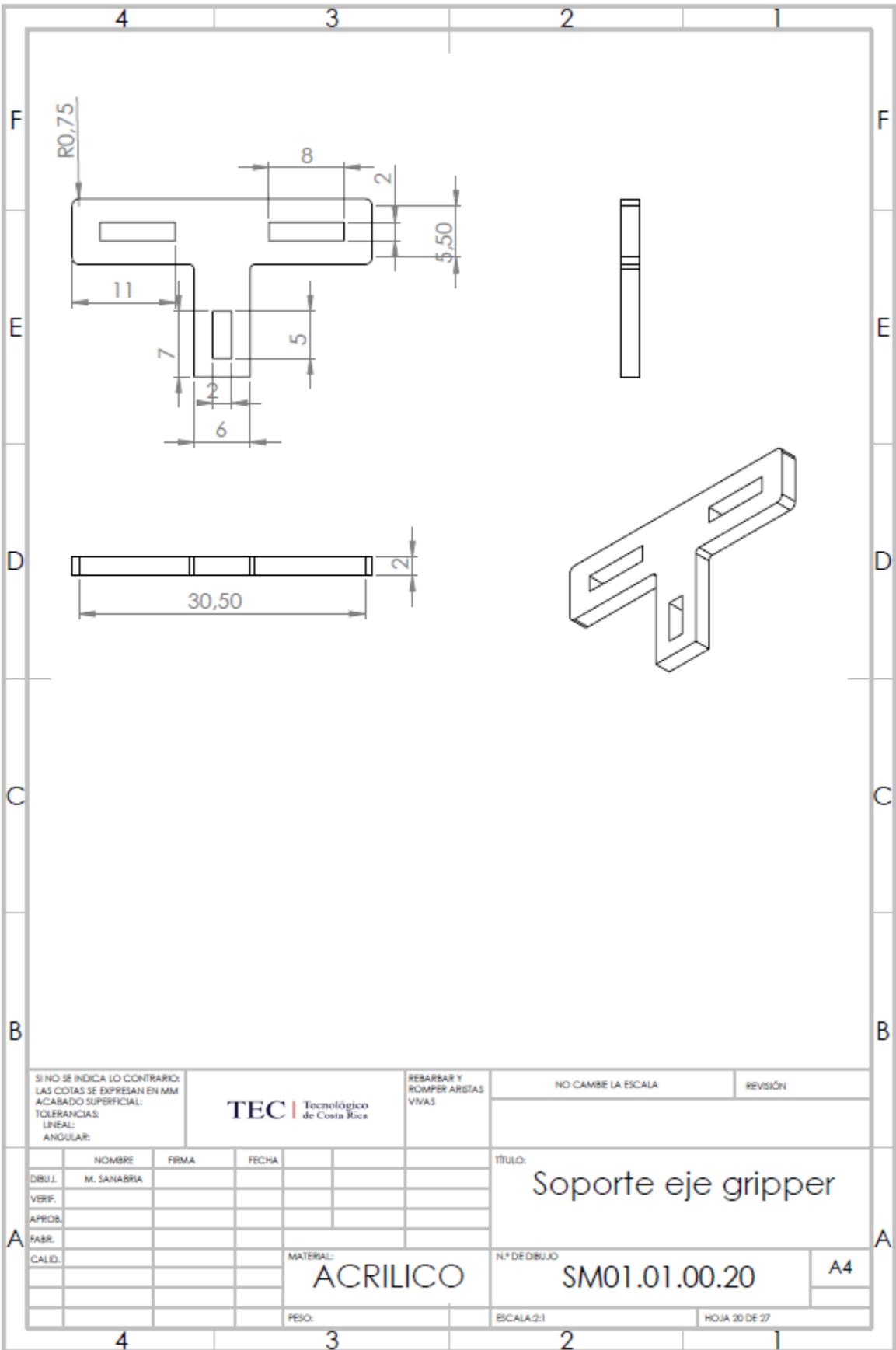
N.º DE DIBUJO:
SM01.01.00.19

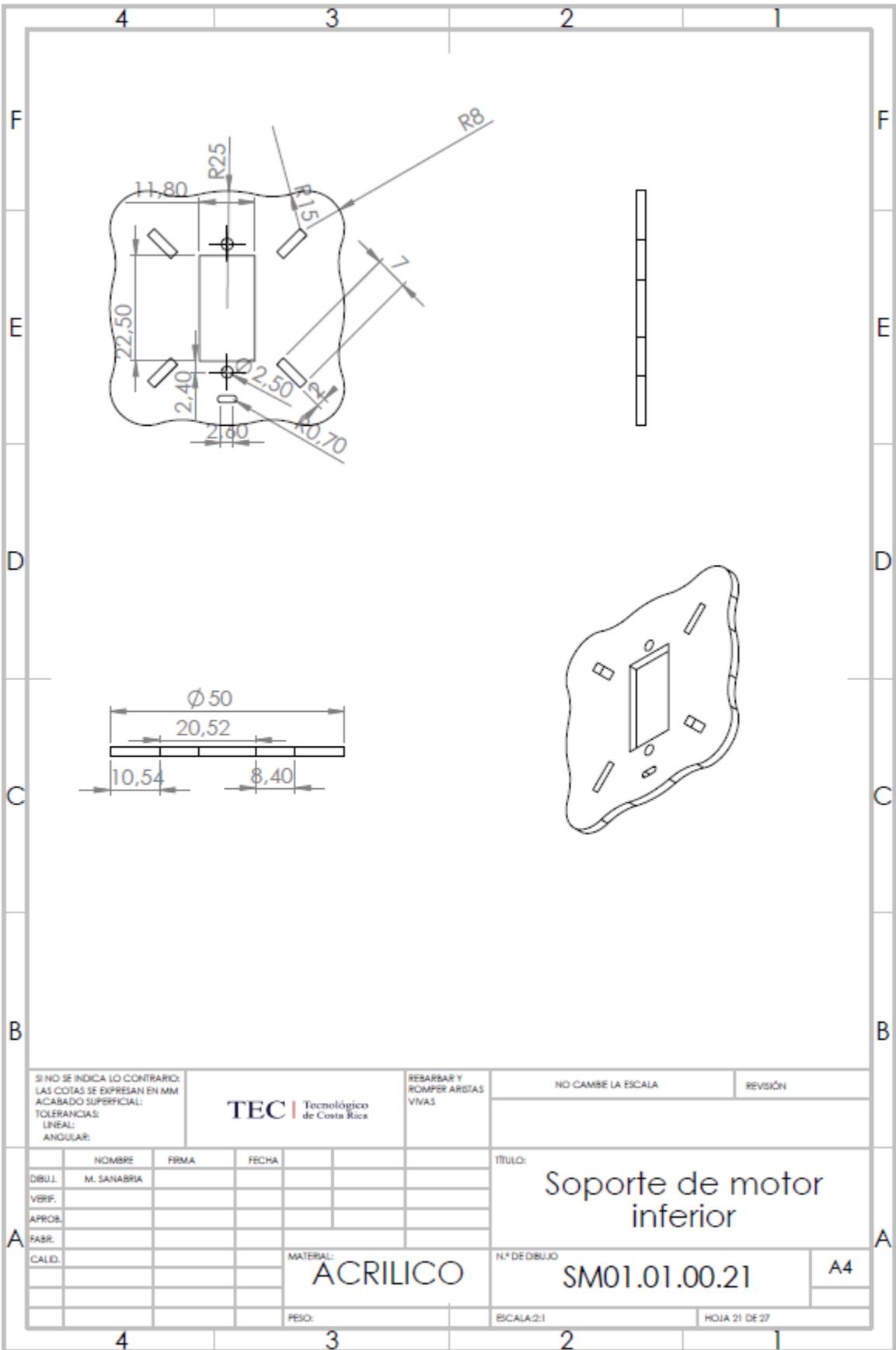
A4

PESO:

ESCALA:2:1

HOJA 19 DE 27





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Soporte de motor inferior

MATERIAL:
ACRILICO

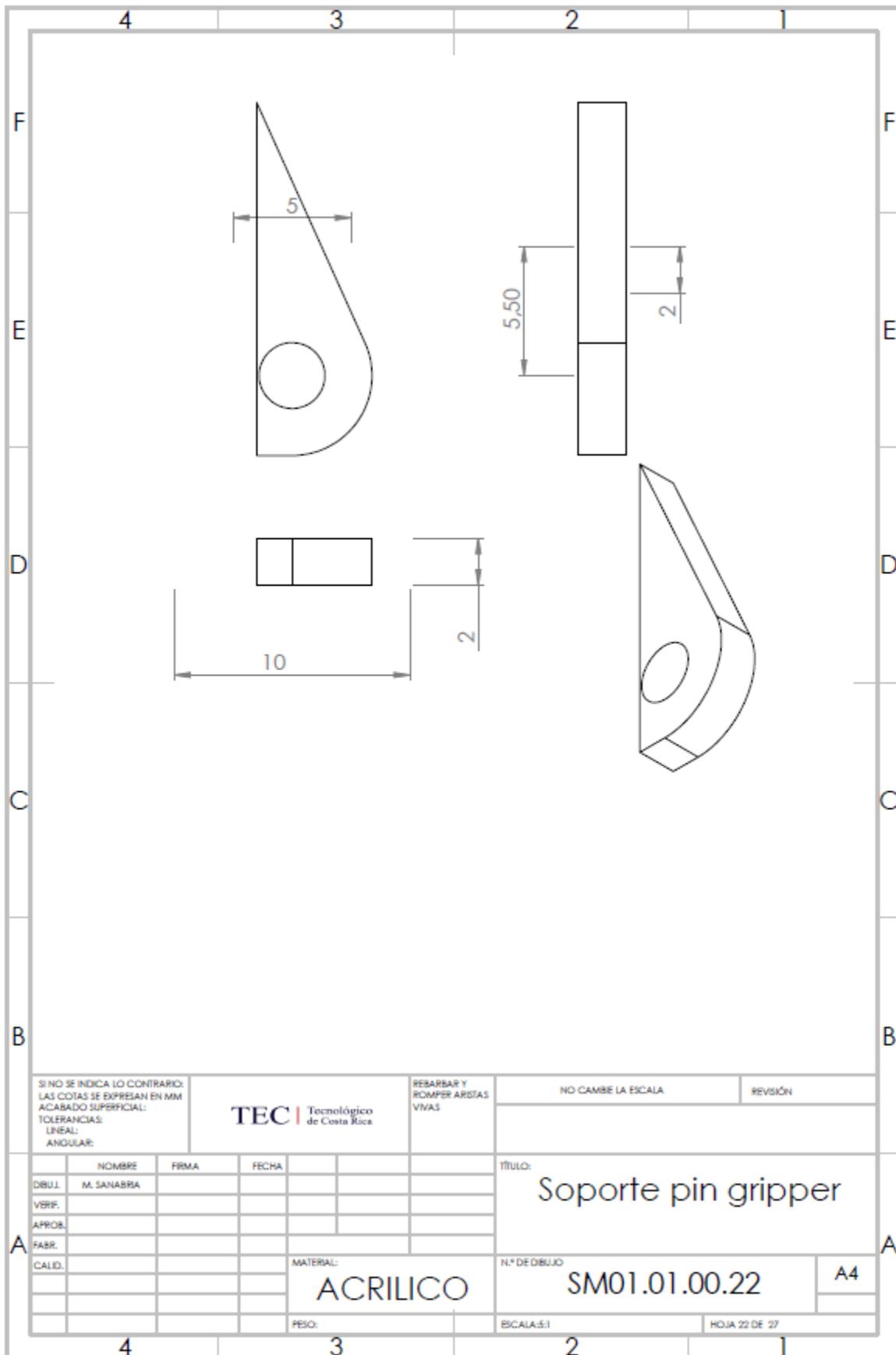
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.21

A4

PESO:

ESCALA: 2:1

HOJA 21 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

RESBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

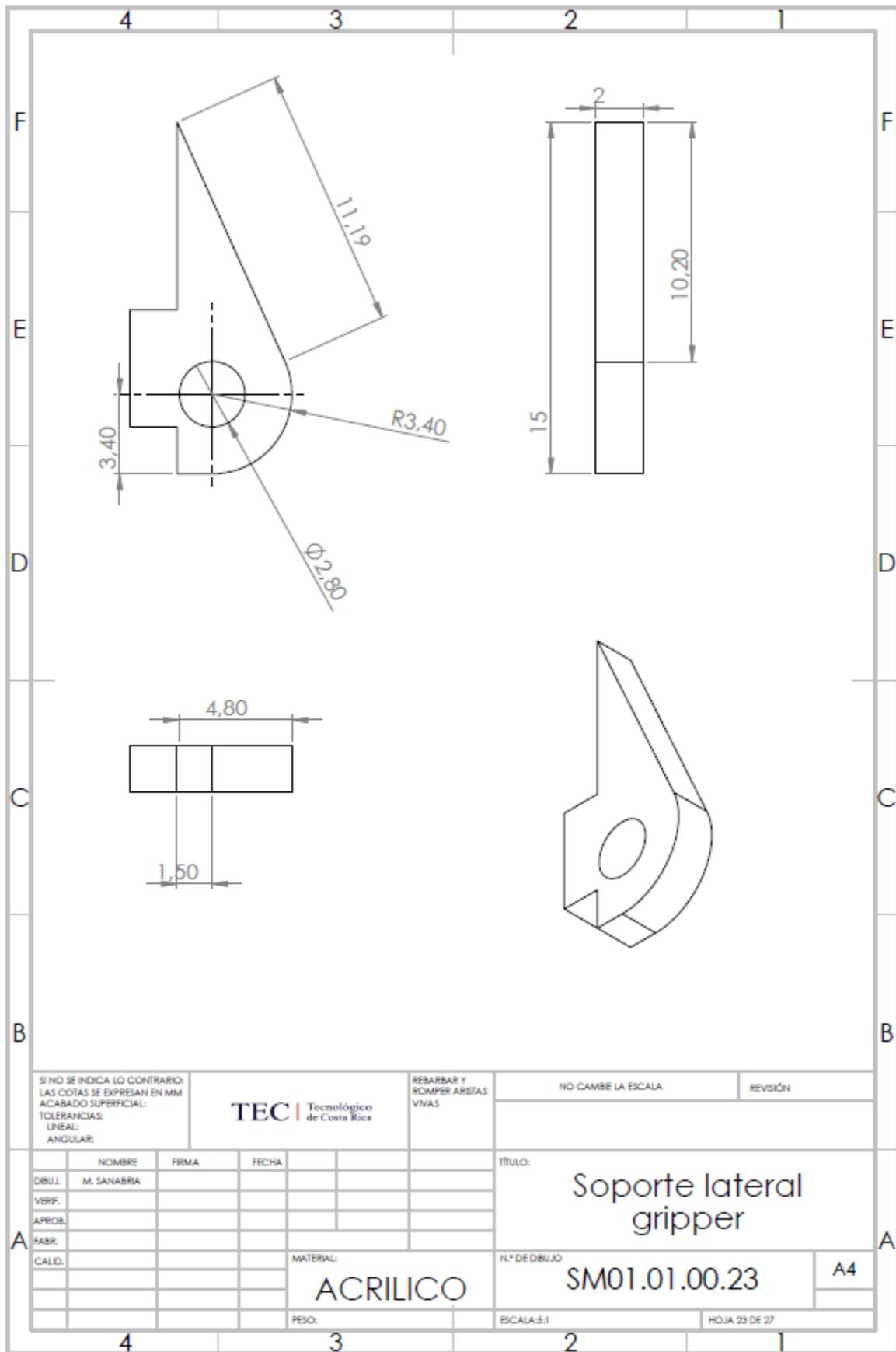
NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Soporte pin gripper

MATERIAL:	ACRILICO	N.º DE DIBUJO	SM01.01.00.22	A4
PESO:		ESCALA: 5:1		HOJA 22 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARSTIAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Soporte lateral gripper

MATERIAL:
ACRILICO

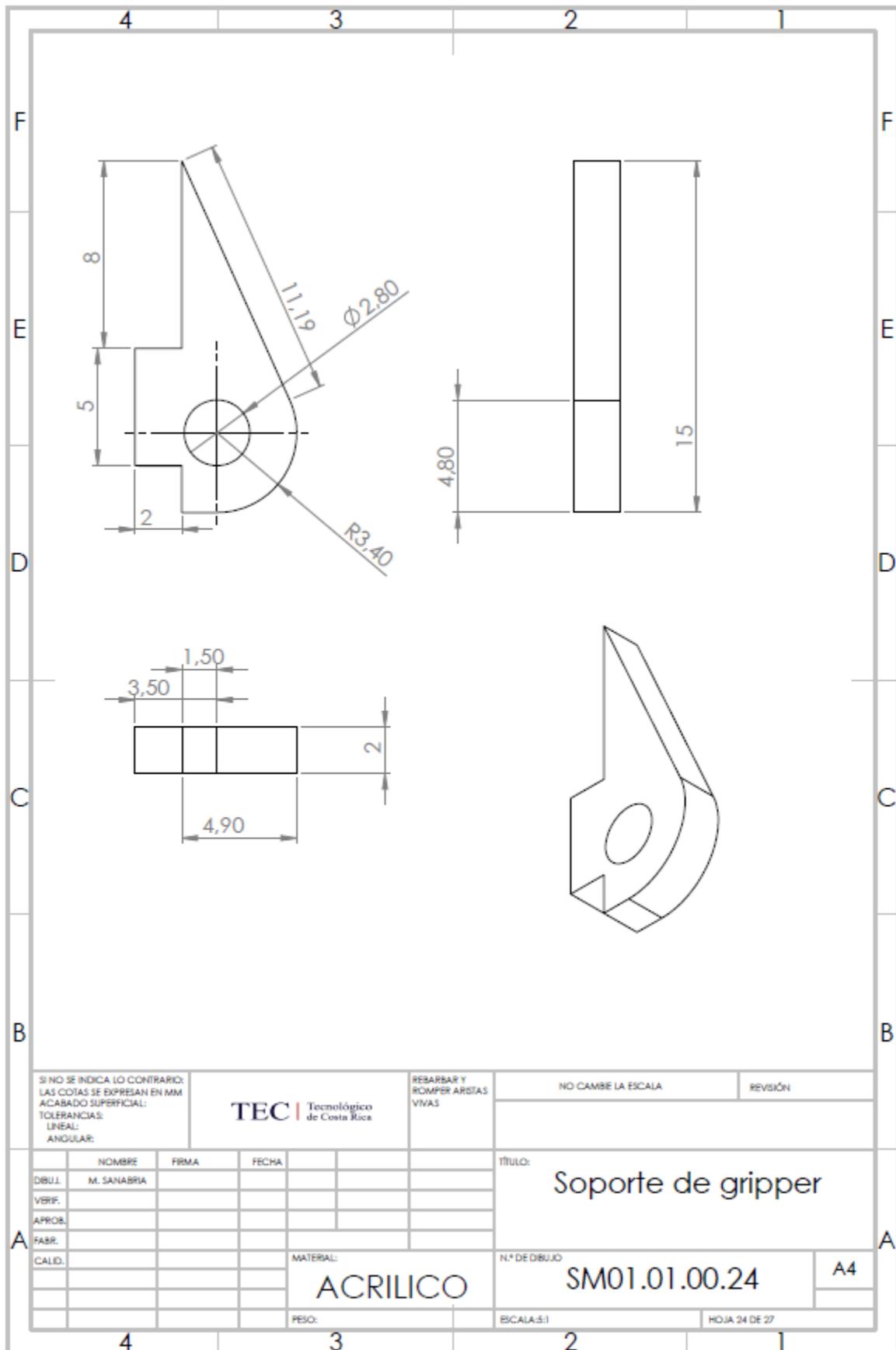
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.23

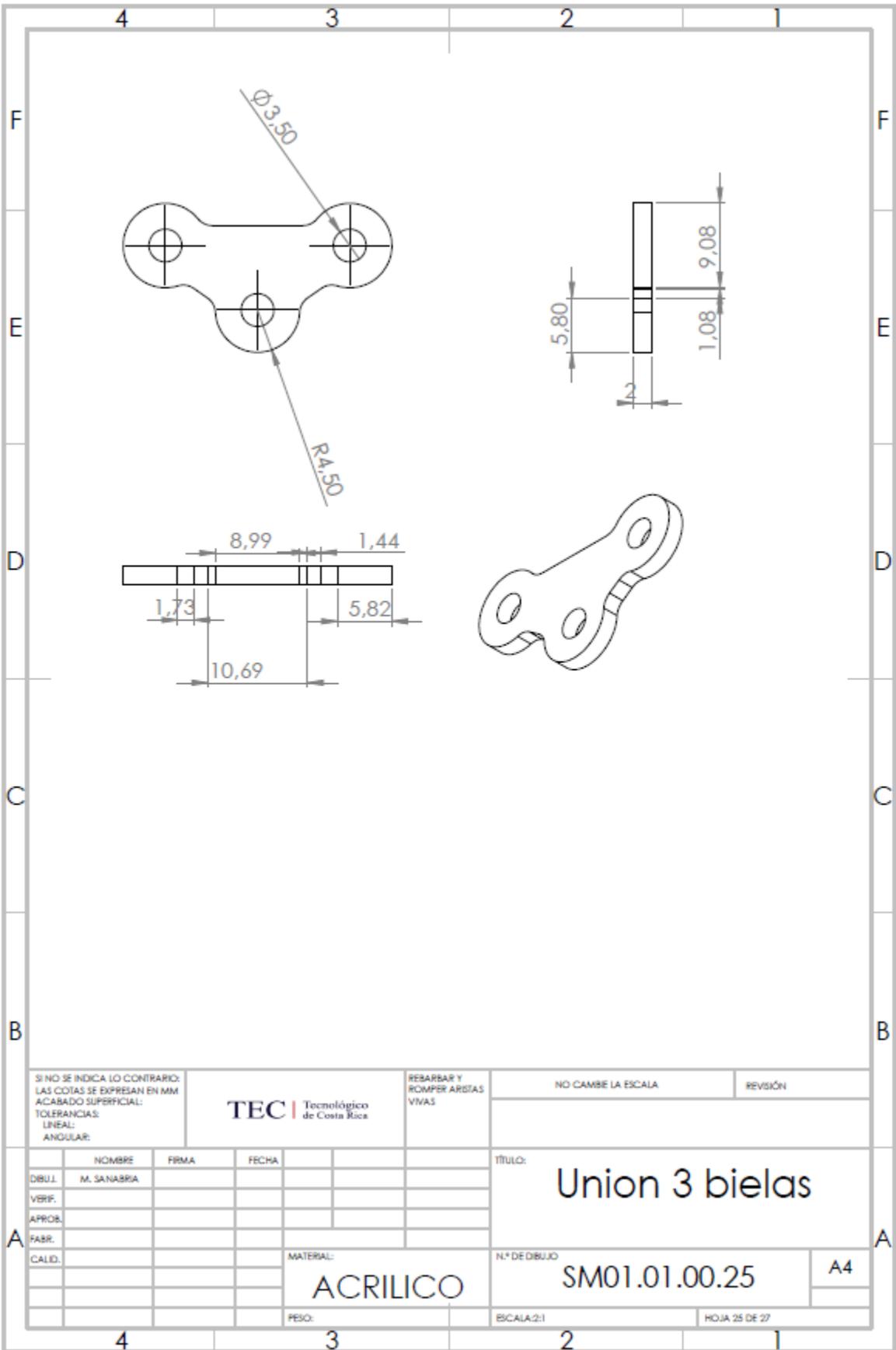
A4

PESO:

ESCALA: 1:1

HOJA 23 DE 27





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

TÍTULO:
Union 3 bielas

MATERIAL:
ACRILICO

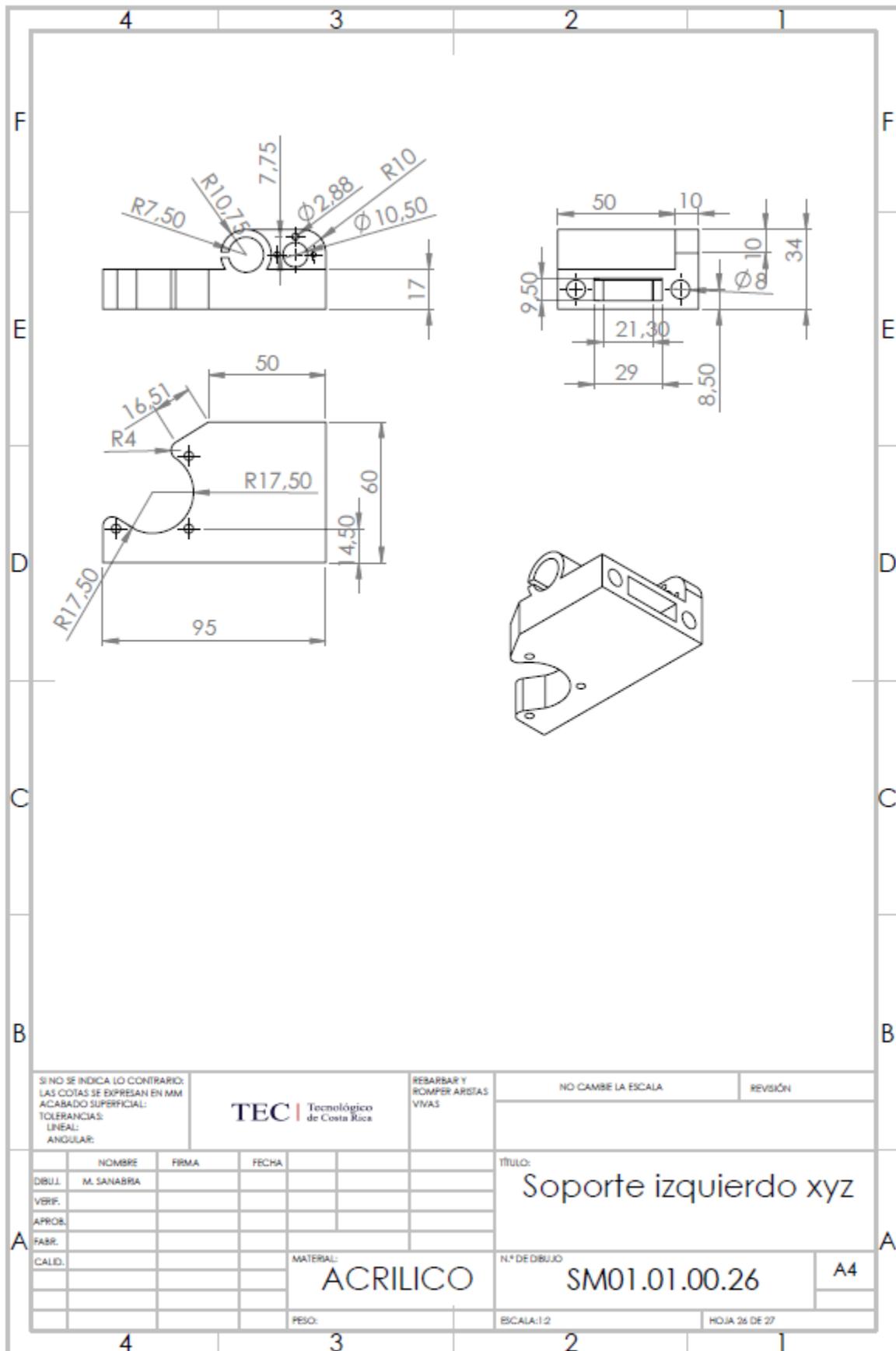
N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.25

A4

PESO:

ESCALA: 2:1

HOJA 25 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

RESABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

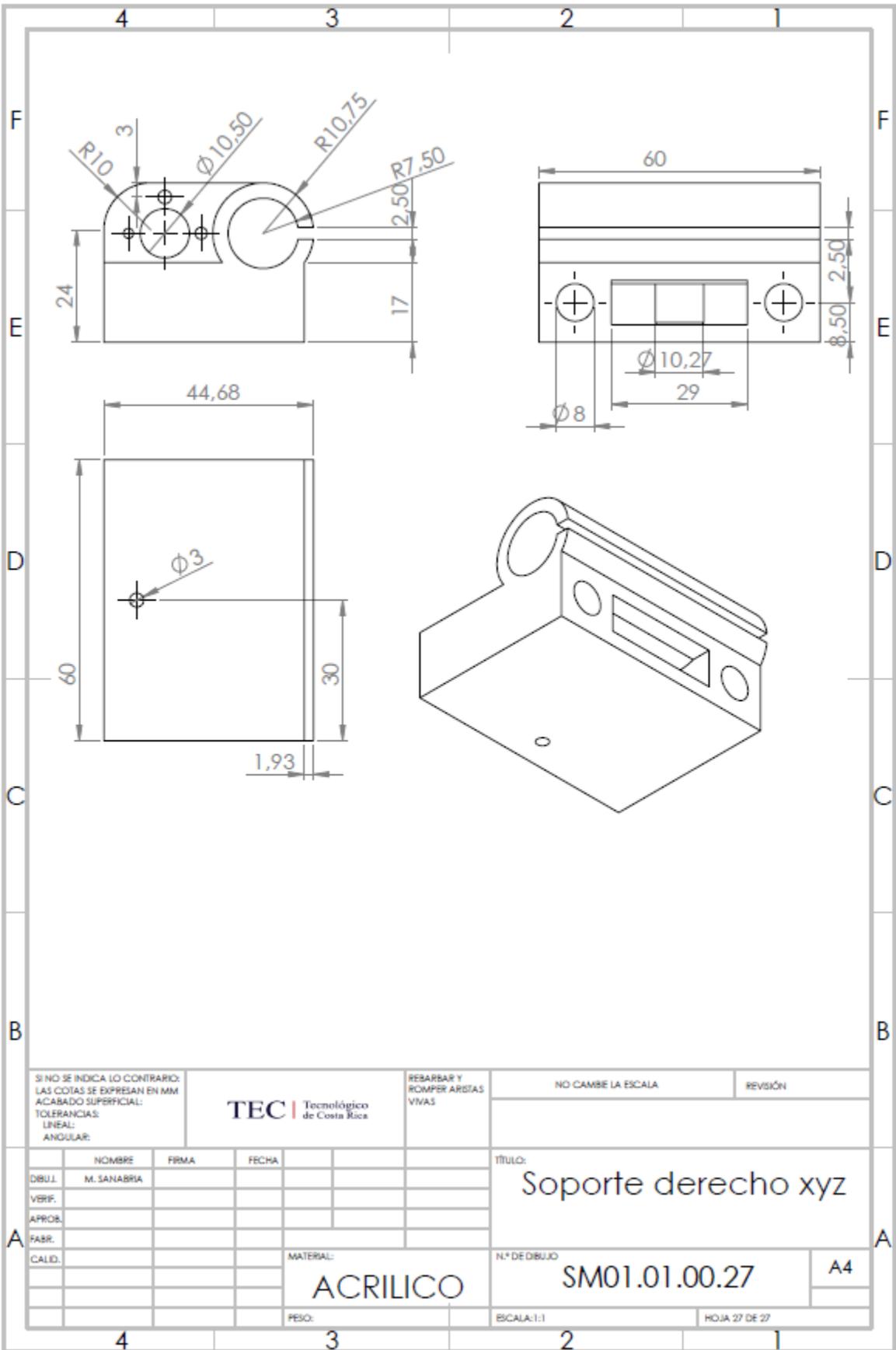
REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

TÍTULO:
Soporte izquierdo xyz

CALID.		MATERIAL: ACRILICO
		PESO:

N.º DE DIBUJO SM01.01.00.26	A4
ESCALA: 1:2	HOJA 26 DE 27



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

TEC | Tecnológico de Costa Rica

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. SANABRIA		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

TÍTULO:
Soporte derecho xyz

MATERIAL:
ACRILICO

N.º DE DIBUJO
SM01.01.00.27

A4

PESO:

ESCALA: 1:1

HOJA 27 DE 27

9.1.3 Apéndice A.3 Programación en Arduino para brazos robóticos 1 y 2 para el proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores.

```
//Brazo robótico de carga de contenedores a las bandas transportadoras  
//Este brazo se encarga de tomar los contenedores que obtiene a su derecha  
//y a su izquierda para llevarlos a la banda de entrada
```

```
#include <Servo.h>
```

```
Servo servoMotor1; //Motor de la base
```

```
Servo servoMotor2; //Motor derecho
```

```
Servo servoMotor3; //Motor izquierdo
```

```
Servo servoMotor4; //Motor de la garra
```

```
int pin7=7;
```

```
int pin8=8;
```

```
//analogWrite(pin, value)
```

```
void setup() {
```

```
  // put your setup code here, to run once:
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  // Iniciamos el servo para que empiece a trabajar con el pin 9
```

```
  servoMotor1.attach(9);
```

```
  servoMotor2.attach(10);
```

```
  servoMotor3.attach(11);
```

```
  servoMotor4.attach(6);
```

```
  pinMode(pin7, INPUT);
```

```
  pinMode(pin8, INPUT);
```

```
}
```

```
void detectaposicion(){
```

```
  if (digitalRead(pin7) == HIGH){//Primero a la derecha
```

```
servoMotor1.write(0);
delay(2000);
servoMotor1.write(90);
delay(2000);

if (digitalRead(pin8) == HIGH){
servoMotor1.write(180);
delay(2000);
servoMotor1.write(90);
delay(2000);
}
}
if (digitalRead(pin8) == HIGH){//Primero a la izquierda
servoMotor1.write(180);
delay(2000);
servoMotor1.write(90);
delay(2000);

if (digitalRead(pin7) == HIGH){
servoMotor1.write(0);
delay(2000);
servoMotor1.write(90);
delay(2000);
}
}
else{
servoMotor1.write(90);
delay(2000);
}
}
```

```
void loop() {  
  detectaposicion();  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
  //servoMotor1.write(90);  
  // Esperamos 1 segundo  
  //delay(1000);  
  
}
```

9.1.4 Apéndice A.4 Programación en Arduino para el robot cartesiano para el proceso de carga, descarga y almacenaje de contenedores.

```
#include <Servo.h>
#include <Stepper.h>

#define LINE_BUFFER_LENGTH 512

const int penZUp = 40;
const int penZDown = 80;

const int penServoPin = 6;

const int stepsPerRevolution = 60;

Servo penServo;

Stepper myStepperY(stepsPerRevolution, 5,3,4,2);
Stepper myStepperX(stepsPerRevolution, 11,9,10,8);

struct point {
  float x;
  float y;
  float z;
};

struct point actuatorPos;

float StepInc = 1;
int StepDelay = 0;
int LineDelay = 50;
int penDelay = 50;
```

```
float StepsPerMillimeterX = 100.0;
```

```
float StepsPerMillimeterY = 100.0;
```

```
float Xmin = 0;
```

```
float Xmax = 100;
```

```
float Ymin = 0;
```

```
float Ymax = 100;
```

```
float Zmin = 0;
```

```
float Zmax = 1;
```

```
float Xpos = Xmin;
```

```
float Ypos = Ymin;
```

```
float Zpos = Zmax;
```

```
boolean verbose = false;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin( 9600 );
```

```
  penServo.attach(penServoPin);
```

```
  penServo.write(penZUp);
```

```
  delay(200);
```

```
  myStepperX.setSpeed(200);
```

```
  myStepperY.setSpeed(200);
```

```
  Serial.print("X esta en rango de ");
```

```
  Serial.print(Xmin);
```

```
  Serial.print(" to ");
```

```
  Serial.print(Xmax);
```

```
  Serial.println(" mm.");
```

```

Serial.print("Y esta en rango de ");
Serial.print(Ymin);
Serial.print(" to ");
Serial.print(Ymax);
Serial.println(" mm.");
}

void loop()
{
  delay(200);
  char line[ LINE_BUFFER_LENGTH ];
  char c;
  int lineIndex;
  bool lineIsComment, lineSemiColon;

  lineIndex = 0;
  lineSemiColon = false;
  lineIsComment = false;

  while (1) {

    while ( Serial.available()>0 ) {
      c = Serial.read();
      if (( c == '\n' ) || ( c == '\r' ) ) {
        if ( lineIndex > 0 ) {
          line[ lineIndex ] = '\0';
          if (verbose) {
            Serial.print( "Recibido : ");
            Serial.println( line );
          }
        }
        processIncomingLine( line, lineIndex );
        lineIndex = 0;
      }
    }
  }
}

```

```

}
else {

}

lineIsComment = false;
lineSemiColon = false;
Serial.println("ok");
}
else {
if ( (lineIsComment) || (lineSemiColon) ) {
    if ( c == ')' ) lineIsComment = false;
}
else {
    if ( c <= ' ' ) {
    }
    else if ( c == '/' ) {
    }
    else if ( c == '(' ) {
        lineIsComment = true;
    }
    else if ( c == ';' ) {
        lineSemiColon = true;
    }
    else if ( lineIndex >= LINE_BUFFER_LENGTH-1 ) {
        Serial.println( "ERROR overflow" );
        lineIsComment = false;
        lineSemiColon = false;
    }
    else if ( c >= 'a' && c <= 'z' ) {
        line[ lineIndex++ ] = c-'a'+ 'A';
    }
    else {

```



```

penDown();
break;
case 'G':
buffer[0] = line[ currentIndex++ ];
//   buffer[1] = line[ currentIndex++ ];
//   buffer[2] = '\0';
buffer[1] = '\0';

switch ( atoi( buffer ) ){
case 0:
case 1:
// !\ Dirty - Suppose that X is before Y
char* indexX = strchr( line+currentIndex, 'X' );
char* indexY = strchr( line+currentIndex, 'Y' );
if ( indexY <= 0 ) {
newPos.x = atof( indexX + 1);
newPos.y = actuatorPos.y;
}
else if ( indexX <= 0 ) {
newPos.y = atof( indexY + 1);
newPos.x = actuatorPos.x;
}
else {
newPos.y = atof( indexY + 1);
indexY = '\0';
newPos.x = atof( indexX + 1);
}
drawLine(newPos.x, newPos.y );
//   Serial.println("ok");
actuatorPos.x = newPos.x;
actuatorPos.y = newPos.y;
break;

```

```

}
break;
case 'M':
buffer[0] = line[ currentIndex++ ];
buffer[1] = line[ currentIndex++ ];
buffer[2] = line[ currentIndex++ ];
buffer[3] = '\0';
switch ( atoi( buffer ) ){
case 300:
{
char* indexS = strchr( line+currentIndex, 'S' );
float Spos = atof( indexS + 1);
// Serial.println("ok");
if (Spos == 30) {
penDown();
}
if (Spos == 50) {
penUp();
}
break;
}
case 114:
Serial.print( "Absolute position : X = " );
Serial.print( actuatorPos.x );
Serial.print( " - Y = " );
Serial.println( actuatorPos.y );
break;
default:
Serial.print( "Command not recognized : M");
Serial.println( buffer );
}
}

```

```
    }  
  }  
  
void drawLine(float x1, float y1) {  
  
  if (verbose)  
  {  
    Serial.print("fx1, fy1: ");  
    Serial.print(x1);  
    Serial.print(",");  
    Serial.print(y1);  
    Serial.println("");  
  }  
  
  if (x1 >= Xmax) {  
    x1 = Xmax;  
  }  
  if (x1 <= Xmin) {  
    x1 = Xmin;  
  }  
  if (y1 >= Ymax) {  
    y1 = Ymax;  
  }  
  if (y1 <= Ymin) {  
    y1 = Ymin;  
  }  
  
  if (verbose)  
  {  
    Serial.print("Xpos, Ypos: ");  
    Serial.print(Xpos);  
  }  
}
```

```

Serial.print(",");
Serial.print(Ypos);
Serial.println("");
}

if (verbose)
{
Serial.print("x1, y1: ");
Serial.print(x1);
Serial.print(",");
Serial.print(y1);
Serial.println("");
}

// Convert coordinates to steps
x1 = (int)(x1*StepsPerMillimeterX);
y1 = (int)(y1*StepsPerMillimeterY);
float x0 = Xpos;
float y0 = Ypos;

// Let's find out the change for the coordinates
long dx = abs(x1-x0);
long dy = abs(y1-y0);
int sx = x0<x1 ? StepInc : -StepInc;
int sy = y0<y1 ? StepInc : -StepInc;

long i;
long over = 0;

if (dx > dy) {
for (i=0; i<dx; ++i) {
myStepperX.step(sx);
}
}

```

```
    over+=dy;
    if (over>=dx) {
        over-=dx;
        myStepperY.step(sy);
    }
    delay(StepDelay);
}
else {
    for (i=0; i<dy; ++i) {
        myStepperY.step(sy);
        over+=dx;
        if (over>=dy) {
            over-=dy;
            myStepperX.step(sx);
        }
        delay(StepDelay);
    }
}
```

```
if (verbose)
{
    Serial.print("dx, dy:");
    Serial.print(dx);
    Serial.print(",");
    Serial.print(dy);
    Serial.println("");
}
```

```
if (verbose)
{
    Serial.print("Going to (");
```

```
    Serial.print(x0);
    Serial.print(",");
    Serial.print(y0);
    Serial.println("");
}

delay(LineDelay);

Xpos = x1;
Ypos = y1;
}

void GripperUp() {
    ElectroServo.write(penZUp);
    delay(LineDelay);
    Zpos=Zmax;
    if (verbose) {
        Serial.println("Pen up!");
    }
}

void penDown() {
    ElectroServo.write(penZDown);
    delay(LineDelay);
    Zpos=Zmin;
    if (verbose) {
        Serial.println("Pen down.");
    }
}
```

9.2 Anexos

9.2.1 Anexo B.1 Modulo programador de Festo MPV-E/A08-M8 [14].

Distribuidor multipolo MPV

• Distribuidor multipolo



Especificaciones técnicas

Conexiones eléctricas para E/S	M8, 3 contactos
Tipo de fijación	Opcionalmente con carril DIN, con taladro pasante
Tensión de funcionamiento [V c.c.]	10 ... 30
Carga de corriente [A]	4
Carga admisible de corriente de cada posición de enchufe [A]	1
Clase de protección según EN 60529	IP65 (montado)

Materiales

Cuerpo	Reforzado mediante PA6
Conector tipo zócalo	Latón

Condiciones de funcionamiento y del entorno

Temperatura ambiente [°C]	-20 ... +80
---------------------------	-------------

Distribución de contactos (conector tipo zócalo)

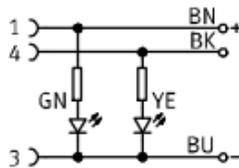
Conector tipo zócalo	Pin	Color del hilo ¹⁾	Pin	Conector tipo clavija
Conector eléctrico tipo zócalo, 3 contactos, M8 – Extremo abierto				
	1	BN	-	-
	3	BU	-	
	4	BK	-	
Conector eléctrico tipo zócalo, 3 contactos, M8 – Conector tipo clavija, 3 contactos				
	1	BN	1	
	3	BU	3	
	4	BK	4	
Conector eléctrico tipo zócalo, 3 contactos, M8 – Conector tipo clavija, 4 contactos				
	1	BN	1	
	-	-	2	
	3	BU	3	
	4	BK	4	

1) Según IEC 757

Circuitos con indicación de estado

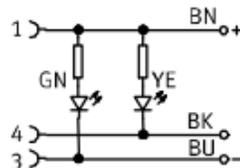
Indicación, código P

Para NPN, normalmente abierto



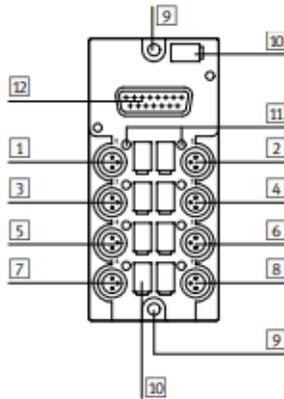
Indicación, código N

Para PNP, normalmente abierto



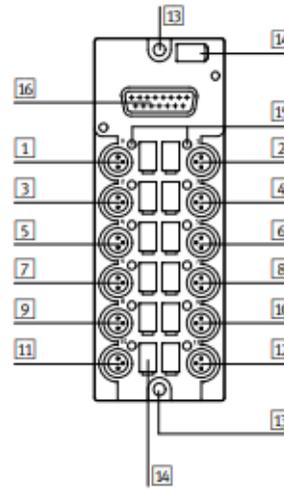
Elementos de conexión e indicación

MPV-E/A08-M8



- 1 Conexión para detectores, Pos. 1
- 2 Conexión para detectores, Pos. 2
- 3 Conexión para detectores, Pos. 3
- 4 Conexión para detectores, Pos. 4
- 5 Conexión para detectores, Pos. 5
- 6 Conexión para detectores, Pos. 6
- 7 Conexión para detectores, Pos. 7
- 8 Conexión para detectores, Pos. 8
- 9 Taladros de fijación
- 10 Soporte de la placa de identificación (IBS-6x10)
- 11 LED para indicador de estado
- 12 Conexión multipolo

MPV-E/A12-M8



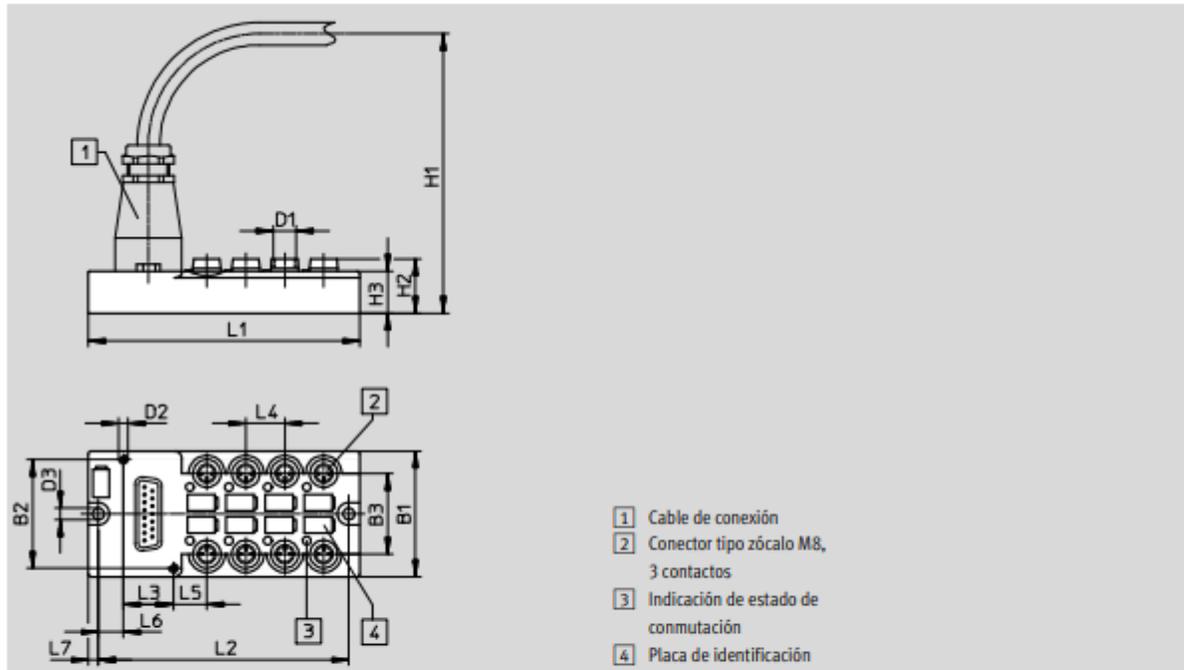
- 1 Conexión para detectores, Pos. 1
- 2 Conexión para detectores, Pos. 2
- 3 Conexión para detectores, Pos. 3
- 4 Conexión para detectores, Pos. 4
- 5 Conexión para detectores, Pos. 5
- 6 Conexión para detectores, Pos. 6
- 7 Conexión para detectores, Pos. 7
- 8 Conexión para detectores, Pos. 8
- 9 Conexión para detectores, Pos. 9
- 10 Conexión para detectores, Pos. 10
- 11 Conexión para detectores, Pos. 11
- 12 Conexión para detectores, Pos. 12
- 13 Taladros de fijación
- 14 Soporte de la placa de identificación (IBS-6x10)
- 15 LED para indicador de estado
- 16 Conector multipolo

Distribución de contactos (conector tipo clavija/zócalo, visto de frente)

Conexión individual		Ocupación		Conexión multipolo		Ocupación		Conexión individual	
	Espacio	Pin		Pin		Pin		Pin	Espacio
	1	1	24 V c.c.	13		13	24 V c.c.	1	2
		3	0 V	14/15		14/15	0 V	3	
		4	Entrada 1	1		2	Entrada 2	4	
	3	1	24 V c.c.	13		13	24 V c.c.	1	4
		3	0 V	14/15		14/15	0 V	3	
		4	Entrada 3	3		4	Entrada 4	4	
	5	1	24 V c.c.	13		13	24 V c.c.	1	6
		3	0 V	14/15		14/15	0 V	3	
		4	Entrada 5	5		6	Entrada 6	4	
	7	1	24 V c.c.	13		13	24 V c.c.	1	8
		3	0 V	14/15		14/15	0 V	3	
4		Entrada 7	7	8	Entrada 8	4			
9	1	24 V c.c.	13	13	24 V c.c.	1	10		
	3	0 V	14/15	14/15	0 V	3			
	4	Entrada 9	9	10	Entrada 10	4			
11	1	24 V c.c.	13	13	24 V c.c.	1	12		
	3	0 V	14/15	14/15	0 V	3			
	4	Entrada 11	11	12	Entrada 12	4			

Dimensiones

Datos CAD disponibles en www.festo.com



- 1 Cable de conexión
- 2 Conector tipo zócalo M8, 3 contactos
- 3 Indicación de estado de conmutación
- 4 Placa de identificación

Tipo	B1	B2	B3	D1	D2	D3 ∅	H1	H2	H3	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
MPV-E/A08-M8	45	39	29	M8	M3	4,2	126	19,5	15	98	90	18	14	12	9	4
MPV-E/A12-M8	45	39	29	M8	M3	4,2	126	19,5	15	126	118	18	14	12	9	4

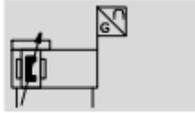
9.2.2 Anexo B.2 Pistones de doble efecto [26].

Actuadores lineales DDLI, sistema integrado de medición de recorrido

FESTO

Hoja de datos

Función



- Diámetro
25 ... 63 mm
- Carrera
100 ... 2000 mm

Especificaciones técnicas generales				
Diámetro del émbolo	25	32	40	63
Forma constructiva	Actuador lineal sin vástago, con cursor y sistema de medición de recorrido			
Modo de funcionamiento	Doble efecto			
Tipo de arrastre	Cilindro con ranura, con acoplamiento mecánico			
Posición de montaje	Indiferente			
Tipo de fijación	Soporte central			
	Pies de fijación			
	Montaje directo			
Amortiguación	Amortiguación por topes elásticos/placa a ambos lados			
Detección de posiciones	Con sistema integrado de medición de recorrido			
Principio de medición (sistema de medición de recorrido)	Magnetoestrictivo, medición sin contacto y absoluta, digital			
Conexión neumática ¹⁾	G1/8		G1/4	G3/8
Carrera ²⁾	[mm]	100, 160, 225, 300, 360, 450, 500, 600, 750, 850, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000		
Velocidad máxima	[m/s]	3		

1) En el caso de los racores rápidos roscados premontados, se aplican los diámetros exteriores de los tubos flexibles → página 15

2) En combinación con CPX-MAX, tener en cuenta la reducción de la carrera

Condiciones de funcionamiento y del entorno				
Diámetro del émbolo	25	32	40	63
Presión de funcionamiento	[bar]	2 ... 8		1,5 ... 8
Presión de funcionamiento ¹⁾	[bar]	4 ... 8		
Fluido ²⁾	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [6:4:4]			
Nota sobre el fluido de trabajo/mando	No es posible el funcionamiento con aire comprimido lubricado Punto de condensación bajo presión: 10°C con Umg/Med			
Temperatura ambiente	[°C]	-10 ... +60		
Resistencia a vibraciones según CEI 68 parte 2-6	Con 10 ...60 Hz: 0,15 mm			
	Con 60 ...150 Hz: 2G			
Resistencia a impactos constantes según CEI 68 parte 2-27	Semisinusoidal 15g, 11 ms			
Marcado CE (consultar declaración de conformidad) ³⁾	Según directiva de máquinas EMC de UE			
Certificación	C-Tick			
Clase de resistencia a la corrosión CRC ⁴⁾	1			

9.2.3 Anexo B.3 Perfil de aluminio MGE 13.0 80X80L de Bosch Rexroth [3].

40x160L

$A = 20,5 \text{ cm}^2$
 $I_x = 466,7 \text{ cm}^4$
 $I_y = 37,2 \text{ cm}^4$
 $W_x = 58,3 \text{ cm}^3$
 $W_y = 18,6 \text{ cm}^3$
 $m = 5,5 \text{ kg/m}$

19215

Cap	Color	ESD	No.
40x80 (2x)	Light gray	20	3 842 536 436
40x80 (2x)	Black	20	3 842 529 036

40x160L	L (mm)	No.
1 pc	50 ... 6000	3 842 993 143/L
1 pc M12	60 ... 6000	3 842 993 144/L
1 pc M12 M12	110 ... 6000	3 842 993 145/L
1 pc D17 D17	80 ... 6000	3 842 993 146/L
6 pcs	6070	3 842 529 345

Profile finishes: M12: in all core holes
D17: in slots B/J, C/I, D/H, E/G

Quick & Easy (p. 2-8; see fold-out section)

40x160L	3 842 993 717/...
Length L (mm)	80 ... 6000
Standard profile finishes (note minimum length, p. 2-24)	M12/D9.8 (B,C,D,E,G,H, I,J) ¹⁾ /D17 (B,C,D,E,G,H, I,J) ¹⁾ /DB17/F1 (A,F) ¹⁾
Individual profile finishes (L _{max} = 5400 mm)	DI/DIS/MT/MTS/MI/MIS/DG ²⁾

¹⁾ For the specified slots

²⁾ DG_{max} = 45°; L_{min1}/L_{min2} = 439/578 mm

80x80L

$A = 18,2 \text{ cm}^2$
 $I_x = 132,1 \text{ cm}^4$
 $I_y = 132,1 \text{ cm}^4$
 $W_x = 33,0 \text{ cm}^3$
 $W_y = 33,0 \text{ cm}^3$
 $m = 4,9 \text{ kg/m}$

19216

Cap	Color	ESD	No.
80x80 (1x)	Black	20	3 842 529 039

80x80L	L (mm)	No.
1 pc	50 ... 6000	3 842 993 133/L
1 pc M12	60 ... 6000	3 842 993 134/L
1 pc M12 M12	110 ... 6000	3 842 993 147/L
1 pc M12 D17	90 ... 6000	3 842 993 148/L
1 pc D17	60 ... 6000	3 842 993 149/L
1 pc D17 D17	80 ... 6000	3 842 993 150/L
1 pc D17 D17V	80 ... 6000	3 842 993 151/L
6 pcs	6070	3 842 529 347

Profile finishes: M12: in all core holes
D17: in slots A/F, B/E
D17V: in slots C/H, D/G

Quick & Easy (p. 2-8; see fold-out section)

80x80L	3 842 993 674/...
Length L (mm)	50 ... 6000
Standard profile finishes (note minimum length, p. 2-24)	M12/D9.8/D17/DB17/F1
Individual profile finishes (L _{max} = 5400 mm)	DI/DIS/MT/MTS/MI/MIS/DG ¹⁾

¹⁾ DG_{max} = 45°; L_{min1}/L_{min2} = 439/578 mm

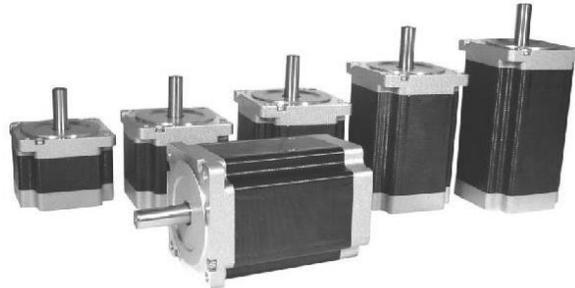
9.2.4 Anexo B.4 Motor a pasos Nema 34 de LAM Technologies [17].



M13430xx
SERIES

Nema 34

2 phase 1.8° step angle
hybrid stepping motor

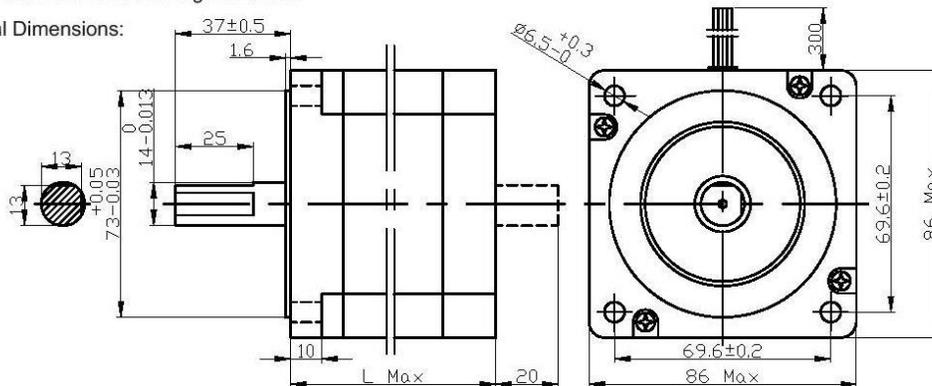


Specifications:

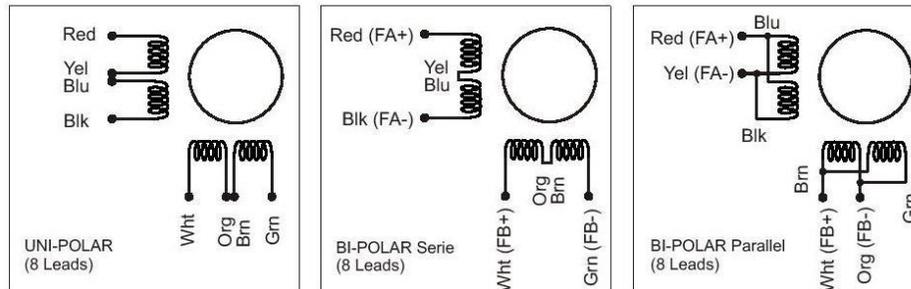
Model	Holding Torque (Nm)	Phase current (A)	Rotor Inertia (g/cm ²)	Motor Length L max (mm)	Detent Torque (Nm)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Lead Wire (No)	Motor Weight (Kg)	Note
M1343011	3.1	5.6	850	66	0.055	0.26	1.5	8	1.9	Bip. parallel
M1343020	4.4	5.6	1050	78	0.065	0.35	2.8	8	2.3	Bip. parallel
M1343021	4.4	7.1	1050	78	0.065	0.21	1.6	8	2.3	Bip. Parallel
M1343031	6.8	7.1	1550	98	0.095	0.26	2.2	8	3	Bip. Parallel
M1343041	8.1	7.1	1800	114	0.13	0.38	3.2	8	3.8	Bip. parallel
M1343050	9.2	7.1	2200	126	0.19	0.43	3.4	8	4.1	Bip. parallel
M1343051	9.2	10	2200	126	0.19	0.18	1.6	8	4.1	Bip. Parallel
M1343060	12.1	10	2500	150	0.25	0.21	2.2	8	5	Bip. Parallel
M1343061	12.1	12	2500	150	0.25	0.17	1.8	8	5	Bip. parallel

Double shaft and custom windings available

Mechanical Dimensions:
Unit: mm



Wiring Diagram:



LAM Technologies

www.lamtechnologies.com

Viale Ludovico Ariosto, 492/D
50019 Sesto Fiorentino FIRENZE
Tel. 055-4207746 Fax 055-4207651

info@lamtechnologies.com

rev. 1.21 20/02/13

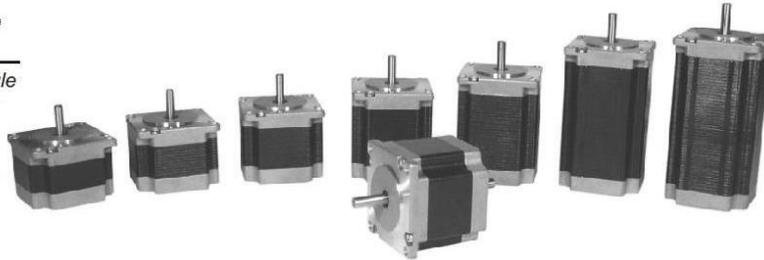
9.2.5 Anexo B.5 Motor a pasos Nema 23 de LAM Technologies [17].



M12330xx
SERIES

Nema 23

2 phase 1.8° step angle
hybrid stepping motor



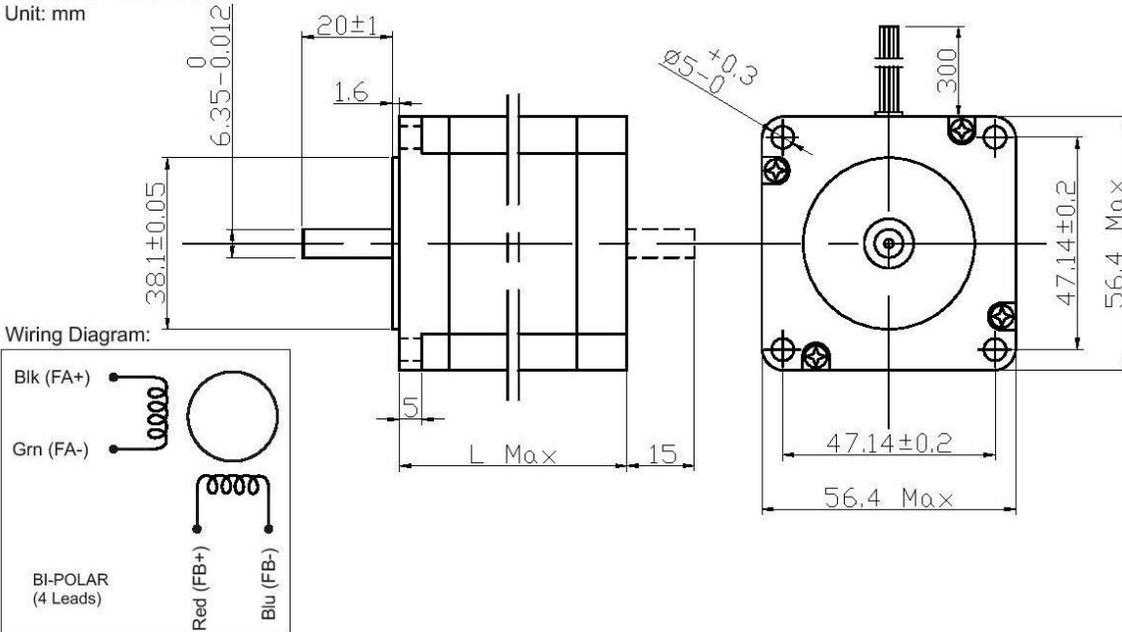
Specifications:

Model	Holding Torque (Nm)	Phase current (A)	Rotor Inertia (g/cm ²)	Motor Length L max (mm)	Detent Torque (Nm)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Lead Wire (No)	Motor Weight (Kg)	Note
M1233011	0.55	0.62	150	41	0.025	13	34	4	0.47	
M1233012	0.55	2.0	150	41	0.025	1.2	3.20	4	0.47	
M1233021	0.80	0.62	190	45	0.028	12	29	4	0.52	
M1233022	0.80	2.5	190	45	0.028	1.0	2.2	4	0.52	
M1233031	1.00	0.62	190	51	0.028	13.4	33	4	0.62	
M1233032	1.10	2.5	190	51	0.028	1.15	3.3	4	0.62	
M1233041	1.10	4.2	280	56	0.035	0.4	1.2	4	0.68	
M1233051	1.40	3.0	380	64	0.05	0.8	2.4	4	0.85	8 mm shaft available
M1233061	1.80	3.0	440	76	0.06	1.0	3.54	4	1.05	
M1233062	1.80	4.2	440	76	0.06	0.55	1.8	4	1.05	
M1233064	1.80	6.0	440	76	0.06	0.3	1	4	1.05	
M1233070	3.00	4.2	680	100	0.1	0.8	3.0	4	1.5	
M1233071	3.00	6.0	680	100	0.1	0.4	1.5	4	1.5	
M1233081	3.40	6.0	800	112	0.12	0.44	1.9	4	1.7	

Double shaft and custom windings available

Mechanical Dimensions:

Unit: mm



LAM Technologies

www.lamtechnologies.com

Viale Ludovico Ariosto, 492/D
50019 Sesto Fiorentino FIRENZE
Tel. 055-4207746 Fax 055-4207651

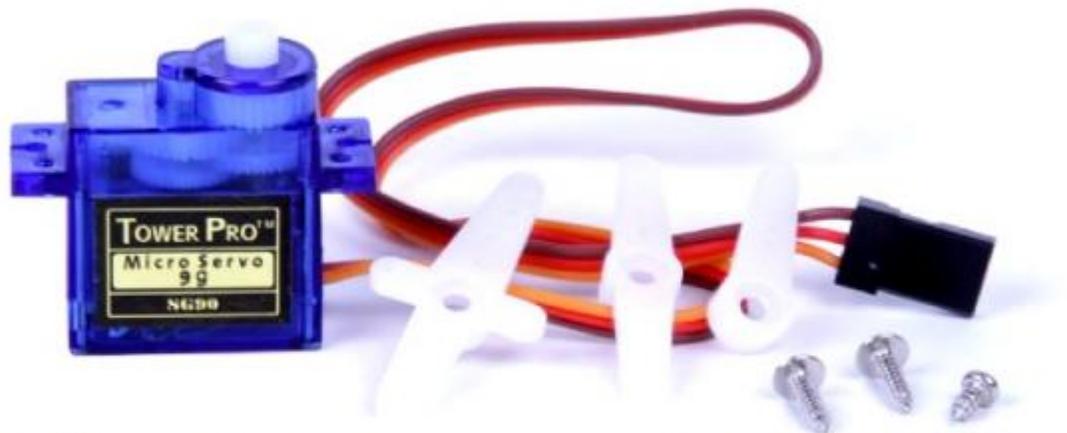
info@lamtechnologies.com

rev. 1.23 20/02/13

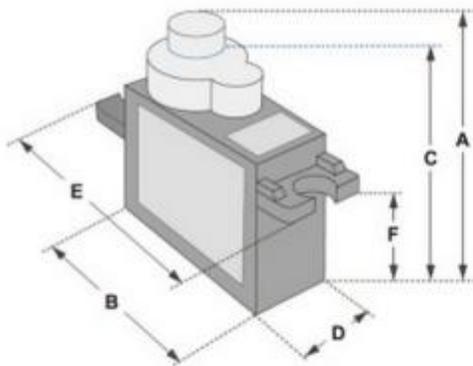
9.2.6 Anexo B.6 Servomotor SG90 Tower PRO [18].

SERVO MOTOR SG90

DATA SHEET



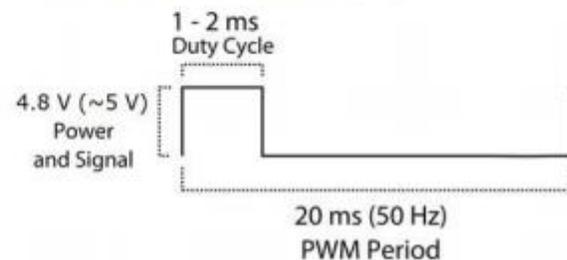
Tiny and lightweight with high output power. Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but smaller. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.



Dimensions & Specifications	
A (mm) :	32
B (mm) :	23
C (mm) :	28.5
D (mm) :	12
E (mm) :	32
F (mm) :	19.5
Speed (sec) :	0.1
Torque (kg-cm) :	2.5
Weight (g) :	14.7
Voltage :	4.8 - 6

Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2ms pulse) is middle, is all the way to the right, "-90" (~1ms pulse) is all the way to the left.

PWM=Orange (⏏)
 Vcc=Red (+)
 Ground=Brown (-)



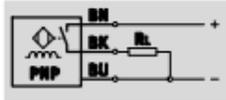
9.2.7 Anexo B.7 Sensor inductivo Festo [24].

Detectores de proximidad SIEN-...-PA, inductivo

FESTO

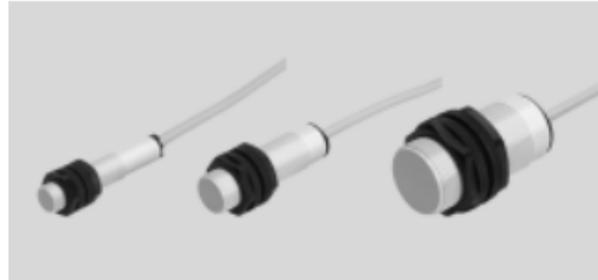
Hoja de datos: distancia de detección normalizada, cuerpo de poliamida

Función¹⁾



1) Por ejemplo, contacto normalmente abierto con salida PNP y cable

- Distancia normalizada de conmutación
- Resistentes a la corrosión
- Cuerpo de poliamida
- Para corriente continua
- Forma redonda



Datos técnicos generales	
Forma	Redonda
Corresponde a la norma	EN 60947-5-2
Certificación	c UL us - Listed (OL) Marca registrada RCM
Símbolo CE (consultar declaración de conformidad)	Según directiva de máquinas UE CEM ¹⁾
Características del material	No contiene cobre ni PTFE

1) Para obtener información sobre las condiciones de utilización, véase la declaración CE de conformidad del fabricante: www.festo.com/sp → Certificates. En caso de aplicarse limitaciones a la utilización de los equipos en zonas urbanas, comerciales e industriales, así como en pequeñas empresas, puede ser necesario adoptar medidas complementarias para reducir la emisión de interferencias.

Señal de entrada / elemento de medición		
Temperatura ambiente	[°C]	-25 ... +70

Salida, general							
Tipo de montaje	Enrasado			Sin enrasar			
Tamaño	M12	M18	M30	M12	M18	M30	
Precisión de repetición	[mm]	0,04	0,1	0,2	0,08	0,16	0,3

Salida conmutada							
Tipo de montaje	Enrasado			Sin enrasar			
Tamaño	M12	M18	M30	M12	M18	M30	
Salida conmutada	PNP			PNP			
	NPN			NPN			
Funcionamiento del elemento de maniobra	Contacto normalmente abierto			Contacto normalmente abierto			
Distancia de conmutación calculada	[mm]	2	5	10	4	8	15
Distancia de detección asegurada	[mm]	1,62	4,05	8,1	3,24	6,48	12,15
Factores de reducción							
Aluminio		0,35 ... 0,5			0,35 ... 0,5		
Acero inoxidable 18/8		0,6 ... 1,0			0,6 ... 1,0		
Cobre		0,25 ... 0,45			0,25 ... 0,45		
Latón		0,35 ... 0,5			0,35 ... 0,5		
Acero 37		1,0			1,0		
Histéresis	[mm]	0,06 ... 0,3	0,15 ... 0,75	0,3 ... 1,5	0,12 ... 0,6	0,24 ... 1,2	0,45 ... 2,25
Frecuencia máxima de maniobra DC	[Hz]	2 000	1 000	500	2 000	1 000	500
Corriente máxima de salida	[mA]	200			200		
Caída de tensión	[V]	≤ 1,8			≤ 1,8		

Detectores de proximidad SIEN-...-PA, inductivo

FESTO

Hoja de datos: distancia de detección normalizada, cuerpo de poliamida

Parte electrónica		
Tensión de funcionamiento	[V DC]	10 ... 30
Ondulación residual	[%]	10
Intensidad en reposo	[mA]	≤ 15
Protección contra polarización inversa		En todas las conexiones eléctricas

Electromecánica	
Conexión eléctrica	Cable trifilar
Longitud del cable	[m] 2,5
Material del recubrimiento del cable	PVC
Información sobre el material de la capa aislante	PVC

Parte mecánica						
Tamaño	M12		M18		M30	
Tipo de fijación	Con tuerca					
Tipo de montaje	Enrasado	Sin enrasar	Enrasado	Sin enrasar	Enrasado	Sin enrasar
Par de apriete	[Nm]	–	25	–	25	15
Peso del producto	[g]	41	38	124	141	48
Información sobre el material del cuerpo	PA reforzado					

Indicación / utilización	
Indicación de estado de conmutación	LED amarillo

Recepción/emisión						
Tipo de montaje	Enrasado			Sin enrasar		
Tamaño	M12	M18	M30	M12	M18	M30
Temperatura ambiente con cableado móvil	[°C] 0 ... +70			0 ... +70		
Clase de protección	IP65 IP67			IP67		
Clase de resistencia a la corrosión ¹⁾	4			4		

Detectores de proximidad SIEN-...-PA, inductivo

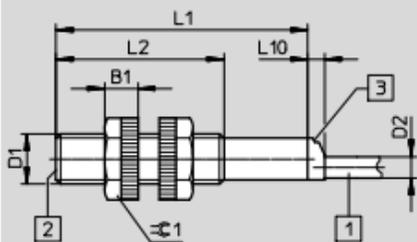
FESTO

Hoja de datos: distancia de detección normalizada, cuerpo de poliamida

Dimensiones

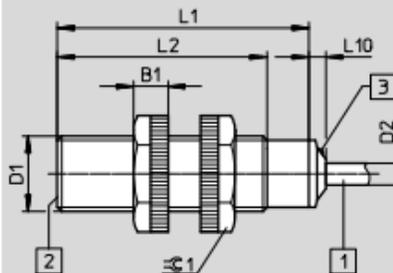
Datos CAD disponibles en www.festo.com

M12



- 1 Cable trifilar de 2,5 m
- 2 Superficie activa
- 3 Una indicación en amarillo del estado de conmutación

M18



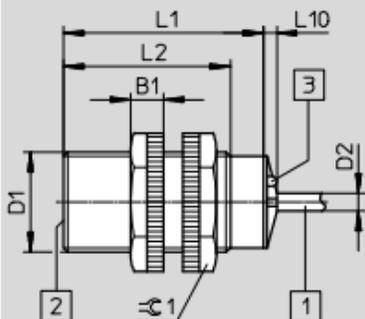
- 1 Cable trifilar de 2,5 m
- 2 Superficie activa
- 3 Una indicación en amarillo del estado de conmutación

Tipo	B1	D1	D2 ∅	L1	L2	L10	≈ 1
SIEN-M12-...-B-...-K-L-PA	8	M12x1	5	60	40	4	17
SIEN-M18-...-B-...-K-L-PA	8,2	M18x1	5,2	60	50	4	24

Dimensiones

Datos CAD disponibles en www.festo.com

M30



- 1 Cable trifilar de 2,5 m
- 2 Superficie activa
- 3 Una indicación en amarillo del estado de conmutación

Tipo	B1	D1	D2 ∅	L1	L2	L10	≈ 1
SIEN-M30-...-B-...-K-L-PA	10	M30x1,5	5	60	50	4	36

9.2.8 Anexo B.8 Sensor de proximidad de campo magnético Festo [23].

Sensores de proximidad SMT-8M-A, para ranura en T

FESTO

Hoja de datos: sensor magnetorresistivo

★ Programa básico

Referencias	Salida de conmutación	Conexión eléctrica			Longitud del cable [m]	Peso [g]	N° art.	Tipo
		Cable	Cable con conector tipo clavija, rosca giratoria					
			M8x1	M12x1				
	Contacto normalmente abierto							
	PNP	–	3 contactos	–	0,3	8,9	★ 574334	SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8D
	PNP	Trifilar	–	–	2,5	29,1	★ 574335	SMT-8M-A-PS-24V-E-2,5-OE
	PNP	Trifilar	–	–	5	57,1	★ 574336	SMT-8M-A-PS-24V-E-5,0-OE
	PNP	–	–	3 contactos	0,3	15,9	★ 574337	SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M12
	NPN	Trifilar	–	–	2,5	29,1	★ 574338	SMT-8M-A-NS-24V-E-2,5-OE
		–	3 contactos	–	0,3	8,9	★ 574339	SMT-8M-A-NS-24V-E-0,3-M8D
	Sin contacto	Bifilar	–	–	5	57,1	★ 574341	SMT-8M-A-ZS-24V-E-5,0-OE-Ex2
Contacto normalmente cerrado								
PNP	Trifilar	–	–	7,5	85,1	★ 574340	SMT-8M-A-PO-24V-E-7,5-OE	

Referencias	Salida de conmutación	Conexión eléctrica			Longitud del cable [m]	Peso [g]	N° art.	Tipo
		Cable	Cable con conector tipo clavija, rosca giratoria					
			M8x1	M12x1				
	Contacto normalmente abierto							
	PNP	–	3 contactos	–	0,3	8,9	574342	SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8D-Ex2
	Conmutable							
	PNP/NPN	–	3 contactos	–	0,3	9	574343	SMT-8M-A-PNS-24V-E-0,3-M8D
	PNP PS/PO	–	3 contactos	–	0,3	9	574344	SMT-8M-A-PSO-24V-E-0,3-M8D

Sensores de proximidad SMT-8M-A, para ranura en T

Referencias: conjunto de productos

FESTO

Tabla para pedidos				
Tamaño	8	Condiciones	Código	Entrada código
M	Referencia básica	574333		
	Función	Sensor de proximidad electrónico para ranura en T	SMT-8M	SMT-8M
			-	-
	Serie	Forma constructiva corta	A	A
			-	-
	Salida de conmutación	Contacto normalmente abierto trifilar PNP	PS	
		Contacto normalmente abierto trifilar NPN	NS	
		Contacto normalmente cerrado trifilar PNP	PO	
		Contacto normalmente abierto bifilar	ZS	
		PNP/NPN conmutable	PNS	
		PNP, contacto normalmente abierto / cerrado, conmutable	PSO	
			-	-
	Tensión de funcionamiento para el cálculo [V DC]	24	24V	24V
			-	-
	Características del cable	Cadena de arrastre + robot	E	E
			-	-
	Longitud del cable [m]	0,1 ... 30	...	
		(0,1 ... 5,0 en pasos de 0,1; 5,0 ... 30 en pasos de 0,5)		
			-	-
O	Denominación del cable	Con portaetiquetas		
		Sin portaetiquetas	N	
			-	-
M	Técnica de conexión	Extremo abierto	OE	
		M8, rosca giratoria	M8D	
		M8, anillo elástico	M8	
		M12, rosca giratoria	M12	
O	Certificado UE	II 3GD según directiva 2014/34/UE	1	-Ex2

9.2.9 Anexo B.9 Sensor óptico Festo [25].

Barrera óptica en horquilla SOOF

Cuadro general de productos

FESTO

Método de medición	Tamaño [mm]	Diámetro mínimo de la pieza [mm]	Frecuencia máxima de maniobra [Hz]	Salida conmutada	Tipo de luz	→ Página/ Internet	
Metal							
Barrera óptica en horquilla	SOOF-M-...-C30	Horquilla 30x35	0,5	4 000	PNP	Roja	5
					NPN		
	SOOF-M-...-C50	Horquilla 50x55	0,5	4 000	PNP		
					NPN		
	SOOF-M-...-C80	Horquilla 80x55	0,5	4 000	PNP		
					NPN		
	SOOF-M-...-C120	Horquilla 120x60	2,0	2 000	PNP		
					NPN		
Polímero							
Barrera óptica en horquilla	SOOF-P-...-C30	Horquilla 30x35	0,5	2 000	PNP	Roja	5
					NPN		
	SOOF-P-...-C50	Horquilla 50x55	0,3	2 000	PNP		
					NPN		
	SOOF-P-...-C80	Horquilla 80x55	0,5	2 000	PNP		
					NPN		
	SOOF-P-...-C120	Horquilla 120x60	0,4	2 000	PNP		
					NPN		

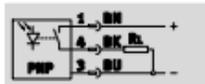
Barrera óptica en horquilla SOOF

FESTO

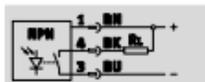
Hoja de datos

Función

PNP, conmutable



NPN, conmutable



- Transmisor y receptor en un mismo cuerpo
- Montaje muy sencillo
- Cuerpo robusto: Gran resistencia a impactos y vibraciones



SOOF-M



SOOF-P

Datos técnicos generales									
Ejecución	Metal				Polímero				
Ancho de horquilla [mm]	30	50	80	120	30	50	80	120	
Método de medición	Barrera óptica en horquilla				Barrera óptica en horquilla				
Principio de medición	Optoelectrónico								
Variable medida	Posición								
Tamaño [mm]	Horquilla 30x35	Horquilla 50x55	Horquilla 80x55	Horquilla 120x60	Horquilla 30x35	Horquilla 50x55	Horquilla 80x55	Horquilla 120x60	
Diámetro mínimo de la pieza a detectar [mm]	0,5	0,5	0,5	2,0	0,5	0,3	0,5	0,4	
Precisión de repetición [mm]	0,02	0,04	0,06	0,06	0,03				
Histéresis [mm]	≤ 0,25				≤ 0,25				
Tipo de luz	Roja				Roja				
Posibilidades de ajuste	Potenciómetro				Teach-In				
Indicación de estado de conmutación	LED amarillo				LED amarillo				
Indicación de dispuesto para la operación	-				LED verde				
Par de apriete máximo [Nm]	-				1 con rosca interior				
	-				4 con taladro pasante				
	-				3 con accesorios				
Par de apriete máximo [Nm]	-				0,3				
Conector									
Peso del producto [g]	75	110	130	260	20	30	35	40	

Datos eléctricos									
Ejecución	Metal				Polímero				
Ancho de horquilla [mm]	30	50	80	120	30	50	80	120	
Frecuencia máxima de maniobra [Hz]	4 000	4 000	4 000	2 000	2 000				
Tensión de funcionamiento [V DC]	10 ... 35				10 ... 30				
Ondulación residual [%]	±5				10				
Corriente máxima de salida [mA]	200				100				
Intensidad en reposo [mA]	30	32,5	30	45	30				
Conexión eléctrica	Conector tipo clavija M8x1, 3 contactos				Conector tipo clavija M8x1, 3 contactos				
Funcionamiento del elemento de maniobra	Conmutable				Conmutable				
Resistencia a cortocircuitos	Sincronizado				Sincronizado				
Protección contra polarización inversa	Para conexión de la tensión de funcionamiento				Para conexión de la tensión de funcionamiento				
Resistencia a sobretensión [kV]	0,8				0,8				
Tensión de aislamiento [V]	50				50				
Clase de protección	IP67				IP67				

9.2.10 Anexo B.10 Driver de motor a paso STP-DVR-80100[30]

SureStep® Stepping Systems

SureStep® Microstepping Drives Overview

SureStep Series – Microstepping Drives Features Comparison				
Drive Model	Standard Microstepping Drives		Advanced Microstepping Drives	
	STP-DRV-6575	STP-DRV-4035	STP-DRV-4850	STP-DRV-80100
Price	↔	↔	↔	↔
Drive Type	Microstepping drive with pulse input		Advanced microstepping drive with pulse or analog input, serial communication; includes programming/communication cable STP-232RJ11-CBL	
	enclosed	open-frame	enclosed	
Output Current	1.0–7.5 A/phase	0.4–3.5 A/phase	0.1–5 A/phase	0.1–10 A/phase
Input Voltage	nominal: 24–65 VDC range: 20–75 VDC	nominal: 12–32 VDC range: 12–42 VDC	nominal: 24–48 VDC range: 18–53 VDC	nominal: 24–80 VDC range: 18–88 VDC
Configuration Method	rotary dial, dip switches, jumpers	dip switches	SureStep Pro software (included)	
Amplifier Type	MOSFET, dual H-bridge, 4-quadrant	MOSFET, dual H-bridge, bipolar chopper	MOSFET, dual H-bridge, 4-quadrant	
Current Control	4-state PWM @ 20 kHz	4-state PWM 20 kHz	4-state PWM @ 20 kHz	4-state PWM @ 20 kHz
Microstep Resolution	dipswitch selectable	dipswitch selectable	software selectable	software selectable
	200 to 20,000 steps/rev	400 to 10,000 steps/rev	200 to 51200 steps/rev	
Modes of Operation	Step & Dir	YES	YES	YES
	CW/CCW	YES	n/a	YES
	A/B Quad	n/a	n/a	YES
	Oscillator	n/a	n/a	YES
Digital Input Signals	Serial Indexing	n/a	n/a	YES
	Step/Pulse	step & direction, CW/CCW step	step & direction	step & direction, CW/CCW step, A/B quadrature, run/stop & direction, jog CW/CCW, CW/CCW limits
	Direction	motor disable	motor disable	motor enable, alarm reset, speed select (oscillator mode)
Analog Input	n/a	n/a	speed control	
Output Signal	fault	n/a	fault, motion, tach	
Communication Interface	n/a	n/a	YES (programming/communication cable included)	
Non-volatile Memory Storage	n/a	n/a	YES	
Idle Current Reduction	YES	YES	YES	
Self Test	YES	YES	YES	
Additional Features	Load inertia (anti-resonance & damping feature to improve motor performance)	n/a	Anti-resonance (Electronic Damping) Auto setup Microstep emulation Torque ripple smoothing (allows for fine adjustment of phase in the range 0.25 to 1.5 rps) Waveform (command signal) smoothing	
	Step pulse noise filter			

Refer to Specifications Tables for detailed specifications



Company Information

Systems Overview

Programmable Controllers

Field I/O

Software

C-more & other HMI

Drives

Soft Starters

Motors & Gearbox

Steppers/Sensors

Motor Controls

Proximity Sensors

Photo Sensors

Limit Switches

Encoders

Current Sensors

Pressure Sensors

Temperature Sensors

Pushbuttons/Lights

Process

Relays/Timers

Comm.

Terminal Blocks & Wiring

Power

Circuit Protection

Enclosures

Tools

Pneumatics

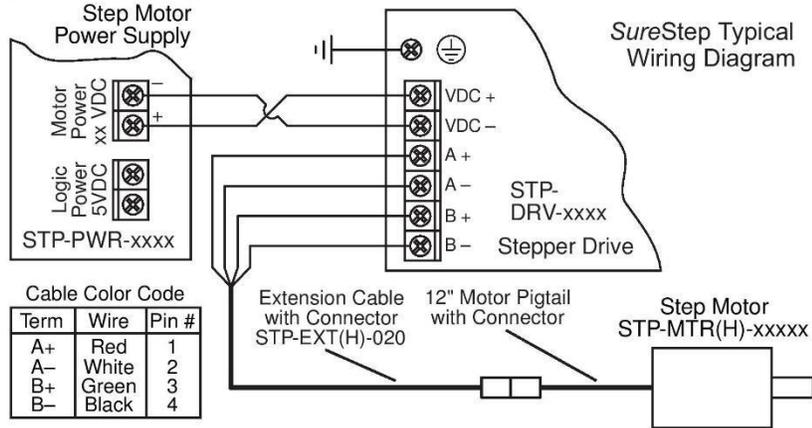
Safety

Appendix

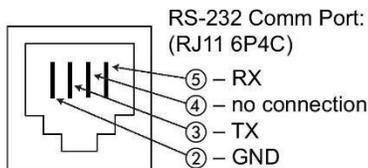
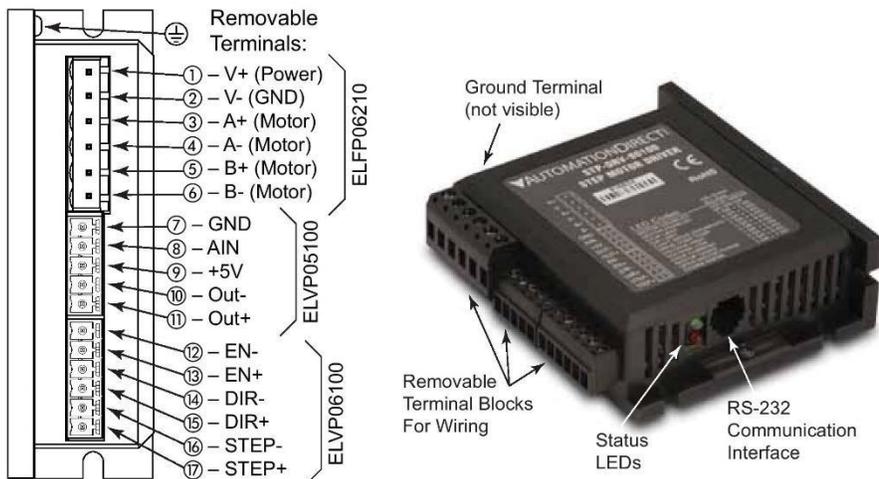
Product Index

Part # Index

Typical Wiring Diagram



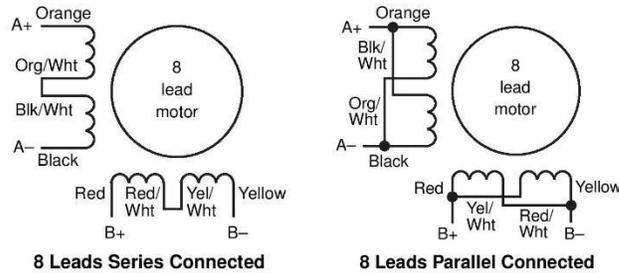
Connection Locations & Pin-out



External wiring is connected using three separate pluggable screw terminal connectors. The power connections share a six position connector, the digital inputs share another six position connector, and the analog input and digital output share a five position connector.

Eight lead motors

Eight lead motors can also be connected in two ways: series or parallel. Series operation gives you more torque at low speeds, but less torque at high speeds. When using series connection, the motor should be operated at 30% less than the rated current to prevent over heating. Parallel operation allows greater torque at high speeds. When using parallel connection, the current can be increased by 30% above rated current. Care should be taken in either case to assure the motor does not being overheated.

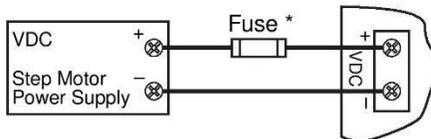


Step motor wire lead colors vary from one manufacturer to another.

Connecting the Power Supply

An STP-PWR-xxxx power supply from AutomationDirect is the best choice to power the step motor drive. If you need information about choosing a different power supply, refer to the section entitled “Choosing a Power Supply” in this chapter.

If your power supply does not have a fuse on the output or some kind of short circuit current limiting feature, you need a fuse between the drive and the power supply. Install the fuse on the + power supply lead.



* External fuse not req'd when using an STP-PWR-xxxx P/S; fuse is internal.

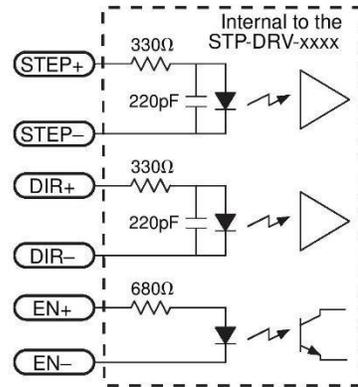


Warning: Connect the motor power supply "+" terminal to the drive "+ VDC" terminal, and connect the power supply "-" terminal to the drive "VDC-" terminal. Use wire no smaller than 18 gauge, and be careful not to reverse the wires. Reverse connection will destroy your drive and void the warranty.

Connecting the I/O

SureStep™ Drive Digital Inputs

The SureStep advanced drives include two high speed 5V digital inputs (STEP and DIR), and one standard speed 5-12V input (EN).



Drive Digital Input Circuit

The digital inputs are optically isolated to reduce electrical noise problems. There is no electrical connection between the control and power circuits within the drive, and input signal communication between the two circuits is achieved by infrared light. Externally, the drive's motor power and control circuits should be supplied from separate sources, such as from a step motor power supply with separate power and logic outputs.

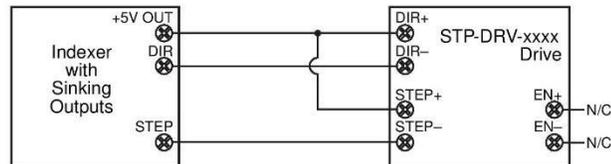
For bidirectional rotation, supply a source of step pulses to the drive at the STEP+ and STEP- terminals, and a directional signal at the DIR+ and DIR- terminals.

The ENABLE input allows the logic to turn off the current to the step motor by providing a signal to the EN+ and EN- terminals. The EN+ and EN- terminal can be left unconnected if the enable function is not required.

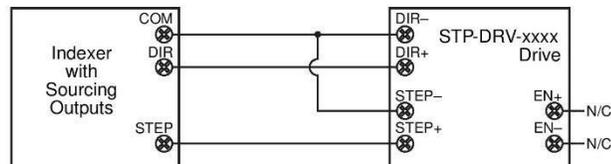
All logic inputs can be controlled by a DC output signal that is either sinking (NPN), sourcing (PNP), or differential.

Connecting STEP and DIR to 5V TTL Logic

Connecting to an Indexer with Sinking Outputs



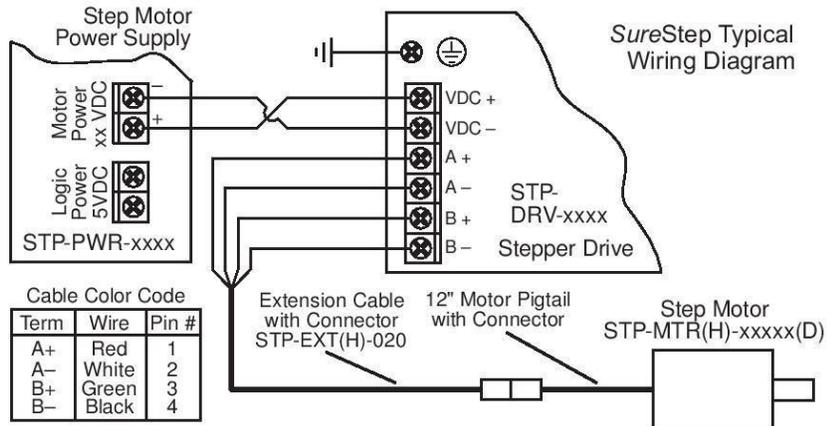
Connecting to an Indexer with Sourcing Outputs



9.2.11 Anexo B.11 Driver de motor a pasos STP-DVR-6575 [30]

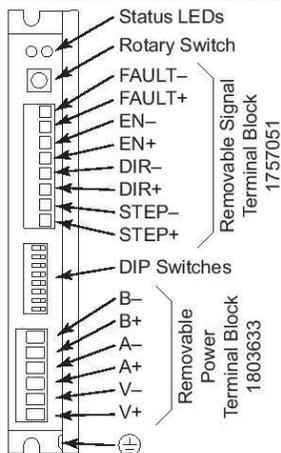
Chapter 2: SureStep™ STP-DRV-6575 Microstepping Drive

Typical Wiring Diagram



Wiring Connections and Configuration Switches

Terminals, Switches, Indicators



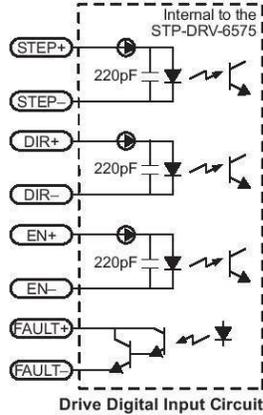
Terminal block part #s (shown) are Phoenix Contact (www.phoenixcontact.com)

External wiring is connected using two separate pluggable screw terminal connectors. The power connections share a six-position connector, and the digital inputs and output share an eight-position connector.

Connecting the I/O

SureStep™ Drive Digital Inputs and Outputs

The SureStep STP-DRV-6575 drive includes two high-speed 5–24 VDC digital inputs (STEP & DIR), one standard-speed 5–24 VDC digital input (EN), and one 30 VDC digital output (Fault).



The digital inputs are optically isolated to reduce electrical noise problems. There is no electrical connection between the control and power circuits within the drive, and input signal communication between the two circuits is achieved by infrared light. Externally, the drive's motor power and control circuits should be supplied from separate sources, such as from a step motor power supply with separate power and logic outputs.

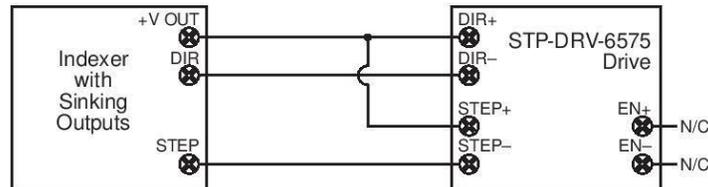
For bidirectional rotation, supply a source of step pulses to the drive at the STEP+ and STEP– terminals, and a directional signal at the DIR+ and DIR– terminals.

The ENABLE input allows the logic to turn off the current to the step motor by providing a signal to the EN+ and EN– terminals. The EN+ and EN– terminal can be left unconnected if the enable function is not required.

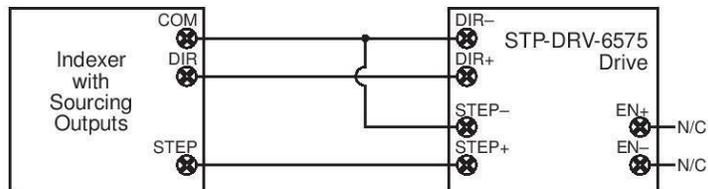
All logic inputs can be controlled by a DC output signal that is either sinking (NPN), sourcing (PNP), or differential.

Connecting the Input Signals – STEP and DIR

Connecting Inputs to an Indexer with Sinking Outputs



Connecting Inputs to an Indexer with Sourcing Outputs



9.2.12 Anexo B.12 Hoja de datos de Arduino Mega [20]

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

9.2.13 Anexo B.13 Hoja de datos de Arduino Uno [20]

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

9.2.14 Anexo B.14 Hoja de datos fuente de poder SE-1500 Series [31]



AC/DC Single Output Power Supply, 1500W
Mean Well SE-1500 Series



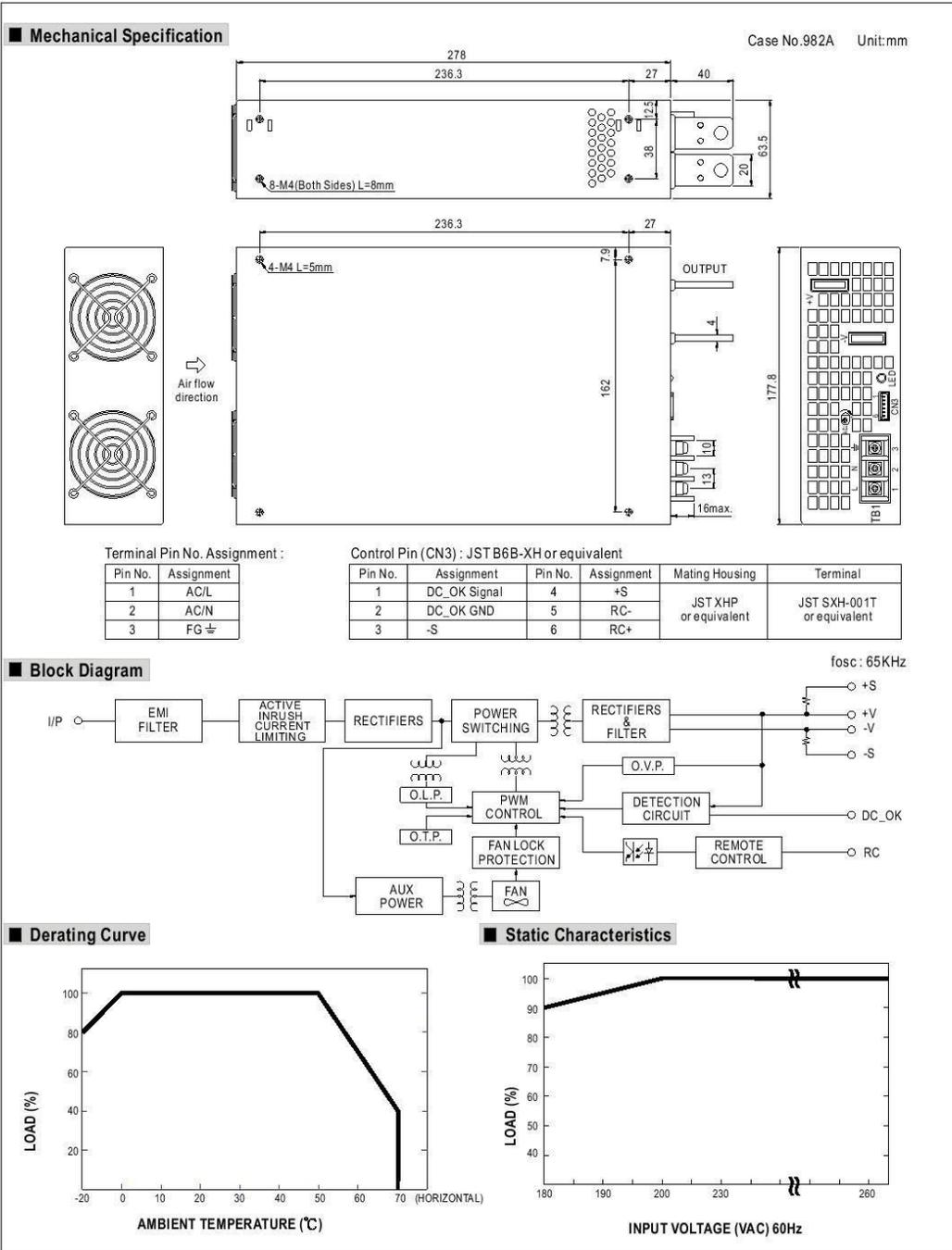
■ Features :

- AC input 180 ~ 264VAC
- AC input active surge current limiting
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- Forced air cooling by built-in DC ball bearing fan
- High power density 7.8w/inch³
- With DC OK signal output
- Built-in remote ON-OFF control
- Built-in remote sense function
- UL / CUL approved
- Low cost
- 2 years warranty



SPECIFICATION

MODEL	SE-1500-5	SE-1500-12	SE-1500-15	SE-1500-24	SE-1500-27	SE-1500-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	15V	24V	27V	48V
	RATED CURRENT	300A	125A	100A	62.5A	55.6A	31.3A
	CURRENT RANGE	0 ~ 300A	0 ~ 125A	0 ~ 100A	0 ~ 62.5A	0 ~ 55.6A	0 ~ 31.3A
	RATED POWER	1500W	1500W	1500W	1500W	1501.2W	1502.4W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	3.3 ~ 5.5V	10.8 ~ 13.5V	13.5 ~ 16.5V	21.6 ~ 26.4V	25 ~ 30V	43.2 ~ 56V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±2.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	150ms, 12ms / 230VAC at full load					
HOLD UP TIME (Typ.)	26ms / 230VAC at full load						
INPUT	VOLTAGE RANGE	180 ~ 264VAC		254 ~ 370VDC			
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz					
	EFFICIENCY (Typ.)	81%	85%	85%	87%	88%	89%
	AC CURRENT (Typ.)	17.5A / 230VAC					
	INRUSH CURRENT (Typ.)	60A / 230VAC					
	LEAKAGE CURRENT	<3.5mA / 240VAC					
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 125% rated output power Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover					
	OVER VOLTAGE	5.75 ~ 6.75V	14.5 ~ 16.2V	18 ~ 21V	27.6 ~ 32.4V	31 ~ 35V	57.6 ~ 67.2V
	OVER TEMPERATURE	95°C±5°C(5V), 85°C±5°C(12V,15V), 80°C±5°C(24V), 75°C±5°C(27V,48V) (TSW1) detect on heatsink of o/p diode Protection type : Shut down o/p voltage, recovers automatically after temperature goes down					
FUNCTION	DC_OK SIGNAL	PSU turn on: 3.3V ~ 5.6V					PUS turn off: 0 ~ 1V
	REMOTE CONTROL	RC+/RC-: 0 ~ 0.8V power on; 4 ~ 10V power off					
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-20 ~ +70°C (Refer to output load derating curve)					
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing					
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH					
	TEMP. COEFFICIENT	±0.05%/°C (0 ~ 50°C)					
SAFETY & EMC	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes					
	SAFETY STANDARDS	UL60950-1 approved					
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC I/P-FG:1.5KVAC O/P-FG:0.5KVAC					
OTHERS	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH					
	MTBF	134.5K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)					
NOTE	DIMENSION	278*177.8*63.5mm (L*W*H)					
	PACKING	3.3Kg, 4pcs/14.2Kg/1.14CUFT					
<p>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</p>							



Function Description of CN3

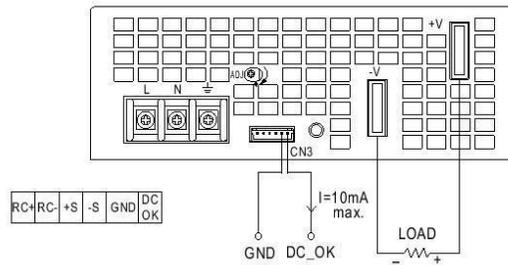
Pin No.	Function	Description
1	DC_OK	DC_OK signal is a TTL level signal, referenced to pin2(DC_OK GND). "High" when PSU turns on.
2	GND	This pin connects to the negative terminal (-V). Return for DC_OK signal output.
3	-S	Negative sensing. The -S signal should be connected to the negative terminal of the load. The -S and +S leads should be twisted in pair to minimize noise pick-up effect.
4	+S	Positive sensing. The +S signal should be connected to the positive terminal of the load. The +S and -S leads should be twisted in pair to minimize noise pick-up effect.
5	RC-	Return for RC+ signal input.
6	RC+	Turns the output on and off by electrical or dry contact between pin 6 (RC+) and pin 5 (RC-). 0~0.8V: Power ON, 4~10V: Power OFF.

Function Manual

1. DC_OK Signal

DC_OK Signal is a TTL level signal. "High" when PSU turns on.

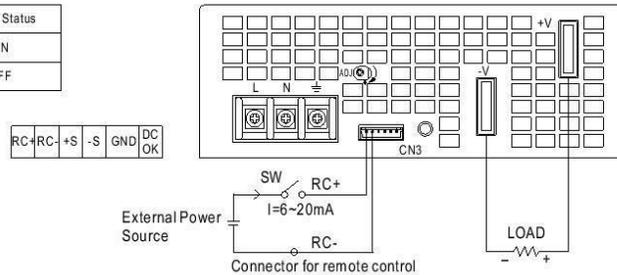
Between DC_OK(pin1) and GND(pin2)	Output Status
3.3 ~ 5.6V	ON
0 ~ 1V	OFF



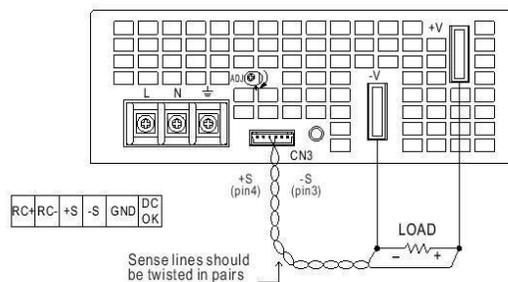
2. Remote Control

The PSU can be turned ON/OFF by using the "Remote Control" function.

Between RC+(pin6) and RC-(pin5)	Output Status
SW OFF (0 ~ 0.8V)	ON
SW ON (4 ~ 10V)	OFF



3. Remote Sense



9.2.15 Anexo B.15 Hoja de Datos de fuente de alimentación LEB100F-0524 [31]



AC/DC Dual Output Switching Power Supply with PFC Function, 100W
Cosel LEB100F Series



Recommended EMI/EMC Filter
NAC-06-472



High voltage pulse noise type: NAP series
Low leakage current type: NAM series
* The EMI/EMC Filter is recommended to connect with several devices.

- ① Series name
- ② Output wattage
- ③ Universal input
- ④ V1 Output voltage
- ⑤ V2 Output voltage
- ⑥ Optional *1 *8
- G : Low leakage current
- R : with Remote ON/OFF
- S : with Chassis
- SN : with Chassis & cover
- T : Vertical terminal block
- Y : with Potentiometer
- Z : with ZT

MODEL		LEB100F-0512	LEB100F-0324	LEB100F-0524	LEB100F-0530	LEB100F-0536
DC OUTPUT	V1	+5V 5A	+3.3V 5A	+5V 5A	+5V 5A	+5V 5A
	V2	+12V 5(Peak 10)A	+24V 4(Peak 7)A	+24V 4(Peak 7)A	+30V 3.2(Peak 5.6)A	+36V 2.7(Peak 4.7)A

SPECIFICATIONS

	MODEL	LEB100F-0512	LEB100F-0324	LEB100F-0524	LEB100F-0530	LEB100F-0536						
INPUT	VOLTAGE[V]	AC85 - 264 1 φ or DC 120 - 370										
	CURRENT[A]	ACIN 100V	1.2typ (Io=100%)	1.4typ (Io=100%)								
		ACIN 200V	0.6typ (Io=100%)	0.7typ (Io=100%)								
	FREQUENCY[Hz]	50/60 (47 - 63) or DC										
	EFFICIENCY[%]	ACIN 100V	74typ (Io=100%)	78typ (Io=100%)	78typ (Io=100%)	78typ (Io=100%)	78typ (Io=100%)					
		ACIN 200V	76typ (Io=100%)	80typ (Io=100%)	80typ (Io=100%)	80typ (Io=100%)	80typ (Io=100%)					
	POWER FACTOR	ACIN 100V	0.98typ	0.99typ								
ACIN 200V		0.93typ										
INRUSH CURRENT[A]	ACIN 100V	15typ (Io=100%) (At cold start) (Ta=25 °C)										
	ACIN 200V	30typ (Io=100%) (At cold start) (Ta=25 °C)										
LEAKAGE CURRENT[mA]		0.75max (60Hz, According to IEC60950 and DEN-AN)										
OUTPUT	VOLTAGE[V]	+5	+12	+3.3	+24	+5	+24	+5	+30	+5	+36	
	CURRENT[A]	0 - 5	0 - 5 (Peak 10)	0 - 5	0 - 4 (Peak 7)	0 - 5	0 - 4 (Peak 7)	0 - 5	0 - 32 (Peak 58)	0 - 5	0 - 27 (Peak 47)	
	TOTAL OUTPUT WATTAGE[W] *	85 (Peak 145)		100 (Peak 172)		100 (Peak 172)		100 (Peak 172)		100 (Peak 172)		
	LINE REGULATION[mV]	20max	48max	20max	96max	20max	96max	20max	120max	20max	144max	
	LOAD REGULATION[mV]	40max	100max	40max	150max	40max	150max	40max	180max	40max	180max	
	RIPPLE [mVp-p]	0 to +50°C *	80max	120max	80max	120max	80max	120max	80max	200max	80max	200max
		-10 - 0°C *	140max	160max	140max	160max	140max	160max	140max	240max	140max	240max
	RIPPLE NOISE [mVp-p]	0 to +50°C *	120max	150max	120max	150max	120max	150max	120max	300max	120max	300max
		-10 - 0°C *	160max	180max	160max	180max	160max	180max	160max	360max	160max	360max
	TEMPERATURE REGULATION [mV]	0 to +50°C	50max	120max	50max	240max	50max	240max	50max	300max	50max	300max
		-10 to +50°C	60max	150max	60max	290max	60max	290max	60max	350max	60max	350max
	DRIFT [mV]	*	20max	48max	20max	96max	20max	96max	20max	120max	20max	144max
	START-UP TIME [ms]	*	250max	500max	250max	500max	250max	500max	250max	500max	250max	500max
	HOLD-UP TIME [ms]	*	40typ	20typ	40typ	20typ	40typ	20typ	40typ	20typ	40typ	20typ
	OUTPUT VOLTAGE ADJUSTMENT RANGE [V]		4.5 - 5.5	Fixed	2.85 - 3.60	Fixed	4.5 - 5.5	Fixed	4.5 - 5.5	Fixed	4.5 - 5.5	Fixed
	OUTPUT VOLTAGE SETTING [V]		11.5 - 12.5		23.0 - 25.0		23.0 - 25.0		28.7 - 31.5		34.5 - 37.5	
	PROTECTION CIRCUIT AND OTHERS	OVERCURRENT PROTECTION	V1	Works over 105% of rating current and recovers automatically								
			V2	Works over 101% of peak current and recovers automatically								
		OVERVOLTAGE PROTECTION	V1	Works over 115% of rating, by zener diode clamping								
		V2	Works at 115 - 140% of rating									
	REMOTE ON/OFF	Option (Refer to Instruction Manual)										
ISOLATION	INPUT-OUTPUT - RC *	AC3.000V 1minute, Cutoff current = 10mA, DC500V 50MΩ min (At Room Temperature)										
	INPUT-FG	AC2.000V 1minute, Cutoff current = 10mA, DC500V 50MΩ min (At Room Temperature)										
	OUTPUT - RC-FG *	AC500V 1minute, Cutoff current = 100mA, DC500V 50MΩ min (At Room Temperature)										
	OUTPUT-OUTPUT (V1 - RC-V2) *	AC100V 1minute, Cutoff current = 100mA, DC100V 10MΩ min (At Room Temperature)										
ENVIRONMENT	OPERATING TEMP, HUMID, AND ALTITUDE	-10 to +70°C, 20 - 90%RH (Non condensing) (Refer to DERATING CURVE), 3,000m (10,000feet) max										
	STORAGE TEMP, HUMID, AND ALTITUDE	-20 to +75°C, 20 - 90%RH (Non condensing), 9,000m (30,000feet) max										
	VIBRATION	10 - 55Hz, 19.6m/s ² (2G), 3minutes period, 60minutes each along X, Y and Z axis										
SAFETY AND NOISE REGULATIONS	IMPACT	196.1m/s ² (20G), 11ms, once each X, Y and Z axis										
	AGENCY APPROVALS	UL60950-1, C-UL, EN60950-1, EN50178 Complies with DEN-AN and IEC60950-1 (At only AC input)										
OTHERS	CONDUCTED NOISE	Complies with FCC-B, CISPR22-B, EN55022-B, VCCI-B										
	HARMONIC ATTENUATOR	Complies with IEC61000-3-2										
	CASE SIZE/WEIGHT	75x35x222mm [2.95x1.38x8.74 inches] (WxHxD) /420g max (without chassis and cover)										
	COOLING METHOD	Convection										

*1 Specification is changed at option, refer to Instruction Manual 5.
 *2 Peak loading for 10sec. And Duty 35% max, refer to Instruction Manual 4. In detail.
 *3 Refer to Instruction Manual 2.2 in detail.
 *4 This is the value that measured on measuring board with capacitor of 22 μF within 150mm from output terminal. Measured by 20MHz oscilloscope or Ripple-Noise meter. (Equivalent to KEISOKU-GIKEN: RM101).
 *5 Drift is the change in DC output for an eight hour period after a half-hour warm-up at 25°C.

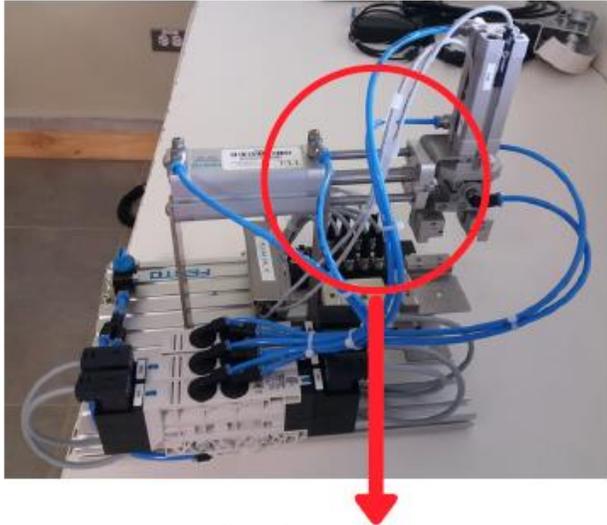
with the input voltage held constant at the rated input/output.
 *6 ACIN 100V, Io=100%
 *7 Applicable when remote control (optional) is added.
 *8 Please contact us about safety approvals for the model with option.
 * Series/Parallel operation is not possible.
 * Derating is required when operated with chassis and cover.
 * A sound may occur from power supply at peak loading.

9.2.16 Anexo B.16 Tabla de costos de implementación del proyecto

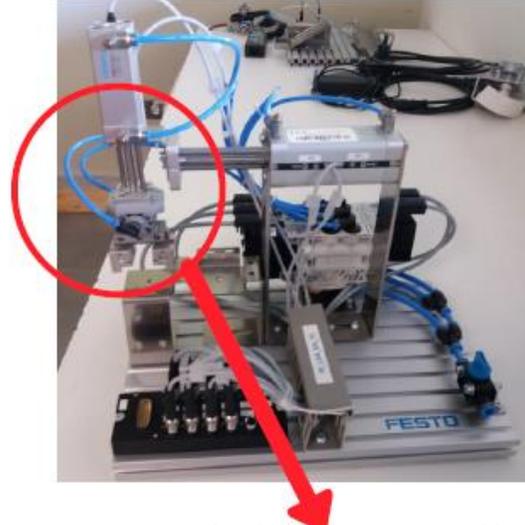
Componente	Cantidad	Costo unitario (dólares)	Costo total (dólares)
Arduino Uno R3	2	27.95	55.9
Arduino Mega	1	47.95	47.95
Módulos Festo	4	3000	12000
Estaño	10	0.5	5
LEDs	20	0.3	6
Transistores	20	0.6	12
Nylon	2	45	90
Fotoceldas	20	0.5	10
Resistencias	80	0.04	3.2
Ferrobord	6	1.5	9
Servomotores	8	8	64
Motores a pasos Nema 34	4	45	180
8 mm Linear ball bearing	3	6	18
8mm 50cm Linear Shaft Chrome Rod	4	8.5	34
5mm to 8mm - Aluminum Flex Shaft Coupler	2	7	14
L293D Motor Drive Shield Board	4	8	32
Acrilico 3 mm	1	5	5
2040 Aluminum Extrusion 50cm long	4	6	24
2020 T-Slot Aluminum Extrusion (500mm)	4	5	20
T8x500mm Lead Screw with Brass Nut	2	11	22
8mm Smooth Rod 50 cm long	4	5	20
Microswitch (SS-5GL) 3 pin	4	1.5	6
Plastic Cable Drag Chain 10x20 mm	2	8	16
Total			12587

9.2.17 Anexo B.17 Mantenimiento de pistones

En este laboratorio hay en total 20 pistones, los cuales se pueden clasificar en cinco tipos.

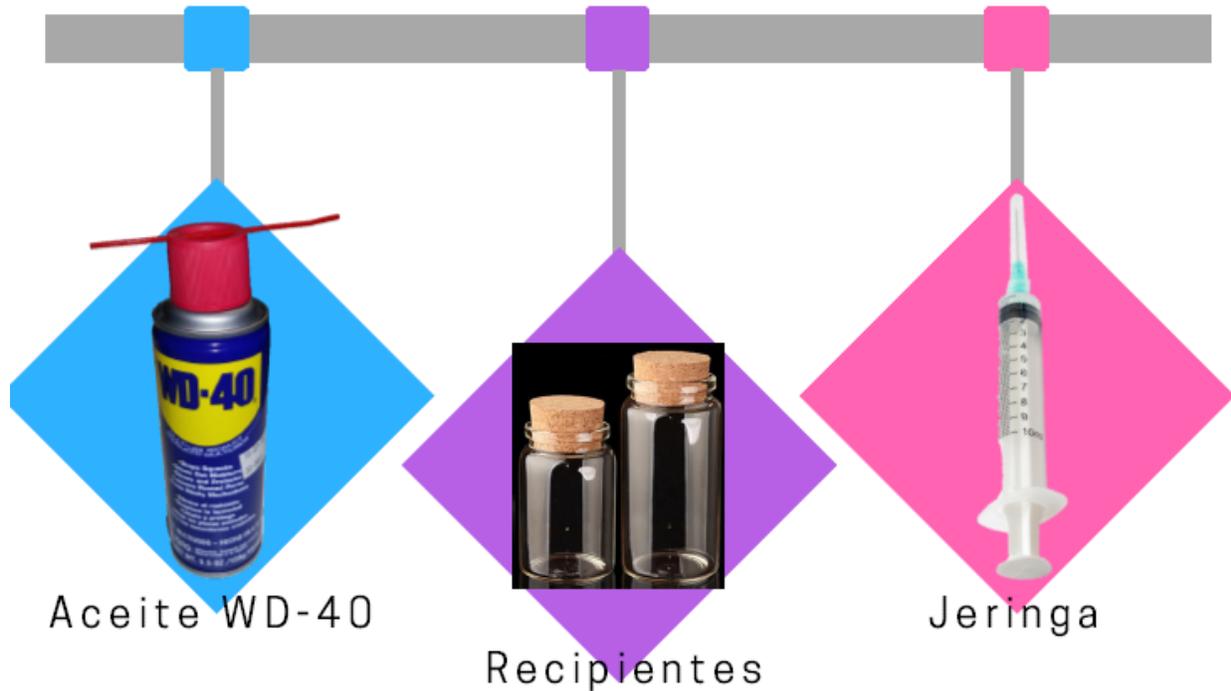


Piston 1



Piston 2

MATERIALES A UTILIZAR



Aceite WD-40

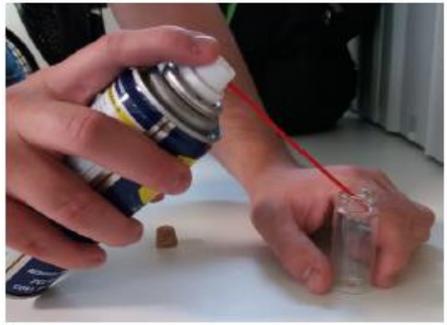
Recipientes

Jeringa

PASO #1: PREPARACIÓN DEL ACEITE

<p>1</p>  <p>Tome el aceite</p>	<p>2</p>  <p>Retire la tapa y la pajilla</p>	 <p>4</p>
<p>3</p>  <p>Tome la pajilla y colóquela en el orificio de la boquilla (Punto rojo, señalado en la imagen)</p>  <p>ejerza presión</p>		

PASO #2: VIERTA ACEITE EN EL RECIPIENTE

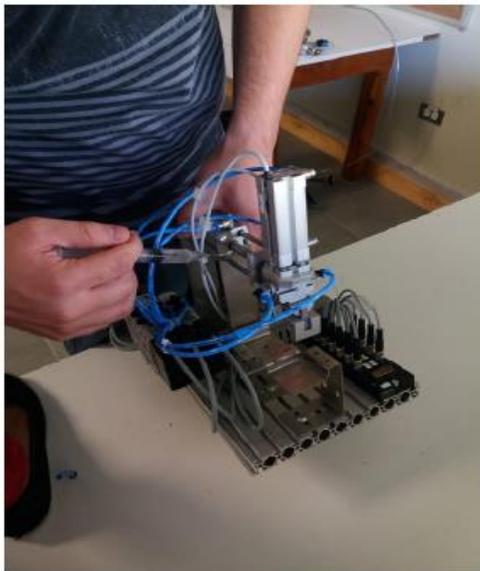
<p>1</p> <p>Busque la tasa que contiene los recipientes, tome un recipiente y retire la tapa</p>    	<p>2</p> <p>Tome el aceite WD-40 y con ayuda de la pajilla vierta aceite dentro del recipiente</p>  <p>Llene el recipiente, hasta la marca señalizada.</p>
--	--

PASO #3: JERINGA

<p>1 Busque la tasa que contiene la jeringa</p> 	<p>2 Tome una jeringa y retirele la tapa</p> 
<p>3 Inserte la aguja de la jeringa en el liquido del recipiente</p> 	<p>4 estire lentamente el émbolo y extraiga 4 ml</p> 

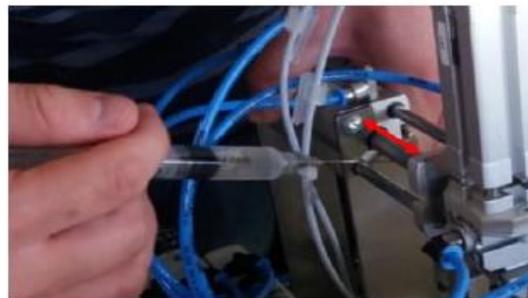
PASO #4: LUBRICACIÓN DE PISTONES

LUBRICACIÓN DEL PISTON 1



1- Girar aproximadamente 45 grados el modulo

2-Colocar la aguja de la jeringa sobre piston y empezar a lubricar, tal y como se muestra en la figura

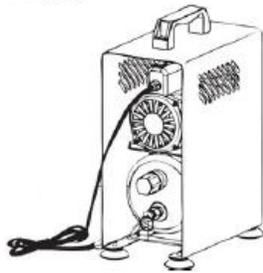
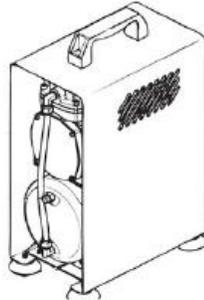


COMPRESOR

Vista lateral



Vista frontal



Vista trasera

PASO #1: CONEXIÓN DEL COMPRESOR

1

Conectar el cable del compresor en un toma corriente

2

Enciender el interruptor del compresor



MANÓMETRO



Vista frontal



Vista trasera

PASO #2: REGULACIÓN DEL MANÓMETRO

1

Jalar el regulador del manómetro



2

Girar el regulador del manómetro, hasta que este indique una presión de 4 bar



- 3** Empujar el regulador del manómetro,



PASO #3: VÁLVULA DE ALIVIO

- 1** Verificar que la válvula de alivio este cerrada.



- 2** Presionar el botón alivio, aproximadamente de 3 a 5 minutos



PASO #4: DESCONEXIÓN DEL COMPRESOR

- 1** Apagar el interruptor del compresor
- 2** Desconectar el cable del compresor del toma corriente

9.2.19 Anexo B.19 Manual de usuario para la celda mecatrónica

Manejo de la celda

Para la utilización de la celda mecatrónica de manera correcta se debe seguir una gama de pasos que serán citados a continuación:

1. Realizar el mantenimiento de los pistones descrito en el apéndice 9.2.17 anexo B.17.
2. Encender el compresor y realizar el proceso la purga descrito en el apéndice 9.2.18 anexo B.18.
3. Revisar las conexiones eléctricas, electrónicas, ethernet, USB y neumáticas antes de conectar la celda mecatrónica a su alimentación. Esto consiste en revisar si las conexiones de alimentación al 110 VAC, las conexiones a los microcontroladores, sensores y actuadores, los brazos robóticos y el robot cartesiano están debidamente conectados, según las configurables indicadas a lo largo del capítulo 5.
4. Oprimir el botón de reset del brazo robótico 1, comprobar si llega a su posición inicial.
5. Oprimir el botón de reset del brazo robótico 2, comprobar si llega a su posición inicial.
6. Oprimir el botón de reset del robot cartesiano, comprobar si llega a su posición inicial.
7. Colocar en funcionamiento el sistema tocando el botón de arranque, se debe probar el funcionamiento adecuado del botón de paro de emergencia.
8. Activar por computadora las bandas transportadoras y alimentar la entrada para poner a funcionar toda la celda.
9. Una vez finalizada las pruebas tocar el botón de apagado o el botón de paro de emergencia para apagar la celda.

Errores frecuentes en la manipulación de la celda y fallas

- Desconectar entradas y salidas de los servomotores al Arduino
- Desconectar entradas y salidas de los sensores de los almacenes al Arduino.
- Desconectar los motores a pasos a su debido controlador.
- Desconectar los actuadores al controlador Festo.
- No activar el botón de encendido.
- No desactivar el botón de apagado.
- No desactivar el botón de paro de emergencia.

- Daños en los cables que conectan todos los circuitos tanto de alimentación como de control.

Revisión de errores posibles

Se describe en los siguientes pasos como probar que parte de la celda está fallando.

- Se prueba si las luces de los almacenes se encienden cuando se colocan contenedores en los almacenes en caso de no encenderse, se debe revisar si es el LED dañado, el circuito no está debidamente conectado o que pueda haber daño en el circuito soldado.
- Si los actuadores no funcionan, se debe revisar que estén debidamente conectados, que su alimentación este enviando 24 V para su debido funcionamiento.
- Si los sensores no funcionan, se debe revisar que estén debidamente conectados, que su alimentación este enviando 24 V para su debido funcionamiento y que su conexión con el controlador esté conectada.
- Para los motores a pasos, se debe revisar la conexión con su alimentación, posteriormente se debe revisar su conexión con su controlador de pasos.
- Para los servomotores, se debe revisar la conexión con su alimentación posteriormente se debe revisar su conexión con el PWM, para determinar si la salida del Arduino es correcta.
- En caso del robot cartesiano, es importante realizar una revisión al desgaste de la cinta dentada, además de revisar que los tornillos de avance no presenten daños a lo largo de su hilo de avance, por último, que los tornillos de avance estén debidamente conectados a los motores a pasos, esto para evitar el deslizamiento del tornillo y evitar la pérdida de precisión en su desplazamiento.