Universidad Modelo
ESCUELA DE INGENIERÍA
Ingeniería Mecatrónica
Proyectos VII
7mo semestre

Prof.: Ing. Rodrigo Daniel Solis Ortega

PC5. Implementación y Validación

PRESENTADO POR:

Carrillo Pérez Evelyn Valeria

Estrada Hoy Hugo Dennis

Mérida, Yucatán a

13 de noviembre de 2024

Índice de Contenido

1. Resumen **4**
2. Implementación del Diseño **4**
2.1 Proceso de Investigación y Rediseño 4
2.2 Herramientas y Materiales Utilizados 5
2.3 Descripción del Sistema Final 5
3. Validación del Prototipo **5**
3.1 Metodología de Validación 5
3.2 Resultados de las Pruebas de Validación 6
3.3 Análisis de Resultados y Cumplimiento de Especificaciones: 6
4. Ajustes y Mejoras Realizadas **7**
4.1 Cambios Implementados Durante la Validación: 7
5. Conclusiones y Siguientes Pasos **10**
5.1 Conclusiones de la Implementación y Validación 10
5.2 Recomendaciones para Futuras Etapas 10
6. Anexos **11**
7. Referencias **12**

Índice de Imágenes

Figura 1. Ensamble con actuadores lineales..... 5
Figura 2. Almacén con guia soporte en el eje X.....7
Figura 3. Aproximación al guia soporte.....7
Figura 4. Sensor detector de objetos en el almacén..... 8

Índice de Tablas

Tabla 1. Cotización de elementos PC4 actualizada.....8
Tabla 2. Cotizaciones de nuevos componentes.....9

1. Resumen

Este proyecto se enfoca en el rediseño y automatización del almacén matricial del Laboratorio de Automatización de la Universidad Modelo. En una primera fase, se definieron objetivos como reducir el tamaño del almacén, mejorar su movilidad e integrarlo con un brazo robótico, además de automatizar la gestión de inventarios mediante una interfaz educativa. La propuesta final, desarrollada en colaboración con docentes, es modular, accesible y adaptada para el entorno universitario.

Los objetivos de esta fase de implementación y validación originalmente consistían en la finalización de la manufactura de la estructura o un gran avance de la misma, el diseño 3D finalizado del proyecto, contemplando el sistema de gravedad cero, una lista de materiales a conseguir cotizados y tiempos de entrega de cada uno. Sin embargo, durante el proceso de selección de los tornillos sin fin, el equipo se asesoró con un profesor para la cotización y obtención de los mismos y se llegó a la conclusión de que las varillas seleccionadas no eran las adecuadas para el proyecto, por lo que se optó por cotizar otras, Ball Screws para CNC son los tornillos sin fin más adecuados para el proceso, sin embargo cotizaciones iniciales arrojaron precios variados desde ~$1300mxn hasta ~$8000mxn, más el sistema de gravedad cero, acoples, bandas y otros diversos tipos de mecanismos necesarios, además de Servos y ServoDrives, se evidenció el hecho de que esta opción no era viable.

En base a esta decisión, se optó por encontrar alternativas de diseño para el movimiento de los ejes, preferiblemente eliminando el sistema de gravedad cero y reduciendo costos en Servomotores y ServoDrives.

2. Implementación del Diseño

Para esta etapa, se realizaron cambios al diseño que incluyen los actuadores de los ejes, por lo parte de la fabricación pensada en realizarse para este semestre fue retrasada.

2.1 Proceso de Investigación y Rediseño

Se llevó a cabo una investigación profunda sobre los actuadores lineales de bolas para su implementación al sistema, el cambio de diseño fue debido a “accesibilidad”, practicidad y requerimiento para poder lograr el desarrollo de este sistema. Tanto el eje X como el Y fueron reemplazados por actuadores lineales con sus respectivas dimensiones (las más cercanas existentes). La elección de estos actuadores se focalizó en el rango de movimiento requerido, y el torque del servomotor.

Para el eje X se eligió el LEFS 25S6B-450-S2 B1 SMC con dimensiones de 500mm de largo, y una longitud de carrera de 450 mm.

Para el eje Y se eligió el LEFS 32S7A-750-S2 B1 SMC con dimensiones de 800 mm de largo, y una longitud de carrera de ~600 mm.

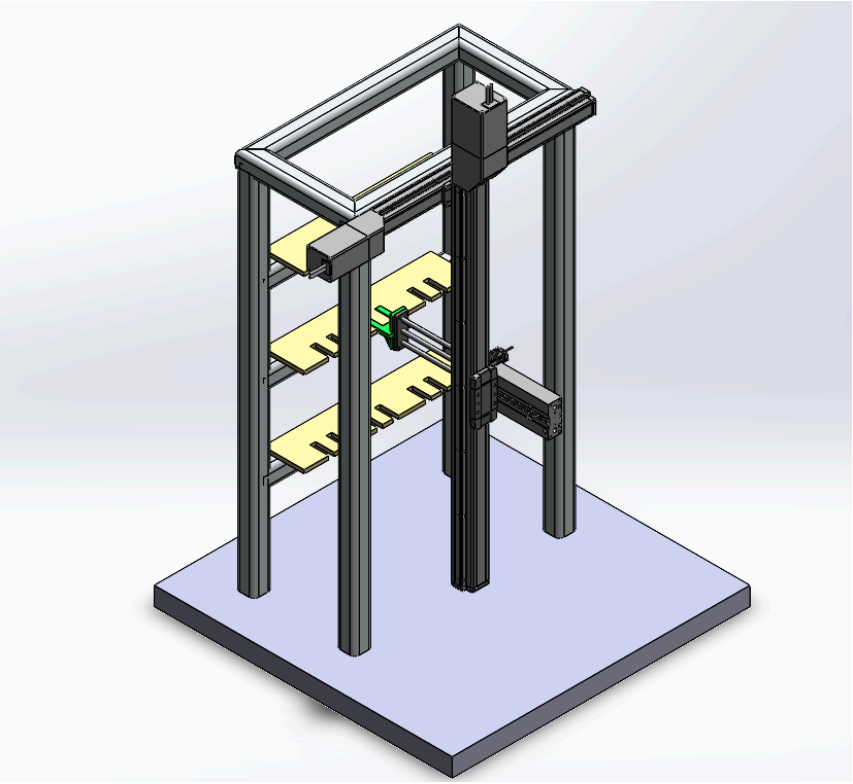


Figura 1. Ensamble con actuadores lineales

2.2 Herramientas y Materiales Utilizados

Para la realización del nuevo ensamble se utilizó el software SOLIDWORKS, los CADs de los actuadores fueron descargados de la misma página de SMC que proporciona los diseños de los actuadores una vez elegidas las características requeridas.

2.3 Descripción del Sistema Final

El principal motivo de los cambios realizados fue la accesibilidad económica, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, como estudiantes, estos ajustes también nos simplifican la manufactura y configuración del sistema. Inicialmente, se planeaba desarrollar un sistema de gravedad cero que requería un cilindro sin vástago para soportar la carga que el motor llevaría junto con un tornillo sin fin, y para el otro eje se desarrolla un sistema de rodamientos de presión.

3. Validación del Prototipo

3.1 Metodología de Validación

Los cambios realizados se presentaron al asesor para su evaluación, acompañados de una tabla detallada de precios. Esta presentación tuvo como objetivo justificar las modificaciones realizadas en el diseño del prototipo, destacando la viabilidad económica y técnica de las nuevas propuestas.

3.2 Resultados de las Pruebas de Validación

Si bien la respuesta recibida fue la que esperábamos, se sugirieron ciertos cambios en el diseño para mantener la seguridad en el sistemas (la tabla puede observarse en la sección *"4. Ajustes y mejoras realizadas"*).

3.2.1 Guia en el eje X

El primer cambio fue agregar un guía paralelo al eje X para ayudar a soportar la carga que este presenta, pues estaría sujetando la carga del actuador del eje Y (~4 kg), un cilindro de doble efecto y el objeto que transporte.

3.2.2 Sensores

Para la reducción de costes, se reubicaron y redujeron los sensores a utilizar, de tal manera que solo se cuente con un sensor fotoeléctrico localizado en el gripper, de esta manera, cuando al sistema se le indique dejar o recoger un objeto de un lugar en específico, antes de realizar la acción el sensor detectará si hay objeto o no y se procederá con la acción siguiente respectivamente.

3.3 Análisis de Resultados y Cumplimiento de Especificaciones:

Los resultados obtenidos tras las modificaciones indican que el prototipo cumple con la mayoría de las especificaciones iniciales. Los ajustes realizados no sólo incrementaron la eficiencia operativa del sistema, sino que también optimizaron su coste y mantuvieron la seguridad del diseño en niveles adecuados. Sin embargo, es necesario continuar con pruebas para garantizar un desempeño consistente bajo diferentes condiciones de operación.

4. Ajustes y Mejoras Realizadas

4.1 Cambios Implementados Durante la Validación:

4.1.1 Guia en el eje X

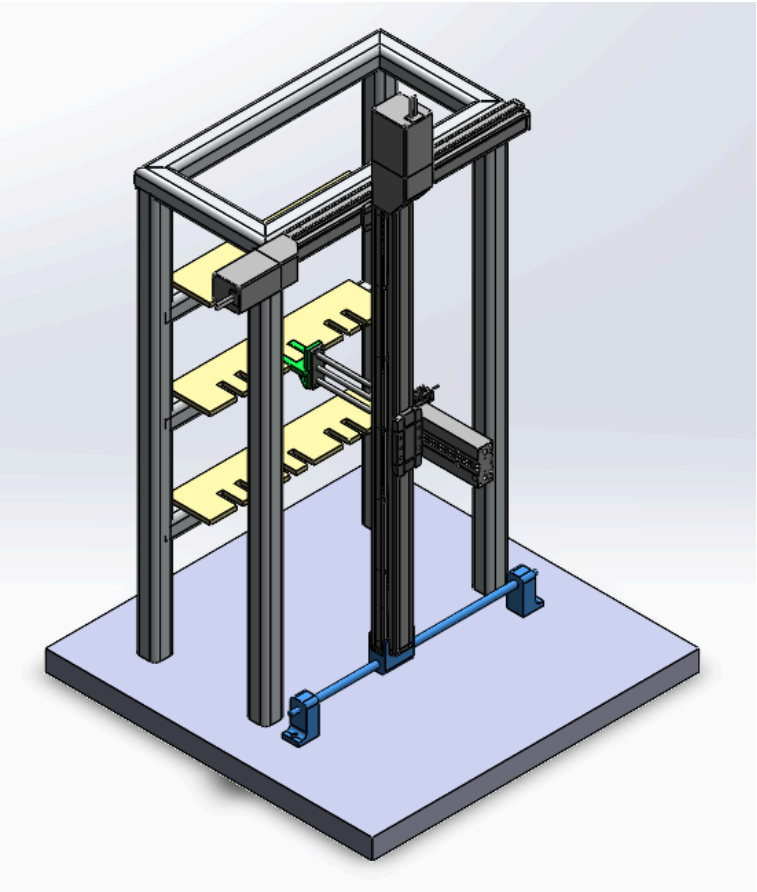


Figura 2. Almacén con guia soporte en el eje X

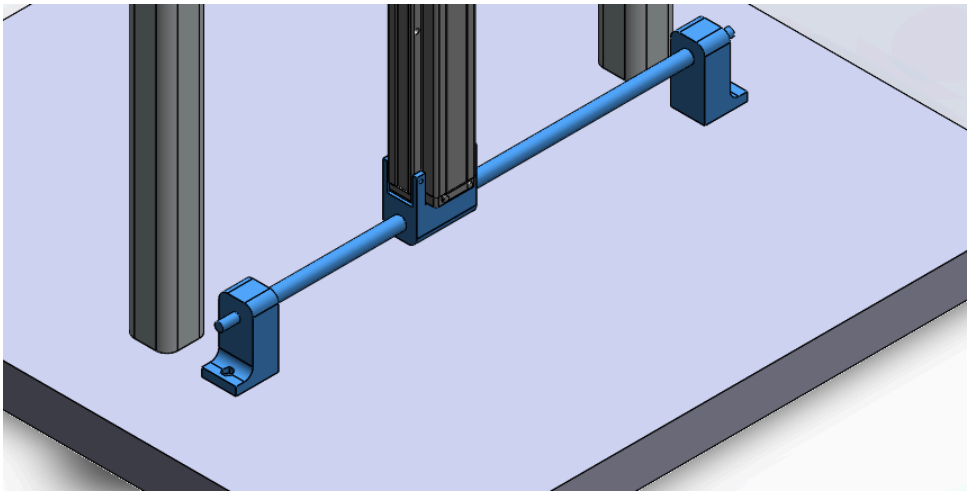


Figura 3. Aproximación al guia soporte

4.1.2 Sensor detector de objetos

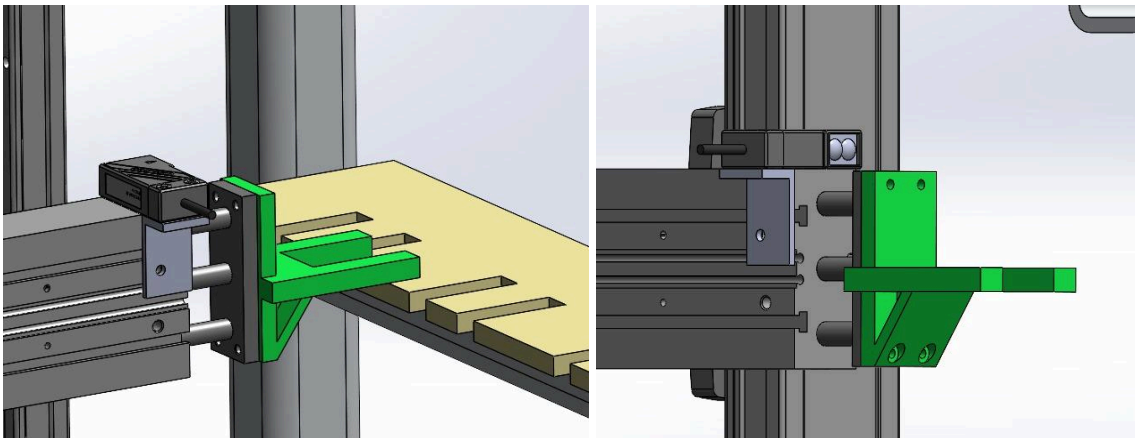


Figura 4. Sensor detector de objetos en el almacén

4.2 Análisis de Impacto de los Ajustes:

Inicialmente se contempló utilizar un ballscrew y sus partes de ensamblaje para CNC, se cotizaron dos tornillos de 1000 mm y uno de 600 mm, el precio final más envío acabó en aproximadamente 200USD.

Si se utiliza esta tecnología, se necesita contemplar el sistema de gravedad cero propuesto en el **PC4**, quedando alrededor de ~$12,600 mxn, esto sin contemplar el costo de bandas, diseño de engranajes y acoples y diversos otros sistemas mecánicos, la tabla de costos queda de la siguiente manera:

Nombre	Precio Unitario	Punto de venta cotizado
6SL3210-5HB10-1UF0 Siemens. SINAMICS S210 (ServoDrive)	$19,907.21 MXN	PLC Direct [2]
Servomotor 1FT2102-0AG10-0MA0	$11,386.51 MXN	Automation Warehouse [1]
Reed Switch 24V	$194.00 MXN	Amazon MX [6]
FESTO DGC-K-25-1000-PPV-A-GK (Actuador neumático de 1m de carrera sin vástago)	$8,560.27 MXN	Amazon MX [5]
Diversos BallScrews	~$4,096.82 MXN	LiMo [4]
TOTAL:	75,528.53 MXN*	*Sujeto a cambios debido a la elección de ServoDrive y ServoMotor.

Tabla 1. Cotización de elementos PC4 actualizada.

A esta cotización le faltaría contemplar los anteriormente mencionados engranajes, bandas, coples y otros sistemas mecánicos, resultando en un presupuesto exorbitantemente elevado para un proyecto de esta magnitud, por lo que se optó por cotizar actuadores eléctricos sin vástago, ya que estos incluyen sus propios motores y sus controladores son más sencillos de obtener, además, se prefirió cotizar a través de SMC directamente en lugar de utilizar actuadores de FESTO y Siemens, esto debido a su reducido costo en comparación con las marcas.

Por lo tanto, se cotizó lo siguiente:

LEFS 32 S7 A - 800 - S 2 B1 (Actuador vertical Opción 1)	$2,010.00 USD ($40,896.34 MXN)	SMC [9]
LEFS 32 S7 A - 750 - S 2 B1 (Actuador vertical Opción 2)	$1,980.00 USD* ($40,285.95 MXN)	SMC [10]
SMC LECSB1-S7 (Controlador para actuador vertical)	$ 21,543 MXN más IVA	SMC (Anexo 4)
LEFS 25 S6 B - 400 - S 2 B1 (Actuador horizontal Opción 1)	$1,695.00 USD ($34,486.60 MXN)	SMC [7]
LEFS 25 S6 B - 450 - S 2 B1 (Actuador horizontal Opción 2)	$1,955.00 USD ($39,776.58 MXN)	SMC [8]
SMC LECSB1-S5 (Controlador para actuador horizontal)	$ 19,734 MXN más IVA	SMC (Anexo 4)
MGPL20TN-150AZ-A90VS (Actuador neumático para gripper)	$342.25 USD ($6,963.02 MXN)	SMC [11]
TOTAL	$134,906.87 MXN*	**$89,980.47 CON NUEVOS CONTROLADORES**

Tabla 2. Cotizaciones de nuevos componentes

*Se seleccionó el componente más cercano, con una carrera de 700mm debido a la inhabilidad de encontrar el verdadero.

5. Conclusiones y Siguientes Pasos

5.1 Conclusiones de la Implementación y Validación

El proyecto alcanzó un diseño más sencillo de elaborar y funcional, cumpliendo la mayoría de las especificaciones iniciales. Se optimizó la eficiencia operativa mediante la integración de actuadores eléctricos y la simplificación del sistema, logrando una significativa reducción de costos. Aunque la fabricación se retrasó debido a ajustes en el diseño, se resolvieron desafíos técnicos como el soporte de carga adicional y la configuración de nuevos componentes. El prototipo cumple con los objetivos del proyecto, por su viabilidad técnica y económica, con oportunidades para futuras pruebas y mejoras.

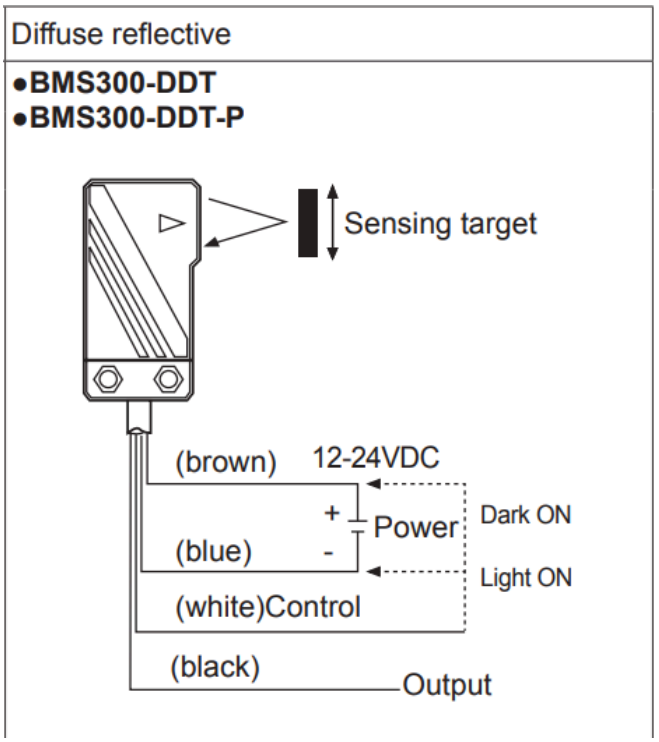
Por otro lado, el costo final de la estimación de las nuevas modificaciones fue mucho mayor a las pensadas y cotizadas previamente, por lo tanto se estima se necesita realizar una nueva cotización, utilizando actuadores neumáticos sin vástago y válvulas 5/3 para realizar un sistema similar al propuesto con actuadores eléctricos. Se calcula un aproximado de $15,000 mxn si se utilizan actuadores neumáticos sin vástago (basándose en los precios obtenidos para el actuador del sistema de gravedad 0), a eso se le tendría que añadir costos de mangueras, válvulas y diversos otros sistemas neumáticos.

5.2 Recomendaciones para Futuras Etapas

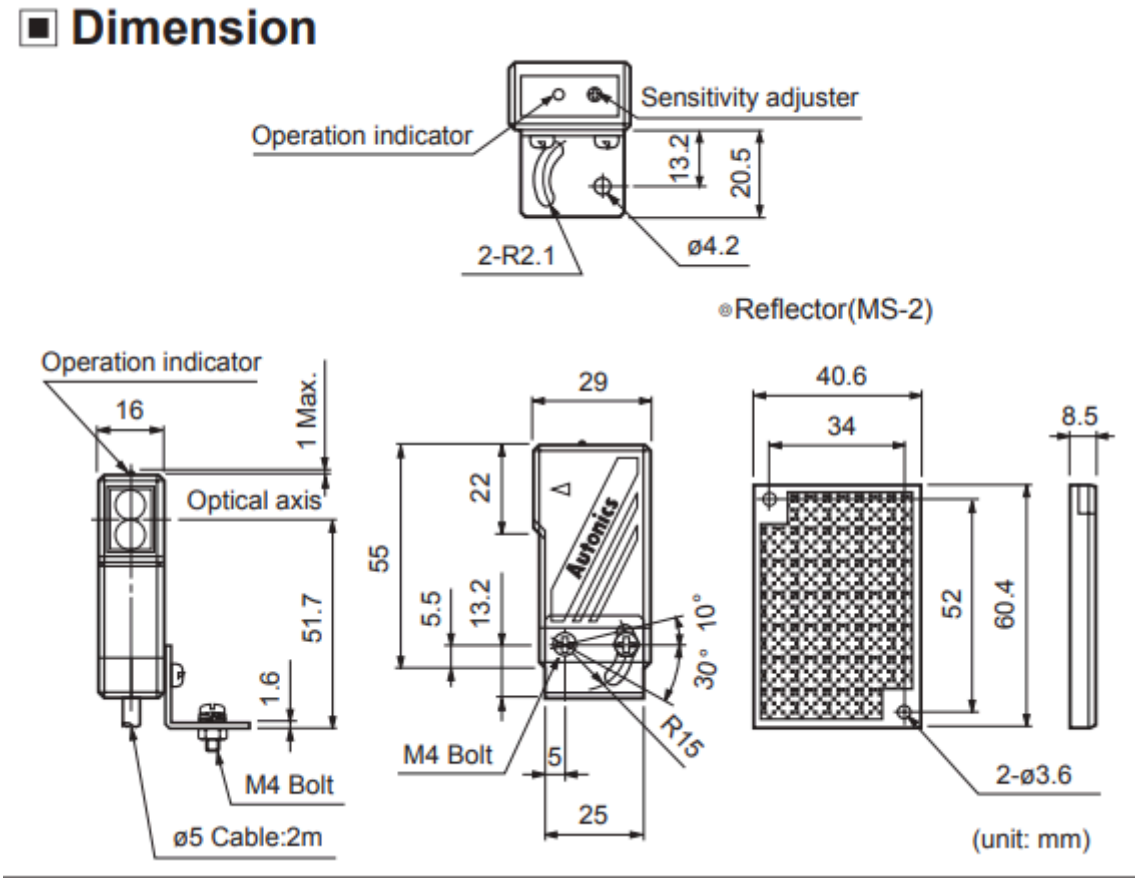
Se desarrollará una simulación de almacén como presentación de prototipo de software“Factory I/O” para entrega del ordinario.

Se procederá a pasar las cotizaciones a coordinación para una confirmación y gestionar los pedidos de los actuadores a utilizar.

6. Anexos



Anexo 1. Especificaciones del sensor BMS300-DDT-P



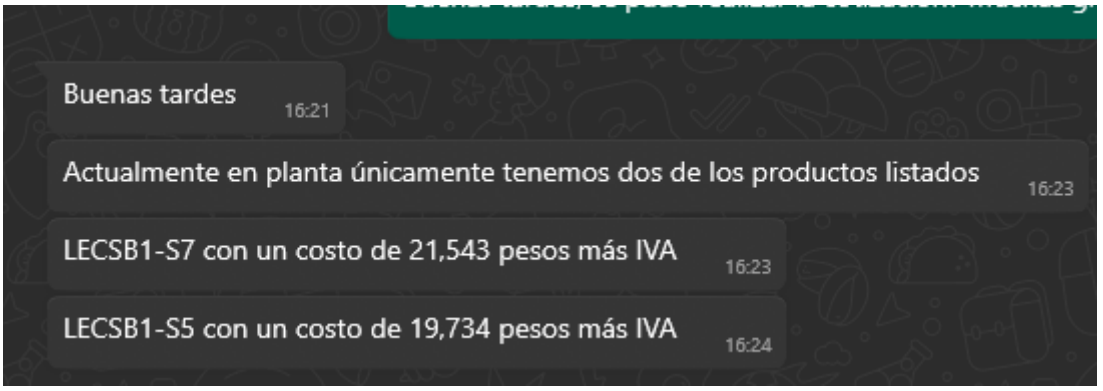
Anexo 2. Especificaciones del sensor BMS300-DDT-P

■ Specifications

Type		Through-beam	Retroreflective※1	Diffuse reflective
Model	NPN open collector output	**BMS5M-TDT**	**BMS2M-MDT**	**BMS300-DDT**
	PNP open collector output	**BMS5M-TDT-P**	**BMS2M-MDT-P**	**BMS300-DDT-P**
Sensing distance		5m	0.1 to 2m	300mm (100×100mm non-glossy white paper)
Sensing target		Opaque materials of min. ø10mm	Opaque materials of min. ø60mm	Translucent, opaque materials
Hysteresis		—		Max. 20% at sensing distance
Response time		Max. 1ms		
Power supply		12-24VDC⎓ ±10% (ripple P-P: max. 10%)		
Current consumption		Max. 50mA	Max. 45mA	
Light source		Infrared LED (940nm)		
Sensitivity adjustment		—	Sensitivity adjuster	
Operation mode		Selectable Light ON / Dark ON by control wire		
Control output		NPN or PNP open collector output • Load voltage: max. 30VDC⎓ • Load current: max. 200mA • Residual voltage - NPN: max. 1VDC⎓, PNP: max. 2.5VDC		
Protecting circuit		Reverse polarity protection, Short-circuit protection		
Indication		• Operation indicator: red LED • Power indicator: red LED (BMS5M-TDT1)		
Insulation resistance		Over 20MΩ (at 500VDC megger)		
Noise immunity		±240V the square wave noise (pulse width: 1μs) by the noise simulator		
Dielectric strength		1000VAC 50/60Hz for 1minute		
Vibration		1.5mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz in each of X, Y, Z directions for 2 hours		
Shock		500m/s² (50G) in X, Y, Z directions for 3 times		
Environ-ment	Ambient illumination	Sunlight: max. 11,000lx, incandescent lamp: max. 3,000lx (receiver illumination)		
	Ambient temperature	-10 to 60℃, storage : -25 to 70℃		
	Ambient humidity	35 to 85%RH, storage: 35 to 85%RH		
Material		Case: ABS, Sensing part: Acryl (Through-beam: PC)		
Cable		ø5mm, 4-wire, length: 2m (emitter of through-beam type: ø5mm, 2-wire, length: 2m) (AWG22, core diameter: 0.08mm, number of cores: 60, insulator diameter: ø1.25mm)		
Accessories	Individual	—	Reflector(MS-2), adjustment screwdriver	—
	Common	Mounting bracket, M4 bolt: 4, M4 nut: 4	Mounting bracket, M4 bolt: 2, M4 nut: 2, adjustment screwdriver	
Approval		CE		
Unit weight		Approx. 180g	Approx. 110g	Approx. 100g

※1: The sensing range and the sensing object of the retroreflective sensor are specified with using the MS-2 reflector. The sensing ranges of the retroreflective sensor in the above table are indentified as the possible setting ranges of the MS-2 reflector. The sensor can detect an object under 0.1m apart.
※The temperature or humidity mentioned in Environment indicates a non freezing or condensation environment.

Anexo 3. Especificaciones del sensor BMS300-DDT-P



Anexo 4. “Cotización” con SMC de diversos actuadores

7. Referencias

[1] *1FK2102-0AG10-1SA0 Siemens. (n.d.). Automation-Warehouse.com.*

https://automation-warehouse.com/products/1fk2102-0ag10-1sa0?currency=USD&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Google%20Shopping&stkn=97f825ced3d0

[2] *6SL3210-5HB10-1UF0 Siemens. (n.d.). PLC Direct.*

https://plc-direct.com/products/6sl3210-5hb10-1uf0

[3] *BMS300-DDT-P Side Sensing. Autonics.com*

https://www.autonics.com/glb/model/BMS300-DDT-P

[4] *CNC Ball Screw Assembly parts | Ball screw CNC Router | 12mm Ball Screw | LIMO.* (n.d.). LiMo. https://limobearing.com/ball-screw-assembly-parts

[5] *FESTO DGC-K-25-1000-PPV-A-GK 1312501 Unidad lineal : Amazon.com.mx: Industria, Empresas y Ciencia. (n.d.).* https://www.amazon.com.mx/FESTO-DGC-K-25-1000-PPV-A-GK-1312501-Unidad-lineal/dp/B0DDT1TKQC?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=FJ5PNMJVIEWI&dib=eyJ2IjoiMSJ9.ZlanVYBwzf3NimFuz92rqGj9Hr4UodgSK8z7blS0LaZ6e4MrDhycw9rch9JkdIYITlUp6l5CKMKiqQ6vYoO2zA.NGSYf56Yy27dvt-sZ2V8RqB5CBX3GkjwL-ow6isFTEQ&dib_tag=se&keywords=DGC-K-25-1000-PPV-A-GK&qid=1731044079&sprefix=dgc-k-25-1000-ppv-a-gk%2Caps%2C153&sr=8-1&ufe=app_do%3Aamzn1.fos.de93fa6a-174c-4df7-be7c-5bc8e9c5a71b-

[6] *Sensor magnético Reed Switch para Cilindro CS1-U Cilindro neumático de aire magnético Interruptor magnético Reed Sensor DC AC 5V- 240V: Amazon.com.mx: Industria, Empresas y Ciencia. (n.d.).* https://www.amazon.com.mx/Sensor-magn%C3%A9tico-Cilindro-neum%C3%A1tico-Interruptor/dp/B07Q74XRVZ?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=2UV45ZEOFFCC0&dib=eyJ2IjoiMSJ9.f1iTWi7MY7pSgfJHu7aJhmVQlel7zZYaBoO6Hfyb2VTheEDEVho3VNhS6LkzVYZKBCotv19ob6ltppgboaGuSUggUPwoLnwL3otrealE0pymzwslzWxWudmPyFuRaPbAmVe7lgBbjh50mcrcmjuv2ZaDFHXKlVU1NWO2pC4jXfA0xZFT32mc42MSBye83vyLu9mFLB0SJHygH0qcZIuPd-5NpL2dVny18gsYFgPsYdnfz47aOrXZZUcBpQ9p9IHtd5unBPry_2IABS35Z4QmPXzMqptLu3N8gfHSlemeQ1s.zyfLWaJkjOzegGIM0CutisXCZ7iBD0DKfYQfsqT-DwI&dib_tag=se&keywords=24V+reed+switch&qid=1731043985&sprefix=24v+reed+switc%2Caps%2C182&sr=8-8&ufe=app_do%3Aamzn1.fos.de93fa6a-174c-4df7-be7c-5bc8e9c5a71b

[7] *SMC LEFS25S6A-400-S2 ball screw drive actuator, ELECTRIC ACT. (n.d.). SMCpneumatics.com.* https://www.smcpneumatics.com/LEFS25S6A-400-S2.html

[8] *SMC LEFS25S6A-450B-S2 ball screw drive slider actuator, ELEC. (n.d.). SMCpneumatics.com.* https://www.smcpneumatics.com/LEFS25S6A-450B-S2.html

[9] *SMC LEFS32S7A-700 25mm le electric actuator, ELECTRIC ACTUATOR. (n.d.). SMCpneumatics.com.* https://www.smcpneumatics.com/LEFS32S7A-700.html

[10] *SMC LEFS32S7A-800 electric actuator, ELECTRIC ACTUATOR-LEFS3. (n.d.). SMCpneumatics.com.* https://www.smcpneumatics.com/LEFS32S7A-800.html

[11] *SMC MGPL20TN-150Z 20mm mgp ball bearing, MGP COMPACT GUIDE C. (n.d.). SMCpneumatics.com.* https://www.smcpneumatics.com/MGPL20TN-150Z.html