

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Electromecánica



**Automatización de la línea de producción del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” de Flextronics International LTD.**

Informe de práctica de especialidad para optar por el título de  
Ingeniero en Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura.

José Daniel Sánchez González

Cartago, Junio 2019



**Carrera evaluada y acreditada por:**

Canadiar: Engineering Accreditation Board

Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 5 Junio de 2019

Señores  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo José Daniel Sánchez González

carne No. 2013032556,  si autorizo  no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico (SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado de Licenciatura en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial

presentado en la fecha 5 de Junio de 2019, con el título

Automatización de la línea de producción del elemento "Lámpara de Proyección A2705-C-Series" de Flextronics International LTD

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante: 

Correo electrónico: josedsanchez95@gmail.com

Cédula No.: 1-1600-0119

## **Información del estudiante y de la empresa**

Nombre: José Daniel Sánchez González

Cédula o No. Pasaporte: 1-1600-0119

Carné ITCR: 2013032556

Dirección de su residencia en época lectiva: 200 m norte de la esquina noroeste de la plaza de deportes de El Tejar, El Guarco, Cartago, Costa Rica.

Dirección de su residencia en época no lectiva: 200 m norte de la esquina noroeste de la plaza de deportes de El Tejar, El Guarco, Cartago, Costa Rica.

Teléfono en época lectiva: 8915 5581

Teléfono época no lectiva: 8915 5581

Email: josedsanchez95@gmail.com

Fax: -

### **Información del proyecto**

Nombre del Proyecto: Automatización de la línea de producción del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” de Flextronics International LTD

Profesor Asesor: Luis Antonio Gómez Gutiérrez

Horario de trabajo del estudiante: Lunes a Jueves de 7:00 am a 5 pm, Viernes de 7:00 am a 3 pm.

### **Información de la empresa**

Nombre: Flextronics International LTD

Zona: Alajuela, Costa Rica.

Dirección: Parque Industrial SARET, Edificio B6, Rio Segundo, Alajuela, Costa Rica.

Teléfono: 2437 5400

Fax: -

Apartado: 34-4002

Actividad Principal: Diseño, desarrollo y manufactura de tecnología de iluminación interior y textil de la industria automotriz.

## Dedicatoria

*A mi madre Irene y a mi padre José Francisco, que son un ejemplo para mí.*

## Agradecimiento

*A Dios primero por permitirme concluir mis estudios universitarios y realizar este proyecto, a mi madre Irene, mi padre José Francisco y mi hermano David por el apoyo incondicional brindado día a día, a mi profesor guía Luis y a los colaboradores de Flex Costa Rica, SPC Ingeniería, Dansar Industries y KOPAR Latinoamérica por el soporte brindado.*

## Tabla de contenido

Capítulo 1. Introducción .....	14
1.1 Descripción del problema a resolver: .....	16
1.2 Planteamiento del problema .....	17
1.3 Objetivo general: .....	17
1.4 Objetivos específicos:.....	17
1.5 Metodología a seguir: .....	18
1.6 Justificación .....	19
1.7 Viabilidad: .....	22
1.8 Alcance:.....	22
1.9 Limitaciones.....	23
Capítulo 2. Flextronics International LTD .....	24
2.1 Reseña de la empresa.....	24
2.2 Historia .....	25
2.3 Organización .....	26
2.4 Mercado.....	28
2.5 Descripción del proceso productivo .....	30
Capítulo 3. Proceso productivo A2705 .....	33
3.1 Descripción de producto: “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” .....	33
3.2 Descripción y análisis “Proceso Productivo A2705” .....	35
Capítulo 4. Selección de Propuesta de Mejora .....	43
4.1 Duplicación de la línea productiva .....	43
4.2 Ampliación de la cantidad de turnos laborales diarios .....	45
4.3 Planeamiento de la producción .....	46
4.4 Automatización del proceso.....	47
Capítulo 5. Marco teórico .....	49
5.1 Automatización .....	49
5.2 Controlador Lógico Programable (PLC).....	50
5.3 Robot.....	52
5.4 Sensores .....	53
5.5 Banda transportadora .....	55
5.6 Sistema neumático .....	57
5.7 Sistema de visión .....	60

5.8 Lean manufacturing.....	62
5.9 Mantenimiento .....	63
Capítulo 6: Diseño electromecánico.....	65
6.1 Selección de componentes principales .....	67
6.1.1 Atornillador automático .....	67
6.1.2 Robot colaborativo .....	69
6.1.3 Sistema de visión .....	74
6.1.4 Herramienta COBOT.....	78
6.1.5 Banda transportadora de cadenas.....	81
6.2 Diseño mecánico .....	86
6.2.1 Banda transportadora de cadenas.....	87
6.2.2 Mesa de soporte .....	89
6.3 Diseño neumático .....	91
6.3.1 Suministro de aire .....	91
6.3.2 Generación de vacío .....	93
6.3.3 Selección de componentes neumáticos.....	98
6.3.4 Cálculo de tiempo para lograr la presión de vacío necesaria.....	100
6.4 Diagramas de conexiones .....	103
Capítulo 7. Programación .....	106
7.1 Descripción elementos de automatización .....	106
7.2 Propuesta de programación .....	111
Capítulo 8. Estudio técnico-financiero.....	114
8.1 Aumento de capacidad productiva instalada .....	114
8.2 Mejora en la rentabilidad .....	116
8.3 Gestión de la producción y del recurso humano.....	118
8.3.1 Gestión de la producción .....	118
8.3.2 Gestión del recurso humano .....	123
8.4 Ahorro económico .....	124
8.5 Evaluación financiera .....	127
8.5.1 Flujos netos de efectivo .....	127
8.5.2 Análisis de la inversión.....	132
Capítulo 9. Garantía de sostenibilidad operativa.....	134
Capítulo 10. Conclusiones y recomendaciones .....	137
10.1 Conclusiones .....	137
10.2 Recomendaciones.....	139
Bibliografía .....	141

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	Asignación de actividades y entregables por objetivo del proyecto. ....	19
<b>Tabla 2</b>	Aumento de la demanda por periodo.....	20
<b>Tabla 3</b>	Componentes de Lámpara de Proyección A2705-C-Series .....	33
<b>Tabla 4</b>	Subprocesos y capacidad instalada de cada sección de etapa Ensamble. .....	39
<b>Tabla 5</b>	Capacidad instalada de “Proceso Productivo A2705”.....	41
<b>Tabla 6</b>	Demanda de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” en una muestra de 12 semanas.....	42
<b>Tabla 7</b>	Demanda proyectada, capacidad productiva instalada y duplicada de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” para una muestra de 12 semanas. ....	44
<b>Tabla 8</b>	Turnos extras necesarios y turnos libres para cumplir con la demanda de una muestra de 12 semanas según el aumento de la misma. ....	47
<b>Tabla 9</b>	Características técnicas de COBOT AUBO Robotics i5. ....	71
<b>Tabla 10</b>	Datos para selección de sistema de visión. ....	76
<b>Tabla 11</b>	Elementos de sistema de visión seleccionado.....	77
<b>Tabla 12</b>	Masa de elementos.....	81
<b>Tabla 13</b>	Componentes de banda transportadora de cadena.....	82
<b>Tabla 14</b>	Características servomotor seleccionado. ....	84
<b>Tabla 15</b>	Requerimientos neumáticos de los elementos de Proyecto A2705 Sección A.....	93
<b>Tabla 16</b>	Peso de elementos a sujetar mediante vacío. ....	94
<b>Tabla 17</b>	Características de elementos para sujetar PCB mediante vacío .....	97
<b>Tabla 18</b>	Características de elementos para sujetar Atornillador Automático Visumatic VCM-3X.2 mediante vacío.....	98
<b>Tabla 19</b>	Dimensiones de conductos flexibles.....	99
<b>Tabla 20</b>	Componentes principales de sistema neumático.....	100
<b>Tabla 21</b>	Tiempo de respuesta para alcanzar el vacío tras accionamiento de válvula solenoide de cada aplicación. ....	103
<b>Tabla 22</b>	Contenido de panel de control.....	105



<b>Tabla 23</b>	Función de los elementos necesarios para automatización.....	108
<b>Tabla 24</b>	Marca y modelo de los elementos necesarios para automatización. ...	109
<b>Tabla 25</b>	Selección de Controlador Lógico Programable (PLC). ....	110
<b>Tabla 26</b>	Direccionamiento de entradas en PLC Panasonic.....	112
<b>Tabla 27</b>	Direccionamiento de salidas en PLC Panasonic. ....	112
<b>Tabla 28</b>	Direccionamiento IP de elementos .....	113
<b>Tabla 29</b>	Subprocesos y capacidad productiva propuesta de cada sección de etapa Ensamble de “Proceso Productivo A2705”.....	115
<b>Tabla 30</b>	Capacidad productiva propuesta de “Proceso Productivo A2705”.....	115
<b>Tabla 31</b>	Comparación de capacidad productiva, utilidad anual y aumento de utilidad anual debido a la implementación de propuesta de mejora.....	117
<b>Tabla 32</b>	Ahorro económico anual debido a la implementación de propuesta de mejora en función de la demanda. ....	125
<b>Tabla 33</b>	Ahorro económico anual debido a implementación de propuesta de mejora y gestión de la producción en función de la demanda.....	126
<b>Tabla 34</b>	Flujos netos de efectivo del proyecto.....	128
<b>Tabla 35</b>	Consumo de potencia de cada elemento de la propuesta de automatización. ....	130
<b>Tabla 36</b>	Tarifa T-MT de media tensión del ICE y costo de operación de consumo energético de la propuesta de automatización.....	131
<b>Tabla 37</b>	Evaluación de propuesta de automatización de línea productiva de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”. ....	133
<b>Tabla 38</b>	Plan de mantenimiento para la propuesta de automatización del “Proceso Productivo A2705”. ....	135
<b>Tabla 39</b>	Asignación de labores de mantenimiento. ....	136

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Historia de Flex Costa Rica.....	25
<b>Figura 2.</b> Organigrama de Flex Costa Rica. ....	27
<b>Figura 3.</b> Organigrama Departamento de Operaciones Costa Rica .....	28
<b>Figura 4.</b> Marcas cliente de Flex Costa Rica.....	30
<b>Figura 5.</b> Diagrama del proceso productivo de la empresa Flex Costa Rica. ....	31
<b>Figura 6.</b> Vista explosionada de componentes de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”. ....	34
<b>Figura 7.</b> Marcas cliente de automóviles “Proceso Productivo A2705”. ....	34
<b>Figura 8.</b> Tendencia de demanda de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”. ....	35
<b>Figura 9.</b> Descripción de “Proceso Productivo A2705”.....	37
<b>Figura 10.</b> Línea de producción de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”. .	38
<b>Figura 11.</b> Distribución de línea de producción de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”.....	39
<b>Figura 12.</b> Comparación de la demanda proyectada, capacidad productiva instalada y duplicada de una muestra de 12 semanas. ....	44
<b>Figura 13.</b> Controlador lógico programable (PLC).....	51
<b>Figura 14.</b> Diagrama de funciones (GRAFCET).....	52
<b>Figura 15.</b> Robot colaborativo. ....	53
<b>Figura 16.</b> Sensor capacitivo.....	54
<b>Figura 17.</b> Banda transportadora.....	56
<b>Figura 18.</b> Sistema neumático.....	58
<b>Figura 19.</b> Generador de vacío.....	59
<b>Figura 20.</b> Funcionamiento de generador de vacío.....	60
<b>Figura 21.</b> Cámara inteligente.....	61
<b>Figura 22.</b> Alimentador automático Visumatic Model 94. ....	68
<b>Figura 23.</b> Atornillador automático Visumatic VCM-3X.2.....	68
<b>Figura 24.</b> Robot colaborativo (COBOT) AUBO Robotics i5.....	70
<b>Figura 25.</b> Teach Pendant.....	73
<b>Figura 26.</b> Control Box. ....	74

<b>Figura 27.</b> Fixture con tarjetas PCB. ....	75
<b>Figura 28.</b> Sistema de visión COGNEX IS7600M-373-50. ....	77
<b>Figura 29.</b> Herramienta principal del robot colaborativo AUBO i5. ....	78
<b>Figura 30.</b> Herramienta sujeción de atornillador automático Visumatic VCM-3X.2. .....	79
<b>Figura 31.</b> Método de acople de robot colaborativo con atornillador automático.	80
<b>Figura 32.</b> Distancia de momento máximo generado en muñeca del robot colaborativo AUBO i5. ....	81
<b>Figura 33.</b> Fixture para manufactura de “Lámpara de Proyección A2705-C- Series”.....	83
<b>Figura 34.</b> Banda transportadora de cadenas. ....	83
<b>Figura 35.</b> Cortina de aire des-ionizante Exair Gen4.....	85
<b>Figura 36.</b> Cámara Datalogic.....	86
<b>Figura 37.</b> Banda transportadora.....	88
<b>Figura 38.</b> Mesa de soporte.....	90
<b>Figura 39.</b> Curvas de presión de vacío, consumo de aire y caudal de succión. ...	93
<b>Figura 40.</b> Fuerza de elevación teórica de ventosas. ....	95
<b>Figura 41.</b> Tipos de elevación mediante vacío. ....	96
<b>Figura 42.</b> Selección de generador de vacío en función de diámetro de ventosas y cantidad de ventosas. ....	97
<b>Figura 43.</b> Capacidad de volumen de conducto en función de longitud y diámetro. .....	101
<b>Figura 44.</b> Tiempo de respuesta para alcanzar el vacío tras accionamiento de válvula solenoide.....	102
<b>Figura 45.</b> Interfaz del programa Control FPWIN Pro 7.....	111
<b>Figura 46.</b> Turnos laborales extras en función de la demanda.....	119
<b>Figura 47.</b> Turnos laborales libres en función de la demanda.....	120
<b>Figura 48.</b> Turnos laborales disponibles tras gestión de la producción en función de la demanda. ....	121
<b>Figura 49.</b> Porcentaje de reducción de turnos laborales extras en función de la demanda, implementando gestión de la producción. ....	122
<b>Figura 50.</b> Organización y gestión integral del mantenimiento.....	140

## Resumen ejecutivo

Debido al éxito en el mercado automotriz del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”, diseñada y producida por Flex Costa Rica, se proyecta un aumento de 16% promedio anual de la demanda en los próximos 3 años. Este aumento de la demanda puede causar que la capacidad productiva de la línea no dé abasto para cubrir la demanda y exponer a la empresa a multas contractuales de hasta \$250.000 por cada minuto de paro de las líneas productivas de los clientes. Es por esto que surgió la necesidad de optimizar la línea productiva de este elemento.

Mediante un estudio técnico se identificó la mejor propuesta para optimizar el proceso productivo de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”, que fue la automatización del mismo. Se implementó una metodología basada en investigación bibliográfica, investigación de campo y diseño electromecánico. En este último se realizaron las especificaciones técnicas de la propuesta de mejora de automatización de la línea productiva por medio de planos mecánicos, diagramas de conexiones y la respectiva programación del sistema bajo la norma: Sistemas de Gestión del Sector Automotriz IATF 16949:2016. Además, se propuso un plan de mantenimiento para garantizar la sostenibilidad operativa de la automatización propuesta.

Finalmente, por medio de un segundo estudio técnico se logró mostrar la viabilidad del proyecto de automatización, debido al aumento de la producción proyectado, aumentando la proyección en 1828 unidades semanales y permitir la reducción de turnos laborales extras y gestión de la producción en 87% para 3 años proyectados y del recurso humano al mantener la línea con 3 operarios. En el ámbito financiero, a través de un estudio financiero, se demostró un aumento de las utilidades anuales de \$152.488,97 y un importante ahorro económico de \$50.208,19 para los 3 años proyectados. Asimismo, mediante los flujos netos de efectivo y métodos financieros y aproximados se obtuvo un valor actual neto (VAN) de \$1.215.170,85, una tasa interna de retorno (TIR) de 493%, un periodo de recuperación (PR) de 3,96 meses un índice de deseabilidad (ID) de 17,07 y un costo-beneficio (CB) de \$16,07 en un estudio de 3 años.

**Palabras clave:** industria automotriz, lean manufacturing, poka-yoke, automatización, robot colaborativo, banda transportadora de cadenas, sensor, sistema de visión, programación, mantenimiento.

## **Abstract**

Due to the success in the automotive market of the element "Projection Lamp A2705-C-Series", designed and produced by Flex Costa Rica, an average annual increase of 16% of the demand of the element is projected for the following 3 years. This increase in demand can cause the non-supply line possibility to cover the demand and expose the company to contractual fines of up to \$ 250,000 per minute of stoppage of the customers' production lines. That is why the need to optimize the production line of this element arose.

Through a technical study, the best proposal was identified to optimize the production process of the "Projection Lamp A2705-C-Series", which was the automation of the same. A methodology based on bibliographic research, field research and electromechanical design was implemented. Then, technical specifications of the proposal to improve the automation of the production line were made by mechanical plans, connection diagrams and the respective programming of the system under the norm: Automotive Sector Management Systems IATF 16949: 2016. In addition, a maintenance plan was proposed to guarantee the operational sustainability of the proposed automation.

Finally, through a second technical study it was possible to show the viability of the automation project, due to the increase of the projected production, increasing the projection by 1828 units weekly and allowing the reduction of extra work shifts and production management in 87% for 3 projected years and human resources to maintain the line with 3 workers. In the financial area, through a financial study, an increase in annual profits of \$ 152,488.97 and an important economic saving of \$ 50,208.19 were shown for the 3 projected years. Likewise, through net cash flows and financial and approximate methods, a net present value (NPV) of \$ 1,215,170.85 was obtained, an internal rate of return (IRR) of 493%, a recovery period (RP) of 3, 96 months a desirability index (DI) of 17,07 and a cost-benefit (CB) of \$ 16,07 in a 3-year study.

**Key words:** automotive industry, lean manufacturing, poka-yoke, automation, collaborative robot, sprocket conveyor belt, sensor, vision system, programming, maintenance.

## Capítulo 1. Introducción

En la actualidad, el desarrollo financiero, social, deportivo, médico y demás se han acelerado debido a los avances tecnológicos que se han dado. El ámbito tecnológico se ha desenvuelto de manera exponencial en los últimos años y las demás áreas han podido avanzar debido a él. El sector más beneficiado ha sido el sector financiero pues los avances tecnológicos han permitido el crecimiento de las industrias a nivel mundial al mejorar procesos, almacenamiento de datos, mejorar los controles de calidad, generar ambientes de trabajo más seguros, en fin, facilitar las labores del ser humano.

Una de las ramas tecnológicas que han promovido lo mencionado ha sido la automatización, pues ha permitido un paquete completo en la mayoría de casos de los aspectos recién mencionados en los que ha sido beneficiado el sector industrial. Ha desplazado a muchas personas de sus labores, permitiéndoles que puedan desarrollarse y especializarse en otras áreas necesarias para los negocios, la industria y la sociedad.

Actualmente, en Costa Rica, la automatización es un aspecto que han traído las empresas de inversión extranjera al país, debido a sus estándares de calidad, sin embargo, una gran cantidad de empresas nacionales han optado por la automatización al estudiar y comprobar sus beneficios. Cordero (2017) menciona: “La automatización podría impactar al 52% de las ocupaciones en el sector privado del país” basándose en un informe de la firma tecnológica McKinsey & Co. que estima el potencial de automatización por ocupación a nivel global y las estadísticas de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) de empleo por rama de actividad lo que hace de la automatización un tema importante a tratar.

La empresa Flextronics International LTD no se queda fuera del 52% de empresas de sector privado a las que afecta este fenómeno. Flex International LTD es una empresa transnacional de origen norteamericano fundada en Singapur, que opera actualmente en el país, dedicada al sector de la industria automotriz, específicamente en el área eléctrica y electrónica. Esta empresa actualmente se encuentra en una etapa de modernización de sus procesos en el país, pues en sus empresas por el resto del mundo la automatización es parte vital de éstos y es como esta empresa es conocida en el ámbito automotriz por la calidad de sus productos y eficiencia de procesos.

Por ello se realiza el presente proyecto “Automatización de la línea de producción del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” de Flextronics International LTD”, que consiste en una propuesta de optimización del proceso productivo de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” con el objetivo de ajustar su producción con el aumento promedio de 16% anual y cumplir con la normativa de Gestión y Aseguramiento de la Calidad ISO 9001:2015 y Sistemas de Gestión del Sector Automotriz IATF 16949:2016 y así contribuir con el proceso de modernización de la empresa.

El presente documento contiene el planteamiento y descripción del problema como tal que se desea resolver junto con los objetivos específicos que se disponen para la resolución del problema. Cada uno de estos objetivos ha sido dispuesto con las actividades, su respectivo cronograma y entregables que evidenciarán el cumplimiento de los mismos. Se justifica adecuadamente la realización del proyecto según los ámbitos en los que este proyecto se ubica. Y finalmente, se explica la metodología a seguir para llevar a cabo el proyecto propuesto, junto con la viabilidad de realizar el proyecto, limitaciones y su alcance.

## **1.1 Descripción del problema a resolver**

La empresa Flextronics International LTD ha diseñado y producido una lámpara de proyección trasera de vehículos llamada “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” que ha tenido un gran éxito en la industria automotriz debido a su funcionalidad, su aporte a la modernización de los vehículos automotrices y el aumento de su demanda en el mercado automotriz. Sin embargo, tal ha sido el éxito de este producto, que se necesita un aumento de la producción de este elemento de 16% promedio del año 2019 a 2022 debido al incremento de la demanda del mismo y la adquisición de nuevos clientes. Se necesita realizar la optimización de la línea de producción de la lámpara de proyección debido a que la capacidad instalada de dicha línea no permite cubrir con la cantidad proyectada de demanda.

La empresa obtiene un ingreso económico de \$435.514,76 anual por la venta de esta lámpara de proyección y el hecho de no poder cubrir con la demanda en el mercado de este elemento puede ser visto por la competencia como una oportunidad de negocio, por lo que la empresa puede perder clientes y dejar de percibir el monto mencionado en utilidades, sin dejar de lado el daño a la imagen de Flex Costa Rica. Además, el hecho de no poder cubrir la demanda de este producto expone a la empresa a ser multada con montos de hasta \$250.000,00 por cada minuto de paro de la producción de las plantas ensambladoras de sus clientes si los productos, en este caso la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” no es entregada en las fechas y cantidades establecidas.

Finalmente, la optimización de este proceso productivo debe realizarse bajo las normas Gestión y Aseguramiento de la Calidad ISO 9001:2015 y Sistemas de Gestión del Sector Automotriz IATF 16949:2016 que son de carácter contractual para los clientes de la empresa, y garantizan procesos de fabricación validados por los mismos y métodos de control de calidad requeridos.



## **1.2 Planteamiento del problema**

¿Cómo se puede optimizar el proceso productivo del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” para ajustar la producción al aumento promedio de la demanda en el mercado automotriz de 16% anual cumpliendo con las normas de Gestión y Aseguramiento de la Calidad ISO 9001:2015 y Sistemas de Gestión del Sector Automotriz IATF 16949:2016, evitar la pérdida de ingresos económicos y elevadas sanciones económicas contractuales?

## **1.3 Objetivo general**

Ajustar la capacidad productiva de la línea de producción del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” de la empresa Flextronics International LTD en Alajuela, Costa Rica a la demanda del mercado automotriz.

## **1.4 Objetivos específicos**

- Identificar la propuesta de mejora que permite incrementar y ajustar la producción a la demanda del mercado del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”.
- Describir las características técnicas de la propuesta de mejora identificada a través de un diseño.
- Proponer las estrategias de mantenimiento que garanticen la sostenibilidad operativa de la propuesta de mejora identificada.
- Evaluar la pertinencia de la solución propuesta a través de un análisis técnico-económico.

## 1.5 Metodología a seguir

La metodología a seguir se basa en investigación y diseño. En cuanto a la investigación se clasifica en 2 tipos: investigación bibliográfica e investigación de campo. La investigación bibliográfica se enfoca en el funcionamiento de los distintos componentes y programas necesarios para el proyecto planteado de automatización. La investigación de campo consiste en la investigación de automatizaciones previamente realizadas que sean acorde a lo que se desea para el proyecto planteado. La parte de diseño consiste en la selección de los componentes necesarios para realizar la propuesta de mejora de la línea de producción. A continuación, se muestran las actividades necesarias para la solución del problema planteado:

1. Elección de la propuesta: se selecciona y detalla la propuesta seleccionada.
2. Selección de componentes: se seleccionan los componentes y demás elementos necesarios que permitan la automatización del proceso.
3. Plano electromecánico: se diseña y se brindan las especificaciones técnicas el plano electromecánico de la línea de producción de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”.
4. Simulación: se verifica mediante una simulación que la programación propuesta funcione adecuadamente y permita lograr el objetivo planteado.
5. Evaluar y proponer métodos factibles para garantizar la sostenibilidad operativa de la propuesta de mejora identificada.
6. Estudio técnico-económico: se realiza un estudio técnico-económico que evidencie la pertinencia de la propuesta de mejora.

Seguidamente se enumeran los objetivos planteados anteriormente del proyecto para la tabulación y asignación de actividades y entregables por cada uno de ellos que evidencien su cumplimiento en la **Tabla 1**.

1. Identificar la propuesta de mejora que permite incrementar y ajustar la producción a la demanda del mercado del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”.
2. Describir las características técnicas de la propuesta de mejora identificada a través de un diseño.
3. Proponer las estrategias de mantenimiento que garanticen la sostenibilidad operativa de la propuesta de mejora identificada
4. Evaluar la pertinencia de la solución propuesta a través de un análisis técnico-económico.

**Tabla 1** Asignación de actividades y entregables por objetivo del proyecto.

<b>Asignación de actividades y entregables por objetivo</b>		
<b>Objetivo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Entregable</b>
1	Reconocimiento de la línea productiva.	Propuesta de mejora seleccionada.
	Planteamiento de propuestas y análisis de propuestas de mejora.	
	Selección de propuesta de mejora.	
2	Investigación bibliográfica y de campo de la automatización.	Planos electromecánicos con especificaciones técnicas.
	Selección de componentes.	
	Diseño electromecánico.	
3	Elaboración de plan de mantenimiento.	Elaboración de plan de mantenimiento.
4	Elaboración de estudio técnico y económico de la propuesta de mejora seleccionada.	Estudio técnico-financiero de la propuesta de mejora seleccionada.

Fuente: elaboración propia

## 1.6 Justificación

El presente proyecto abarca principalmente el ámbito productivo. A continuación, se explicará la justificación en cada ámbito del proyecto, tanto en el productivo como en el financiero y el profesional.

El proyecto abarca principalmente el ámbito productivo debido a que la empresa necesita aumentar la producción de elemento diseñado, desarrollado y construido por ellos: “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” de su proceso productivo

“Proyecto 2705”, en 16% promedio anual. El desglose de este aumento o modificación de la demanda se muestra en la **Tabla 2**, en la que se nota que se tiene un aumento proyectado importante de la demanda de hasta 38%.

**Tabla 2** Aumento de la demanda por periodo

Período	Demanda
2019-2020	18%
2020-2021	38%
2021-2022	-8%

Fuente: Elaboración propia

Este aumento significativo de la demanda se da debido al éxito que ha tenido este elemento en el mercado automotriz a solicitud de las marcas cliente.

La empresa se verá afectada en el ámbito financiero si la oferta del producto “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” no iguala a su demanda, debido a que este faltante de producto en el mercado puede ser notado por otras empresas competidoras en la industria automotriz y se puede dar una pérdida de clientes, como fue mencionado anteriormente en el planteamiento del problema, por ende, esto llevaría a la empresa a una menor percepción de recursos económicos. La empresa obtiene un beneficio económico de \$435.514,76 anual por la venta de esta lámpara de proyección, por ello esta posible pérdida de clientes puede llevar a la empresa a la no percepción hasta de este monto mencionado en sus utilidades.

El mercado de la industria automotriz es un mercado muy exigente en cuanto a la calidad de los productos y la entrega a tiempo de los mismos. Es por ello que los clientes establecen multas de gran valor económico por el incumplimiento de estándares de calidad y fechas de entrega previamente establecidas. En este caso, Flex Costa Rica, en términos contractuales de multas, se somete a una multa de \$250.000,00 por cada minuto de paro de la producción de las plantas ensambladores de sus clientes. El hecho que la línea productiva de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” no pueda cumplir con la demanda del mercado, aumenta significativamente las posibilidades de que la empresa sea multada.

Además, el hecho de no cumplir con la demanda, con lo solicitado por sus clientes, puede causar daños importantes a la imagen de Flex Costa Rica.

En cuanto a normativas, el proyecto incluye las normativas IATF 16949:2016. Dicha normativa se basa en la normativa ISO 9001:2015 y tiene como objetivo el desarrollo de un sistema de gestión de calidad que proporciona una mejora continua, haciendo hincapié en la prevención de errores y en la reducción de la variación y de los residuos en la cadena de suministro automotriz. Esta normativa aplica para toda organización manufacturera de partes o piezas de producción o servicio de la industria automotriz. Dicha normativa, además, es de carácter contractual pues si la empresa Flextronics International LTD no cuenta con dicha certificación, sus productos no serán recibidos por sus clientes. Este proyecto contribuirá con el objetivo de la empresa de cumplir y trabajar bajo la normativa IATF 16949:2016 en cuanto a la reducción de la variación de los productos al reducir la intervención humana en el proceso. La reducción de la intervención humana en el proceso productivo lleva al proyecto a su tercer y último ámbito, el ámbito profesional, el cual le permitirá a la empresa que sus colaboradores se desempeñen en distintas labores o que estos se especialicen y se desarrollen profesionalmente en distintas áreas para cubrir cualquier otra necesidad de la empresa.

Además, el proyecto incluye como normativas la NFPA, Código Eléctrico Nacional (NEC), el cual es Ley de la Republica mediante El Decreto No. 36979-MEIC, que oficializa el Reglamento del Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad. Con este código se regulará cualquier instalación o modificación necesaria del sistema eléctrico de cualquier propuesta de mejora planteada del proceso productivo de la lámpara de proyección de vehículo. Junto con el NEC, serán necesarias las normativas de la Sociedad Internacional de Automatización que regula y define los estándares de ingeniería y tecnología para mejorar la gestión, seguridad de procesos y ciberseguridad de los sistemas de automatización y control modernos usados en la industria e infraestructura crítica.

## **1.7 Viabilidad**

La viabilidad del proyecto se describirá mediante la siguiente información: el proceso de producción “Proyecto A2705” del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” se encuentra en completo funcionamiento actualmente, lo que permite el estudio de parámetros, producción y posibles soluciones de manera detallada. La empresa cuenta con ingenieros de experiencia en el área de automatización pues las automatizaciones realizadas anteriormente en las 3 plantas de producción de la empresa las han realizado ellos mismos. Además, cuenta con ingenieros expertos en la gestión de la producción y recurso humano para analizar el tema desde un punto de vista administrativo y plantear propuestas de mejora relacionadas a esta temática. Se cuenta con los elementos necesarios para automatizar procesos, en caso de que la propuesta de mejora deba realizarse por este medio, como controladores lógicos programables (PLCs), robots colaborativos y programas para la simulación de cualquier propuesta de mejora planteada. Finalmente, la empresa cuenta con recurso económico para adquirir elementos faltantes necesarios y poder implementar dicha propuesta. Por lo anterior, debido a que se tiene acceso al lugar de trabajo, se cuenta con recurso humano, financiero y material se concluye que el proyecto si es viable.

## **1.8 Alcance**

El alcance del presente proyecto, en cuanto a investigación, se clasifica como correlacional, debido a que demuestra como diversas variables o factores se relacionan y además y como son medibles, pues el proyecto relacionará aspectos como la demanda y la oferta y como éstos son afectados por el tipo de proceso ya sea con intervención humana, automatizado o realizando implementación de la gestión de los mismos y como factores como normativas como la IATF 16949:2016 influyen en los mismos.

Para el caso de la empresa, la realización del proyecto permitirá un aumento en la 16% promedio anual que permita alcanzar la oferta meta para cumplir con la demanda del mercado. Evitará la perdida de utilidades a la empresa y millonarias

sanciones económicas por incumplimiento de horarios de entrega y cantidades fijadas. Permitirá a la empresa colaborar conforme a la norma IATF 16949:2016 en cuanto a la mejora continua, específicamente en la prevención de errores, garantía de funcionamiento de acuerdo a planes de mantenimiento y en la reducción de la variación y de los residuos en la cadena de suministro automotriz al disminuir la intervención humana en el proceso.

En conclusión, en cuanto al alcance, el presente proyecto permitirá seleccionar y realizar una propuesta de optimización del proceso productivo de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” que permite aumentar su producción para cumplir con el alza en la demanda de 16% promedio anual, con su respectivo estudio técnico-financiero que lo respalde, plano electromecánico y método de garantía su disponibilidad. Se abarcará únicamente la fase de diseño y no la implementación de la propuesta de mejora debido al tiempo disponible para la realización del proyecto.

## **1.9 Limitaciones**

No existen limitantes para la realización del proyecto planteado.

## **Capítulo 2. Flextronics International LTD**

### **2.1 Reseña de la empresa**

Flextronics International LTD o Flex como es mayormente conocida es una empresa norteamericana fundada en Silicon Valley, San José, California, Estado Unidos de América en 1969 y Singapur en 1969. Su casa matriz actualmente se encuentra en Silicon Valley, California, EUA y en Singapur y sus operaciones se encuentran expandidas en 40 países alrededor del mundo, con una cantidad de colaboradores que sobrepasan los 160 000 distribuidos en los 40 países. Es de sector privado, con una forma legal de sociedad de acciones. Las labores de esta empresa se ubican en el sector de la industria electrónica pues se dedica al diseño, manufactura, distribución y servicios de garantía de componentes electrónicos. Provee productos para atender diversas industrias incluyendo cómputo, industrial, automotriz, medicina y hasta textil. Es la segunda empresa más grande de su ramo a nivel mundial, solo después de la taiwanesa Foxconn.

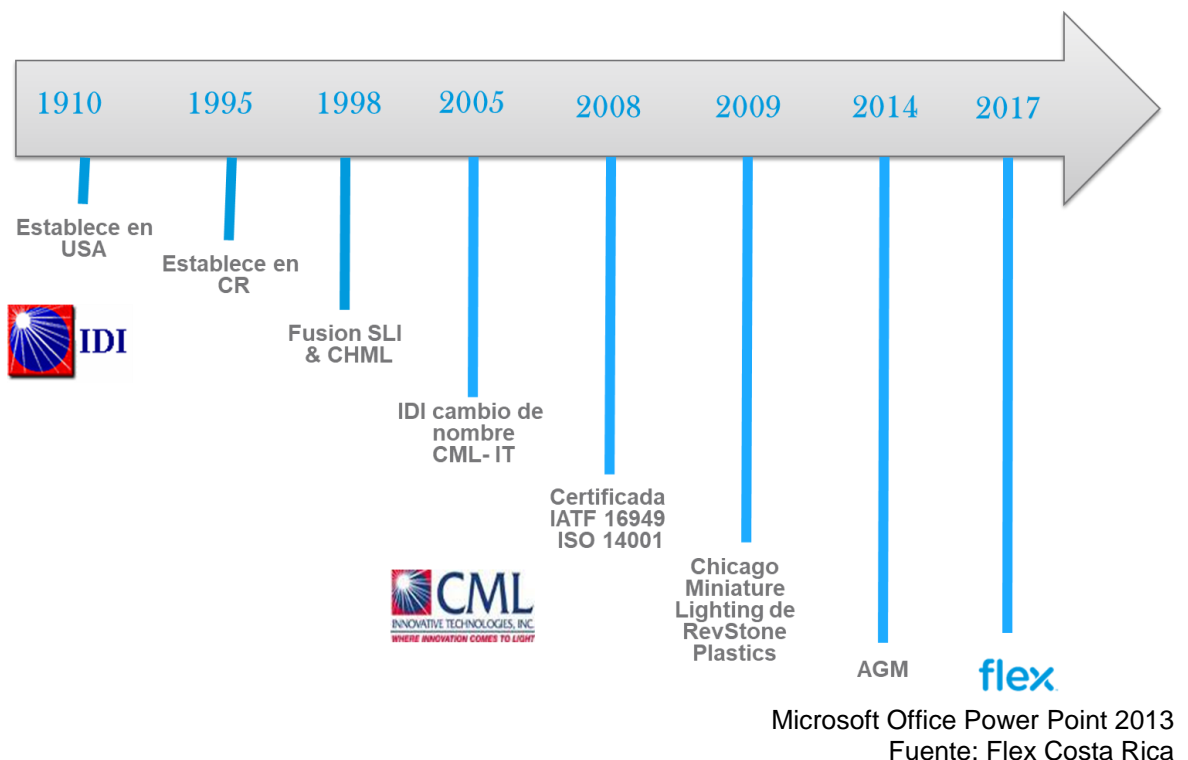
Cada una de las empresas del sector de industria electrónica que adquiere Flex en un país se convierte en una subsidiaria de la misma y su nombre, en cuanto a referencia interna de la empresa, se modifica a Flex y se agrega el nombre del país de procedencia de la nueva subsidiaria. Así es como a nivel mundial se encuentran denominadas las empresas como Flex México, Flex Alemania, Flex Suecia y para el caso de Costa Rica, se encuentra Flex Costa Rica. Esta empresa, en Costa Rica, se encuentra ubicada en la Zona Franca Saret, en Rio Segundo de la provincia de Alajuela.

Flex Costa Rica tiene como misión: “Crear un mundo más inteligente y mejor conectado”, como visión: “Una vida más simple y diversa a través de la tecnología” y su eslogan es el mismo de Flextronics International LTD, “Live Smarter”, vivir inteligentemente, lo que sintetiza su misión y visión.



## 2.2 Historia

La historia de la empresa en Costa Rica se encuentra resumida en la **Figura 1** como una línea del tiempo que muestra como la primer empresa norteamericana IDI se estableció en el país en 1995 (dicha empresa había sido establecida en los Estados Unidos de América en 1910). A partir de su establecimiento, la empresa en Costa Rica pasaría por distintas fusiones, compras y cambios de nombre por parte de otras empresas como fue la fusión con SLI y CHML en el año 1998 y su cambio de nombre a CML-IT. Luego, en el año 2008, la empresa CML-IT recibió las certificaciones ISO 14001 y IATF 16949. En el 2009, la empresa fue vendida a Chicago Miniature Lightning de RevStone Plastics. Luego, dicha empresa la vendió a AGM Automotive hasta que finalmente en el año 2017, la empresa fue vendida a Flextronics International LTD, empresa de la que forma parte actualmente y se encuentra en un continuo y largo proceso de incorporación debido a la complejidad de los procesos, reglamentos y estándares de Flex.



**Figura 1.** Historia de Flex Costa Rica.

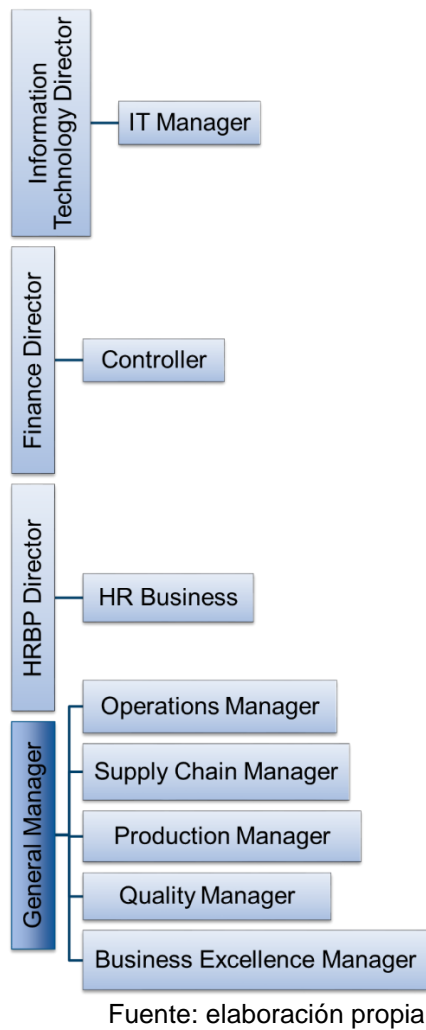
## 2.3 Organización

Flex Costa Rica labora actualmente con 420 colaboradores desempeñando distintas labores en los 4 edificios correspondientes (B3, B4, B5 y B6) en la Zona Franca Saret, de los que 2 son de su propiedad y los otros 2 son alquilados a la zona franca. Cada uno de estos edificios son llamados popularmente “naves industriales”, pues a diferencia de otras empresas, la zona de producción, ensamble, diseño, manufactura, bodega y administración pueden coexistir en un mismo edificio.

El Edificio B3 realiza labores de moldeo, en este edificio se diseñan y producen elementos a base de polímeros y resinas que posteriormente sirven para distintos componentes electrónicos. En los Edificios B4 y B5 se realizan las labores de ensamble principalmente y el Edificio B6 se encuentra destinado para la bodega, para el almacenamiento de materia prima, insumos y productos finalizados listos para la exportación.

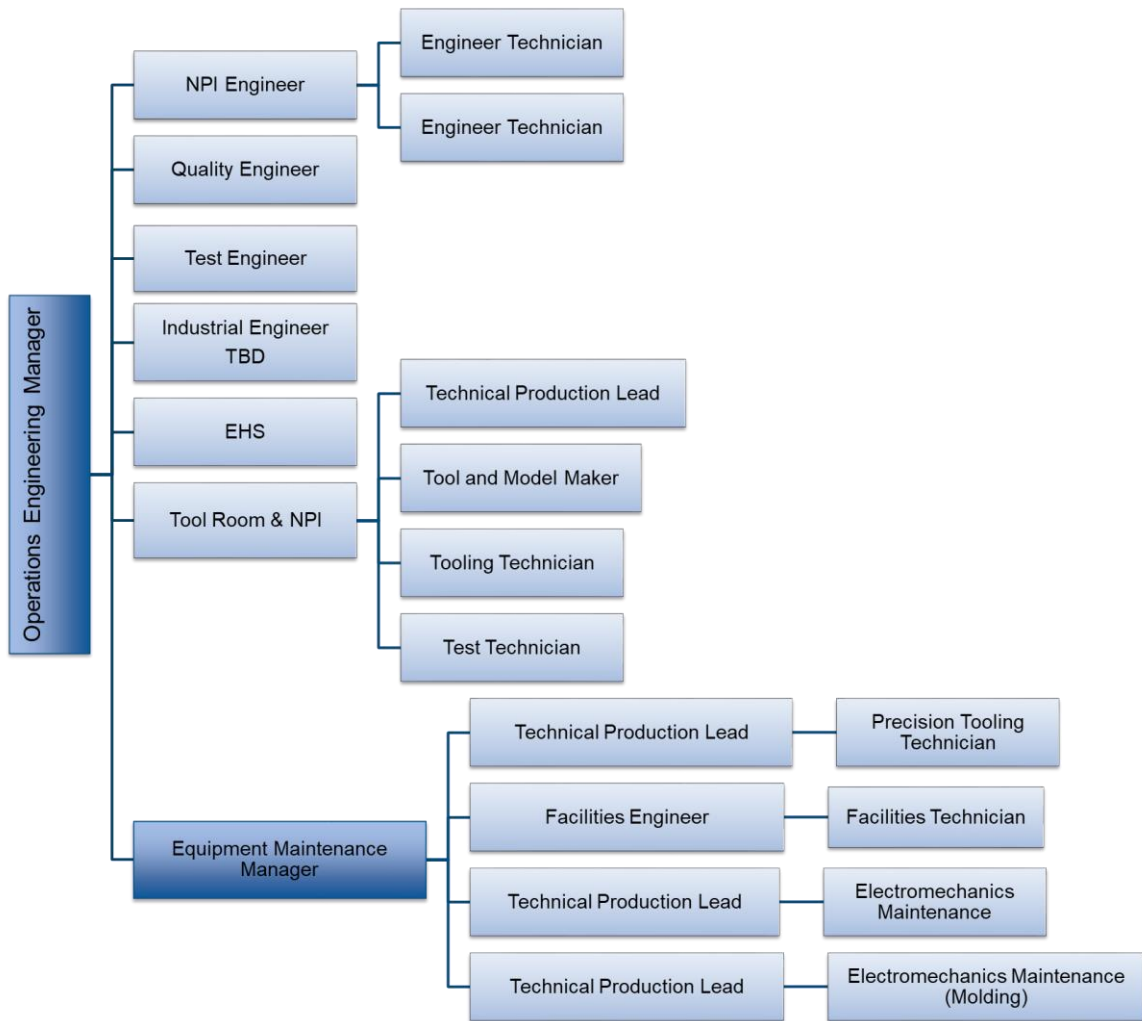
Administrativamente, la empresa se encuentra organizada en 8 distintos departamentos que permiten el continuo y correcto funcionamiento de Flex Costa Rica. Estos departamentos son Operaciones, Cadena de Abastecimiento, Producción, Calidad, Mejora Continua, Tecnologías de Información, Contraloría y Administración de Recursos Humanos. La distribución actual de los departamentos se muestra en el organigrama de la **Figura 2**.

Según la distribución establecida por Flextronics International LTD, que es aplicada por igual a todas sus empresas y subsidiarias en todo el mundo, los primeros 5 departamentos mencionados anteriormente, Operaciones, Cadena de Abastecimiento, Producción, Calidad y Mejora Continua deben reportar a un Gerente General que maneja todas las operaciones en el país y este reporta a la Administración Regional. Los otros 3 departamentos, Tecnologías de información, Contraloría y Administración de Recursos Humanos, reportan directamente con la Administración Regional, pues sus labores se encuentran conectadas con la red internacional interna de Flextronics International LTD.



**Figura 2.** Organigrama de Flex Costa Rica.

Seguidamente, se muestra el organigrama del Departamento de Operaciones en la **Figura 3**. Este se compone por los departamentos de Ingeniería, Nuevos Proyectos (NPI), Calidad, Seguridad e Higiene Ocupacional, Cuarto de Herramientas y Departamento de Mantenimiento. Este departamento es de gran interés pues es el departamento al que pertenece el presente proyecto, específicamente al Departamento de Mantenimiento.



Fuente: elaboración propia

**Figura 3.** Organigrama Departamento de Operaciones Costa Rica

## 2.4 Mercado

Flextronics International LTD atiende diversas industrias incluyendo cómputo, industrial, automotriz, medicina y textil junto con todas sus subsidiarias. Flex Costa Rica es una de las empresas que se dedican a brindar servicios a la industria automotriz, diseñando, fabricando, ensamblando y exportando elementos de iluminación interna a las distintas ensambladoras de automóviles distribuidas en todo el mundo de las mejores marcas a nivel mundial como los son Mercedes-Benz, Chrysler, Jeep, Toyota, entre otras. **(Figura 4).**

Con esto Flex Costa Rica se encuentra inmersa en un mercado internacional. Al ser un mercado internacional, la industria automovilística se convierte en un mercado muy competitivo, pues los clientes que forman parte de ese mercado son sumamente exigentes en cuanto a los productos brindados por sus proveedores para la fabricación de sus automóviles. Su exigencia radica en la solicitud de elementos de la más alta calidad, que su proceso de fabricación y ensamble se haya realizado de acuerdo a sus directrices, que éstos sean entregados en la cantidad indicada y en el tiempo establecido, que sus proveedores cuenten con distintas acreditaciones como lo son la ISO 14001 y la IATF 16949 y justifican su exigencia en el hecho de brindar seguridad a su cliente final, las empresas y particulares que compran y utilizan sus vehículos para transportarse día a día.

Finalmente, la alta exigencia del mercado de la industria automovilística se ve reflejada en las altas multas impuestas por las grandes marcas a sus proveedores. El Gerente de Mantenimiento de Flex Costa Rica, Gregory Naranjo menciona al respecto que “el paro de una línea de ensamble de automóviles por la falta de un componente producido por nosotros (Flex Costa Rica) tiene como consecuencia una multa con un costo de \$250 000 por minuto de inactividad de esa línea para nosotros”.

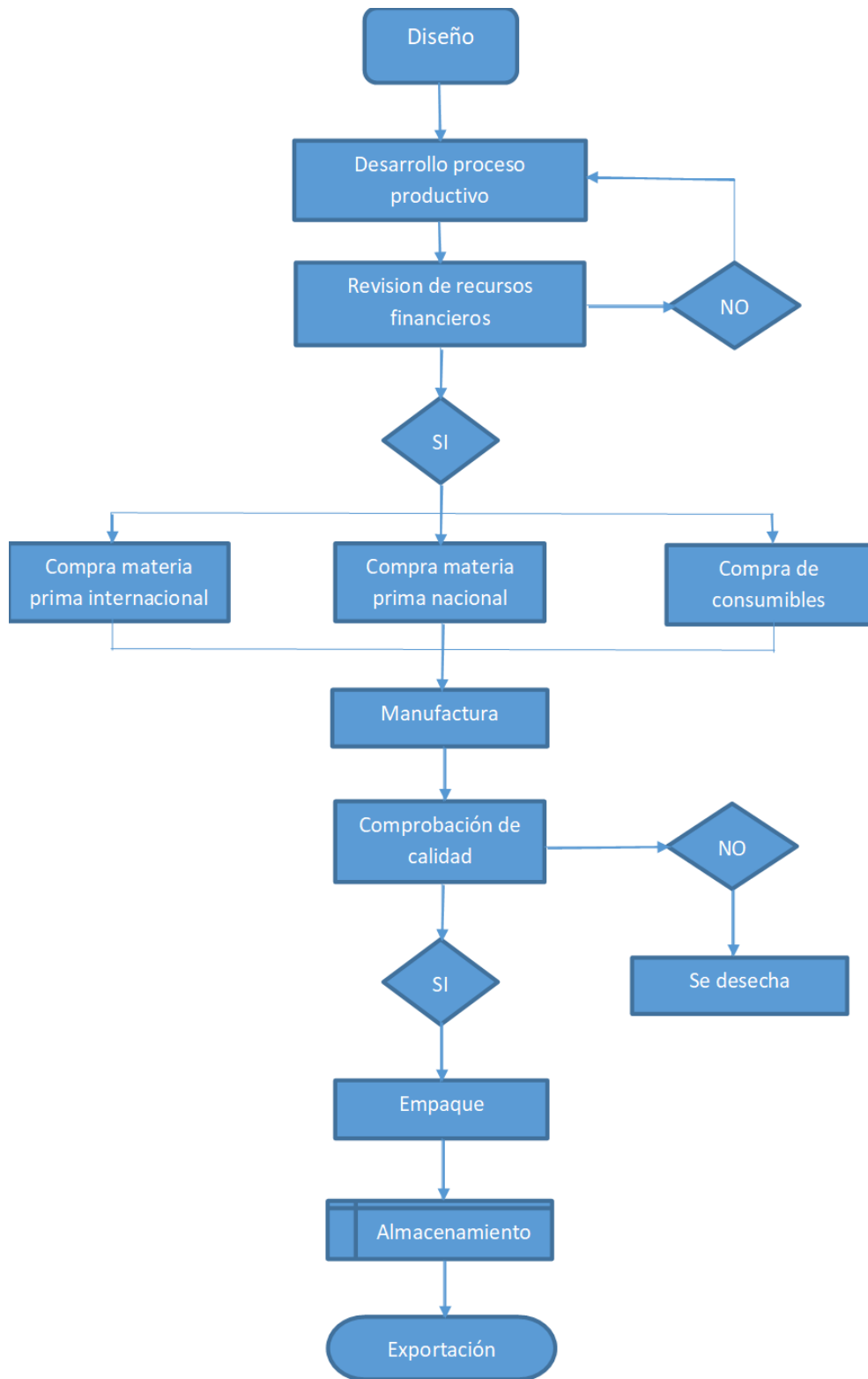


Fuente: Flex Costa Rica

**Figura 4.** Marcas cliente de Flex Costa Rica.

## 2.5 Descripción del proceso productivo

Para lograr la comercialización de sus componentes y cumplir con los requisitos de sus clientes, Flex Costa Rica sigue de manera imperativa su proceso productivo. A continuación, en la **Figura 5**, se muestra el proceso productivo de la empresa Flex Costa Rica y seguidamente, la explicación de cada una de las etapas.



Fuente: elaboración propia

**Figura 5.** Diagrama del proceso productivo de la empresa Flex Costa Rica.

1. **Diseño:** es la primera etapa del proceso productivo de la empresa en la cual los ingenieros se encargan de diseñar un producto que cubra cierta necesidad o aspecto a mejorar de los componentes de iluminación o textiles de la industria automotriz.
2. **Desarrollo del proceso productivo:** en esta etapa, ingenieros de diversas áreas trabajan en conjunto para diseñar el proceso productivo que permita crear el elemento diseñado en la etapa previa.
3. **Importación de insumos:** en esta etapa se importa la materia prima necesaria para la confección del elemento diseñado en la primera etapa.
4. **Manufactura:** es la etapa en la que se confecciona el producto.
5. **Comprobación de calidad:** es una de las últimas etapas en la que se estudia y comprueba que el producto final sea acorde y cumpla con las especificaciones de diseño.
6. **Exportación de productos:** es la etapa final, en la que se clasifica, se empaqueta y exporta el producto a los clientes.



## Capítulo 3. Proceso productivo A2705

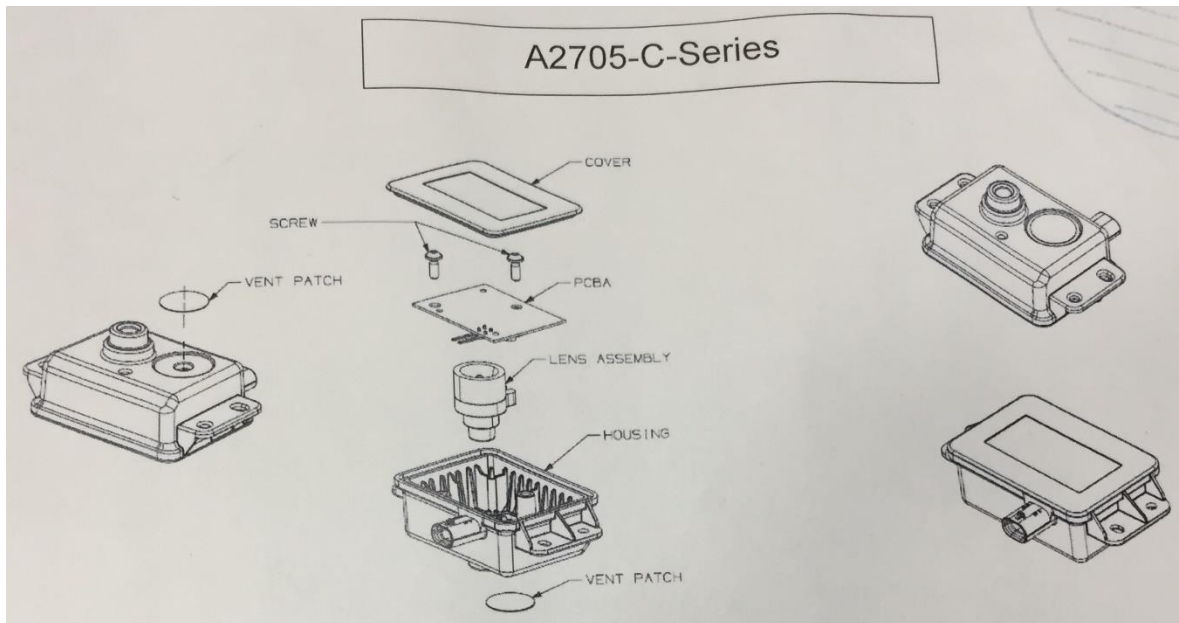
### 3.1 Descripción de producto: “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”

El Proyecto A2705 es un proceso productivo de la empresa Flex Costa Rica, que es objeto de estudio en el presente proyecto, en que se fabrica el objeto “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”. La “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” es, como su nombre lo indica, una lámpara, un artefacto que proyecta un haz de luz con la forma o silueta de la marca del automóvil del que forma parte este elemento. Su nombre se deriva del nombre del proyecto en el cual se realizó el diseño, análisis y puesta en marcha, que es “Proyecto A2705”, este nombre es asignado por la casa matriz de Flextronics International LTD según la zona en la que se ubica la empresa. ¿Cuál es el objetivo de la instalación de esta lámpara en un automóvil? Su objetivo es permitir la automatización de la puerta trasera de los vehículos, pues al ser interrumpido por el usuario el haz de luz que esta lámpara proyecta, el sistema del automóvil abre simultáneamente la puerta trasera. Este proceso le brinda mayor facilidad al usuario para colocar los elementos o la carga que lleve consigo en el automóvil en caso de que sus manos se encuentren ocupadas por la misma. La lámpara está compuesta por los elementos que se muestran en la **Tabla 3**. En dicha tabla se muestra la codificación o identificación de cada componente. Del manual “WI-663 A2705” del proceso productivo A2705 se obtiene una imagen explosionada de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” (**Figura 6**), donde se nota claramente cada uno de los componentes, la cantidad de los mismos y si posición en el ensamble.

**Tabla 3** Componentes de Lámpara de Proyección A2705-C-Series

Componente	Código	Cantidad
Housing	A2705-1 Rev AB	1
Cover	A2705-2 Rev AA	1
Lens Assembly	A2705-21 Rev AB	1
PCBA	A2705-9 Rev AC	1
Screw	F-SCR-1036 Rev AA	2
Vent Patch	N17376	1

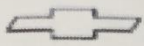




Fuente: Elaboración propia.



Flex Costa Rica  
Fuente: Manual "WI-663 A2705"

**Figura 6.** Vista explosionada de componentes de "Lámpara de Proyección A2705-C-Series".

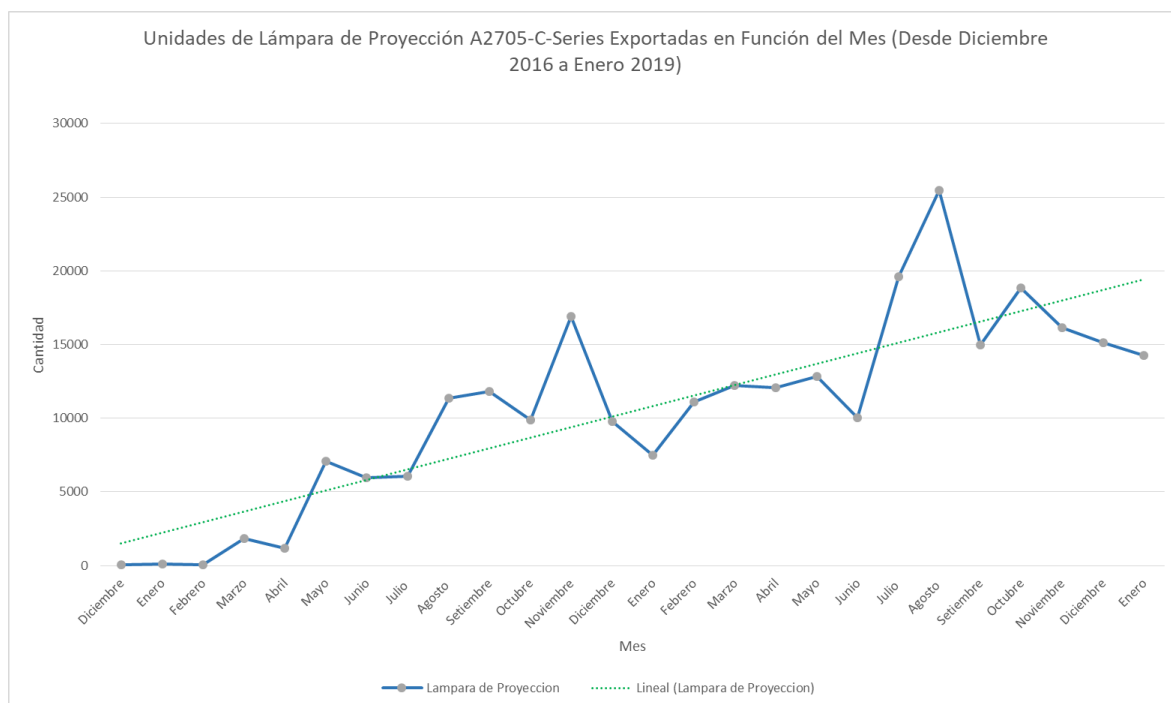
Seguidamente, en la **Figura 7**, que se toma del mismo manual, se notan las marcas de los clientes de Flex para este producto. Se muestra también la codificación respectiva del producto para cada uno de los clientes. La diferencia en cuanto a la lámpara de un cliente u otro radica en la diferencia de Lens Pack que utiliza la lámpara, pues debe proyectar el logo respectivo de la marca.

Modelo	A2705-C-101	A2705-C-102	A2705-C-103	A2705-C-104	A2705-C-106
Logo					
Descripción	Chevy	Buik	Opel	Cadillac	GMC

Fuente: Manual "WI-663 A2705"

**Figura 7.** Marcas cliente de automóviles "Proceso Productivo A2705".

Se destaca el hecho de que el diseño de esta lámpara, así como su proceso productivo fue realizado en su totalidad por Flex Costa Rica, a diferencia de ciertos artefactos que son diseñados junto con su proceso productivo por el cliente de Flex Costa Rica. Por ello, el crédito de la clientela y éxito en el mercado automotriz se atribuye propiamente a Flex Costa Rica. El éxito en el mercado automotriz se confirma en la **Figura 8** donde se muestra el aumento de sus exportaciones desde la fecha de su primera producción (Diciembre 2017) hasta Enero de 2019.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 8.** Tendencia de demanda de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”.

### 3.2 Descripción y análisis “Proceso Productivo A2705”

El proceso de fabricación de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” está constituido 3 principales etapas:

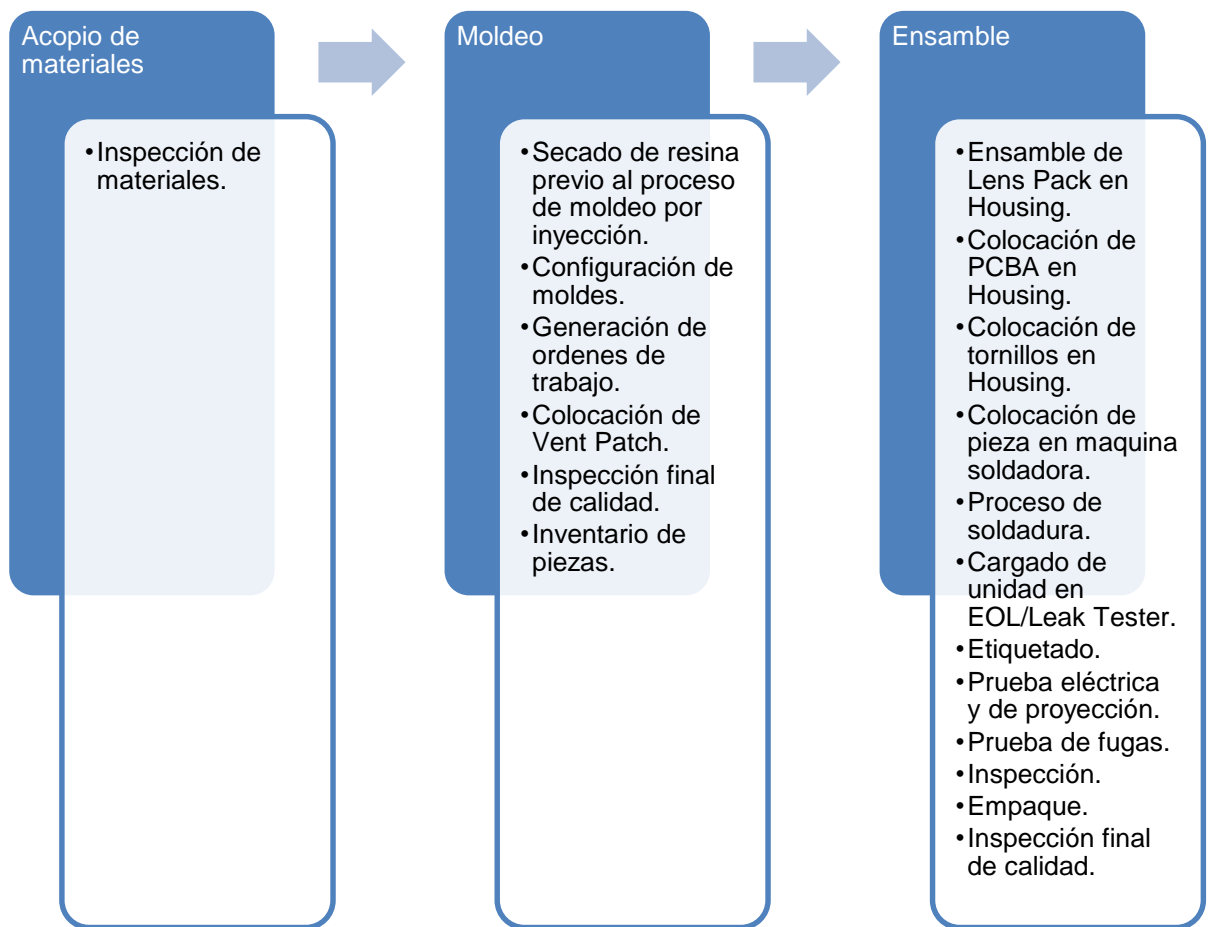
1. Acopio de materiales.

2. Moldeo.
3. Ensamble.

En la etapa de acopio de materiales se da la recepción y almacenamiento de la materia prima para la fabricación de la lámpara. Luego, en la etapa de moldeo se da el proceso de secado e inyección de resina para la fabricación del Housing (carcaza) y Cover (cubierta). Finalmente, se da la etapa de ensamble, que es la más compleja de este proceso de fabricación debido a que también se incluyen las etapas de pruebas y empaque. Cada una de estas etapas cuenta con varios subprocesos, que se muestran en la **Figura 9**. Los horarios de producción de cada etapa y en función de los departamentos involucrados son lo siguiente:

- Acopio de materiales: según la necesidad y lo establecido por el Departamento de Cadena de Abastecimiento.
- Moldeo: se realiza en cualquier momento de los 3 turnos de 8 horas diarios, los 7 días de la semana según los Departamentos de Producción y Moldeo.
- Ensamble: se realiza únicamente en 1 turno de 8 horas diario, 5 días a la semana.

Cada una de las etapas del proceso se lleva a cabo en distintos lugares de la empresa. El acopio de materiales se da en el Edificio BX, la etapa de moldeo se da en el Edificio BX y la etapa final de ensamble se da en el Edificio BX. Los departamentos que se encuentran en constante intervención o que forman parte del “Proceso Productivo A2705” son: Departamento de Cadena de Abastecimiento, Departamento de Moldeo, Departamento de Producción, Departamento de Calidad, Departamento de Mantenimiento.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 9.** Descripción de “Proceso Productivo A2705”.

La etapa productiva de interés para este proyecto es la etapa final de Ensamble. Por ello, es la única etapa de la que se describe su línea productiva y a la que se le realiza el análisis pertinente.

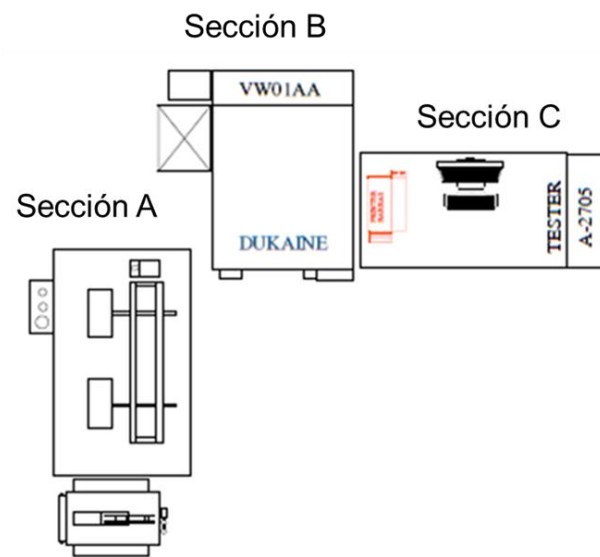
La línea productiva de la etapa de ensamble de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” se muestra en la **Figura 10** con la totalidad de los elementos y componentes que permiten su funcionamiento. Esta línea de producción se encuentra dividida en 3 puestos juntos, uno al lado del otro. Para mayor facilidad y comprensión, los 3 puestos han sido codificados como A, B y C, donde en términos generales, se realiza el proceso de ensamble, luego el proceso de soldadura y el

tester, respectivamente. En la **Figura 11**, se muestra la distribución de los 3 puestos de trabajo junto con la codificación designada para el presente proyecto. Dicha distribución fue creada por Flex Costa Rica y forma parte de la distribución general de planta del edificio. Luego, en la **Tabla 4**, se muestran los subprocesos de la etapa de ensamble y la sección en la que se realiza cada uno de estos. La línea productiva se encuentra ubicada en un espacio asignado de  $22m^2$  que ocupa la totalidad del espacio y cumple con todos los lineamientos de seguridad e higiene ocupacional establecidos por la empresa y están acorde al Reglamento General de Seguridad e Higiene del Trabajo establecido por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Costa Rica.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 10.** Línea de producción de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”.



Fuente: Flex Costa Rica.

**Figura 11.** Distribución de línea de producción de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”.

**Tabla 4.** Subprocesos y capacidad instalada de cada sección de etapa Ensamble.

Sección	Subproceso	Unidades de Medición	Tiempo Básico (s)	Eficiencia	Tiempo Estándar (s)	Unidades/Hora
A	Ensamble de Lens Pack en Housing	4	107,92	90%	119,91	120,10
	Colocación de PCBA en Housing					
	Colocación de Screws en Housing					
B	Colocación de pieza en máquina soldadora	2	12,10	90%	13,44	535,50
	Proceso de soldadura	2	13,46	90%	14,95	481,50
C	Cargado de unidad en EOL/Leak Tester	1	15,46	90%	17,18	209,50
	Etiquetado					
	Prueba eléctrica y de proyección					
	Prueba de fugas					
	Inspección					
	Empaque					
	Inspección final de calidad					

Fuente: elaboración propia

A continuación, se procede a realizar un análisis de la capacidad productiva de la línea. Para esto, inicialmente se realizó la toma de tiempos de la secciones de la etapa de ensamble en condiciones normales de operación de la línea. Lo toma de tiempos fue realizada previamente por el Departamento de Ingeniería de Flex y consistió en el tiempo promedio de 10 tomas realizadas a cada sección. Se realizó de esta manera debido a que el proceso productivo lleva consigo la intervención humana en la totalidad del mismo. Luego, con los tiempos obtenidos, se realiza el cálculo de la cantidad de piezas que permite producir cada una de las estaciones. Los resultados de estos cálculos de unidades producidas por hora se muestran en la **Tabla 5**, mostrada anteriormente. La ecuación para el cálculo de la cantidad de piezas por hora se muestra seguidamente:

$$\text{Unidades por hora} = \frac{3600 * \text{Eficiencia de planta} * \text{Unidades de medición}}{\text{Tiempo promedio estándar}} \quad (1)$$

Donde:

- Eficiencia de planta: es la eficiencia productiva de la planta debido a los paros de la producción, daños de máquinas y cualquier inconveniente que se presente.
- Unidades de medición: la cantidad de piezas que se producción por proceso.
- Tiempo promedio estándar: es el tiempo promedio de las 10 mediciones de tiempo realizadas multiplicado por el valor de la eficiencia de la planta de producción.

Con la cantidad de unidades producidas por hora, se conoce la sección crítica de la etapa de ensamble, pues es la sección que permite la menor cantidad de unidades de la lámpara de proyección por hora de todas las secciones. Además, debido a que es la sección en la que el proceso se realiza más lento, es la que a su vez permite la máxima cantidad de unidades por hora. En este caso se toma como sección crítica del “Proceso Productivo A2705”, la Sección A, pues permite realizar 120 unidades por hora. A este dato se le llama capacidad instalada de línea.



En la **Tabla 5** se muestra la capacidad instalada de la línea productiva junto con los datos que se derivan de esta como lo es el tiempo por unidad, las unidades por turno y las unidades totales que se pueden producir mensualmente.

**Tabla 5.** Capacidad instalada de proceso productivo A2705.

<b>Capacidad Instalada de Proyecto A2705</b>	
Tiempo/Unidad (s)	30
Unidades/Hora	120
Horas/Turno (h)	7,25
Unidades/Turno	870
Turnos/Semana	6
Unidades/Semana	5220

Fuente: elaboración propia

Ahora se procede a analizar la demanda de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”. Para ello, se muestra la cantidad programada de producción de 12 semanas, desde el día 4 de febrero de 2019 al día 13 de abril de 2019 en función de la solicitud de los clientes en la **Tabla 6**. Además, en la misma tabla se muestran la cantidad de turnos requeridos para lograr cubrir la demanda de la lámpara de proyección. Si se compara la demanda de la **Tabla 5** con la capacidad instalada de la línea de producción de la **Tabla 6**, se nota como algunas de estas semanas superan dicha capacidad. Para poder cubrir una demanda mayor a la capacidad instalada se deben laborar turnos extras, donde se notan semanas donde se deben laborar hasta más de 3 turnos de producción extras u horas extras. Esto supone una importante alza en los costos de producción del proceso. Estas semanas críticas han sido resaltadas con color rojo para facilidad de observación.

**Tabla 6.** Demanda de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” en una muestra de 12 semanas.

<b>Fecha</b>	<b>Total Unidades Programadas A2705</b>	<b>Turnos/Semana</b>
25/02/2019	3.888	4,47
04/03/2019	4.320	4,97
11/03/2019	5.184	5,96
18/03/2019	3.182	3,66
25/03/2019	6.048	6,95
01/04/2019	7.056	8,11
08/04/2019	6.790	7,80
15/04/2019	4.320	4,97
22/04/2019	3.168	3,64
29/04/2019	3.252	3,74
06/05/2019	5.186	5,96
13/05/2019	6.192	7,12

Fuente: elaboración propia

Debido a la tendencia de aumento de la demanda y al excedente de la misma sobre la capacidad de producción de la línea es que se nota la necesidad de aumentar su capacidad de producción.

## Capítulo 4. Selección de Propuesta de Mejora

Como se mostró en el capítulo anterior, para una muestra real para un periodo de 12 semanas de la demanda del producto “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” (**Tabla 6**), hay semanas en las que las unidades programadas según la demanda superan la capacidad productiva instalada de la línea de producción. Se muestra que durante 4 semanas se da esta situación de superación de la capacidad instalada, lo que puede llevar a pensar que no es una situación crítica, sin embargo, se tiene previsto un aumento de la demanda de este producto de 16% promedio anual, lo que si puede llevar a la empresa a los problemas importantes mencionados al inicio del presente proyecto. Debido a este aumento de la demanda es que se evidencia la necesidad de realizar mejoras a dicha línea productiva o buscar alguna solución para esta situación.

En este apartado se exploran propuestas desde la índole de rediseño o modificaciones a la línea productiva hasta temas de gestión de la producción y del recurso humano de la empresa. Estas propuestas se describen a continuación junto con la viabilidad o no de la ejecución de las mismas.

### 4.1 Duplicación de la línea productiva

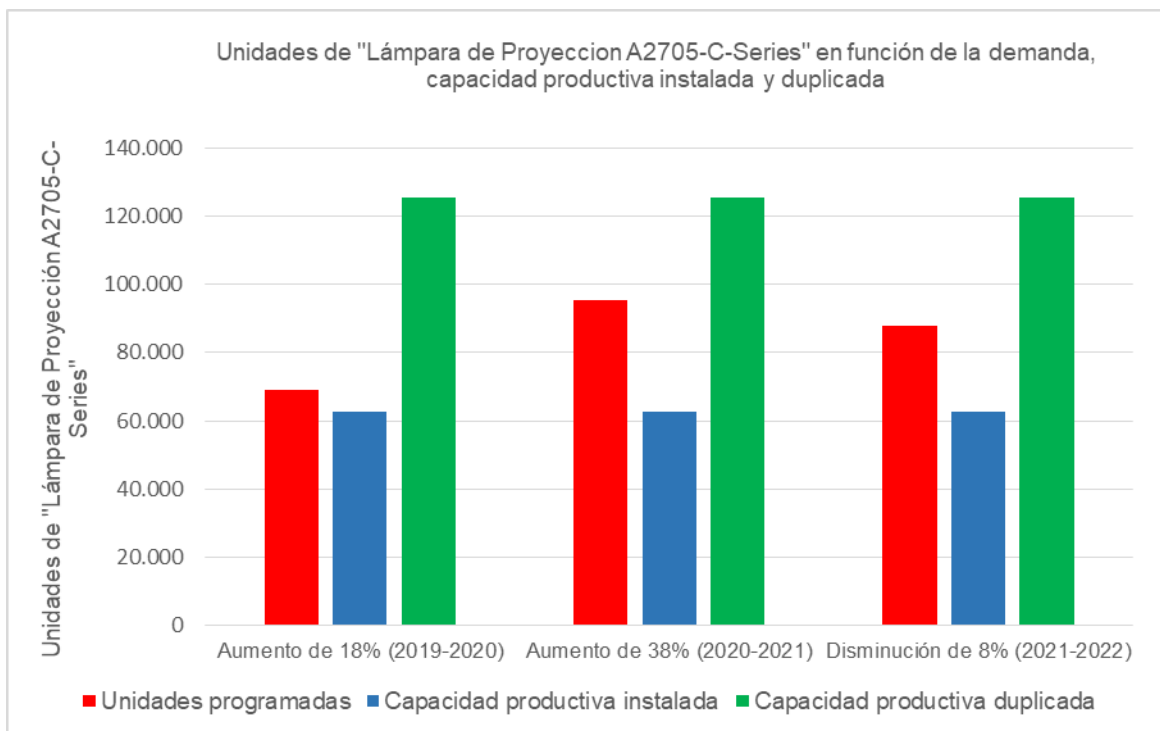
La duplicación de la línea productiva del proyecto significa la repetición del “Proyecto A2705” para la instauración de una nueva línea de producción con todas sus máquinas, elementos y recurso humano iguales a la línea ya instalada del “Proceso Productivo A2705”. Esto le permitiría a la empresa duplicar la capacidad productiva de la lámpara de proyección. Como se muestra en la **Tabla 7**, en un período de 12 semanas la capacidad productiva instalada de la línea productiva aumentaría de 62640 unidades a 125280 unidades, lo que permitirá suplir la producción necesaria y demás, para cubrir la demanda de dicho producto en cada periodo. En la misma tabla se muestra la proyección de unidades según el aumento de la demanda para un periodo de 12 semanas. En la **Figura 12** se muestra

gráficamente en unidades de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” la comparación de la demanda proyectada o unidades programas, la capacidad productiva instalada y la capacidad productiva duplicada.

**Tabla 7.** Demanda proyectada, capacidad productiva instalada y duplicada de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” para una muestra de 12 semanas.

Demanda	Aumento de 18% (2019-2020)	Aumento de 38% (2020-2021)	Disminución de 8% (2021-2022)
Unidades programadas	69.131	95.401	87.769
Capacidad productiva instalada	62.640	62.640	62.640
Capacidad productiva duplicada	125.280	125.280	125.280

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

**Figura 12.** Comparación de la demanda proyectada, capacidad productiva instalada y duplicada de una muestra de 12 semanas.

Sin embargo, la viabilidad de implementación de esta propuesta se ve afectada por la disponibilidad de espacio en las instalaciones de Flex Costa Rica debido a que la línea actual necesita un área de  $22m^2$  y la duplicación de esta línea productiva significa la duplicación del espacio destinado para la producción de este elemento. En conclusión, para aumentar la producción de la lámpara de proyección se necesita un espacio total de  $44m^2$  que la empresa no tiene a disposición.

#### **4.2 Ampliación de la cantidad de turnos laborales diarios**

Actualmente la línea productiva se encuentra funcionando con únicamente 1 turno laboral al día lo que le permite fabricar la cantidad de lámparas de proyección mencionada anteriormente. La propuesta de ampliación del tiempo de producción consiste en aumentar el horario de la producción de 1 turno al día a 2 turnos al día. Esta propuesta de duplicar el tiempo laboral de producción de dicha lámpara de proyección aumentaría al doble de manera similar en que se aumentaría la capacidad productiva instalada de la propuesta anterior.

En contraste con la misma propuesta anterior, no se necesita realizar procesos de compra de máquinas y elementos y no necesita de espacio extra en la planta de producción de la empresa, únicamente inversión en capital humano debido a la necesidad de colaboradores que deben laborar en este segundo turno propuesto. Sin embargo, la empresa Flex Costa Rica se encuentra en un proceso de reestructuración y gestión de personal por lo que el hecho de laborar un segundo turno al día es inviable.

### 4.3 Planeamiento de la producción

Como se notó en la **Tabla 6**, hay días en los que la demanda sobrepasa la capacidad productiva instalada pero también hay días en los que la demanda es menor a dicha capacidad, de lo que se puede inferir que en esas semanas hay turnos laborales o parte de éstos en los que la línea de producción se encuentra inactiva. La presente propuesta consiste en realizar una gestión o planeamiento de la producción de la demanda. Esta gestión de la producción consiste en el adelantamiento de la producción planeada, es decir, fabricar en las semanas con turnos libres durante dichos turnos libres las unidades de la lámpara de proyección que sobrepasan la capacidad productiva de la línea de otras semanas en las que se necesita laborar turnos extras para poder cumplir con la demanda.

Sin embargo, realizar esta gestión de la producción es complicada debido a que la demanda semanal de este producto es muy cambiante y hay semanas en las que se imposibilita el adelantamiento de la producción. Además, se complica aún más esta propuesta con el aumento de la demanda proyectado del año 2020 al 2022. Esta situación se muestra en la **Tabla 8** en la que se muestra la cantidad de turnos extras que se necesitan laborar para poder cumplir con la producción demandada de este producto y los turnos disponibles para poder realizar este adelantamiento de producción para una muestra de 12 semanas. Se nota como al momento de un alza de 38% de la demanda se necesitan laborar 37,77 turnos extras y únicamente se tiene disponible 0,11 turnos para poder realizar esta gestión de la producción. En este caso, tras realizar esta gestión deberían laborar 37,66 turnos extras por lo que no se genera diferencia importante alguna.

**Tabla 8.** Turnos extras necesarios y turnos libres para cumplir con la demanda de una muestra de 12 semanas según el aumento de la misma.

Demanda	Aumento de 18% (2019-2020)	Aumento de 38% (2020-2021)	Disminución de 8% (2021-2022)
Unidades programadas	69.131	95.401	87.769
Turnos extras necesarios	-13,45	-37,77	-30,35
Turnos libres	5,98	0,11	1,47
Diferencia de turnos	-7,46	-37,66	-28,88

Fuente: elaboración propia

De manera similar ocurre con la disminución del 8%, que aunque se da una disminución de la demanda, la cantidad de unidades a producir es considerablemente alta y tras realizar la gestión de producción se deberían laborar 28,88 turnos extras. El hecho que se deban laborar tantos turnos extras pone el peligro a la empresa de no cumplir con la demanda y exponerse a las importantes multas mencionadas anteriormente de hasta \$250.000,00 por minuto de paro de planta de fabricación de los clientes. Debido a esto, la presente propuesta de mejora es inviable, sin embargo, puede ser complementaria a otra propuesta de mejora.

#### **4.4 Automatización del proceso**

La propuesta final de mejora del “Proceso Productivo A2705” consiste en la implementación de una automatización. Esta consiste en la selección de componentes y la especificación de los mismos a través de un diseño electromecánico que permitan disminuir el tiempo de fabricación de cada una de las lámparas de proyección. Según el criterio técnico del Sr. Gregory Naranjo, el hecho de implementar una automatización es viable si esta permite reducir el tiempo de fabricación de cada pieza de 30s a al menos 25s.

Esta opción de mejora, a diferencia de las anteriores, no requiere de espacio extra en la planta de producción, no requiere la inversión de más recurso humano para su funcionamiento, pues es una de sus principales características y permite laborar en el tiempo de producción actualmente establecido. Además, tiene la posibilidad

de ser complementada mediante la gestión de la producción como lo describió la propuesta de mejora anterior. Sin embargo, requiere de procesos de compra de componentes.

Debido a lo descrito anteriormente, la presente propuesta de mejora mediante la realización de una automatización de la línea de producción es viable y por ende se elige. Para este caso particular, se necesita de la implementación de una automatización parcial del proceso productivo, específicamente para la Sección A, pues es la sección crítica del proceso de ensamble como se evidencio en el capítulo anterior.

En cuanto a los procesos de mejora, se menciona lo siguiente: el diseño del Lens Pack, que es un componente vital de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” y fue descrito en el capítulo anterior, fue mejorado, por lo que su proceso de ensamble ha sido modificado también. Este proceso de ensamble se planea incorporar al área de fabricación de esta lámpara de proyección por decisión de Flex Costa Rica. Se aclara que este proceso de mejora se encuentra totalmente fuera del alcance del presente proyecto y no forma parte del mismo, sin embargo, tiene un impacto de recurso económico y humano para el proceso de ensamble total del elemento lámpara de proyección que se analiza en los capítulos finales del presente documento.



## **Capítulo 5. Marco teórico**

En el presente capítulo se brindan descripciones técnicas de los componentes, funcionamiento de equipos y explicación de modelos productivos, de gestión y diseño que permitirán una mejor comprensión de la propuesta de automatización parcial de la línea productiva de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”.

### **5.1 Automatización**

Se procede con la explicación del principal objetivo del proyecto, la automatización. Morera (2018) define la automatización como: “el proceso de hacer que las máquinas sigan un orden predeterminado de operaciones con poca o ninguna intervención humana, utilizando equipo y dispositivos especializados que ejecutan y controlan procesos” (p.20). Por otro lado, Serrano (2009) menciona:

La automatización se ha convertido con el paso del tiempo en una necesidad cotidiana, que no solo afecta ya a las grandes empresas, sino a cualquier industria independientemente de su capacidad de producción. Se trata de sustituir los procesos manuales por mecanismos y máquinas automáticos, que eviten en lo posible la participación directa del hombre para lograr mayor rapidez y seguridad en los sistemas productivos. (p.18)

Para automatizar un proceso se necesitan autómatas, que son mecanismos técnicos que realizan procesos de mando en industrias, funciones u operaciones tecnológicas sin la participación directa del hombre.

El alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos ya que ésta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano, es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las

operaciones de plantas o procesos industriales. La automatización tiene los siguientes objetivos:

- Producir calidad constante.
- Proveer cantidades necesarias en el momento preciso.
- Incrementar la productividad y flexibilidad de la herramienta.

Para llevar a cabo una automatización se necesitan de dispositivos como controladores lógicos programables, sensores, robots, vehículos de transporte y de programaciones. Donde muchos de estos dispositivos varían debido a diversos factores como la complejidad del proceso, recursos económicos, espacio disponible, entre otras, sin embargo, los controladores lógicos programables y su debida programación son indispensables.

## **5.2 Controlador Lógico Programable (PLC)**

Un controlador lógico programable o PLC (**Figura 13**) es un dispositivo electrónico que controla máquinas y procesos. También llamado autómeta, utiliza memoria programable para almacenar instrucciones y ejecutar funciones específicas que incluyen control de activación y desactivación, temporización, conteo, secuencia, aritmética y manejo de datos, entre otras muchas funciones. Las partes de un PLC son las siguientes:

- Fuente de poder.
- Unidad de procesamiento central (CPU).
- Entradas digitales.
- Salidas digitales.
- Terminal de programación.
- Periféricos.

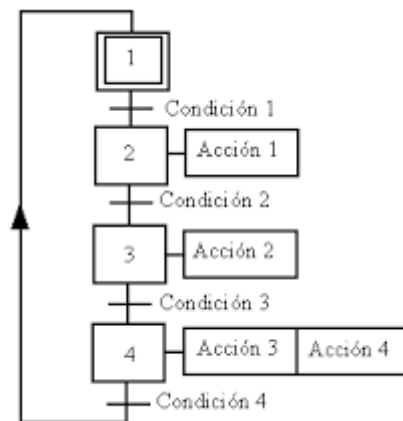


Fuente: Siemens.

**Figura 13.** Controlador lógico programable (PLC).

El siguiente aspecto en importancia es la programación del PLC, que permite el accionar de los elementos y recibir información de los mismos de todo el sistema automatizado. Esta programación se puede realizar en 5 diferentes lenguajes, que se caracterizan algunos por su complejidad, otros por sus facilidades al permitir funcionamientos cíclicos y otros por su facilidad de comprensión al ser métodos más gráficos. Los 5 lenguajes se mencionan a continuación:

- Diagrama de escalera.
- Texto estructurado.
- Bloque de funciones.
- Lista de instrucciones.
- Diagrama de funciones (GRAFCET) (**Figura 14**).



Fuente: Siemens.

**Figura 14.** Diagrama de funciones (GRAFSET).

### 5.3 Robot

Se procede a explicar el elemento principal planteado o proyectado para la automatización del proyecto. Un robot es un elemento virtual o mecánico artificial. Consiste en un sistema electromecánico que normalmente es conducido por un programa de una computadora o por un circuito eléctrico. El robot de fabricación más común es el robot industrial y de entre los robots industriales, el más común es el brazo articulado también llamado brazo robótico. Un brazo robótico típico se compone de siete segmentos metálicos, unidos por seis articulaciones. Una computadora controla el robot girando servomotores individuales conectados a cada junta. A diferencia de los motores eléctricos de movimiento continuo, los motores de pasos pueden moverse en incrementos exactos. Esto permite que el gobernador pueda mover el brazo de manera muy precisa, repitiendo exactamente el mismo movimiento una y otra vez. El robot utiliza sensores de movimiento para hacer que se mueva la cantidad justa. Específicamente, hoy en día se han incorporado robots llamados robots colaborativos que permiten una interacción segura, dicho robot se muestra en la **Figura 15**.



Fuente: Universal Robots

**Figura 15.** Robot colaborativo.

## **5.4 Sensores**

Para que un sistema electrónico o controlador lógico programable (PLC) pueda controlar un proceso industrial es necesario que reciba información de la evolución de distintas variables físicas del proceso, que en su mayoría no son eléctricas y las conviertan en señales eléctricas que estos sistemas o controladores puedan procesar. Los elementos que permiten convertir estas señales se llaman sensores.

Mandado, Acevedo, Fernández & Arnesto (2009) describen a un sensor como: "... todo dispositivo que, situado en un cierto medio, genera una señal de una determinada forma física, convertible en otra señal de una forma física diferente." (p.429). En la **Figura 16** se muestra un sensor.



Fuente: Soluciones Electrónicas Bigtrónica

**Figura 16.** Sensor capacitivo.

Estos se clasifican como sensores activos y sensores pasivos. Los sensores pasivos son sensores en los que la magnitud física a medir proporciona la tensión necesaria para la generación de la señal eléctrica. Por otro lado, los sensores pasivos necesitan tener una tensión desde una alimentación externa y la señal es generada a partir de la modificación de alguna de sus propiedades como su resistencia, inductividad o capacidad. Estos sensores, se clasifican a su vez en muchos otros tipos de sensores, sin embargo, debido a la aplicación del presente proyecto, se describen únicamente los sensores capacitivos.

Los sensores capacitivos basan su funcionamiento en la interacción que se produce entre el campo electrostático que ellos generan y del objeto a detectar. Este campo electrostático se mide o referencia también como la constante dieléctrica del material o componente. Su elemento sensor es un condensador.

Según su composición, los sensores pueden clasificarse también como PNP o NPN. Esto hace referencia al transistor del cual está formado el sensor en cuestión, donde un transistor es un componente electrónico que se encarga de la amplificación de la señal eléctrica. Que un sensor sea tipo PNP o NPN no difiere

en su objetivo, pues realizan el mismo trabajo, pero si difiere en cómo la energía se debe asignar a sus terminales para que proporcionen la amplificación de la señal, por lo cual su flujo eléctrico interno es distinto. Es por esto, que la clasificación PNP o NPN se vuelve un criterio importante al momento de selección del sensor.

Según su salida, pueden clasificarse como sensores digitales o análogos. Un sensor capacitivo es un sensor que genera señales que solo toman un número finito entre un máximo y un mínimo. Generalmente se establecen como binarios, donde pueden tener 2 niveles de tensión de los que si se asigna al 1 la más alta tensión y al 0 la menor tensión, se llaman “digitales positivos” y se da el caso contrario donde al 1 se le asigna la más baja tensión y al 0 la más alta tensión, se llaman “digitales negativos”. La variable binaria que oscila y cambia su estado de 0 a 1 o viceversa se llama “bit”.

## **5.5 Banda transportadora**

Las cintas transportadoras (**Figura 17**), también denominadas transportadores de banda, se utilizan para trasladar mercancía y productos que requieren una mayor estabilidad o que debido a su tamaño o características no se pueden transportar con otros medios. Las bandas también pueden actuar como puntos de procesamiento desde las que se opera sobre los artículos o productos que se trasladan. Estas tienen una función fundamental para el traslado eficiente de todo tipo de materiales o mercancías dentro de una planta de producción, de un almacén industrial o cualquier empresa logística. (EUROTRANSIS, 2018)



Fuente: EUROTRANSIS.

**Figura 17.** Banda transportadora.

El funcionamiento de una banda transportadora consiste en el movimiento de un soporte físico continuo, la banda o cinta, montado sobre unas plataformas de dimensiones variables y que pueden contar con distintos tipos de accesorios (guardas laterales, topes, desviadores, barandillas, ruedas y otro tipo de accesorios neumáticos o mecánicos). La velocidad y capacidad de carga de la banda dependen de las características del material o elemento a desplazar y del tipo de cinta transportadora. Está compuesta por los siguientes elementos:

- Banda: es el elemento sobre el que se coloca el elemento a transportar, el que se encuentra en contacto con el producto. Tienen composición muy variable como tela engomada y derivados del caucho. También hay bandas modulares plásticas, realizadas en poliéster, PVC, poliamida y acetal, lo que permite disponer de cintas transportadoras para muy diversos usos. Las bandas varían también en el número de capas y las distintas calidades de revestimiento según su uso en cada tipo de industria y varían también en anchura y grosor según la capacidad de carga.

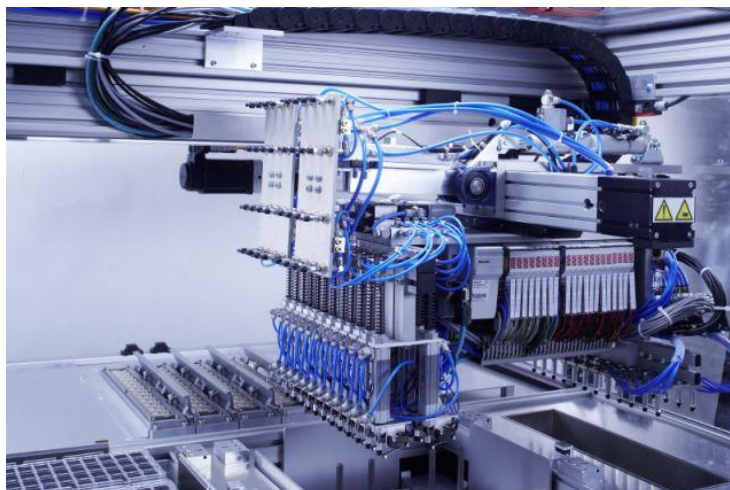


- Tambores: son los rodillos que, con su giro, provocan el avance de la cinta debido a la fricción de esta sobre ellos o por la acción de piñones y bandas dentadas, llamado comúnmente como banda de transmisión de cadena.
- Motor: es el elemento que le permite a la banda transportadora realizar el transporte o desplazamiento del material. La potencia y características del motor dependerán del tipo de cinta transportadora y su uso.
- Estructura: las guías sobre las que se monta y se desplaza la banda transportadora están formadas por una estructura normalmente metálica. Esta puede variar en longitud, altura y forma, así como permitir el acceso para la manipulación de operarios sobre el material transportado.

## **5.6 Sistema neumático**

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. El aire comprimido es el aire de la atmosfera sometido a presiones de hasta 1,2 MPa aproximadamente. Este gas se caracteriza por su fluidez y compresibilidad, pues no ofrece resistencia al deslizamiento y permite reducir su volumen si se encuentra en un espacio confinado. Esta energía es fácilmente transportable y almacenable lo que permite tener un correcto control sobre los procesos productivos en los cuales se utilice. Serrano (2009) afirma:

La neumática juega aquí un papel importante debido, sobre todo, a que resulta muy flexible y capaz de ser utilizada en prácticamente cualquier tipo de industria. De los diferentes campos donde se aplica, cabe destacar: máquinas y mecanismos (...), elevación y transporte, industria alimentaria, manipulación y robotización, medida y control, automoción, obras públicas, agricultura, etc. (p. 18) **(Figura 18)**.



Fuente: SMC Corporation.

**Figura 18.** Sistema neumático.

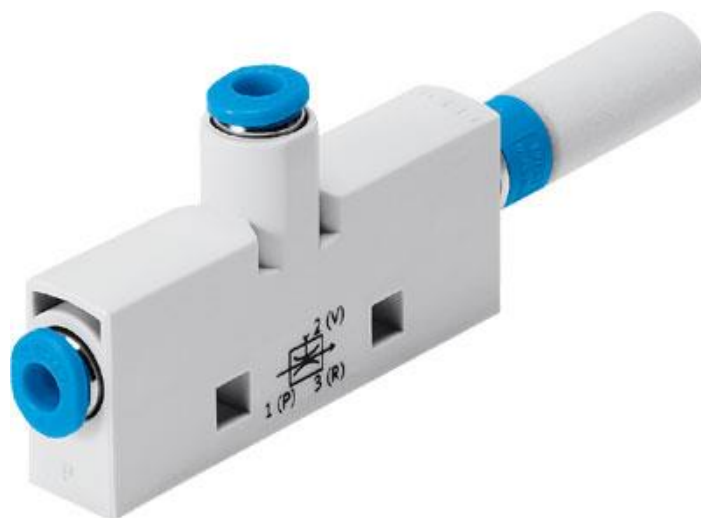
De las consideraciones más importantes que se tienen que tener en cuenta de los sistemas y los componentes neumáticos son la presión y el caudal. De estas variables dependen los materiales de construcción de los componentes, las dimensiones del sistema neumático, las pérdidas de energía que se pueden dar en el sistema y aspecto económico de sistema y los componentes. La presión se define como la fuerza que ejerce un fluido, en este caso el aire, en un área o espacio determinado y como la cantidad de aire que atraviesa un conducto en un tiempo determinado. Sus unidades de medición son el pascal (Pa) y los l/min respectivamente, según los establecido por el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Una de las técnicas primordiales de la neumática en la robotización es la técnica de vacío. Serrano (2009) describe al vacío como: “los estados de presión de aire que se encuentran por debajo de la presión atmosférica” (p.199). En el vacío se pueden generar presiones de hasta -98 KPa tomando como punto de referencia la presión atmosférica.

Tiene 2 principales aplicaciones el vacío, para la sujeción de objetos mediante ventosas y para la extracción de vapor y humo de recintos cerrados. La aplicación de mayor importancia para el presente proyecto es la sujeción de objetos mediante

el uso de ventosas. Esta aplicación se logra cuando la depresión producida en el interior de la ventosa, cuando esta se encuentra herméticamente cerrada sobre el objeto a sujetar, crea una fuerza capaz de suspender el objeto. Para este se necesita que la superficie del elemento a sujetar no sea excesivamente rugosa ni porosa.

La principal manera de lograr presiones de vacío es mediante generadores de vacío (**Figura 19**). Los generadores de vacío son elementos compactos, ligeros y fáciles de instalar que se encargan de producir depresión de aire y funcionan sin partes móviles, como lo hacen los motores, y aprovechando el efecto de conocido en física como Venturi, el cual describe un aumento proporcional de la presión respecto a la velocidad del aire conforme este pase por un conducto de menor tamaño.

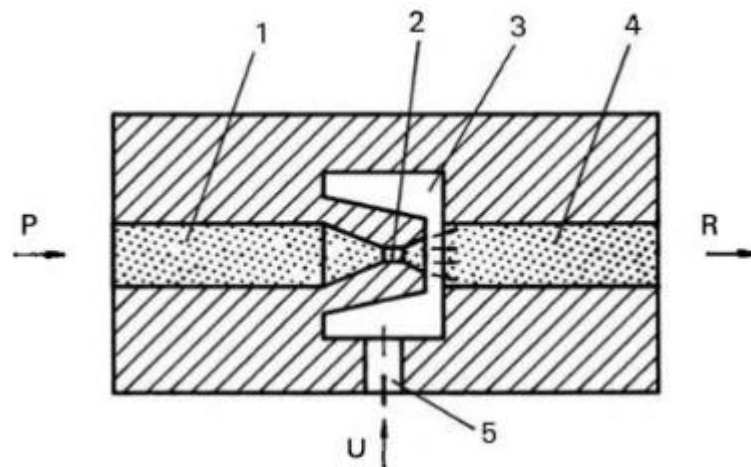


Fuente: SMC Corporation.

**Figura 19.** Generador de vacío.

El funcionamiento del generador de vacío mediante Venturi se muestra en la **Figura 20**, donde en (1) se da presión generada por el sistema neumático, en (2) se da la estrangulación del aire y aumento de velocidad, en (3) se da la depresión del aire en la cámara, en (4) se genera el vacío aprovechado para el sistema y en (5) se da la expulsión del aire comprimido restante. Sin embargo, necesitan que la presión

del aire sea brindada de un sistema externo a ellos, por ello, se utiliza la red de aire y por ende de un compresor general.



Fuente: Neumática Práctica. (Serrano, 2009)

**Figura 20.** Funcionamiento de generador de vacío.

## 5.7 Sistema de visión

Los sistemas de visión artificial (**Figura 21**) se basan en sensores digitales protegidos dentro de cámaras industriales con ópticas especializadas en adquirir imágenes, para que el hardware y el software puedan procesar, analizar y medir diferentes características para tomar decisiones. (COGNEX Corporation, 2019)



Fuente: COGNEX Corporation.

**Figura 21.** Cámara inteligente.

Estos brindan una guía operativa a dispositivos en la ejecución de sus funciones en base a la captura y el procesamiento de imágenes.

Las principales aplicaciones en los que se pueden usar son:

- **Guiado:** los sistemas de visión artificial pueden ubicar la posición y la orientación de una pieza, compararla con la tolerancia especificada y asegurar que se encuentra en el ángulo correcto para verificar su correcto montaje. Se pueden utilizar para informar la ubicación y la orientación de una pieza en un espacio de 2D o 3D a un robot o controlador de máquina, lo que le permite al robot ubicar la pieza o a la máquina alinearla.
- **Identificación:** un sistema de visión artificial permite la lectura de códigos de barras (1-D), códigos de matriz de datos (2-D), Marcado Directo de Piezas (DPM) y caracteres impresos sobre piezas, etiquetas y empaques. Un sistema de reconocimiento óptico de caracteres (OCR) lee caracteres alfanuméricos sin conocimiento previo, mientras que un sistema de

verificación óptica de caracteres (OCV) confirma la presencia de una cadena de caracteres. Asimismo, los sistemas de visión artificial pueden identificar piezas al ubicar un patrón único o identificar elementos en función de su color, forma o tamaño.

- **Medición:** permite medir y calcular las distancias entre dos o más puntos o ubicaciones geométricas en un objeto, y determina si estas medidas cumplen con las especificaciones. De no hacerlo, el sistema de visión envía una señal de fallo al controlador de la máquina, lo que activa un mecanismo de rechazo que retira el objeto de la línea. Este sistema permite medir características de objetos hasta de 0.0254 mm.
- **Inspección:** un sistema de visión artificial para inspeccionar defectos, contaminantes, fallas funcionales y otras irregularidades en productos fabricados. Además, puede inspeccionar que se completen los productos, asegurar la coincidencia entre un producto y el empaque en las industrias alimenticias y farmacéuticas, y verificar sellos, tapas y anillos de seguridad en botellas.

## 5.8 Lean manufacturing

El lean manufacturing es un modelo de gestión que se enfoca en minimizar las pérdidas en los sistemas de manufactura al mismo tiempo que maximiza la creación del valor para el cliente final, es decir, minimizar y simplificar los procesos productivos hasta mantener únicamente las etapas estrictamente necesarias del proceso y eliminar los desperdicios. Este sistema de gestión clasifica las acciones de la siguiente manera:

- Valor agregado: actividades que transforman el producto por las cuales el cliente está dispuesto a pagar.

- Semi-valor agregado: actividades que son necesarias para el producto pero que no lo transforman.
- Valor no agregado: actividades innecesarias que no transforman el producto y no tienen valor alguno en el proceso.

Los principales desperdicios para un proceso productivo que busca eliminar el “Lean manufacturing” son los siguientes:

- Sobreproducción
- Transporte
- Esperas
- Sobre-procesamiento
- Exceso de inventario
- Defectos
- Movimientos innecesarios.

Este modelo de gestión utiliza herramientas como el “Mantenimiento Productivo Total” (TPM), “5S”, “Kaizen” y “3P” para su funcionamiento, que son técnicas de eliminación de desperdicios y realización de los procesos en la medida necesaria y en el tiempo necesario.

## **5.9 Mantenimiento**

Para el presente proyecto, específicamente para lograr el cumplimiento de la norma de Sistemas de Gestión de Calidad IATF 16949:2016, es esencial la elaboración de un plan de mantenimiento que garantice que el sistema o proceso productivo en estudio permanecerá en correcto funcionamiento de manera continua. Por lo cual, se toma en consideración un plan de mantenimiento de índole correctiva, preventiva y predictiva los cuales se abarcaran a continuación. En un inicio se explica la definición de mantenimiento. García (2003) describe el mantenimiento como: “conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.”(p.1).

El mantenimiento correctivo se conoce como la forma más básica del mantenimiento pues es aquel mantenimiento que corrige los defectos en el momento en el que estos suceden o un vez que la falla del equipo se haya dado. Es un mantenimiento reactivo, pues las labores de mantenimiento se dan como consecuencia de un fallo. Este mantenimiento puede suponer la sustitución de componentes lo cual lo hace ser uno de los tipos de mantenimiento con mayor costo y muchas veces brindar resultados no favorables para quienes lo implementan.

El programa de mantenimiento preventivo, como su nombre lo indica, es una técnica o programa de mantenimiento que prevé y anticipa los fallos de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas y sub-sistemas e inclusive partes. Bajo esa premisa se diseña el programa con frecuencias calendario o uso del equipo, es decir, tiempos dirigidos para realizar cambios de sub-ensambles, cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes, etc., a maquinaria, equipos e instalaciones y que se considera importante realizar para evitar fallos.

El mantenimiento predictivo es el mantenimiento basado en la condición de los equipos. Consiste en inspecciones periódicas de los parámetros y características de los equipos para determinar los síntomas de alguna posible falla antes de que esta ocurra para tomar las medidas o reparaciones necesarias antes de que esta se dé. Algunos de los análisis o inspecciones que se realizan son las siguientes:

- Análisis de vibraciones
- Análisis de aceites.
- Termografías.
- Endoscopias.
- Alineamiento de precisión.

A diferencia del mantenimiento correctivo, este mantenimiento es proactivo, pues las acciones se toman antes de que sucedan las fallas.



## Capítulo 6. Diseño electromecánico

En el Capítulo 3 se mostró la descripción del producto y el proceso productivo de dicho producto. Además, se describió la línea productiva de la Etapa de Ensamble, la cual es de interés para el presente proyecto, sin embargo, sus subprocesos fueron únicamente mencionados. En esta sección se describe ampliamente como se realiza el proceso de la etapa de ensamble, Sección A, junto con los elementos que esta posee actualmente y se describe la totalidad del diseño electromecánico de la propuesta de automatización, todos los elementos que esta necesita y con base en que sea ha realizado dicha propuesta.

Los subprocesos de la Sección A, Etapa de Ensamble citados en la **Tabla 4** son:

- Ensamble de Lens Pack en Housing.
- Colocación de PCBA en Housing.
- Colocación de Screws en Housing.

Estos se realizan de manera simultánea para 4 piezas de la siguiente manera:

1. Se colocan los Housings en nidos de soporte.
2. Se colocan Lens Packs en Housings.
3. Se colocan tarjetas PCBA en Housings.
4. Se estabilizan tarjetas PCBA en Housings.
5. Se colocan de 2 Screws (tornillos) por pieza en Housings.
6. Se atornillan los Screws.
7. Se realiza la des-ionización de piezas.
8. Se transporta pieza pre-ensamblada al área de Sección 2.
9. La cámara 2 realiza verificación de componente.

Esta sección es operada por una colaboradora, pues la mayoría de subprocesos se realizan manualmente. Los subprocesos 1, 2, 3, 5 se realizan en su totalidad de manera manual. Los subprocesos 4, 6, 7, 8 y 9 se realizan de manera semiautomática pues estos inician tras la activación de la colaboradora.

El transporte de Housings y pieza pre-ensamblada de los subprocesos 4 y 8 se da mediante pistones funcionando con aire comprimido. El atornillado de los Screws del subproceso 6 se realiza con un atornillador eléctrico (Marca: Killews, Modelo: SKD BN5012L ESD) que utiliza un driver modelo PN KL-SCBSN de la misma marca. Luego, la des ionización de la pieza pre ensamblada del proceso 7 se realiza mediante una cortina de aire des ionizante (Marca: Exair, Modelo: Gen4), que se encuentra siempre activa, sin embargo, la des-ionización de la pieza se da de manera simultánea al subproceso 8 de transporte debido a que dicha cortina de aire des ionizante se encuentra sobre la ruta de transporte de los pistones de aire comprimido. Finalmente se da el subproceso 9, que hace referencia a los controles de la calidad de la pieza, pues mediante una cámara inteligente (Marca: Datalogic) se toman las fotografías pertinentes para detectar y comprobar la presencia de la tarjeta PCBA y los Screws en el Housing. Este último subproceso realiza la conexión de la Sección A con la Sección B de la etapa de ensamble.

Una vez explicado el proceso de ensamble de la Sección A y los componentes que esta posee actualmente, se procede a realizar la descripción de la propuesta de los nuevos componentes de la propuesta de automatización de la dicha sección. Para ello, el presente capítulo ha sido dividido para una mejor y más ordenada presentación de la propuesta donde se detalla lo siguiente:

- Selección de componentes principales: se seleccionan las máquinas o componentes que forman parte importante de la propuesta de automatización o que desempeñan las tareas principales.
- Diseño mecánico: se realiza el diseño de las estructuras mecánicas que brindan soporte a las maquinas o componentes principales de la propuesta de automatización.
- Diseño neumático: se realiza el diseño neumático pertinente para el correcto funcionamiento de esta propuesta.

- Diagramas de conexiones: se muestran los diagramas de conexiones de los componentes para minimizar el margen de error al momento del rediseño de la línea de producción.

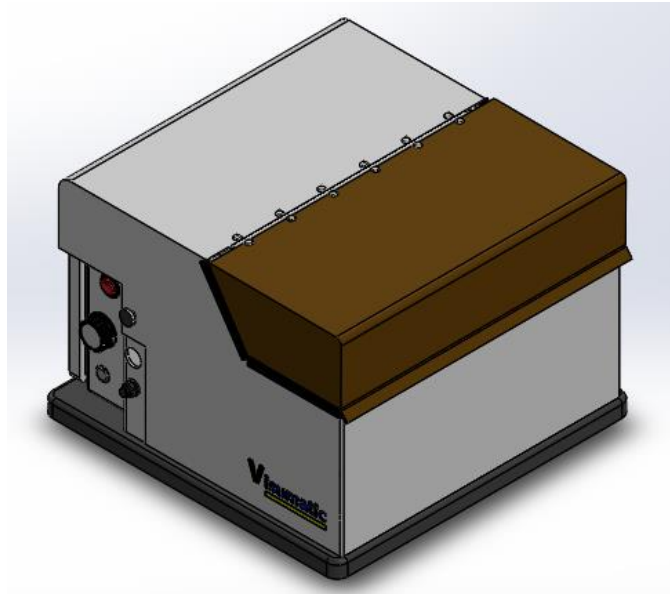
La presente propuesta de automatización ha sido realizada bajo el modelo de gestión “Lean Manufacturing” y la técnica de calidad japonesa “Poka-Yoke”, las cuales fueron explicadas en el Capítulo 3 del presente proyecto con el objeto de disminuir tanto como sea posible y funcional el tiempo de ensamble de la Sección A de la Etapa de Ensamble de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”.

## **6.1 Selección de componentes principales**

Como se mencionó recientemente, en esta sección se muestran las máquinas o elementos principales que van a realizar los procesos de la Sección A de la Etapa de Ensamble del “Proceso Productivo A2705”.

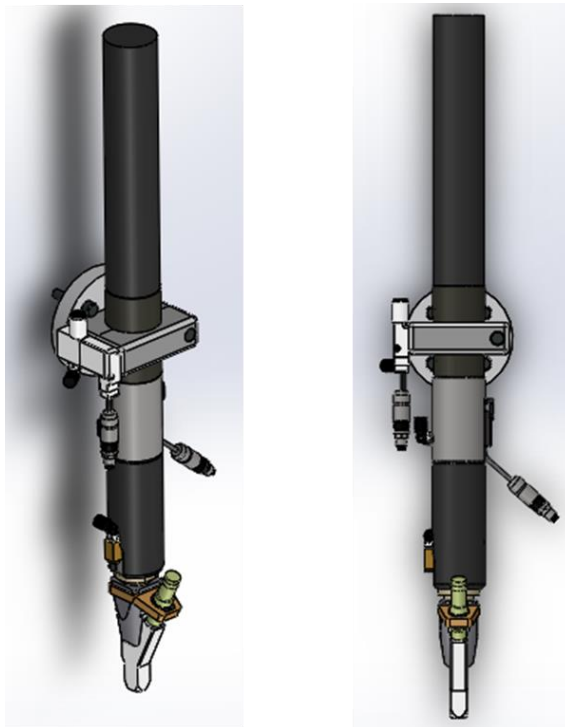
### **6.1.1 Atornillador automático**

Para el proceso de atornillado se selecciona un **atornillador automático Visumatic VCM-3X.2**, que está constituido por un **alimentador automático Visumatic Model 94 (Figura 22)** y una herramienta de atornillado automático (**Figura 23**). El alimentador automático está constituido por un plato vibrador que distribuye y coloca en posición adecuada los Screws (tornillos) para enviarlos mediante un conducto de aire comprimido a la base de la herramienta de atornillado automático. Esta herramienta de atornillado automático coloca finalmente el Screw en el Housing y realiza el atornillado de manera automática. El proceso descrito de vibración, traslado de Screw, posicionamiento de Screw y atornillado tiene una duración de 2s.



SolidWorks 2017  
Fuente: elaboración propia.

**Figura 22.** Alimentador automático Visumatic Model 94.



SolidWorks 2017  
Fuente: elaboración propia.

**Figura 23.** Atornillador automático Visumatic VCM-3X.2

La selección de este atornillador automático Visumatic VCM-3X.2 ha sido realizada en función del tipo de Screw, que se muestra en el ANEXO X y el torque necesario para la inserción de los mismos es de 0,46Nm  $\pm$ 0,01Nm (4,1 lb/in  $\pm$ 0.4lb/in).

Para el control de la herramienta de atornillado se necesita un driver, sin embargo, en este caso se decide utilizar el driver ya instalado del atornillador eléctrico existente, que es un **KILLEWS PN KL-SCBSN** pues permite el funcionamiento del mismo al permitir arranque remoto, reversa, paro y demás funciones necesarias.

### **6.1.2 Robot colaborativo**

Se necesita un robot que realice el ensamble de la tarjeta PCB mediante el uso de presión de vacío a través de ventosas y coloque está en el Housing con el Lens Pack previamente ensamblado.

Además, de la misma manera, mediante vacío debe tomar una herramienta de atornillado automático y le dará la posición para realizar el proceso de atornillado, el cual se requiere realizar 2 veces por pieza. Una vez finalizados los procesos de atornillado, este robot debe volver a su posición inicial para repetir su proceso de ensamble desde la toma de otra tarjeta PCB para ensamblar una nueva lámpara de proyección.

Debido a esta labores descritas, se selecciona un **robot colaborativo (COBOT) AUBO Robotics i5**, que se muestra en la **Figura 24**. Las características técnicas y de funcionamiento de este COBOT se describen a continuación en la **Tabla 9**.



Fuente: AUBO Robotics.

**Figura 24.** Robot colaborativo (COBOT) AUBO Robotics i5.

**Tabla 9.** Características técnicas de COBOT AUBO Robotics i5.

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Número de ejes	6
Alcance trabajo	880 mm
Rango de trabajo de ejes	$\pm 175^\circ$
Velocidad máxima de ejes	150°/s a 180°/s
Velocidad lineal	2,4 m/s
Carga máxima	5 Kg
Momento máximo de ejes	34 Nm a 207 Nm
Repetitividad	$\pm 0,05$ mm
Peso	24 Kg
Huella	172 mm
Consumo de energía	200 W
Temperatura ambiente	0 a 45 °C
Protección NEMA	IP54

Fuente: Elaboración propia.

De las características técnicas mostradas en la tabla anterior se destaca lo siguiente:

- Las velocidades de trabajo del robot son óptimas debido a que se desea realizar el proceso de ensamble de la tarjeta PCB de la manera más eficaz y eficiente posible.
- La repetitividad es un aspecto importante pues este indica que existe un margen de error de  $\pm 0,05$  mm únicamente en cuanto a la repetición de movimientos, lo cual es deseable debido a la precisión necesaria para el posicionamiento de elementos como el ensamble de la tarjeta PCB y el proceso de atornillado.
- Necesita un espacio reducido de instalación pues tiene una huella de 172 mm y, además, no requiere de estructuras robustas para su sujeción pues su peso es de 24 Kg, lo cual es bastante reducido tomando en cuenta la naturaleza del artefacto.

- Tiene protección IP54 que según designación NEMA es protección contra el ingreso de agua salpicada y contra el polvo. Esta característica es importante debido al ambiente de trabajo en las naves industriales de Flex Costa Rica, pues se da la existencia de gran cantidad de partículas en el aire.

La principal característica del COBOT AUBO Robotics i5 es su control y trabajo colaborativo. El trabajo colaborativo significa que este robot puede estar funcionando y trabajando teniendo a colaboradores y persona a uno lado de este, es decir, puede trabajar en conjunto con los demás colaboradores de la línea. Esto se debe a su programación de seguridad que le permite detenerse cuando este tiene contacto con la persona o cualquier otro objeto. La sensibilidad del COBOT para detenerse al ser interrumpida su ruta de trabajo puede ser especificada en su programación de 1 a 10, siendo el 1 la menor sensibilidad y el 10 la máxima sensibilidad. Esta característica, a la vez, permite un importante ahorro de espacio en la línea de trabajo debido a que no necesita ser enjaulado para la seguridad de las personas debido a esta configuración colaborativa.

En cuanto al control colaborativo, se refiere a las diversas maneras de programación y métodos de control que permite este robot las cuales son mediante:

- Teach Pendant: permite el control y programación a través de su interfaz.
- Control Manual: también llamado “aprendizaje inteligente” pues permite la colocación del COBOT en distintas posiciones de manera manual y luego reproducir estas posiciones.
- PLC: permite ser programado desde una unidad externa y compartir la misma interfaz mediante una conexión Ethernet y comunicación Modbus TCP/IP.



El COBOT necesita de 2 elementos para funcionar correctamente, uno es el “Teach Pendant” y el otro es el “Control Box”. El “Teach Pendant” (**Figura 25**) es un elemento HMI, es decir, un elemento de interfaz hombre-máquina que permite el control de una manera sencilla de los movimientos del COBOT y el monitoreo del estado del mismo, como la temperatura de los ejes, posición actual del robot, bloqueos y paro de seguridad. Como se mencionó anteriormente, permite también programar sencillamente el COBOT desde su interfaz.



Fuente: AUBO Robotics.

**Figura 25.** Teach Pendant.

El “Control Box” o la caja de control del COBOT (**Figura 26**) es la fuente de alimentación y conexiones de COBOT. Este elemento permite la energización tanto del COBOT como del “Teach Pendant”, brinda indicaciones del estado del sistema en su totalidad mediante la iluminación de Leds y permite realizar las conexiones pertinentes de elementos externos para su programación. Permite las siguientes conexiones:

- 16 entradas de seguridad.
- 16 salidas de seguridad.
- 16 entradas digitales.
- 16 salidas digitales.
- 2 entradas analógicas.
- 2 salidas analógicas.



Fuente: AUBO Robotics.

**Figura 26.** Control Box.

### **6.1.3 Sistema de visión**

Los robots en la actualidad debido a la gran cantidad de trabajos que pueden realizar y a la inmensa diversidad de aplicaciones en los que se pueden utilizar, las personas les han brindado características que no son propias de ellos, pues han llegado a ser llamado “maquinas inteligentes”. Sin embargo, un robot por sí solo no puede ser llamado “inteligente”, pues estos únicamente brindan las posiciones y movimientos necesarios en los procesos en los se utilizan y para poder realizar eficientemente las labores por las cuales son seleccionados necesitan de una gran diversidad de componentes para su guía y programación. El Robot colaborativo AUBO Robotics i5 no es una excepción a lo mencionado anteriormente, pues aunque este tiene una serie de características que lo diferencian de los demás robots que han sido diseñados hasta la actualidad, al igual que estos, no es “inteligente”.

Se menciona anteriormente que este robot debe realizar la labor de ensamblar la tarjeta PCB en el Housing de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”. Para tomar esta tarjeta PCB se necesita de un elemento que reconozca la presencia de la tarjeta y la brinde las coordenadas exactas al robot para que pueda posicionarse sobre dicha tarjeta, además, debe reconocer que en el fixture de tarjetas PCB ya no se encuentra tarjeta alguna para que proceda a realizar el cambio de fixture. El fixture, término que fue explicado en el Capítulo 3 como el elemento de sujeción en un proceso de manufactura, para tarjetas PCB junto con dichas tarjetas se muestra en la **Figura 27**. Sin embargo, se necesita que las tarjetas PCB se encuentren posicionadas por el lado contrario del cual se muestran en la misma figura, por ello, se realice el rediseño del fixture el cual supone una leve modificación. Este rediseño se muestra en el **Apéndice B**.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 27.** Fixture con tarjetas PCB.

Para esta aplicación, se selecciona una cámara inteligente o sistema de visión el cual permite el reconocimiento de la tarjeta y brinda las coordenadas en los 3 ejes coordenados programados (x, y, z según la designación de coordenadas convencional). Sin embargo, se necesitan ciertos datos para poder delimitar la

dimensión y capacidad de la cámara a elegir. Estos datos se presentan para selección de sistema de visión se muestran en la **Tabla 10**.

**Tabla 10.** Datos para selección de sistema de visión.

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Altura mínima de la cámara respecto a fixture	10,00 cm
Altura máxima de cámara respecto a fixture	30,00 cm
Dimensiones de tarjeta PCB	5,08 cm x 3,81 cm
Dimensiones de fixture	33,36 cm x 21,27 cm
Diferencia de altura entre fixtures	10,8 cm
Tipo de iluminación	Fluorescente
Tiempo de procesamiento	1s

Fuente: elaboración propia.

Como se nota en la tabla anterior, la mayoría de los datos necesarios para la selección de este sistema de visión son dimensiones, debido a que estas dimensiones delimitan el tamaño de la imagen que debe tomar la cámara inteligente. El tipo de iluminación es de gran importancia debido a que la calidad de una buena fotografía tomada por la cámara depende significativamente. Finalmente, el dato del tiempo de procesamiento delimita la calidad del procesador de la cámara para realizar la detección de tarjeta PCB y análisis de las coordenadas de posición pues cuanto menor sea el tiempo de procesamiento de la imagen, de mayor capacidad debe ser dicho procesador y consecuentemente, la cámara tiene un valor económico mucho más significativo. Los elementos seleccionados y necesarios para este sistema de visión se muestran en la **Tabla 11**. En la **Figura 28** se muestra la cámara inteligente COGNEX IS7600M-373-50 seleccionada.

**Tabla 11.** Elementos de sistema de visión seleccionado.

Elemento	Marca	Modelo
Cámara	COGNEX	IS7600M-373-50
Cobertor polarizado de lente	COGNEX	COV-7000-PL-FULL
Autoenfoco	COGNEX	ISAF-7000-8MM
Iluminación	COGNEX	ISLM-7000-WHI

Fuente: elaboración propia.



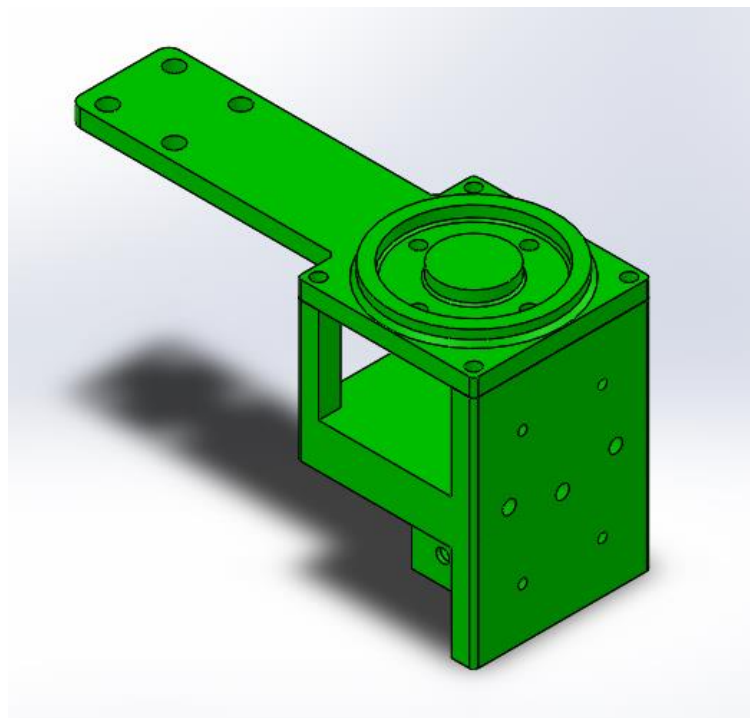
Fuente: COGNEX Corporation.

**Figura 28.** Sistema de visión COGNEX IS7600M-373-50.

Se aclara que esta aplicación de detección de tarjeta PCB en el fixture puede ser realizada mediante el uso de un sensor capacitivo, sin embargo, debido al funcionamiento de esos sensores mediante la detección de constante dieléctrica de los materiales, se puede incurrir a un importante error debido a la similitud en cuando al valor de la constante dieléctrica del material de la tarjeta PCB y a la constante dieléctrica del material del fixture de la PCB.

#### 6.1.4 Herramienta COBOT

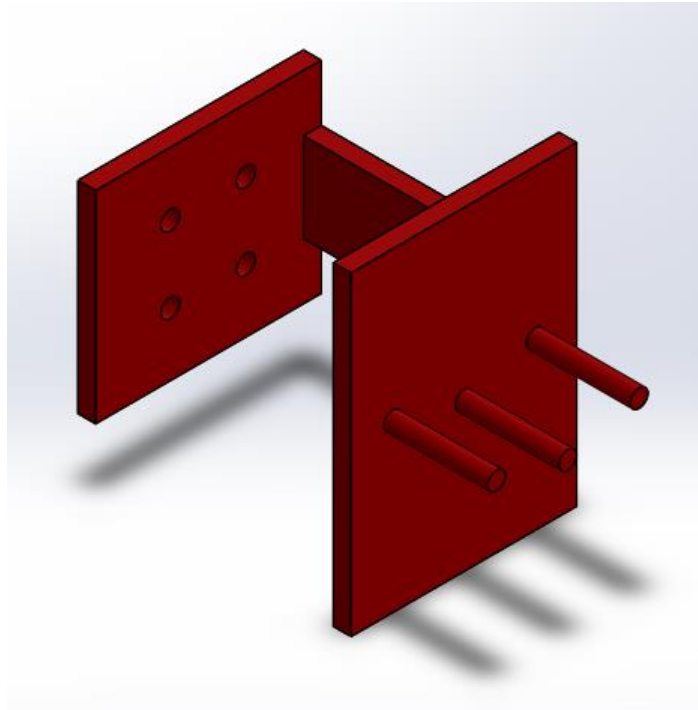
Para la instalación de las ventosas de vacío en la muñeca del COBOT para la sujeción de las tarjetas PCB, la herramienta de atornillado automático y la instalación de la Cámara 1 de posición de PCB se debe diseñar una herramienta que sea liviana, de material resistente y no poroso para evitar fugas de vacío. Esta herramienta se muestra a continuación en la **Figura 29**.



SolidWorks 2017  
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 29.** Herramienta principal del robot colaborativo AUBO i5.

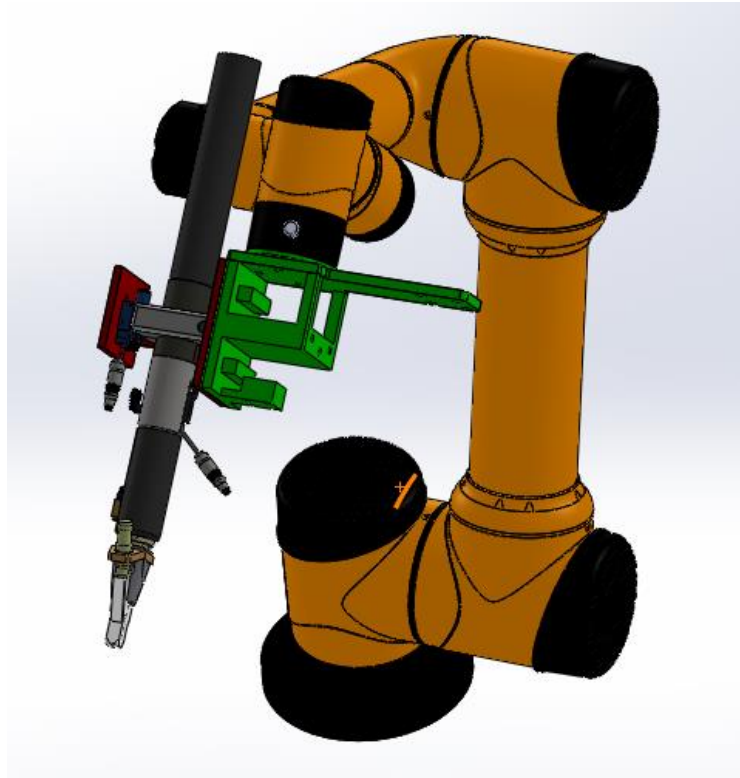
También, debe diseñarse una herramienta que permita el acople del atornillador automático a la herramienta principal del robot colaborativo. Esta herramienta se muestra en la **Figura 30**. Se realiza del mismo material de la herramienta principal del robot antes mencionada. Las especificaciones de diseño de estas herramientas se muestran en el **Apéndice C**.



SolidWorks 2017  
Fuente: elaboración propia.

**Figura 30.** Herramienta sujeción de atornillador automático Visumatic VCM-3X.2.

El método de acople diseñado del robot colaborativo con el atornillador automático Visumatic VCM-3X.2 mediante la herramienta principal del robot y la herramienta de sujeción del atornillador se muestra en la **Figura 31**.



SolidWorks 2017  
Fuente: elaboración propia.

**Figura 31.** Método de acople de robot colaborativo con atornillador automático.

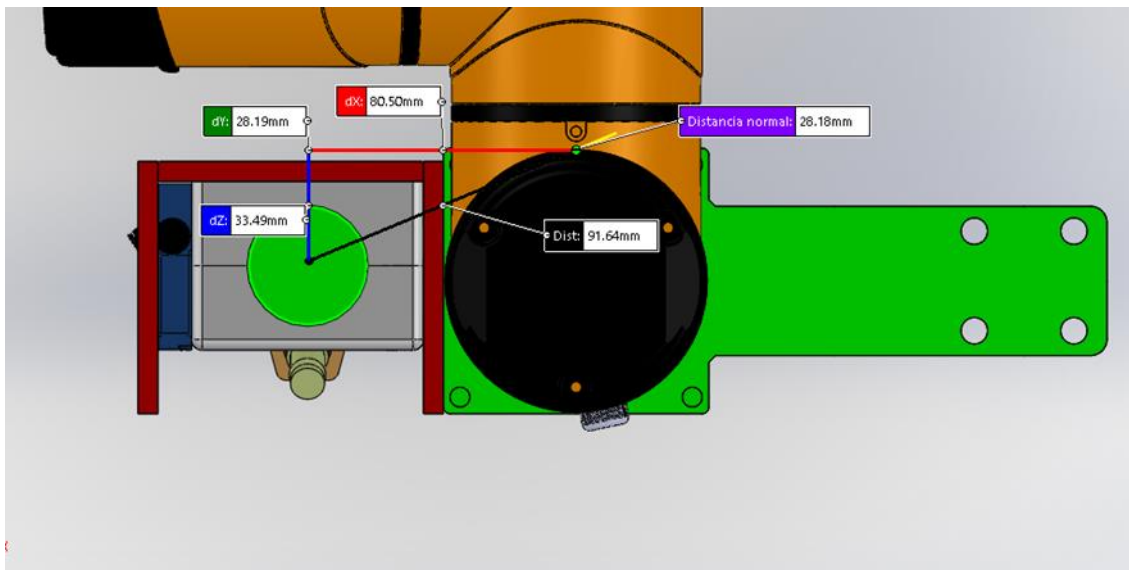
Los datos de peso de los elementos anteriores como la Cámara 1 de posición de tarjeta PCB, la herramienta de atornillado, la herramienta de sujeción del atornillador y la herramienta principal del COBOT son de gran importancia debido a que el COBOT seleccionado soporta una carga máxima de 5 Kg y momentos máximos en su muñeca de 34 Nm. Por ello, el peso total de estos elementos y torque máximo generado no deben sobrepasar los valores permisibles del COBOT. En la **Tabla 12** se muestran los valores de masa total para cada elemento y la carga total. Luego, en la **Figura 32**, se muestra la distancia a la cual la mayor carga (herramienta de atornillado automático) genera el mayor torque.



**Tabla 12.** Masa de elementos.

Elemento	Masa (kg)
Herramienta COBOT	0,7
Herramienta atornillado automático	2,6
Herramienta de sujeción de atornillador automático	0,3
Cámara 1	0,4
<b>Total</b>	<b>4,0</b>

Fuente: elaboración propia.



SolidWorks 2017

Fuente: elaboración propia.

**Figura 32.** Distancia de momento máximo generado en muñeca del robot colaborativo AUBO i5.

### 6.1.5 Banda transportadora de cadenas

El Housing junto con su Lens Pack ya colocado debe ser transportado a un punto en específico sobre el cual el COBOT pueda realizar su labor de colocación de tarjeta PCB y realizar el proceso de atornillado, luego, esta pieza pre ensamblada debe pasar por la cortina de aire des ionizante, seguidamente, colocarse en posición para que la Cámara 2 realice su función de detección de presencia de Screws y tarjeta PCB y finalmente, ser extraída del proceso de ensamble. Para

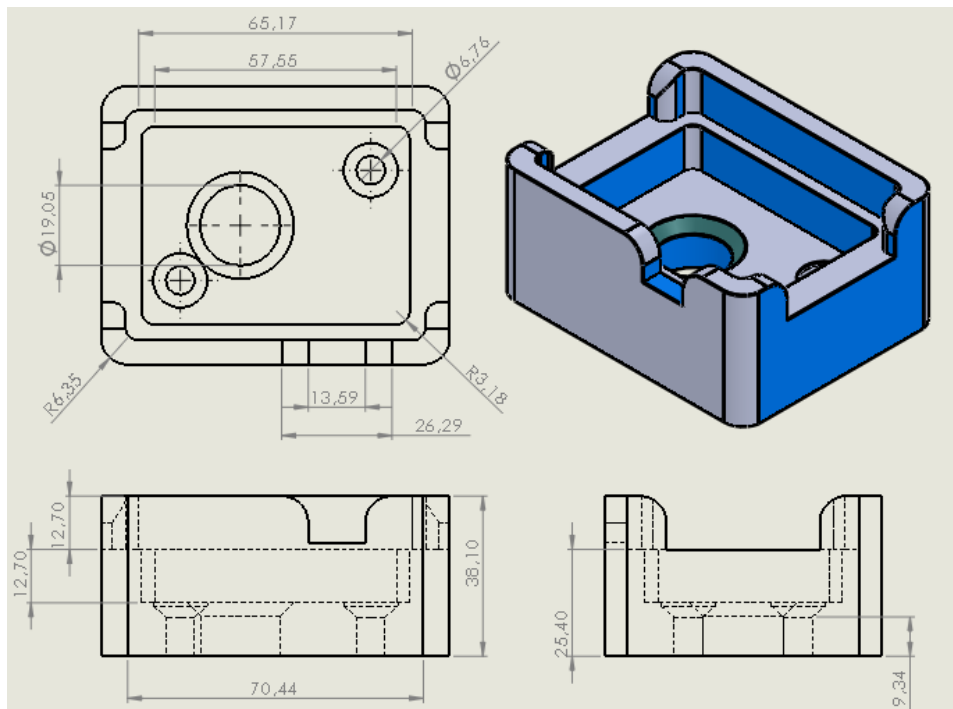
desempeñar la labor de transporte de la pieza se propone la fabricación de una banda transportadora de cadenas. Esta banda, basada en los principios de Lean Manufacturing, permitirá que el proceso se lleve a cabo de una manera más fluida. Los elementos necesarios para la fabricación de esta se muestran en la **Tabla 13**.

**Tabla 13.** Componentes de banda transportadora de cadena.

<b>Elemento</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>
Banda de cadenas	McMASTER-CARR	6378K210	2
Semi-eje de banda de cadenas	McMASTER-CARR	6369K831	4
Cojinete	McMASTER-CARR	6494K140	2
Tensor de banda	McMASTER-CARR	60085K110	2
Eje 6 pulg	McMASTER-CARR	1497K144	1
Eje 9 pulg	McMASTER-CARR	1497K145	1
Fixture	Flex Costa Rica	A-2705-AA01-010	26

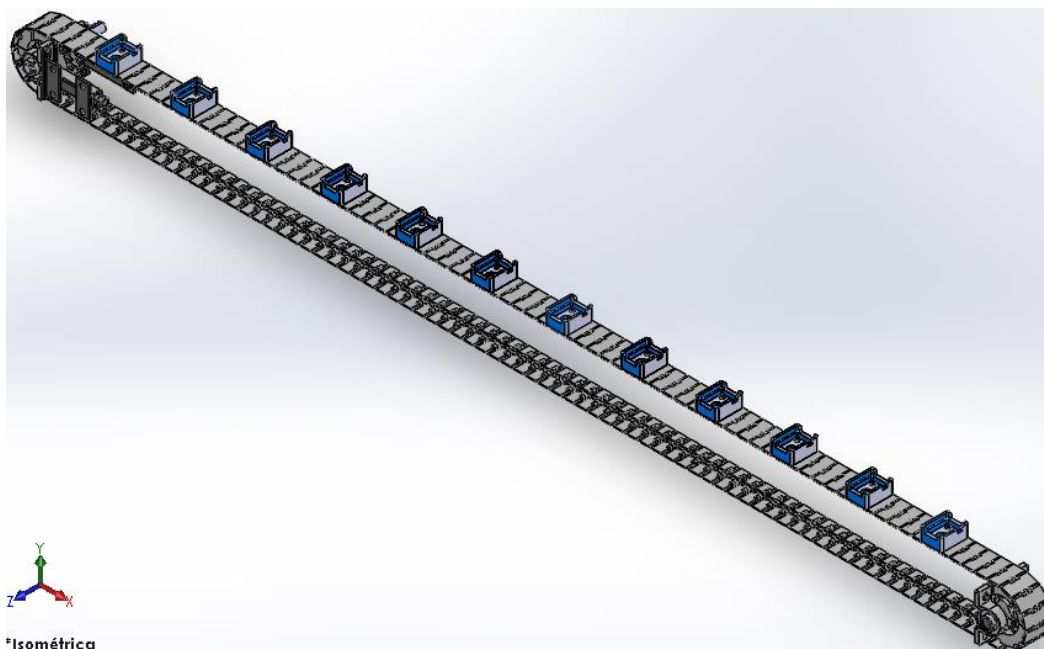
Fuente: elaboración propia.

Los Housings de la pieza “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” son elementos de forma irregular, como se vieron la **Figura 6** del Capítulo 3, por lo que no pueden ser simplemente colocados sobre la banda transportadora de cadena, deben estar fijos a algún componente debido al movimiento y al torque ejercido por el COBOT y el atornillador automático. Para cumplir esta función se utilizan “Fixtures”, que permiten soportar las piezas de manera adecuada como fue explicado en el Capítulo 3. Este Fixture fue diseñado previamente por Flex Costa Rica para la puesta en marcha del “Proceso Productivo A2705”, sin embargo, debido se necesita la fabricación de más de estos componentes. La cantidad necesaria se muestra en la tabla anterior, **Tabla 13**. El Fixture para la manufactura de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” está fabricado con material Del-rin y se muestra en la **Figura 33**. Seguidamente, en la **Figura 34** se muestra la banda transportadora de cadenas con la totalidad de sus componentes.



SolidWorks 2017  
Fuente: elaboración propia.

**Figura 33.** Fixture para manufactura de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”



\*Isométrica

SolidWorks 2017  
Fuente: elaboración propia.

**Figura 34.** Banda transportadora de cadenas.

Para permitir el funcionamiento de la banda transportadora de cadena se debe seleccionar un motor que permita el torque y velocidad que necesita el sistema. Tras realizar el análisis de cargas que tiene la banda transportadora de cadena, se determina que se necesita un motor que proporcione un torque mínimo de 0,80 Nm (7,1 lbin), pues es el esfuerzo que necesita realizar para vencer la carga de la banda transportadora de cadena. La empresa Flex Costa Rica cuenta con componentes almacenados dentro de los que figuran motores, por ello se selecciona el siguiente servomotor, mostrado en la **Tabla 14**, que se encontraba con su respectivo encoder y driver para su correcto y preciso funcionamiento. En la misma tabla se muestra el acople necesario una vez el servomotor ha sido seleccionado.

**Tabla 14.** Características servomotor seleccionado.

Elemento	Marca	Modelo	Potencia (W)	Tensión (V)	Intensidad de Corriente (A)	Torque (Nm)
Servomotor	Yaskawa Electric Corporation Japan	SGMAS-08ACA41	750	200	5,4	2,39
Acople	McMASTER-CARR	2764K638				

Fuente: elaboración propia.

Se evidencia que el servomotor seleccionado tiene una potencia mayor de la necesaria, pues el torque, específicamente, es mucho mayor al obtenido al realizar el cálculo de cargas. Sin embargo, debido a que ya es propiedad de la empresa Flex Costa Rica, no tiene uso alguno actualmente ni se tiene alguno planeado a futuro, se puede utilizar y no hay problema alguno con su sobredimensionamiento. Por otro lado, el acople seleccionado es un acople flexible que permite la disminución significativa de las vibraciones.

La estructura mecánica que soporta la banda transportadora de cadenas se describe en la siguiente sección del presente capítulo, sección 5.2, asimismo, se demuestran las estructuras mecánicas que soportan el resto de componentes como el COBOT y el atornillador automático.

Para la sujeción mediante vacío que se mencionó al inicio de esta sección se realiza el diseño neumático pertinente, que incluye a su vez la alimentación de aire comprimido para los elementos que así lo necesitan. Esto se describe y especifica en la sección 5.3 del presente capítulo. Asimismo, la descripción de la alimentación y conexión eléctrica de los componentes eléctricos se describe en la sección 5.4 de este capítulo.

Finalmente, para los desempeñar las funciones restantes de des ionización de la pieza pre ensamblada y la comprobación de componentes en la pieza según lo estipulado por el Departamento de Calidad, se utilizan los elementos ya existentes y en actual funcionamiento en la línea, los cuales son la cortina de aire des ionizadora **Exair Gen 4 (Figura 35)** y la **Cámara Datalogic (Figura 36)** de detección de presencia de piezas. Esta cámara para futura referencia será llamada Cámara 2.



Fuente: Exair Corporation.

**Figura 35.** Cortina de aire des-ionizante Exair Gen4.



Fuente: Datalogic S.p.A.

**Figura 36.** Cámara Datalogic.

## **6.2 Diseño mecánico**

En esta sección se muestran los diseños mecánicos de la presente propuesta de automatización parcial. Es decir, se muestran las estructuras, junto con sus respectivos planos, que soportan los elementos principales de este rediseño de línea de producción, específicamente para la Sección A. Se han diseñado únicamente 2 estructuras mecánicas, una estructura de soporte para banda transportadora (conveyor) y una mesa de soporte.

El diseño de estas estructuras ha sido realizado, al igual que los componentes mencionados en la sección anterior, tomando en cuenta la funcionalidad de sus elementos, garantizando la seguridad de los colaboradores de la línea productiva y utilizando el menor espacio posible. Sin embargo, se ha tomado en consideración el uso de elementos y materiales ya conocidos y utilizados en la empresa pues de esta manera se facilita y agiliza la fabricación de la estructuras.

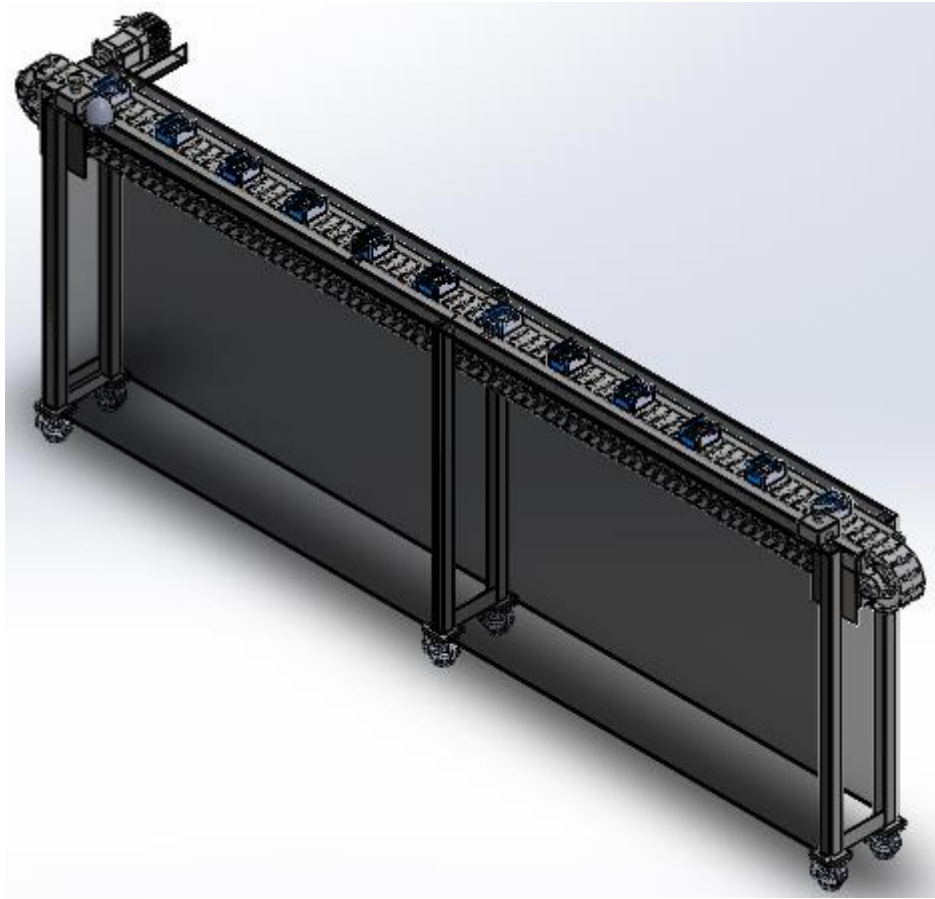
### 6.2.1 Banda transportadora de cadenas

La estructura para la banda transportadora es una estructura soldada principalmente y atornillada sobre la cual se hace el montaje de la banda transportadora. Está constituida por barras y angulares Acero ASTM A36, ruedas de nivel, las cuales permiten su fácil transporte, fijación y elevación en caso de ser necesario y cojinetes tensores que permite lograr fácilmente la tensión óptima de la banda transportadora para su correcto funcionamiento.

La estructura de la banda transportadora soporta los siguientes elementos:

- Banda transportadora de cadena
- Poleas
- Ejes
- Empaques para banda transportadora
- Fixtures para Housing
- Motor
- Sensores
- Botonera de paro emergencia
- Led

En la **Figura 37**, se muestra la estructura dicha banda junto con los elementos que esta soporta. En el **Apéndice A** se muestran los planos pertinentes para la fabricación de la estructura de la banda transportadora junto con la totalidad y cantidad de elementos que esta soporta.



SolidWorks 2017  
Fuente: elaboración propia.

**Figura 37.** Banda transportadora.

Debido a que esta estructura contiene elementos móviles, se realizan las especificaciones necesarias en los planos de fabricación de proteger elementos como los ejes, poleas y motor por seguridad de los colaboradores. También, se le agregan 2 botoneras de paro de emergencia, una a cada extremo de la banda transportadora según lo establecido en el Reglamento General de Seguridad e Higiene del Trabajo establecido por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Costa Rica y la reglamentación propia de seguridad e higiene ocupacional de Flex Costa Rica.

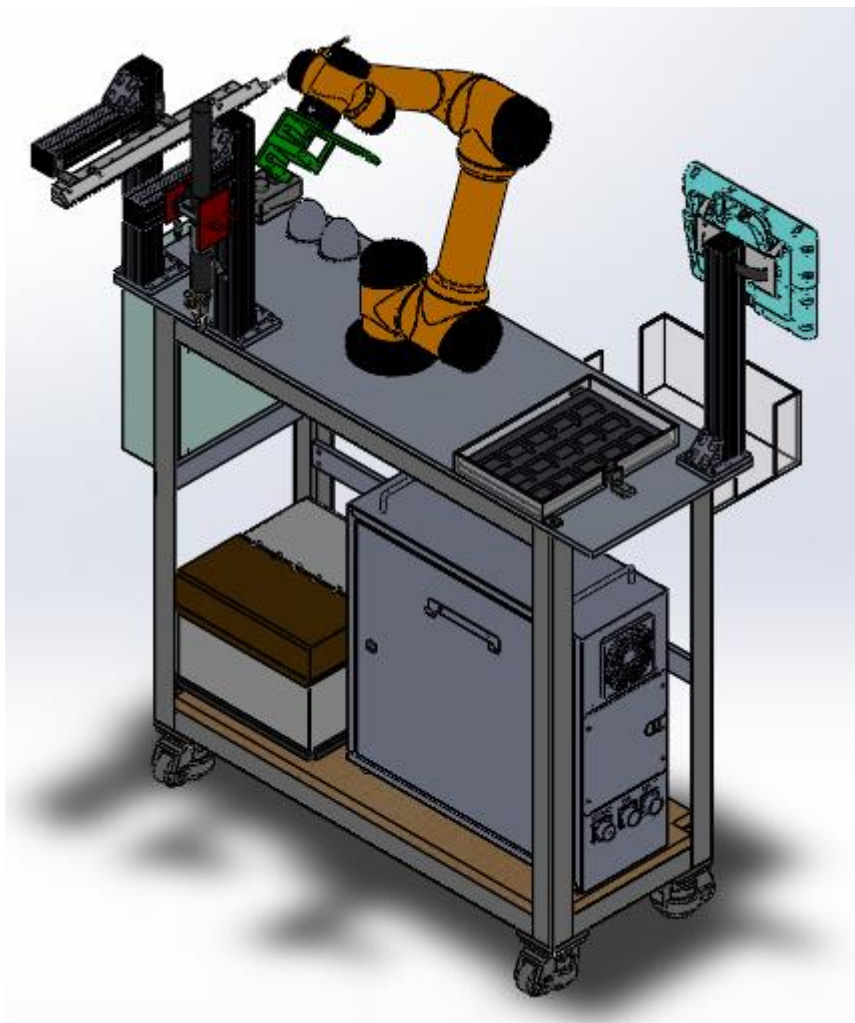


### 6.2.2 Mesa de soporte

La mesa de soporte consiste en una estructura rígida, soldada y atornillada diseñada con gran precisión para soportar la mayoría de elementos y brindar las posiciones exactas de los mismos. Su estructura sostiene los siguientes elementos:

- COBOT
- Caja de control del COBOT (Control Box)
- Pantalla táctil de COBOT (Teach Pendant)
- Atornillador automático
- Alimentador del atornillador automático
- Barra Ionizante
- Cámara 2
- Sistema neumático
- Panel de control de Sección A
- Bandeja de tarjetas PCB
- Desecho bandeja de tarjetas PCB
- Sensor
- Botonera de arranque y pare
- Botonera de paro de emergencia
- Leds

En la **Figura 38**, se muestra la estructura de la mesa de soporte junto con todos los elementos de automatización. En el **Apéndice B** se muestran la totalidad y cantidad de elementos que componen esta mesa junto con los planos pertinentes para la fabricación de la misma.



SolidWorks 2017  
Fuente: elaboración propia.

**Figura 38.** Mesa de soporte.

### **6.3 Diseño neumático**

Como se explicó al inicio de este capítulo, en la presente sección se muestra y se explica la realización del diseño del sistema neumático que suministrara el aire comprimido para los elementos mencionados anteriormente y realizara las funciones de succión mediante vacío para la Sección A del Proyecto 2705.

El presente diseño neumático ha sido realizado con base a la norma INTE/ISO 1219-1:2015: “Transmisión hidráulica y neumática. Símbolos gráficos y diagramas de circuitos”, la cual es idéntica a la norma internacional ISO 1219-1:2012: “Fluid power systems and components-Graphical symbols and circuit diagrams”. Se han utilizado las 2 partes que conforman la norma, las cuales son “Parte 1: Símbolos gráficos para el empleo convencional e información” y “Parte 2: Diagramas de circuitos.”.

#### **6.3.1 Suministro de aire**

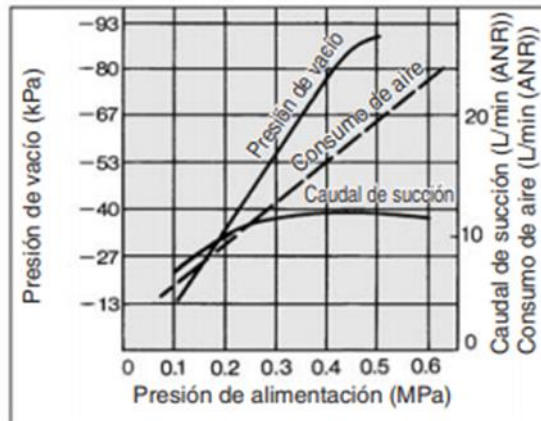
Para la selección de los elementos y válvulas necesarias para el sistema neumático, primero se debe tener la información de suministro de aire que necesita cada uno de los elementos finales del sistema, se obtienen mediante los establecido por los fabricantes de dichos elementos o realizando los cálculos pertinentes para determinada función, como lo son los sistemas generadores de vacío. Para este sistema neumático, los elementos principales y finales o procesos a realizar se enlistan a continuación, se aclara que cada uno de estos elementos o procesos deben ubicarse en distintos ramales:

- Atornillador Automático Visumatic VCM 3.2X (Ramal 1).
- Barra Ionizadora Exair Gen4 (Ramal 2).
- Ventosas de vacío para sujeción de la tarjeta PCB (Ramal 3).
- Ventosas de vacío para sujeción del Atornillador Automático Visumatic VCM-3X.2 (Ramal 4).

El suministro de aire en cuanto a presión y caudal de los primeros 2 elementos finales, el Atornillador Automático Visumatic VCM 3.2X y la Barra Ionizadora Exair Gen4 se obtiene mediante lo establecido por el fabricante, pues son los valores necesarios en cuanto a caudal y presión para el correcto funcionamiento de los mismos. Dichos valores se muestran en la **Tabla 15**, al final de esta sección. El suministro de aire para las ventosas de vacío para sujeción de tarjeta PCB y las ventosas de vacío para sujeción de Atornillador Automático Visumatic VCM-3X.2 suponen el diseño de un sistema de vacío el cual necesita ser calculado y la selección de ciertos componentes como el medio de generación de vacío, tipo de ventosas y cantidad de las mismas.

En la **Figura 39** se muestran las curvas de la presión de vacío, caudal de succión y el consumo de aire de un sistema en función de la presión de alimentación. En dicha figura, se aprecia que la mayor presión de vacío se obtiene aproximadamente a 0,45 MPa. Además, a esa misma presión se da el mayor caudal de succión, con una magnitud de 12 l/min aproximadamente y a su vez se nota el consumo de aire, el cual aumenta de manera proporcional con la presión de alimentación. Debido a que se necesita conseguir a mayor presión de vacío posible para asegurar el correcto y eficiente funcionamiento del sistema se propone un suministro de aire para los sistemas de vacío con una presión de 0,45 MPa y un caudal de 12 l/min. En la **Tabla 15** se muestra en resumen, el suministro de aire necesario para cada elemento final del sistema.

### Curvas de escape



SMC Corporation  
Fuente: SMC ZP-2 Catalog

**Figura 39.** Curvas de presión de vacío, consumo de aire y caudal de succión.

**Tabla 15.** Requerimientos neumáticos de los elementos de Proyecto A2705 Sección A.

Elemento	Presión (MPa)	Caudal (l/min)	Presión (psi)	Caudal (scfm)
Atornillador Automático Visumatic VCM-3X.2	0,55	141,65	80	5
Ionizador Exair Gen4	0,45	56,61	65	2
Ventosas PCB	0,45	14,16	65	0,5
Ventosas Atornillador Automático Visumatic	0,45	14,16	65	0,5

Fuente: elaboración propia.

### 6.3.2 Generación de vacío

Seguidamente, se muestra el cálculo del sistema de vacío para las ventosas de sujeción de la tarjeta PCB primero y seguidamente el sistema para ventosas de vacío para sujeción del Atornillador Automático Visumatic VCM-3X.2. Inicialmente, se debe calcular el peso de cada uno de los elementos a sujetar y levantar mediante el vacío, dichos valores se muestran en la **Tabla 16**, para realizar la selección del diámetro cantidad y tipo de ventosas.

**Tabla 16.** Peso de elementos a sujetar mediante vacío.

Elemento	Peso (N)
Tarjeta PCB	0,07
Atornillador Automático Visumatic	25,51

Fuente: elaboración propia.

Se nota que el peso de la tarjeta PCB es muy pequeño. Se debe preseleccionar un diámetro y cantidad de ventosas que permitan una fuerza teórica de elevación mayor al peso de la pieza o elemento a sujetar, en este caso, una fuerza teórica mayor al peso de la PCB. La fuerza teórica es la fuerza que se espera ejerza la ventosa para la elevación de un elemento, según la presión de vacío disponible. El número de ventosas se determina según la fuerza de elevación necesaria, las características de la pieza a sujetar debido a que se toman en cuenta aspectos como el tamaño de la pieza, rugosidad, maleabilidad y porosidad, entre otras y aspectos externos a la pieza como los movimientos a los cuales va estar sometida la pieza.

En la **Figura 40** se muestra la Fuerza Teórica en newton en función de la presión de vacío disponible de cada diámetro de ventosa de la empresa SMC. A partir de dicha figura se preselecciona un diámetro de ventosa de 4mm y se selecciona una cantidad de 4 ventosas. La Fuerza Teórica Total se obtiene al multiplicar la fuerza teórica de la ventosa por la cantidad de las mismas.

**(1) Fuerza de elevación teórica** (Fuerza de elevación teórica = P x S x 0.1)

**Diámetro de ventosa (ø2 a ø50)**

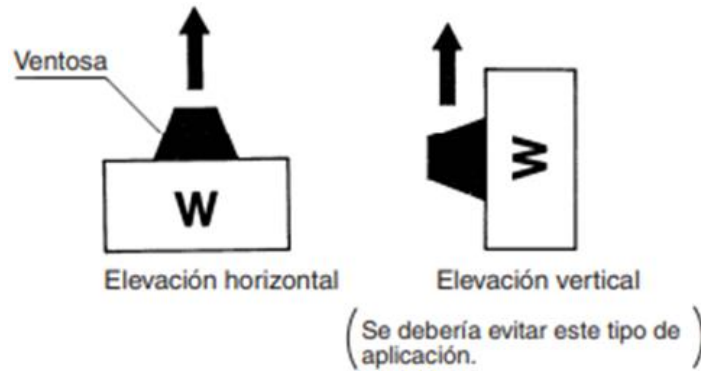
(N)

Diámetro de ventosa (mm)	ø2	ø4	ø6	ø8	ø10	ø13	ø16	ø20	ø25	ø32	ø40	ø50	
Área de ventosa S (cm <sup>2</sup> )	0.03	0.13	0.28	0.50	0.79	1.33	2.01	3.14	4.91	8.04	12.6	19.6	
Presión de vacío (kPa)	-85	0.27	1.07	2.40	4.27	6.67	11.3	17.1	26.7	41.7	68.3	107	167
	-80	0.25	1.00	2.26	4.02	6.28	10.6	16.1	25.1	39.3	64.3	101	157
	-75	0.24	0.94	2.12	3.77	5.89	10.0	15.1	23.6	36.8	60.3	95	147
	-70	0.22	0.88	1.98	3.52	5.50	9.3	14.1	22.0	34.3	56.3	88	137
	-65	0.20	0.82	1.84	3.27	5.10	8.6	13.1	20.4	31.9	52.2	82	127
	-60	0.19	0.75	1.70	3.01	4.71	8.0	12.1	18.8	29.4	48.2	76	118
	-55	0.17	0.69	1.55	2.76	4.32	7.3	11.1	17.3	27.0	44.2	69	108
	-50	0.16	0.63	1.41	2.51	3.93	6.7	10.0	15.7	24.5	40.2	63	98
	-45	0.14	0.57	1.27	2.26	3.53	6.0	9.0	14.1	22.1	36.2	57	88
-40	0.13	0.50	1.13	2.01	3.14	5.3	8.0	12.6	19.6	32.2	50	78	

SMC Corporation  
Fuente: SMC ZP-2 Catalog

**Figura 40.** Fuerza de elevación teórica de ventosas.

Luego, a esta fuerza total se le debe aplicar el factor de seguridad de elevación. El factor de seguridad de elevación es un factor que debe aplicarse según el tipo de elevación, el cual, debido a la posición de la pieza y la posición de la ventosa para sujetar la pieza, puede ser elevación horizontal o elevación vertical (**Figura 41**). Serrano (2009) menciona sobre los factores de seguridad de sujeción que: “Según se situó la carga en un plano horizontal o vertical...se recomienda que, en el primer caso, sea 2 al menos y en el segundo, de 4” y 4 para elevación vertical generalmente”, sin embargo, se recomienda utilizar los factores de seguridad de elevación establecidos por los fabricantes de las ventosas, por ello, en este caso debido a que se seleccionan ventosas SMC, se aplican los factores de seguridad de elevación establecidos por ellos, los cuales con 4 para elevación horizontal y 8 para elevación vertical. La sujeción de la tarjeta PCB supone una elevación horizontal, por lo cual, se utiliza un factor de seguridad de elevación de 4.



SMC Corporation  
 Fuente: SMC ZP-2 Catalog

**Figura 41.** Tipos de elevación mediante vacío.

Tras multiplicar por la cantidad de ventosas y aplicar el factor de seguridad de elevación, se puede seleccionar finalmente un diámetro y tipo de ventosa adecuado. Se muestra a continuación la fórmula para obtener la fuerza total final de sujeción de las ventosas.

$$F_{TT} = \frac{\text{Fuerza teórica} * \text{Cantidad de ventosas}}{\text{Factor de Seguridad de Elevación}} \quad (2)$$

Para el caso de las ventosas para sujeción de tarjeta PCB se obtuvo una Fuerza Teórica Total de sujeción de 1 N.

Seguidamente se realiza la selección del medio generador de vacío. Para la generación de vacío existen distintas técnicas o medios, sin embargo, se selecciona realizar la generación de vacío mediante un generador de vacío debido a la existencia del sistema de aire comprimido y su característico pequeño tamaño sin partes móviles, como se mencionó en capítulos anteriores. De la **Figura 42**, se selecciona el diámetro de boquilla del generador de vacío en función de la cantidad de boquillas y el diámetro de estas. Para este caso, se debe utilizar como mínimo una boquilla de 0,5mm.



SELECCIÓN DEL GENERADOR DE VACÍO		
Diámetro de ventosas mm	Nº de ventosas por generador	Diámetro de boquilla del generador mm
de 2 a 8	de 1 a 2 de 3 a 6	0,5 1
de 10 a 15	1 de 2 a 6	0,5 1
de 20 a 25	de 1 a 6	1
de 30 a 40	de 1 a 4 de 5 a 6	1 1,5
de 50 a 60	de 1 a 2 de 3 a 4	1 1,5
de 80 a 100	1 de 2 a 4 de 5 a 6	1 1,5 2

Fuente: Neumática Practica (Serrano)

**Figura 42.** Selección de generador de vacío en función de diámetro de ventosas y cantidad de ventosas.

En la **Tabla 17** se muestran en resumen las características de los elementos a seleccionar para la sujeción de tarjeta PCB mediante vacío.

**Tabla 17.** Características de elementos para sujetar PCB mediante vacío

Característica	Descripción
Diámetro de Ventosa	4mm
Cantidad de Ventosas	4 unidades
Diámetro de Boquilla de Generador de Vacío	0,5mm

Fuente: elaboración propia.

En la **Tabla 18** se muestran en resumen las características de los elementos a seleccionar para la sujeción del Atornillador Automático Visumatic VCM-3X.2 mediante vacío. Sin embargo, este cálculo se diferencia al anterior en cuanto a la magnitud del peso, el cual se muestra en la **Tabla 17** y el factor de seguridad de

elevación el cual es 8 en este caso por ser elevación vertical. Se calcula una Fuerza Teórica Total de 32,5 N.

**Tabla 18.** Características de elementos para sujetar Atornillador Automático Visumatic VCM-3X.2 mediante vacío

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Diámetro de Ventosa	32mm
Cantidad de Ventosas	4 unidades
Diámetro de Boquilla de Generador de Vacío	1mm

Fuente: elaboración propia.

### 6.3.3 Selección de componentes neumáticos

Luego, se procede con la selección de los demás elementos de cada uno de los ramales. Se selecciona como conducto de los ramales manguera flexible con diámetro en función del caudal a suplir a cada uno de los elementos finales. Dichos diámetros y las longitudes mínimas se muestran en la **Tabla 19**, además, del diámetro y longitud del tramo de alimentación. Se colocan válvulas solenoides que permitan suministrar el aire comprimido necesario a cada elemento y válvulas reguladoras que permitan establecer la presión necesaria para cada elemento, las cuales fueron mostradas y seleccionadas anteriormente en la **Tabla 18**.

Además, los ramales de sujeción de Atornillador Automático Visumatic VCM-3X.2 y de sujeción de tarjeta PCB contarán con sensores digitales de vacío. Asimismo, el suministro de aire para el Atornillador Automático Visumatic VCM-3X.2 contará con un sensor digital de presión. Estos sensores digitales de presión y de vacío, permiten un mejor control del sistema y la correcta automatización del mismo.

Los 4 ramales se conectan mediante un múltiple de suministro de vacío al cual se le conecta un conducto flexible de alimentación principal. Las características de dicho conducto se muestran en la **Tabla 19**.

**Tabla 19.** Dimensiones de conductos flexibles

Elemento	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Diámetro (in)	Longitud (ft)
Atornillador Automático Visumatic	10	2	3/8	6,5
Ionizador Exair	10	2	3/8	6,5
Ventosas PCB	6	2	1/4	6,5
Ventosas Atornillador Automático Visumatic	8	2	5/16	6,5
Alimentación Proyecto A2705 Sección A	12	1	1/2	3,3

Fuente: elaboración propia.

El conducto de alimentación principal del sistema contiene los siguientes elementos:

- Válvula de direccionamiento de flujo manual: permite instantáneamente el ingreso del aire comprimido al sistema.
- Válvula reguladora de presión: regula la presión del aire de todo el sistema.
- Válvula de arranque suave: permite un suministro y evacuación del aire al sistema regulada por seguridad del sistema, de los colaboradores y evite la fatiga en los elementos del sistema de aire.

Dicho conducto de alimentación principal del Proyecto A2705 Sección A se conecta al sistema de distribución de aire comprimido de la empresa.

En la **Tabla 20** se muestran los elementos principales que componen el sistema neumático del Proyecto A2705 Sección A, seleccionados de SMC Corporation. Se especifica que éstos son los elementos principales del sistema, pues las uniones de sujeción mecánica, como tornillería, arandelas, codos, rieles de montaje se encuentran incluidos en los elementos como tal o son sugeridos por el proveedor en función de la elección del cliente. Se brinda, el nombre del elemento y el modelo del mismo en la descripción. La selección y distribución de elementos del sistema

neumático ha sido aprobada por el Ing. Néstor Viales de Dansar Industries, experto en sistemas neumáticos y automatización de procesos.

El plano del sistema neumático se aprecia en el **Apéndice D**. En dicho plano, según la norma vigente mencionada al inicio de esta sección, se codifica el sistema de distribución de la empresa Flex Costa Rica con “1” y el circuito de alimentación de Proyecto A2705 Sección A con “0”, pues es el número inicial para circuitos.

**Tabla 20.** Componentes principales de sistema neumático.

Componente	Marca	Modelo	Cantidad
Válvula de control direccional	SMC Corporation	VHS40-N04B-Z	1
Válvula reguladora de presión	SMC Corporation	AW40-N04BG-Z-A	1
Válvula de arranque suave	SMC Corporation	AV4000-04-5DZ-Q	1
Múltiple suministro de vacío	SMC Corporation	SS5Y7-20-06	1
Regulador de presión	SMC Corporation	AR30-N03-Z-A	4
Válvula solenoide	SMC Corporation	SY7120-5DZ-02	4
Generador de vacío	SMC Corporation	P3010.00.AA.02.AA.00	1
Generador de vacío	SMC Corporation	P5010.00.AE.02.AA.01	1
Sensor Vacío digital	SMC Corporation	ZSE30A-01-E-L	2
Sensor de presión digital	SMC Corporation	ISE30A-01-F-PKL	1
Ventosa PCBA	SMC Corporation	ZP2 B06BN	4
Ventosa de atornillador automático	SMC Corporation	F40-2.20.04AB	4
Barra ionizadora	Exair	Gen4	1
Atornillador Visumatic	Visumatic	VCM-3X.2	1

Fuente: elaboración propia.

#### 6.3.4 Cálculo de tiempo para lograr la presión de vacío necesaria

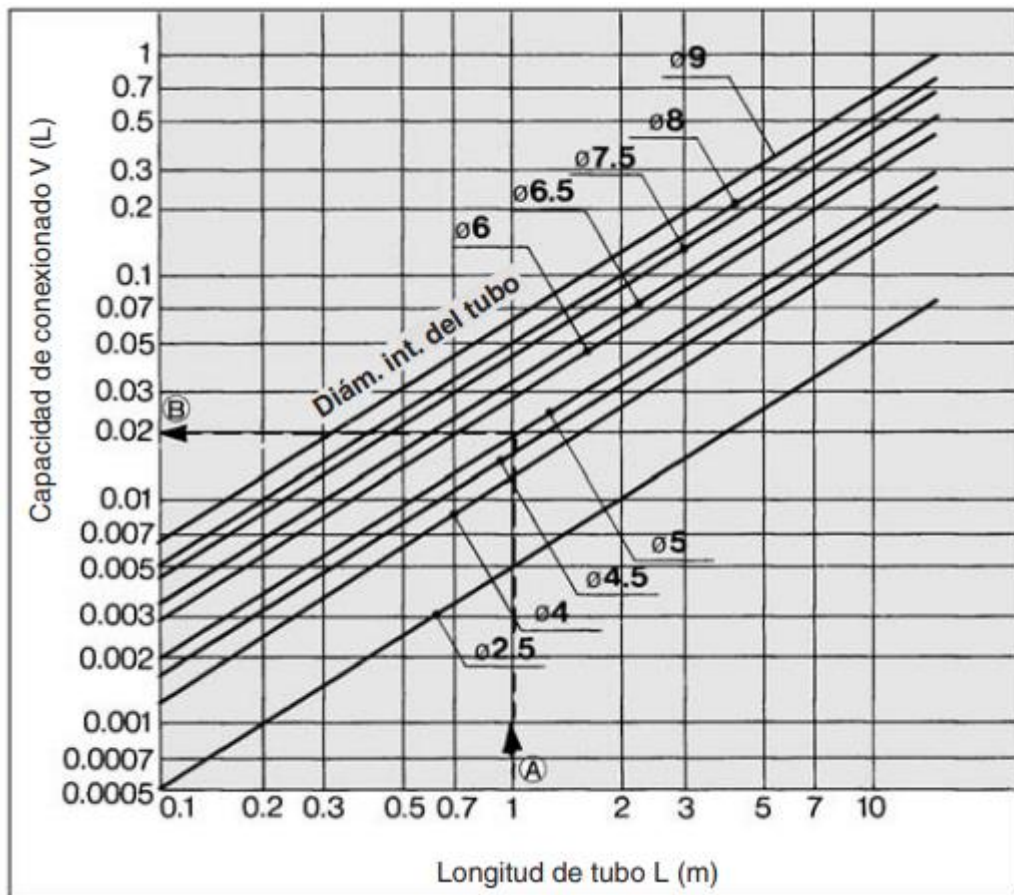
Finalmente, se procede a realizar el cálculo del tiempo que le toma al sistema alcanzar la presión de vacío final tras la activación de la válvula de conmutación o válvula solenoide. Este cálculo se realiza utilizando el valor de caudal del sistema y el volumen del conducto flexible, mediante la fórmula:

$$T_1 = \frac{V \cdot 60}{Q} \quad (3)$$

Donde:

- V: volumen del conducto flexible.
- Q: caudal.
- $T_1$ : tiempo

El valor del volumen del conducto flexible (V) se obtiene mediante el análisis de la **Figura 43** según el diámetro del conducto seleccionado previamente.



SMC Corporation  
Fuente: SMC ZP-2 Catalog

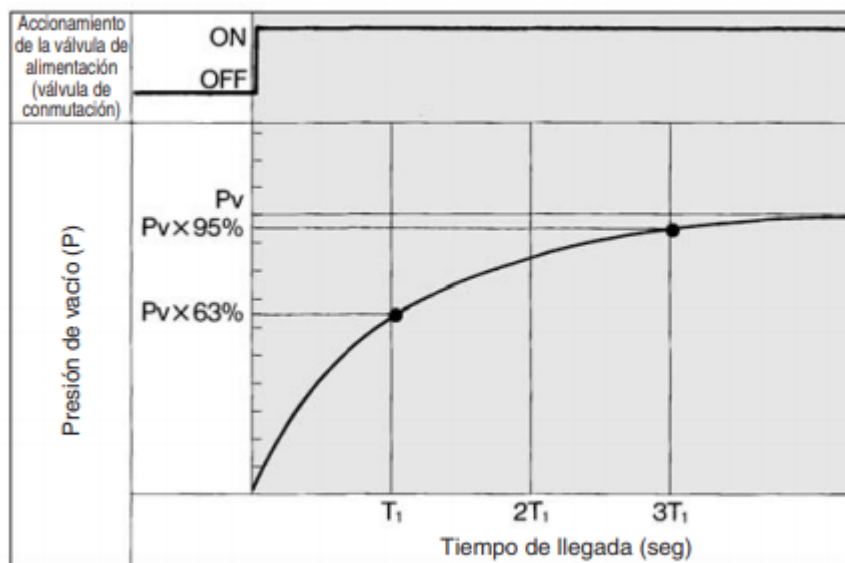
**Figura 43.** Capacidad de volumen de conducto en función de longitud y diámetro.

Sin embargo, el tiempo obtenido en la formula anterior ( $T_1$ ), según la siguiente figura (**Figura 44**) Es el tiempo que le toma al sistema llegar al 63% de la presión requerida. Es por esto, que el valor obtenido de  $T_1$  de ser multiplicado por 3 para obtener el tiempo total que le toma al sistema obtener la presión de vacío total tras el accionamiento de la válvula solenoide, como se muestra en la formula mostrada a continuación. En la **Tabla 21** se muestra el tiempo total para obtener la presión requerida para cada una de las aplicaciones de la presente propuesta. Dichos tiempos permiten realizar la simulación de la propuesta de automatización de manera más precisa y con mayor fundamento.

**Figura 44.** Tiempo de respuesta para alcanzar el vacío tras accionamiento de válvula solenoide.

$$T_3 = 3 * T_1$$

**Presión de vacío y tiempo de respuesta tras accionar la válvula de alimentación (válvula de conmutación)**



**P<sub>v</sub>**: Presión de vacío final  
**T<sub>1</sub>**: Tiempo necesario para alcanzar el 63% de la presión de vacío final **P<sub>v</sub>**  
**T<sub>2</sub>**: Tiempo necesario para alcanzar el 95% de la presión de vacío final **P<sub>v</sub>**

SMC Corporation  
Fuente: SMC ZP-2 Catalog

**Tabla 21.** Tiempo de respuesta para alcanzar el vacío tras accionamiento de válvula solenoide de cada aplicación.

Aplicación	Tiempo (s)
Sujeción tarjeta PCB	0,9
Sujeción Atornillador Automático Visumatic	1,5

Fuente: elaboración propia.

## 6.4 Diagramas de conexiones

La selección de máquinas y componentes para un nuevo proyecto o modificación de un sistema ya existente siempre resulta ser de las partes más complejas pues se deben tener en cuenta diversos factores y muchas veces se desprecian otras etapas para la instauración del nuevo proyecto, esto en el ámbito de diseño.

La parte de la realización de los diagramas de conexión y descripción de las conexiones de las máquinas o elementos seleccionados resulta ser una de estas etapas secundarias, sin embargo, es de vital importancia pues buenos diagramas de conexiones evitan el margen de error a la hora de instalación de los componentes. De esta manera se evitan altercados que puedan terminar en un mal funcionamiento de los componentes o hasta un daño parcial o total de los componentes.

Es por ello, que se dedica la última sección del presente capítulo a la descripción de los diagramas de conexión pertinentes para realizar la correcta conexión y alimentación de las máquinas y componentes que forman parte de la presente propuesta de automatización. El propósito de estos diagramas de conexión es reducir tanto como sea posible los errores de alambrado de la Sección A y de esta manera, evitar inconveniente. Sin embargo, se recomienda revisar la hoja de datos de cada componente en cada de que se dé la sustitución de alguno de los elementos ya establecidos.

Estos diagramas de conexiones han sido realizados con base en la norma IEC 60617-2: "Elementos de símbolos, símbolos distintivos y otro símbolos para aplicación general". En el **Apéndice E** se encuentran los diagramas de conexión de la Sección A, es decir, los diagrama de conexión de todos los elementos seleccionados en el presente capítulo, componentes del sistema neumático y los elementos necesarios para realizar la automatización, los cuales se describen en el siguiente capítulo. En este anexo se encuentra:

- Diagrama de conexión de alimentación 120V AC.
- Diagrama de conexión de alimentación 24 V DC.
- Diagrama de conexión de alimentación 208 V AC.
- Diagrama de conexión de entradas.
- Diagrama de conexión de sensores a bloque de conexiones de entradas.
- Diagrama de conexión de salidas.
- Diagrama de conexión de válvulas solenoides a bloque de conexiones de salidas.

En los diagramas de conexión de sensores a bloque de conexiones de entradas y el diagrama de conexión de válvulas solenoides a bloque de conexiones de salidas se especifica la conexión de estos elementos a las regletas o bloque de conexiones de marca: MENCOR Corp. Estas regletas facilitan la conexión de este tipo de artefactos debido a sus características de permitir conexiones de tipo PNP de hasta 4 hilos.

Se debe fabricar un panel de control en el cual se puedan realizar las conexiones de manera segura tanto para el sistema como para los colaboradores. En la siguiente tabla (**Tabla 22**), se muestran los elementos que deben incluirse en este panel de control. Los componentes que no tienen indicado su marca ni modelo es porque deben incluirse en el panel, sin embargo, la explicación de su selección se realiza en el siguiente capítulo. Finalmente, se recomienda la instalación de 2 ventiladores para el panel para que estos produzcan la convección forzada que permite enfriar y mantener a una temperatura adecuada los componentes internos del mismo, principalmente el PLC.



**Tabla 22.** Contenido de panel de control

<b>Elemento</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>
Interruptor principal	SOCOMEK	Sirco M16	1
Disyuntor termo magnético	IDEC	NC1V-11A	1
PLC			1
Switch Ethernet			1
Fuente Rectificadora 24V DC	IDEC	PS5R-VF24	1
Fusible	IDEC	KN-F10L24DC	14
Relé	IDEC	RV1H-G-D24	12

Fuente: elaboración propia.

## Capítulo 7. Programación

### 7.1 Descripción elementos de automatización

En los capítulos anteriores se han descritos los elementos que componen la propuesta para realizar la optimización del Proyecto A2705, en este capítulo, se presenta la propuesta de programación de la Sección A del Proyecto A2705 junto con los componentes necesarios para realizar la automatización de dicha sección. Se hace especial énfasis en el hecho de ser una propuesta de programación, debido a que este proyecto consiste en la realización de una propuesta de automatización. Es por ello que no se tienen la mayoría de componentes disponibles, por ende, ciertos datos sobre el funcionamiento digital o asignación de variables de dichos componentes no se tienen a disposición.

El desconocimiento del funcionamiento digital y asignación de variables de los componentes se debe a las políticas de privacidad y mercado de los proveedores, debido a esto, se puede tener acceso a dicha información tras realizarse la compra de los elementos. Sin embargo, los elementos de los cuales no se tiene dicha información han sido designados como variables temporales dentro del proceso, por lo cual, se evidencia el momento en que se desea que se activen o desactiven, su tiempo de funcionamiento y su rol en el proceso para luego que se tenga la información de su funcionamiento, sustituir las variables iniciales e incorporar la programación y variables correctas de los elementos.

Inicialmente, en la **Tabla 23** se muestran los elementos necesarios para realizar la propuesta de automatización, junto con la función que desempeña cada uno de estos en la presente propuesta de programación. Seguidamente, se muestra la **Tabla 24**, la marca y modelo seleccionada de cada uno de los elementos.

Se seleccionan elementos que necesiten una alimentación de 24V DC para permitir el uso de un único rectificador y que todos estos elementos sean compatibles con la fuente seleccionada. Los sensores seleccionados son sensores capacitivos normalmente abiertos (N.A.) y con una conexión de 3 hilos PNP. En dicha tabla se incluyen elementos citados en el **Capítulo 5.4** en la parte del diseño neumático como lo son los sensores de vacío digital, el sensor de presión digital y los accionamientos mediante válvulas solenoides debido a que también son importantes al permitir realizar la propuesta de automatización, por ellos, no está de más su mención. Se seleccionan elementos de iluminación de tamaño considerable (60mm) para que puedan ser notados en campo, es decir por cualquier colaborador de la línea de producción A2705 y con características de cambio de color y alarma de sonora.

**Tabla 23.** Función de los elementos necesarios para automatización.

<b>Elemento</b>	<b>Función</b>
Botón Inicio	Inicio del proceso
Botón Paro	Paro del proceso
Botón Paro Emergencia 1	Paro de emergencia del proceso
Botón Paro Emergencia 2	Paro de emergencia del proceso
Sensor 1	Indica la presencia de pieza al inicio de la conveyor
Sensor 2	Indica que la pieza se encuentran en posición para iniciar el proceso de ensamble y atornillado.
Sensor 3	Indica que la pieza se encuentra en posición para comprobar la presencia de componentes mediante la Cámara 1.
Sensor 4	Indica que la pieza se encuentra lista para ser extraída al final de la conveyor.
Sensor 5	Indica el faltante de bandejas de tarjetas PCB para alimentación del COBOT.
Sensor de Vacío Digital 1	Indica que se ha generado la presión de vacío óptima para la sujeción de la tarjeta PCB
Sensor de Vacío Digital 2	Indica que se ha generado la presión de vacío óptima para la sujeción del Atornillador Automático.
Sensor de Presión Digital	Indica que se ha generado la presión óptima para la alimentación del Atornillador Automático.
Válvula Solenoide 1	Accionamiento de vacío para sujeción de tarjeta PCB
Válvula Solenoide 2	Accionamiento de vacío para sujeción de Atornillador Visumatic VCM-3X.2
Válvula Solenoide 3	Accionamiento de Barra Ionizadora Exair Gen4
Válvula Solenoide 4	Accionamiento de Atornillador Visumatic VCM-3X.2
Led Verde 1	Indica el inicio del proceso y que se encuentra en funcionamiento
Led Rojo 2	Indica el paro del proceso productivo
Led Amarillo 3	Indica el faltante de tarjetas PCB en la alimentación para el COBOT
Led Verde 4	Indica la finalización del proceso productivo.

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 24.** Marca y modelo de los elementos necesarios para automatización.

<b>Elemento</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Botonera Inicio y Paro	McMASTER-CARR	7546K240
Botonera Paro Emergencia 1	McMASTER-CARR	6785k210
Botonera Paro Emergencia 2	McMASTER-CARR	6785k210
Sensor 1	XECRO	CS12-N8PO60-A12
Sensor 2	XECRO	CS12-N8PO60-A12
Sensor 3	XECRO	CS12-N8PO60-A12
Sensor 4	XECRO	CS12-N8PO60-A12
Sensor 5	XECRO	CS12-N8PO60-A12
Sensor de Vacío Digital 1	SMC	ZSE30A-01-E-L
Sensor de Vacío Digital 2	SMC	ZSE30A-01-E-L
Sensor de Presión Digital	SMC	ISE30A-01-F-PLK
Válvula Solenoide 1	SMC	SY7120-5DZ-02
Válvula Solenoide 2	SMC	SY7120-5DZ-02
Válvula Solenoide 3	SMC	SY7120-5DZ-02
Válvula Solenoide 4	SMC	SY7120-5DZ-02
Led Verde 1 y Rojo 2	XECRO	PP
Led Amarillo 3	XECRO	PR
Led Verde 4	XECRO	PS

Fuente: elaboración propia.

Luego se procede a seleccionar el PLC que permitirá la automatización del sistema. La selección de este importante elemento se realiza en función de la cantidad de entradas y salidas del sistema, dichas entradas y salidas se presentan más adelante en el presente capítulo. Se define seleccionar un PLC marca Panasonic debido a que es la marca de PLC que más se encuentra en la empresa, por ende, es la marca de PLC más conocida por los colaboradores de la empresa y la selección de cualquier otra marca puede suponer una inversión extra de capacitación del personal para la programación del mismo. Además, la selección de una marca distinta puede complicar la solución de alguna avería o modificación que le suceda o se le planee al proceso productivo debido al desconocimiento de una marca distinta. El PLC seleccionado se muestra en la **Tabla 25**.

**Tabla 25.** Selección de Controlador Lógico Programable (PLC).

Elemento	Marca	Modelo
PLC	Panasonic	FP0H C32ET
Switch Ethernet	IDEC	5X5E-HU055B

Fuente: elaboración propia.

Se selecciona dicha marca y modelo debido a que posee 16 entradas digitales y 16 salidas digitales, cantidad mayor de las que tiene el proceso y debido a su reducido tamaño que permite un ahorro de espacio considerable en comparación con otras marcas de controladores lógicos programables.

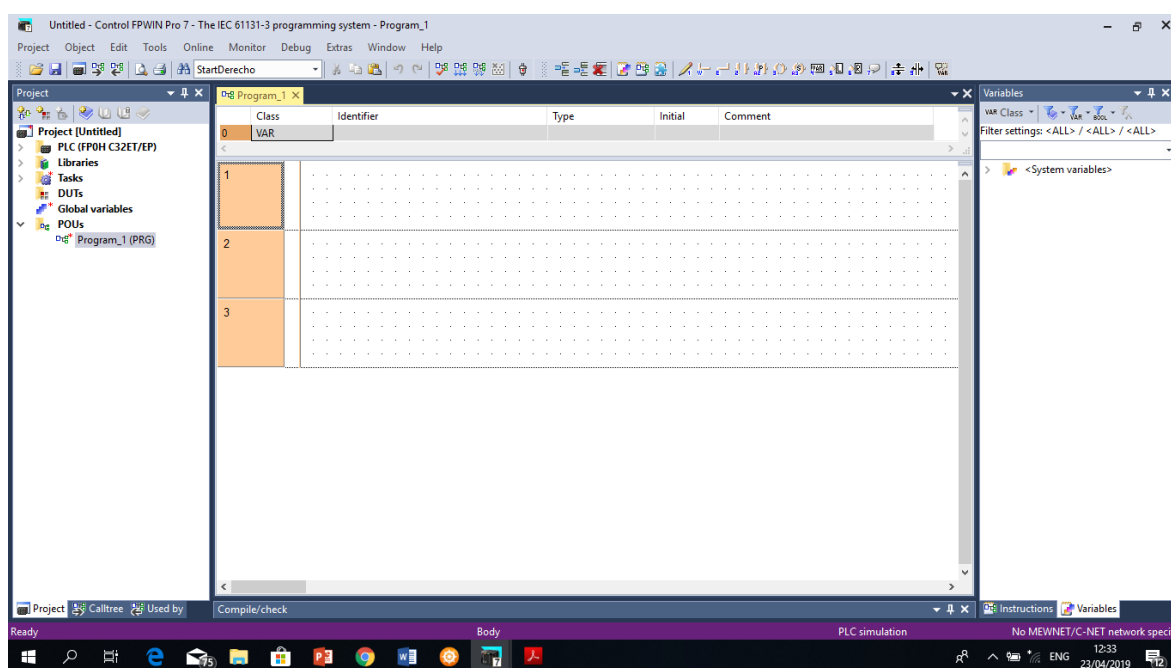
Además, posee 2 puertos de conexión Ethernet los cuales son necesarios para la conexión de los elementos principales del proyecto A2705 como lo son el COBOT, El Atornillador Automático Visumatic y las cámaras de visión y posición. Por ello, se selecciona un switch de conexión Ethernet que permita la conexión de los 4 elementos al PLC. Su marca y modelo se muestra respectivamente en la **Tabla 25**.

Otra característica importante del PLC Panasonic seleccionado es que su comunicación en cuanto a posición se realiza mediante sistema hexadecimal. El sistema hexadecimal o "Hex" por su abreviatura, es un sistema de numeración posicional basado en 16 bits, introducido en el ámbito de la computación por IBM en 1963. La numeración de dicho sistema de numeración (S) se realiza mediante la combinación de números y símbolos, debido a que únicamente se cuenta con 10 dígitos en el sistema usual de numeración. Dicha combinación de números y símbolos se muestran a continuación:

$$S = 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F$$

El programa que utiliza el PLC Panasonic para funcionar y que se ha utilizado para realizar la presente propuesta de automatización es el "Control FPWIN Pro 7". La interfaz de dicho programa se aprecia en la **Figura 45**. Este programa se rige bajo la norma IEC 61131-3: "Programming Industrial Automation Systems", que es el estándar internacional para controladores lógicos programables.

Una de las gran ventajas de que el programa se encuentre bajo dicha norma es que adopta su estándar de programación mediante variables, esto significa que la programación se puede realizar utilizando las variables que el usuario desee y cuando posteriormente se desee incorporar dicha programación a un PLC, se le asignan los espacios disponibles según la fabricación del PLC a las variables anteriormente establecidas en la programación. Esto permite que la programación no sea única para una marca o modelo de PLC, sino que esta pueda ser compartida por distintas marcas y que el proceso que se está automatizando sea fácilmente reproducido o duplicado.



Control FPLWIN Pro 7  
Fuente: elaboración propia

**Figura 45.** Interfaz del programa Control FPLWIN Pro 7.

## 7.2 Propuesta de programación

Primeramente, se debe configurar el modelo de PLC a utilizar en la programación, que es FPOH y seleccionar el tipo de lenguaje de programación a utilizar según los lenguajes establecido por IEC 61131-3, de los que se selecciona el lenguaje tipo escalera. Se selecciona este lenguaje con el mismo criterio de la selección del PLC,

es el gipo de lenguaje del que los colaboradores de la empresa tienen un mayor conocimiento y familiaridad. Según el sistema de numeración “Hexa”, se procede a definir los bits de entradas y los bits de salida para cada una de las variables. Dicha asignación se demuestra en las **Tablas 26** y **Tabla 27** respectivamente. Todas estas variables deben designarse como variables globales, de esta manera, se permite su accionamiento mediante un elemento externo.

**Tabla 26.** Direccionamiento de entradas en PLC Panasonic.

<b>Entrada</b>	<b>Dirección</b>
Inicio	X0
Paro	X1
Paro Emergencia 1	X2
Paro Emergencia 2	X3
Sensor 1	X4
Sensor 2	X5
Sensor 3	X6
Sensor 4	X7
Sensor 5	X8
Sensor de Vacío Digital 1	X9
Sensor de Vacío Digital 2	XA
Sensor de Presión Digital	XB

Fuente: elaboración propia

**Tabla 27.** Direccionamiento de salidas en PLC Panasonic.

<b>Salida</b>	<b>Dirección</b>
Led Verde Inicio	X0
Led Rojo Paro	X1
Led Amarillo Faltante de Tarjeta PCB	X2
Led Verde Pieza Lista	X3
Válvula Solenoide 1	X4
Válvula Solenoide 2	X5
Válvula Solenoide 3	X6
Válvula Solenoide 4	X7

Fuente: elaboración propia



Los elementos principales de este proyecto (COBOT, Atornillador Automático Visumatic y cámaras inteligentes) no se encuentran en esta asignación de bits de entradas y salidas debido a que, como se menciona anteriormente, su conexión se realiza mediante Ethernet. La conexión del COBOT AUBO se realiza mediante Ethernet, Modbus TC/IP, que fue explicada en el Capítulo 2 del presente proyecto. Por ello, se muestra a continuación la dirección IP asignada a cada elemento en la **Tabla 28**.

**Tabla 28.** Direccionamiento IP de elementos

<b>Elemento</b>	<b>Dirección IP</b>
PLC	192.168.1.5
COBOT	192.168.1.6
Atornillador Automático	192.168.1.7
Cámara 1	192.168.1.8
Cámara 2	192.168.1.9

Fuente: elaboración propia

La programación propuesta incluye en sus bloques de programa un bloque que permite la confirmación del funcionamiento de las entradas y otro bloque que permite la confirmación del funcionamiento de las salidas. Como se explicó al inicio de esta sección, las variables temporales de esta propuesta de programación son el Servomotor, Atornillador, Cámara 1 y Cámara 2. Además, se incluyen comentarios al inicio de cada uno de los procesos que puedan permitirle al colaborador una mejor comprensión de la propuesta de programación.

## Capítulo 8. Estudio técnico-financiero

En el presente capítulo se presenta el estudio técnico-financiero para justificar y validar la viabilidad de implementar la propuesta de mejora “Automatización parcial de la línea de producción de Lámpara de Proyección A2705-C-Series”. Este estudio técnico-financiero se subdivide en las siguientes secciones:

- Aumento de capacidad productiva instalada
- Aumento de ingreso económico
- Gestión de la producción y de recurso humano
- Ahorro económico
- Análisis de flujos de efectivo y factibilidad

### 8.1 Aumento de capacidad productiva instalada

En esta sección se muestra la capacidad productiva propuesta, es decir, la nueva capacidad de producción de la línea productiva al implementarse la propuesta de mejora propuesta. Como se mostró en los primeros capítulos de este proyecto, la línea productiva de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” tiene la capacidad de producir 120 unidades por segundo, es decir, cada 27 segundos se completa el ensamble de este elemento, pero al aplicar el factor de eficiencia de la plata, que es de 90%, este tiempo aumenta a 30 segundos.

En la **Tabla 29** se muestra que la capacidad productiva propuesta es de 162 unidades, lo que indica que el tiempo de fabricación de la lámpara de proyección se disminuyó de 27 segundos a 20 segundos; sin embargo, debido a la aplicación del factor eficiencia de la plata, este tiempo aumenta a 22,22 segundos. En términos generales, se redujo el tiempo de fabricación de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” en 7,38 segundos, lo que representa un aumento de 35% de la capacidad productiva de la línea.

**Tabla 29.** Subprocesos y capacidad productiva propuesta de cada sección de etapa  
Ensamble de “Proceso Productivo A2705”.

Sección	Subproceso	Unidades de medición	Tiempo básico (s)	Eficiencia	Tiempo estándar (s)	Unidades/hora
A	Ensamble de Lens Pack en Housing	1	20,00	90%	22,22	162,00
	Colocación de PCBA en Housing					
	Colocación de Screws en Housing					
B	Colocación de pieza en maquina soldadora	2	12,10	90%	13,44	535,50
	Proceso de soldadura	2	13,46	90%	14,95	481,50
C	Cargado de unidad en EOL/Leak Tester	1	15,46	90%	17,18	209,50
	Etiquetado					
	Prueba eléctrica y de proyección					
	Prueba de fugas					
	Inspección					
	Empaque					
	Inspección final de calidad					

Fuente: elaboración propia

Seguidamente en la **Tabla 30** se muestra este aumento de producción en términos de unidades producidas por turno y unidades producidas semanalmente.

**Tabla 30.** Capacidad productiva propuesta de “Proceso Productivo A2705”.

Capacidad Propuesta de Proyecto A2705	
Tiempo/unidad (s)	22,22
Unidades/hora	162
Horas/Turno (h)	7,25
Unidades/turno	1.175
Turnos/semana	6,00
Unidades/semana	7.048

Fuente: elaboración propia

La medición de este tiempo de fabricación de cada lámpara de proyección fue realizada mediante la simulación del proceso utilizando un robot colaborativo AUBO Robotics i5 y las posiciones establecidas en la etapa del diseño mecánico, lo cual, garantiza la veracidad del dato. En esta simulación, los tiempos de duración de los procesos de “pick and place” para la sujeción de la tarjeta PCB y la herramienta de atornillado automático Visumatic VCM-3X.2 se obtienen de la sección 5.3.4 del presente trabajo, en la cual se calculan los tiempos necesarios para lograr la presión de vacío necesaria. El tiempo de obtención de coordenadas de la tarjeta PCB para el robot colaborativo y procesamiento de los datos se obtiene mediante la simulación del proceso utilizando la cámara correspondiente; este tiempo es de 1 segundo. Finalmente, tiempo del proceso de atornillado automático se obtiene de dato del fabricante del equipo, el cual es de 2-2,5 segundos por atornillado.

Como se nota en la **Tabla 29** al comparar la cantidad de unidades que puede producir cada sección de la etapa de Ensamble, la sección que menos unidades produce por hora sigue siendo la Sección A, sin embargo, el tiempo de 20 segundos por unidad es el más veloz, dentro del margen óptimo de funcionamiento de los equipos, que permite la propuesta de automatización. Se obtuvo un tiempo de fabricación por unidad mucho mejor que el esperado anteriormente según criterio técnico, el cual era de 25 segundos por unidad. En las siguientes secciones se evidencian las ventajas de la implementación de esta propuesta de mejora.

## **8.2 Mejora en la rentabilidad**

En esta sección se inicia con el análisis financiero de la propuesta de automatización de la línea productiva en cuestión, sin embargo, primero se muestra en la **Tabla 31** se muestra la comparación de la capacidad productiva instalada y la capacidad productiva propuesta en unidades por semana, unidades por mes y unidades por año. Se evidencia claramente el aumento de la producción de un 35% que se demostró en la sección anterior.

En la misma tabla se muestra el ingreso económico anual o la utilidad anual de la empresa Flex Costa Rica por la venta de la lámpara de proyección con la capacidad productiva instalada; este ingreso económico es de \$435.514,76. De la misma manera se muestra la utilidad anual proyectada para la empresa por la venta de este artefacto con la capacidad productiva propuesta que es de \$588.003,72. Se puede notar un incremento significativo de la utilidad anual de la empresa de \$152.488,97 debido únicamente a la implementación de la presente propuesta de mejora. Este aumento en las utilidades de la empresa es una de las justificaciones desde al ámbito financiero que denota la viabilidad del presente proyecto.

**Tabla 31.** Comparación de capacidad productiva, utilidad anual y aumento de utilidad anual debido a la implementación de propuesta de mejora.

	<b>Capacidad productiva instalada</b>	<b>Capacidad productiva propuesta</b>	<b>Aumento de utilidad anual</b>
Unidades/semana	5.220	7.048	
Unidades/mes	20.880	28.191	
Unidades/año	250.560	338.290	
Costo unitario	\$8,69		
Precio venta unitario	\$10,43		
Utilidad	\$1,74		
<b>Utilidad anual</b>	<b>\$435.514,76</b>	<b>\$588.003,72</b>	

Fuente: elaboración propia

Se aclara que estos datos son válidos si la línea productiva se mantiene funcionando correctamente durante todo un año y el costo unitario de la pieza y su precio de venta unitario se mantienen constantes.

## **8.3 Gestión de la producción y del recurso humano**

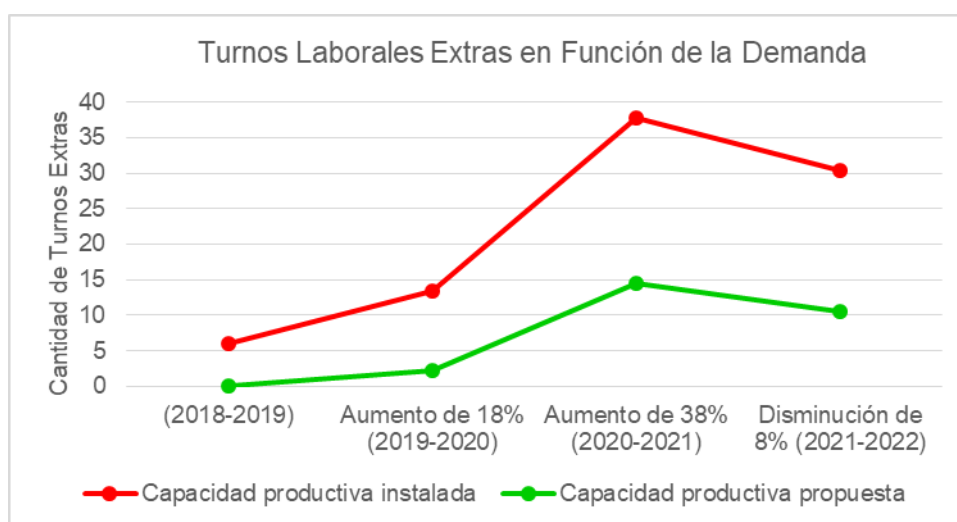
### **8.3.1 Gestión de la producción**

Como se mostró en los primeros capítulos de este proyecto, la demanda del elemento “Lámpara de proyección A2705-C-Series” es una demanda muy cambiante en el mercado. Hay semana en las cuales se necesitan producir más unidades de las que permite fabricar la línea productiva, lo cual incurre a la empresa en la necesidad de realizar turnos laborales extras y supone un aumento de los costos de producción. Sin embargo, se dan otras semanas en las cuales la demanda de este elemento se encuentra muy por debajo de la capacidad productiva de la línea, es decir, se mantiene la línea de producción inactiva.

En la **Tabla 6** del mismo capítulo se expone una muestra de 12 semanas de la demanda de este elemento donde se evidencia el caso expuesto, sin embargo, esta situación se complica con el aumento en la demanda proyectado de 16% promedio anual. Es por ello, que en la presente sección se realiza una comparación y análisis de la gestión de la producción de la línea productiva en estudio con la capacidad productiva instalada y la capacidad productiva propuesta junto con las implicaciones económicas del caso. La gestión de la producción, como se explicó anteriormente, consiste en el análisis de la demanda del producto y el adelantamiento de la producción de unidades programadas de las semanas en las cuales la línea no da abasto, a semanas en las que la demanda es menor y se dan turnos libres.

Inicialmente, se realiza el análisis en el que se compara la cantidad de turnos extras laborales necesarios para cumplir con la demanda proyectada desde el año 2019 a 2022 con la capacidad productiva instalada y la capacidad productiva propuesta para la línea de producción. Este análisis se realiza sin implementar la gestión de la producción, a lo cual se le puede llamar que es el escenario o situación más problemática para la empresa, desde el punto de vista económico y de gestión del personal, este aspecto se describirá más adelante.

En la **Figura 46** se muestra gráficamente esta información, donde se evidencia que para los aumentos de demanda de la producción proyectados de 18%, 38% y -8% en una muestra de producción de 12 semanas, con la capacidad productiva instalada se necesitaran aproximadamente 14, 38 y 31 turnos laborales extras respectivamente para cada modificación de la demanda. En contraste, con la capacidad instalada se necesitarían 2, 15 y 10 turnos laborales para cada modificación de la demanda. La cantidad de turnos laborales extras que se necesitara con la capacidad productiva propuesta es menor que con la capacidad productiva instalada.

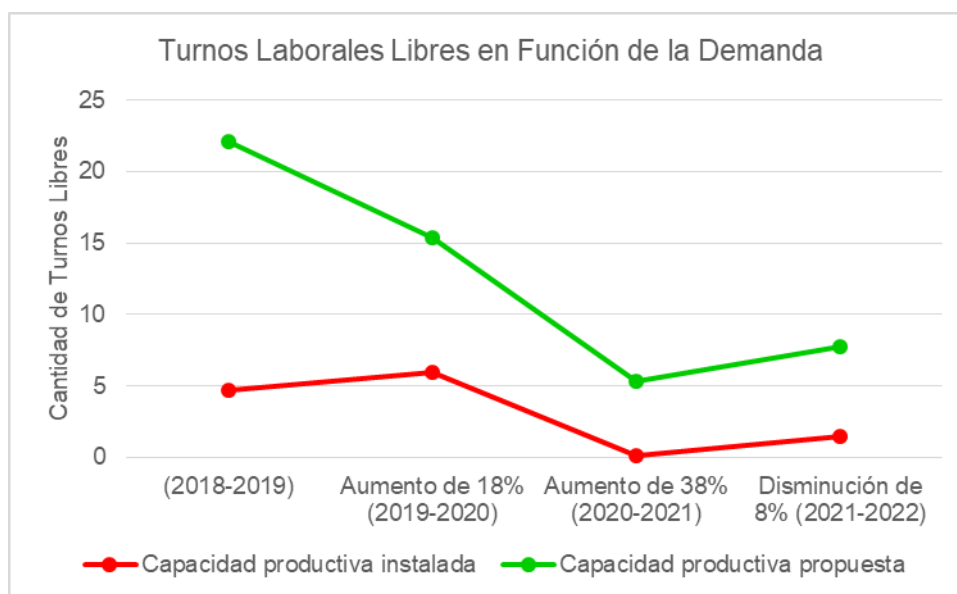


Fuente: elaboración propia

**Figura 46.** Turnos laborales extras en función de la demanda.

Seguidamente, en la **Figura 47** se muestran los turnos laborales libres comparados con la capacidad productiva instalada y la capacidad productiva propuesta para una muestra productiva de 12 semanas. Al igual que en la figura anterior, este análisis realiza sin implementar la gestión de la producción. En esta imagen se evidencia que para los aumentos de demanda de la producción proyectados de 18%, 38% y -8%, con la capacidad productiva instalada se tendrán disponibles aproximadamente 6, 0 y 1 turnos laborales libres respectivamente para cada modificación de la demanda, lo cual es una cantidad de turnos significativamente

baja la cual prácticamente imposibilita la gestión de la producción. En contraste, con la capacidad instalada se tendrán disponibles 16, 6 y 8 turnos laborales libres para cada modificación de la demanda. La cantidad de turnos disponibles con la capacidad productiva propuesta es mayor que con la capacidad productiva instalada.

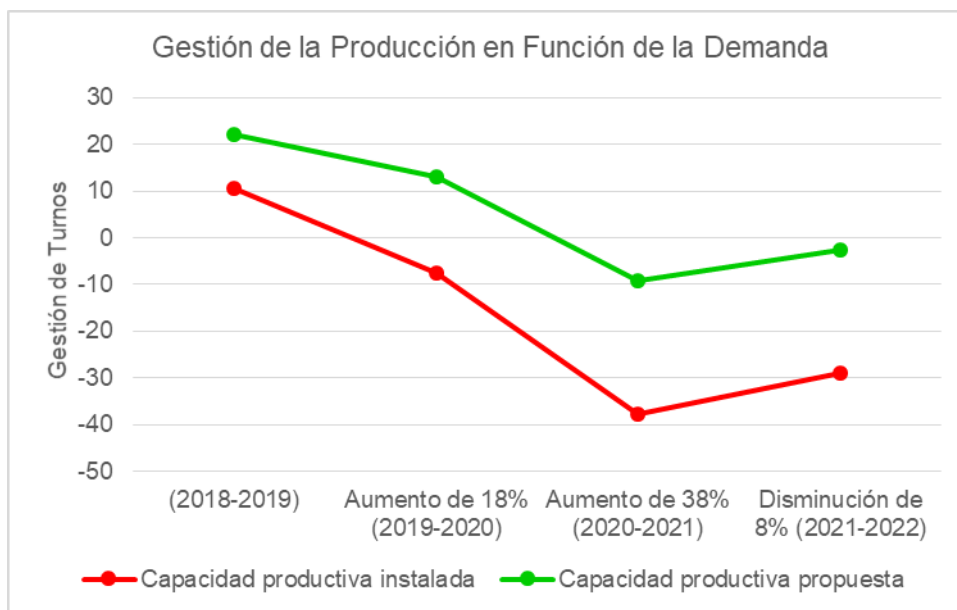


Fuente: elaboración propia

**Figura 47.** Turnos laborales libres en función de la demanda.

Luego, en la **Figura 48** se muestra el resultado de los turnos disponibles o turnos extras necesarios para cumplir con el aumento de demanda de la producción expuesto anteriormente al realizar la gestión de la producción. En esta grafica se muestra que con la capacidad productiva instalada para un aumento de demanda de 18%, 38% y -8% de la producción se necesitaran aproximadamente 10, 38 y 29 turnos laborales extras respectivamente para poder suplir la demanda del elemento. Este valor es similar al obtenido de turnos laborales extras sin gestión de la producción debido a los pocos turnos libres que se logran. Con la capacidad productiva propuesta para el mismo aumento de la demanda de la producción se obtiene 13 turnos disponibles para el año con el aumento de 18% y luego para el aumento de 38% y -8, se necesitan 10 y 2 turnos extras únicamente.

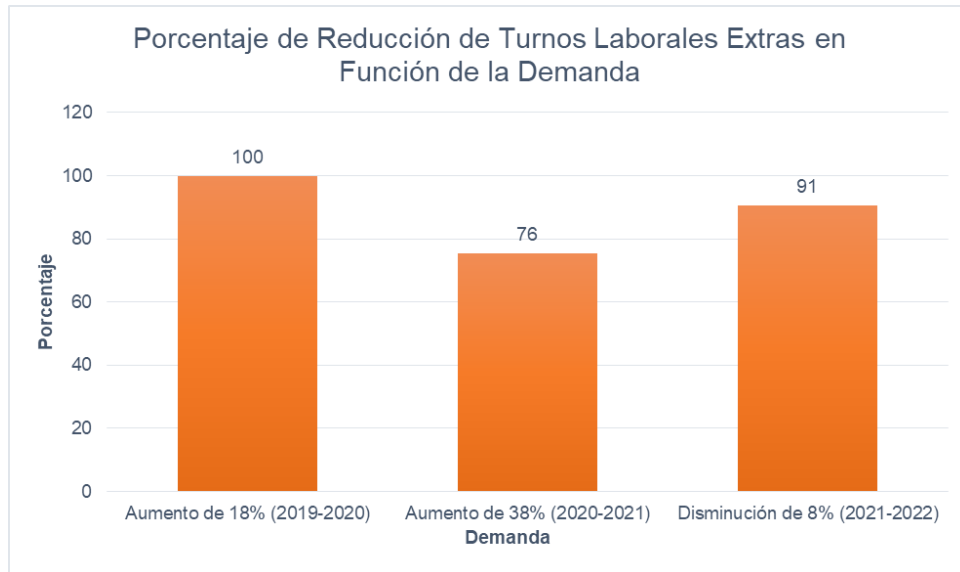




Fuente: elaboración propia

**Figura 48.** Turnos laborales disponibles tras gestión de la producción en función de la demanda.

En términos porcentuales, para los aumentos de demanda de 18%, 38% y -8%, se proyecta una reducción de 100%, 76% y 91% de los turnos laborales extras al implementar la presente propuesta de automatización. En resumen, para los próximos 3 años proyectados se obtendrá una reducción promedio de 87% de los turnos laborales extras necesarios para suplir la demanda. Esta información se muestra en la **Figura 49**.



Fuente: elaboración propia

**Figura 49.** Porcentaje de reducción de turnos laborales extras en función de la demanda, implementando gestión de la producción.

Como se muestra, la implementación de la propuesta de mejora de automatización de la línea permite la gestión de la producción a diferencia de que no se implemente y se continúe fabricando el elemento con la capacidad productiva instalada.

### **8.3.2 Gestión del recurso humano**

En muchas ocasiones, la automatización es vista por las personas como la sustitución de las personas por maquinas únicamente, con lo que se infiere que al automatizar un proceso, su consecuencia inmediata será la reducción de personal. Sin embargo, este no es el objetivo de la automatización, la automatización permite modificar procesos para simplificar las labores de los colaboradores, realizar labores en las que las personas no se encuentran expuestas a peligros como en las grandes maquinas inyectoras, cortadoras, hornos y demás y hacer labores repetitivas que tal vez no tienen un valor agregado para la empresa o para los colaboradores y que éstos pueden especializarse en alguna otra rama en la que sean necesitados o forman parte de otro proceso en el cual se requiere de asistencia.

En los primeros capítulos de este documento se mencionó que el componente “Lens Pack” de la “Lámpara de proyección A2705-C-Series” y su proceso de ensamble se encuentran en una etapa de mejora la cual traería consecuencias al proceso de ensamble de la lámpara de proyección. La implicación que tiene este proceso de mejora que se encuentra fuera del alcance del proyecto en cuestión, es que necesita de la incorporación de un colaborador más en la línea de producción. Actualmente se necesitan 3 colaboradores para que el “Proceso Productivo A2705” funcione correctamente. La incorporación de la mejora del “Lens Pack” aumentará la cantidad de colaboradores necesarios a 4 en total. Esto significa un aumento en los costos de producción de la lámpara de proyección y el inicio de un proceso de selección y capacitación de personal, lo que puede tomar tiempo y atrasar la fabricación del componente.

Sin embargo, debido a la implementación de la propuesta de mejora del presente proyecto de automatizar parcialmente la línea productiva, se evita ese proceso de incorporación de más personal a la empresa y permite mantener los costos de producción como se encuentran actualmente reducir la cantidad de colaboradores en 1, lo cual se traduce en un ahorro económico para la empresa. Significa, que la línea puede funcionar con la misma cantidad de colaboradores con la que funciona

actualmente, 3 en total, tras la incorporación de la presente propuesta de mejora de automatización parcial y la mejora del diseño y el ensamble del “Lens Pack”.

En síntesis, con el análisis realizado en el tema de gestión, se puede concluir que la propuesta de mejora para la línea productiva de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” permite disminuir significativamente los turnos laborales extras necesarios para cumplir con la demanda de producción proyectada y permite, de manera oportuna para este caso particular, la reducción del recurso humano, es decir, la reducción de la cantidad de colaboradores necesarios para la fabricación de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”. Además, permite la implementación de la gestión de la producción, con lo cual se evidencia la viabilidad del proyecto en cuestión en el ámbito de gestión de la producción y gestión del recurso humano.

#### **8.4 Ahorro económico**

En esta sección se muestra el beneficio económico a causa de la gestión de la producción y recurso humano, descrita en la sección anterior, que permite la propuesta de mejora de automatización de la línea productiva de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”. Este análisis se realiza proyectando de manera anual los datos de la gestión de la producción de la muestra productiva de 12 semanas.

En la **Tabla 32** se muestra el costo económico anual de los turnos laborales extras necesarios para cumplir con la demanda de la lámpara de proyección específica de cada año. Este costo económico se muestra y compara en caso de mantenerse la capacidad productiva instalada y si se implementa la propuesta de mejora a la línea productiva. Se evidencia que para los aumentos de demanda de 18%, 38% y -8%, al implementar la presente propuesta de mejora se obtiene un ahorro económico anual de \$3.817,48, \$7.889,85 y \$6.742,48 respectivamente, pues el costo se reduce al reducir significativamente la cantidad de turnos extras laborales necesarios, como se mostró en el capítulo anterior.

Además, en la misma tabla se muestra el ahorro económico debido al ahorro de recurso humano que permite esta propuesta de mejora, donde se le permite a la línea productiva continuar su funcionamiento con 3 colaboradores y evitar la contratación de un colaborador más. El ahorro económico al evitar la contratación de más personal es de \$9.428,47, \$9.707,55 y \$9.994,89 para los años 2020,2021 y 2022 respectivamente. La variación de este ahorro se da debido al aumento salarial del 2,96% anual establecido en el Decreto N° 41434-MTS del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

Al sumar el ahorro obtenido debido a la reducción de turnos extras laborales necesarios y la gestión del recurso humano al mantener la línea en correcta operación con 3 colaboradores se da un ahorro total anual de \$13.245,95, \$17.597,40 y \$16.737,37 para los aumento de demanda de 18%, 38% y -8% respectivamente. Lo cual supone un ahorro total de \$47.580,72 en los 3 años proyectados.

**Tabla 32.** Ahorro económico anual debido a la implementación de propuesta de mejora en función de la demanda.

	<b>Aumento de 18% (2019-2020)</b>	<b>Aumento de 38% (2020-2021)</b>	<b>Disminución de 8% (2021-2022)</b>
<b>Capacidad productiva actual</b>			
Costo anual debido a turnos extras	-\$4.566,52	-\$12.827,83	-\$10.307,32
<b>Capacidad productiva propuesta</b>			
Costo anual debido a turnos extras	-\$749,04	-\$4.937,98	-\$3.564,84
<b>Ahorro anual</b>	<b>\$3.817,48</b>	<b>\$7.889,85</b>	<b>\$6.742,48</b>
Costo anual de colaborador	-\$9.428,47	-\$9.707,55	-\$9.994,89
<b>Ahorro total anual</b>	<b>\$13.245,95</b>	<b>\$17.597,40</b>	<b>\$16.737,37</b>

Fuente: elaboración propia

Luego, se realiza el mismo análisis comparativo sobre el ahorro económico para la empresa debido a la reducción de la cantidad de turnos laborales extras y gestión del recurso, pero incluyendo en este caso la gestión de la producción en caso de mantenerse la capacidad productiva instalada y con la capacidad productiva propuesta. En la **Tabla 33** se muestra que al implementar la propuesta de mejora de automatización de la línea productiva del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” se obtiene un ahorro de \$11.962,51, \$19.365,48 y \$18.880,19 para los aumentos de demanda esperados de 18%, 38% y -8% respectivamente. Lo cual supone un ahorro total de \$50.208,19 en los 3 años proyectados, mayor que el ahorro obtenido sin la gestión de la producción.

**Tabla 33.** Ahorro económico anual debido a implementación de propuesta de mejora y gestión de la producción en función de la demanda.

	<b>Aumento de 18% (2019-2020)</b>	<b>Aumento de 38% (2020-2021)</b>	<b>Disminución de 8% (2021-2022)</b>
<b>Capacidad productiva actual</b>			
Costo anual con gestión de producción	-\$2.534,05	-\$12.788,92	-\$9.809,61
<b>Capacidad productiva propuesta</b>			
Costo anual con gestión de producción	-\$0,00	-\$3.130,99	-\$924,31
<b>Ahorro anual con gestión de la producción</b>	<b>\$2.534,05</b>	<b>\$9.657,94</b>	<b>\$8.885,30</b>
Costo anual de colaborador	-\$9.428,47	-\$9.707,55	-\$9.994,89
<b>Ahorro total anual con gestión de la producción</b>	<b>\$11.962,51</b>	<b>\$19.365,48</b>	<b>\$18.880,19</b>

Fuente: elaboración propia

Con el análisis realizado se pueden concluir que la propuesta de mejora para la línea productiva de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” permite un ahorro económico significativo para la empresa. Esto demuestra la viabilidad del proyecto desde un punto de ahorro económico.

## **8.5 Evaluación financiera**

En la presente y última sección del estudio técnico-financiero se realiza la evaluación financiera para analizar la viabilidad o no de esta propuesta de optimización mediante los flujos netos de efectivo del proyecto y los métodos financieros y aproximados de evaluación de proyectos.

### **8.5.1 Flujos netos de efectivo**

Los flujos netos de efectivo indican a cuánto ascienden las inversiones y beneficios que se derivan del proyecto en cuestión. En estos se incluyen los ingresos de la empresa debido a la venta del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”, el costo de operación, gastos de operación, la utilidad antes de impuestos (UNAI), utilidad después de impuestos (UNDI) y finalmente los flujos netos de efectivo. Los flujos netos de efectivo del presente proyecto se muestran en la **Tabla 34**.

**Tabla 34.** Flujos netos de efectivo del proyecto.

	Horizonte de evaluación			
	0	1	2	3
Año	2018	2019-2020	2020-2021	2021-2022
Demanda		18%	38%	-8%
<b>Ingresos</b>				
Unidades exportadas	175.909	207.573	286.450	263.534
Precio venta	\$10,42	\$10,42	\$10,42	\$10,42
<b>Total</b>	<b>\$1.832.176,67</b>	<b>\$2.161.968,47</b>	<b>\$2.983.516,49</b>	<b>\$2.744.835,17</b>
<b>Costos de operación</b>				
Materia prima	\$1.386.398,64	\$1.635.950,39	\$2.257.611,54	\$2.077.002,62
Producción	\$130.805,93	\$158.919,79	\$219.309,31	\$201.764,57
Consumo de energía	\$2.524,74	\$2.524,74	\$2.524,74	\$2.524,74
Empaque	\$9.609,91	\$11.339,69	\$15.648,78	\$14.396,87
	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>\$1.529.339,22</b>	<b>\$1.808.734,62</b>	<b>\$2.495.094,37</b>	<b>\$2.295.688,80</b>
<b>Utilidad Bruta</b>	<b>\$302.837,45</b>	<b>\$353.233,86</b>	<b>\$488.422,12</b>	<b>\$449.146,37</b>
<b>Gastos de operación</b>				
Administrativos	0	0	0	0
Ventas	0	0	0	0
Insumos mantenimiento	0	0	0	0
Personal mantenimiento	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>UNAI</b>		<b>\$353.233,86</b>	<b>\$488.422,12</b>	<b>\$449.146,37</b>
<b>Impuesto</b>	0	0	0	0
<b>UNDI</b>		<b>\$353.233,86</b>	<b>\$488.422,12</b>	<b>\$449.146,37</b>
<b>Costo inversión rediseño</b>	<b>-\$75.631,50</b>			
<b>Flujo de efectivo</b>	<b>-\$75.631,50</b>	<b>\$353.233,86</b>	<b>\$488.422,12</b>	<b>\$449.146,37</b>
<b>Flujo de efectivo acumulado</b>		<b>\$353.233,86</b>	<b>\$841.655,98</b>	<b>\$1.290.802,35</b>

Fuente: elaboración propia



En esta tabla se muestra un horizonte de evaluación de 3 años, donde el año 1 refiere al incremento del 18%, año 2 al 38% y el año 3 al -8% de la demanda. El año 0 hace referencia a las exportaciones de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” lo cual es un dato real a partir del cual se aplican los incrementos y disminución de la demanda. Se muestran los ingresos económicos para Flex Costa Rica en función de la cantidad de unidades exportadas, donde se obtiene un ingreso de hasta \$2.983.516,49 en el año más crítico, el cual es el año 2, donde se da el aumento de 38% en la demanda.

Luego se muestran los costos de operación, donde se evidencia que el mayor costo de estos es el costo de la materia prima para la fabricación de la lámpara de proyección. Se nota que el costo de operación producción no es constante aunque siempre se necesitan 3 operarios para el proceso productivo, esto se debe a que el costo de producción ha sido calcula en función de la cantidad de lámpara de proyección fabricadas, según los métodos de análisis del Departamento de Cadena de Abastecimiento de Flex Costa Rica, pues los operarios no están dispuestos únicamente a la fabricación de este componente, sino que se da una rotación diaria o semanal a otros procesos productivos. Además este costo de producción incluye el aumento salarial del 2,96% anual establecido en el Decreto N° 41434-MTS del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. El costo de operación de empaque se obtiene de la misma manera que se calcula el costo de operación de producción, en función de las unidades de lámpara de proyección exportadas

Seguidamente, se muestra el costo de operación debido al consumo de energía de los equipos y componentes de la propuesta de automatización. Para obtener el valor de este costo de consumo de energía se debe determinar la potencia que consume cada uno de los componentes de esta propuesta de automatización, mediante sus datos de placa o mediante el uso de la fórmula:

$$P = V * I \quad (4)$$

Donde:

- P: es la potencia que consume el aparato.
- V: es el voltaje del componente.
- I: la intensidad de corriente eléctrica que necesita el componente.

La potencia que consume cada componente se muestra en la **Tabla 35**.

**Tabla 35.** Consumo de potencia de cada elemento de la propuesta de automatización.

Sección	Elemento	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
A	Fuente 24V IDEC	100,00	1,40	140,00
	COBOT	48,00	4,00	200,00
	Atornillador Automático Visumatic	115,00	2,50	287,50
	Servomotor	200,00	5,40	1.080,00
	Ventilador de panel	110,00	0,18	19,80
	Extractor de panel	110,00	0,18	19,80
B	Soldadora por vibración DUKANE	220,00	60,00	13.200,00
C	Fuente 24V SOLA	100,00	5,60	560,00
	Fuente 15V SOLA	115,00	1,10	126,50
	Fuente 15V SOLA	115,00	1,10	126,50
	Fuente 48V Micron	115,00	2,80	322,00
<b>Total</b>				<b>16.082,10</b>

Fuente: elaboración propia

Luego se aplica la tarifa correspondiente con su respectivo en función de las horas que en las que funciona la línea productiva, las cuales en este caso son de las 6am a 2pm. La tarifa que se le aplica Flex Costa Rica es la T-MT de media tensión del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). El desglose de esta tarifa, sus horarios y costo del consumo energético de la línea productiva se muestra en la **Tabla 36**.

**Tabla 36.** Tarifa T-MT de media tensión del ICE y costo de operación de consumo energético de la propuesta de automatización.

Periodo	Horario	Costo	Horas/t urno	Horas/ mes	KW	Costo mensual por periodo
Punta	10:01-12:30/17:31-20:00	\$0,12	2,5	60	<b>16,08</b>	\$115,78
Valle	6:01-10:00/12:31-17:30	\$0,04	5,5	132	<b>16,08</b>	\$94,62
Nocturno	20:01-6:00	\$0,03	0	0	<b>16,08</b>	\$0,00
<b>Costo total mensual</b>						<b>\$210,40</b>
<b>Costo total anual</b>						<b>\$2.524,74</b>

Fuente: elaboración propia

En la misma sección de la tabla, se muestra los costos de operación debido a los insumos y el personal de mantenimiento, los cuales son de suma importancia para garantizar el correcto funcionamiento o la sostenibilidad operativa de la propuesta de mejora para la línea productiva de la lámpara de proyección. Se evidencia que el valor de este costo de operación es de \$0, lo cual no significa que no se realice o no se le vaya a realizar mantenimiento a la línea productiva, sino que debido a las altas multas a las que puede ser sometida la empresa, como se ha explicado en los primeros capítulos, el costo del mantenimiento es despreciable para la empresa y por ello no se lleva actualmente registro de los costos de mantenimiento. En total, se nota que los costos de operación ascienden hasta los -\$2.495.094,37 en el año 2.

En cuanto a los gastos operativos de administración y ventas, se nota que su valor es de \$0 debido a que el gasto total es despreciable para la empresa y estas labores las realizan el personal encargado dentro su horario laboral, por lo que no significa un gasto extra para la empresa. Luego se muestra que la utilidad antes de impuestos y la utilidad después de impuestos que le brinda el presente proyecto a la empresa tienen el mismo valor de \$353.233,86, \$488.422,12 y \$449.146,37 para los años 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022, respectivamente, debido a que Flex Costa Rica se encuentra bajo el régimen de zona franca por lo cual no tienen impuestos.

Finalmente, antes de mostrar los flujos netos de efectivo, se muestra la inversión del proyecto, es decir, el costo total de la compra y la implementación de todos los componentes para realizar la automatización parcial de la línea productiva. Se muestra en el **Apéndice F** el costo de todos los componentes y por ende la inversión total la cual es de \$75.631,50.

Se evidencia que los flujos netos de efectivos son positivos para todos los años y en el último año se obtiene un flujo positivo acumulado de \$1.290.802,35, lo que garantiza la factibilidad o viabilidad del proyecto desde el punto de vista financiero.

### **8.5.2 Análisis de la inversión**

Finalmente, a partir de los flujos netos de efectivo mostrados en la **Tabla 34** tras la implementación de la propuesta de optimización de la línea productiva de la “Lámpara de Proyección A2705”, se realiza el análisis de la inversión mediante métodos financieros de evaluación de proyectos y métodos no financieros o aproximados de evaluación de proyectos. Fernández (2010) indica que los métodos financieros son: “aquellos que utilizan el valor cronológico de todos los flujos de efectivo, es decir, los que conceden al dinero importancia en el tiempo.” (p.127), y los aproximados por el contrario no conceden al dinero valor en el tiempo. Estos métodos se muestran a continuación con su respectiva descripción:

Métodos financieros:

- Valor actual neto (VAN): muestra la diferencia entre el valor actual de los flujos de efectivo y el valor actual de la inversión y demás egresos de dinero.
- Tasa interna de retorno (TIR): indica la rentabilidad generada por una inversión al hacer que el valor de los flujos de efectivo positivos sea igual al valor actual de los flujos de efectivo negativos.
- Índice de deseabilidad (ID): expresa la rentabilidad de un proyecto en términos unitarios.

Métodos aproximados:

- Periodo de recuperación (PR): tiempo en años que tarda en recuperarse el monto de la inversión.
- Costo beneficio (CB): relaciona la utilidad neta con la inversión.

Los resultados de la aplicación de estos métodos de evaluación de proyectos al presente proyecto se muestran en la **Tabla 37**, junto con la interpretación de los mismos.

**Tabla 37.** Evaluación de propuesta de automatización de línea productiva de “Lámpara de Proyección A2705-C-Series”.

Método de evaluación	Valor	Interpretación
VAN	\$1.215.170,85	El proyecto logra su inversión de rediseño y además genera una ganancia adicional de \$1.215.170,85, por tanto, el proyecto es aceptable.
TIR	493%	El proyecto genera un rentabilidad cubre la inversión inicial y tiene una rentabilidad de 493%, el proyecto es aceptable.
PR	3,96 meses	El proyecto tarda 4 meses en cubrir la inversión inicial con sus flujos de efectivo. Es decir, antes de este tiempo, la empresa Flex Costa Rica no habrá obtenido ganancias, pues los flujos aún estarían cubriendo el monto invertido.
ID	17,07	El valor presente de los flujos de efectivo del proyecto con generan 17,07 el dinero invertido.
CB	\$16,07	El proyecto cubre la inversión inicial y genera \$16,07 por cada \$1 invertido.

Fuente: elaboración propia

Al finalizar la presente evaluación financiera, con los el costo de la inversión y los flujos netos de efectivo obtenidos y los resultados obtenidos al aplicar los distintos métodos financieros, se concluye que el presente proyecto es viable desde el punto de vista financiero para la empresa.

## Capítulo 9. Garantía de sostenibilidad operativa

Se puede realizar un gran trabajo al momento de diseñar algún componente, maquina o proceso productivo, sin embargo esto pierde significativamente su valor si no se realiza de manera paralela algún plan, cuidado o tratamiento que garantice que dicho elemento o proceso funcione correctamente y cumpla la función para la cual fue diseñado.

Se pueden presentar circunstancias imprevistas o condiciones adversas para los equipos de la línea productiva que pueden provocar algún fallo. Este fallo puede provocar una situación leve, de fácil y rápida corrección, como puede provocar daños a equipos críticos que generen el paro total del proceso productivo, durante horas, días o semanas, en el peor de los escenarios.

Por ello, para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y la sostenibilidad operativa del “Proceso Productivo A2705”, se crea un plan de mantenimiento que se muestra en la **Tabla 38**. En esta tabla se muestra el mantenimiento a realizar a cada uno de los componentes principales de la línea productiva junto con el procedimiento para ejecutarlo y la frecuencia. En ella, se encuentran labores de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

Este plan de mantenimiento ha sido realizado bajo la filosofía de “Total Productive Maintenance” (TPM) o “Mantenimiento Productivo Total” (MPT) en la que se busca un mantenimiento que aporte una productividad máxima o total a la línea productiva mediante la eliminación de las 6 grandes pérdidas y la incorporación y trabajo mutuo de todo el personal de la empresa. Este sistema es similar a la filosofía de “Lean Manufacturing” implementada en la fase de diseño de la línea productiva en cuanto a la búsqueda de reducir las operaciones y tiempos innecesarios del proceso productivo. El TPM ha sido explicado ampliamente en el Capítulo 4 del presente proyecto.

**Tabla 38.** Plan de mantenimiento para la propuesta de automatización del “Proceso Productivo A2705”.

Componente	Actividad de mantenimiento	Procedimiento	Frecuencia
Banda transportadora de cadenas	Alineamiento de motor	Comunicarse con proveedor, solicitar alineamiento de precisión láser.	Cada 3 meses
	Tensión de banda transportadora	Reajustar los tensores de banda hasta el valor máximo permisible.	Cada mes
	Ajuste de sensores	Reajustar la posición de los sensores a una distancia no mayor a los 4 mm de distancia de su objetivo.	Cada mes
	Lubricación de roles	Realizar la lubricación de todos los roles de las chumaceras con lubricante recomendado por el fabricante.	Cada mes
Panel de control	Ajuste de conexiones	Reajustar los todos puntos de contacto del panel de control.	Cada 6 meses
	Sustitución de filtros	Sustituir los filtros del ventilador y extractor de panel.	Cada 3 meses
	Inspección termográfica	Contactar proveedor, solicitar cámara termográfica.	Cada año
Sistema neumático	Inspección de valores presión	Comparar los valores de presión actuales de las válvulas reguladoras y sensores digitales de presión y de vacío con los valores de presión de diseño. En caso de ser distintos, realizar la reprogramación de los mismos.	Cada semana
	Sustitución de filtros	Sustituir los filtros de los generadores de vacío.	Cada 2 meses
Robot colaborativo AUBO Robotics i5	Inspección de valores de temperatura	La temperatura de cada uno de los ejes no puede superar los 85°C. Contactar al proveedor en caso de que la temperatura supere este valor.	Cada semana tras la finalización de un turno laboral
	Inspección de posiciones	Comparar posiciones actuales con posiciones de configuración. Realizar reprogramación de posiciones en caso de que estas hayan variado más de $\pm 0,05\text{mm}$ .	Cada semana
	Sustitución de partes	Comunicarse con proveedor.	N/A
Atornillador Visumatic VCM-3X.2	Comunicarse con proveedor	Comunicarse con proveedor.	N/A
Sistema de Visión	Sustitución del elemento	Comunicarse con proveedor.	N/A

Fuente: elaboración propia

La asignación de las labores de mantenimiento al personal de la empresa se muestra en la **Tabla 39**. Se debe realizar una capacitación y explicación del funcionamiento de los componentes a los cuales se les deben realizar las labores de inspección a los operarios de la línea productiva.

**Tabla 39.** Asignación de labores de mantenimiento.

<b>Labor</b>	<b>Responsable</b>
Inspección	Operarios
Intervención de mantenimiento	Técnicos de mantenimiento
Comunicación con proveedor	Gerente de mantenimiento

Fuente: elaboración propia



## Capítulo 10. Conclusiones y recomendaciones

En el capítulo final del presente proyecto se muestran las conclusiones del trabajo en cuestión, que permiten resumir los análisis, cálculos, toma de decisiones y propuestas formuladas durante el trabajo y principalmente, permiten verificar el cumplimiento o no de los objetivos planteados al inicio del proyecto, junto con la solución al problema planteado. Además, se realizan recomendaciones referentes al proyecto y a la empresa Flex Costa Rica.

### 8.1 Conclusiones

- Mediante comparaciones técnicas se logra identificar la mejor propuesta o la propuesta más factible para optimizar el proceso productivo de la “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” que es la automatización parcial del proceso, específicamente en su sección crítica, la Sección A.
- Se realizan las especificaciones técnicas de la propuesta de mejora de automatización parcial de la línea productiva mediante planos mecánicos, diagramas de conexiones y la respectiva programación del sistema.
- Desde el ámbito productivo se logra aumentar sustancialmente la producción de la línea productiva en 1828 unidades semanales, pues se pasó de 5220 unidades semanales producidas a 7048 unidades semanales producidas. Aunque no se logra, según lo proyectado, suplir por completo la demanda, esta propuesta es la que brinda la mejor solución al problema y reduce la significativamente las posibilidades de que no se pueda cumplir con la demanda y que la empresa Flex Costa Rica sea multada por una suma de \$250.000,00 por minuto de paro de líneas productivas de clientes.

- Mediante un estudio técnico-financiero se demuestra la viabilidad de la propuesta desde el ámbito de gestión del recurso humano al reducir significativamente los turnos laborales extras necesarios para suplir la demanda proyectada de 16% promedio anual en 87% en promedio en los 3 años de análisis. Además, le permite a la línea productiva funcionar con los mismos 3 operarios debido al proyecto implementado paralelamente del ensamble de “Lens Pack”.
- En el ámbito financiero del estudio técnico-financiero realizado se demuestra la viabilidad del proyecto al generarle un ingreso extra anual a la empresa de \$152.488,97. Debido a la gestión del recurso humano mencionada en el punto anterior se obtiene un ahorro económico total de \$47.580,72 sin implementar la gestión de la producción y de \$50.208,19 implementando la gestión de la producción para los años proyectados, desde el 2020 a 2022.
- Se concluye y garantiza finalmente la viabilidad de la implementación de la presente propuesta de mejora mediante el estudio de los flujos netos de efectivo y los métodos de evaluación financieros y aproximados. De estos se obtiene que el proyecto logra cubrir la inversión de componentes y rediseño y genera un excedente de \$1.215.170,85 (VAN), tras sus 3 años proyectados, tiene una rentabilidad de 493% (TIR), genera un beneficio de \$16,07 por cada \$1 invertido (CB), tiene un índice de deseabilidad de 17,07 (ID) que su inversión se logra retribuir económicamente en 3,96 meses (PR).
- Se propone un plan de mantenimiento con acciones de índole correctiva, preventiva y predictivas para garantizar la sostenibilidad operativa de la automatización propuesta.

## 8.2 Recomendaciones

- Realizar la implementación de la propuesta tan pronto como el presente proyecto sea aprobado debido al plazo de entrega de componentes establecido por los proveedores, pues algunos elementos pueden obtenerse de manera inmediata pero otros, debido a los trámites y tiempo de importación, puede tardar hasta 4 semanas para su entrega.
- En caso de no poder realizar la compra de alguno de los elementos o componentes listados en el presente proyecto debido a agotamiento de existencias de los proveedores o la no fabricación de los mismos, se deben seleccionar componentes que tengan los mínimos requerimientos de funcionamiento especificados en su respectivo apartado y especificaciones técnicas tan similares como sea posible a los elementos a sustituir.
- La presente propuesta de automatización de la línea productiva del elemento “Lámpara de Proyección A2705-C-Series” ha sido presentada y aprobada por el Departamento de Seguridad e Higiene Ocupacional (EHS) de Flex Costa Rica, por lo que al realizar cualquier modificación de componentes, estructuras o valores de funcionamiento se debe presentar nuevamente al citado departamento para su aprobación.
- Se recomienda registrar las horas de funcionamiento de los componentes principales de la presente propuesta de automatización, de esta manera, al cumplir la línea productiva con su vida útil, se conoce detalladamente la vida útil disponible de los elementos de este proyecto para poder ser utilizados en un nuevo proyecto o ser implementados en otra línea productiva de Flex Costa Rica.

- Establecer un método de registro costo de mantenimiento debido a la utilización de insumos y personal de mantenimiento que permita llevar la contabilidad de los mismos para facilitar futuras tomas de decisiones y tener un mejor conocimiento del estado de la línea productiva. Para esto, se recomienda una tabla sencilla como la mostrada en la siguiente **Figura 50**.

**EJEMPLO DE TABLA DE COSTES**

**Año XXXX**

Secciones	Mano de obra	N.º horas	Materiales	Subcontratos	Medios auxiliares	Totales
A						
B						
C						
D						
TOTALES						

Fuente: Organización y gestión integral del mantenimiento. (García)

**Figura 50.** Organización y gestión integral del mantenimiento

## Bibliografía

- COGNEX Corporation. (15 de 4 de 2019). *Visión Artificial*. Obtenido de <https://www.cognex.com/es-ar/what-is/machine-vision/what-is-machine-vision>
- Cordero, C. (5 de Marzo de 2017). *Automatización impactaría a la mitad del empleo privado en Costa Rica*. San José, San José, Costa Rica.
- EUROTRANSIS. (30 de Julio de 2018). *¿Qué es una cinta transportadora? Principios de funcionamiento*. Obtenido de <https://eurotransis.com/que-es-una-cinta-transportadora-principios-de-funcionamiento/>
- Fernández, S. (2010). *Los proyectos de inversión*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- García, S. (2003). *Organización y gestion integral de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- INTECO. (2015). *INTE/ISO 1219-2:2015. Transmisión hidráulica y neumática, Símbolos gráficos y diagramas de circuito. Parte 1: Símbolos gráficos para el empleo convencional e información*. San José: INTECO.
- INTECO. (2015). *INTE/ISO 1219-2:2015. Transmisión hidráulica y neumática, Símbolos gráficos y diagramas de circuito. Parte 2: Diagramas de circuitos*. San José: INTECO.
- Karl-Heinz, J., & Tiegelcamp, M. (2001). *IEC 61161-3:Programming Industrial Automation Systems*. Berlin: Springer-Verlag.
- Mandado, E., Acevedo, J., Fernández, C., & Arnesto, J. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- Morera, A. (2018). *Ingeniería en Mantenimiento Industrial*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Serrano, N. (2009). *Neumática Práctica*. Madrid: Paraninfo, S.A.

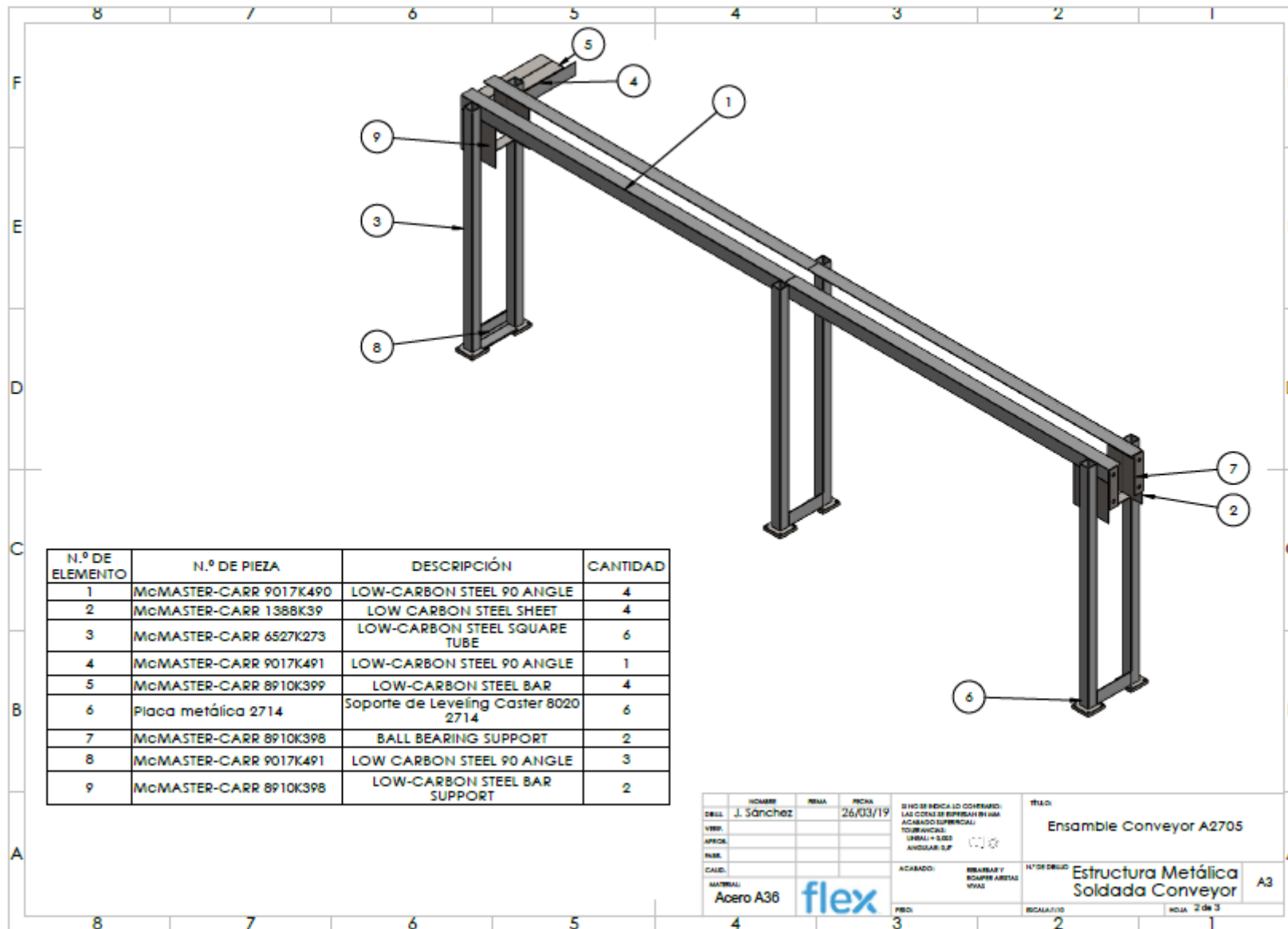
## **Apéndices**

## Apéndice A

**Notas**  
Crear protección con acrílico de 5mm para partes móviles, servomotor y ejes.

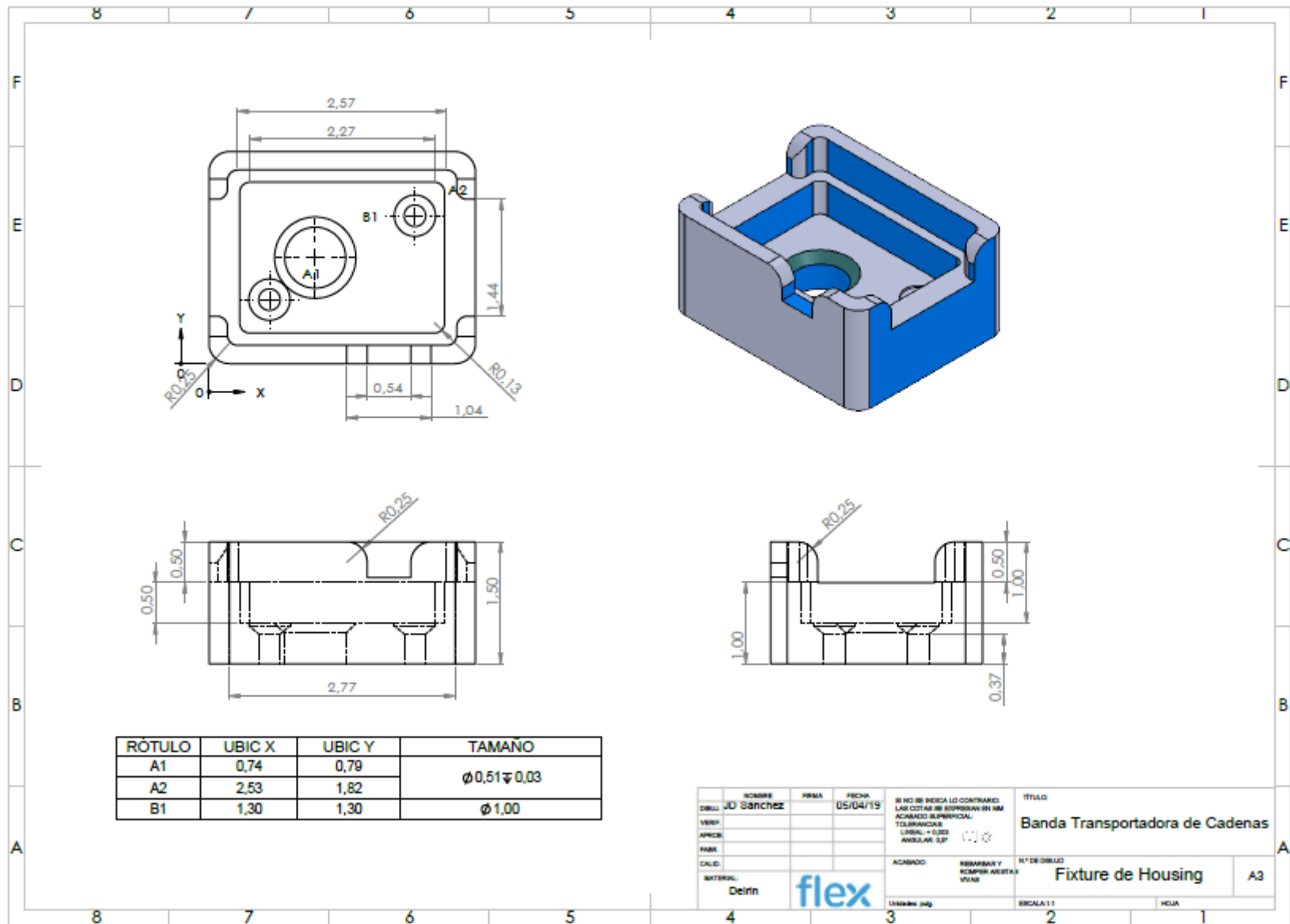
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Sprocket Chain Conveyor		1
2	MCMaster-CARR 1497K144	KEYED 1045 STEEL DRIVE SHAFT	1
3	MCMaster-CARR 1497K145	KEYED 1045 STEEL DRIVE SHAFT	1
4	MCMaster-CARR 6494K140	BALL BEARING	4
5	Estructura Metálica Conveyor		1
6	MCMaster-CARR 60085K110	CONVEYOR TENSIONER	2
7	MCMaster-CARR 7200K200	SERVOMOTOR	1
8	8020 LEVELING CASTER 2714		6
9	MCMaster-CARR 2764K638	FLEXIBLE SHAFT COUPLING	1
10	Cobertor Acrílico Lateral 5mm		4
11	Cobertor Acrílico Superior 5mm		4
12	MCMaster-CARR 6785K210	EMERGENCY STOP	2
13	8020 Socket Head Screw 3064		24
14	8020 Flanged Hex Head Bolt 3749		12
15	8020 Flanged Hex Head Nut 3759		12
16	Soporte Sensor Conveyor		4
17	Fixture de Housing		26
18	XECRO LedLight		1

DIBUJANTE	REVISOR	FECHA	PROYECTO	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM.		TÍTULO
J.D. Sánchez		27/03/19		ACABADO SUPERFICIAL: TORNILLAS: SERIAL + 0.02 ANILLOS S/P		Ensamble Conveyor A2705
VERB.				ACABADO:		N.º DE DIBUJO
APROB.				REBARBAR Y SCAPER ARETAS VÍAS		Ensamble Conveyor A2705
ELAB.						A3
CALD.						1 de 3
MATERIAL:	flex		PROY.		ESCALA: 1:1	



© 2017 B&B B&B S.A. Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad.



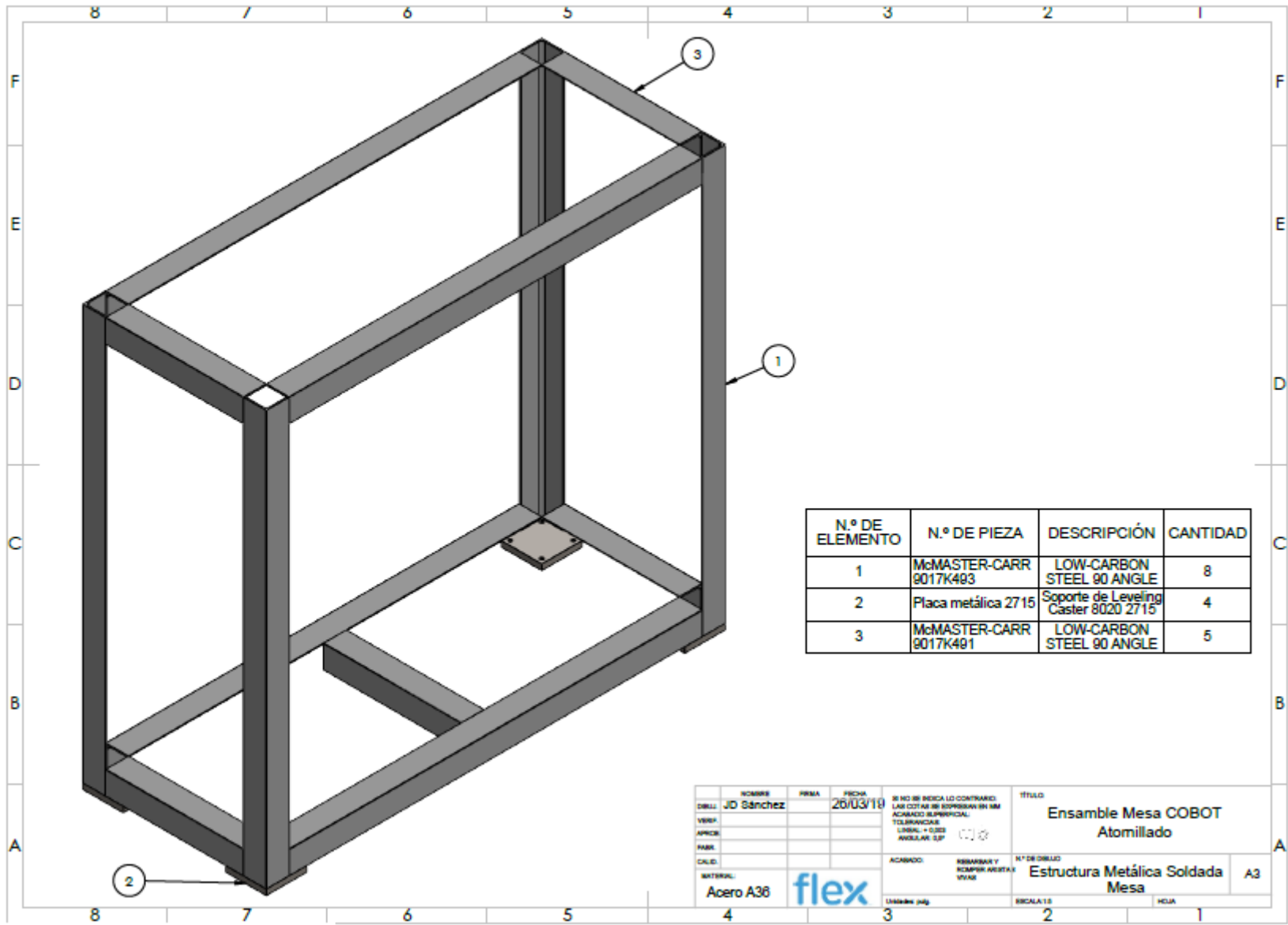


## Apéndice B

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura Mesa		1
2	ACCESS RUEDA DE NIVEL 80-20 2715		4
3	Base Madera		1
4	Hard High Strength 7075 Aluminium 16inx40in		1
5	Alimentador Visumatic		1
6	Control Box		1
7	AUBO-i5		1
8	Soporte Screwdriver		1
9	BANDEJA TARJETAS PCBA		1
10	Soporte Ionizing Bar		1
11	Base BandejaTarjetas PCBA		1
12	7546K270 PLASTIC ENCLOSED PUSH-BUTTON SWITCH		1
13	Soporte TeachPendant		1
14	CONTROL CONTROLADOR DEL COBOT UR Teach_Pendant		1
15	Barra Soporte Valvulas		1
16	Barra Soporte Control Panel		1
17	ControlPanel		1
18	Base Desecho BandejaTarjetas PCBA		1
19	Sensor Capacitivo CS12-H8PO60-A12		1
20	LedLight		2
21	Soporte Sensor5		1
22	Herramienta COBOT		1
23	Ensamblaje Atornillador con Herramienta		1

DISEÑO: JD Sanchez VERIFICADO: APROBADO: FABRIL: CALIDAD: MATERIAL:	REVISIÓN: FECHA: 8/04/19	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL +0.02 ANGULAR 0.1°	TÍTULO: Ensamble Mesa COBOT Atornillado
flex	ACABADO: REBARBAR Y ACABAR APOSTA VISUAL	N.º DE DISEÑO: Ensamble Mesa COBOT Atornillado	A3
Unidad: mm	ESCALA: 1:10	HOJA:	A3

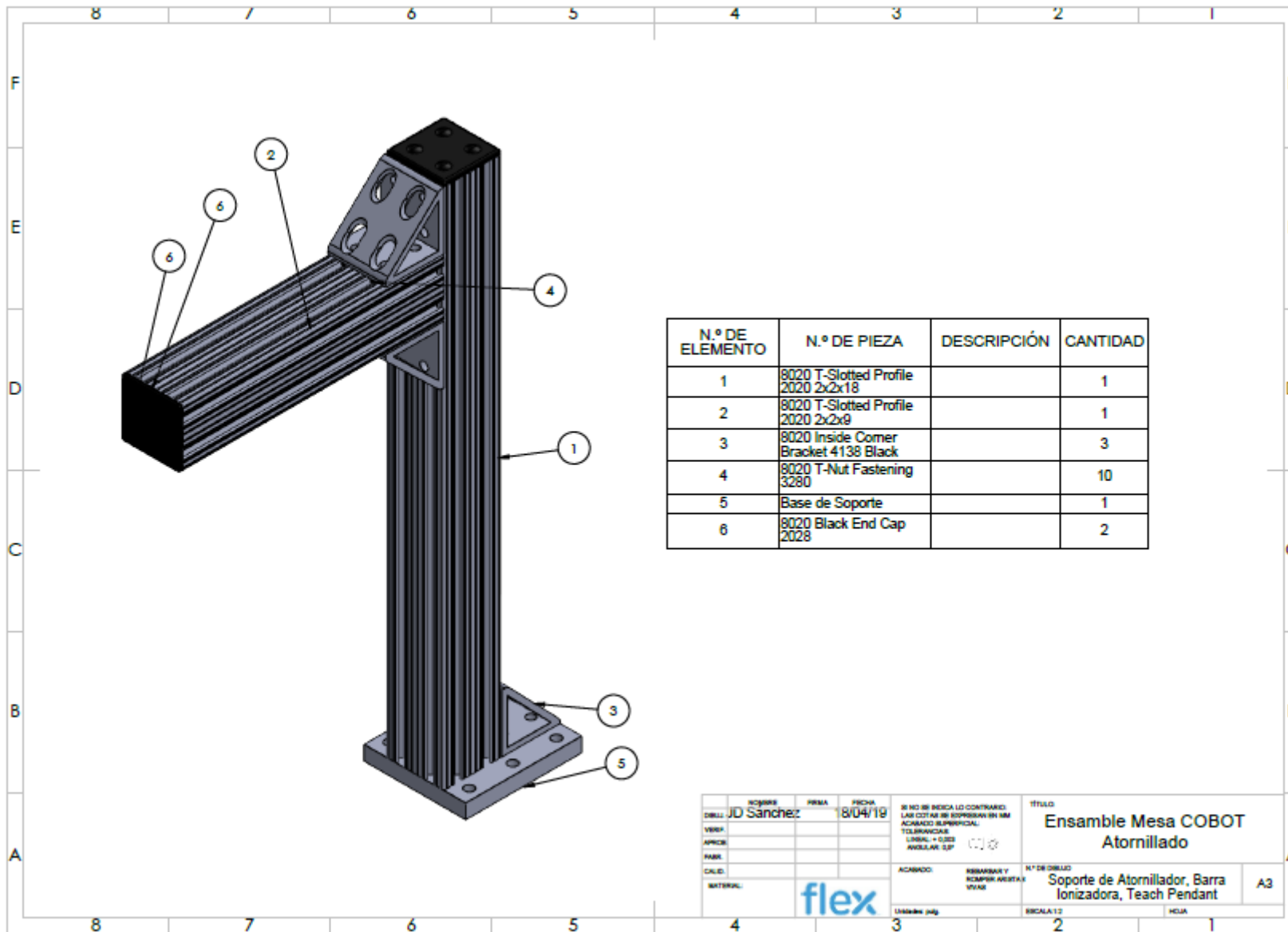
© 2019 FLEX FABRICACIONES. Todos los derechos reservados.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	McMASTER-CARR 9017K493	LOW-CARBON STEEL 90 ANGLE	8
2	Placa metálica 2715	Soporte de Leveling Caster 8020 2715	4
3	McMASTER-CARR 9017K491	LOW-CARBON STEEL 90 ANGLE	5

NOMBRE: JD Sánchez DISEÑO: 26/03/19 VERIFICADO: APROBADO: PAREJA: CALIDAD: MATERIAL: Acero A36	SE NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ± 0,32 ANGULAR: 0,5°	TÍTULO: <b>Ensamble Mesa COBOT          Atomillado</b>
<b>flex</b>	ACABADO: REBARBAR Y ROMPER ARISTAS 15° MAX	N.º DE DIBUJO: <b>Estructura Metálica Soldada          Mesa</b>
Unidades (kg)	ESCALA: 1:1	HOJA: A3

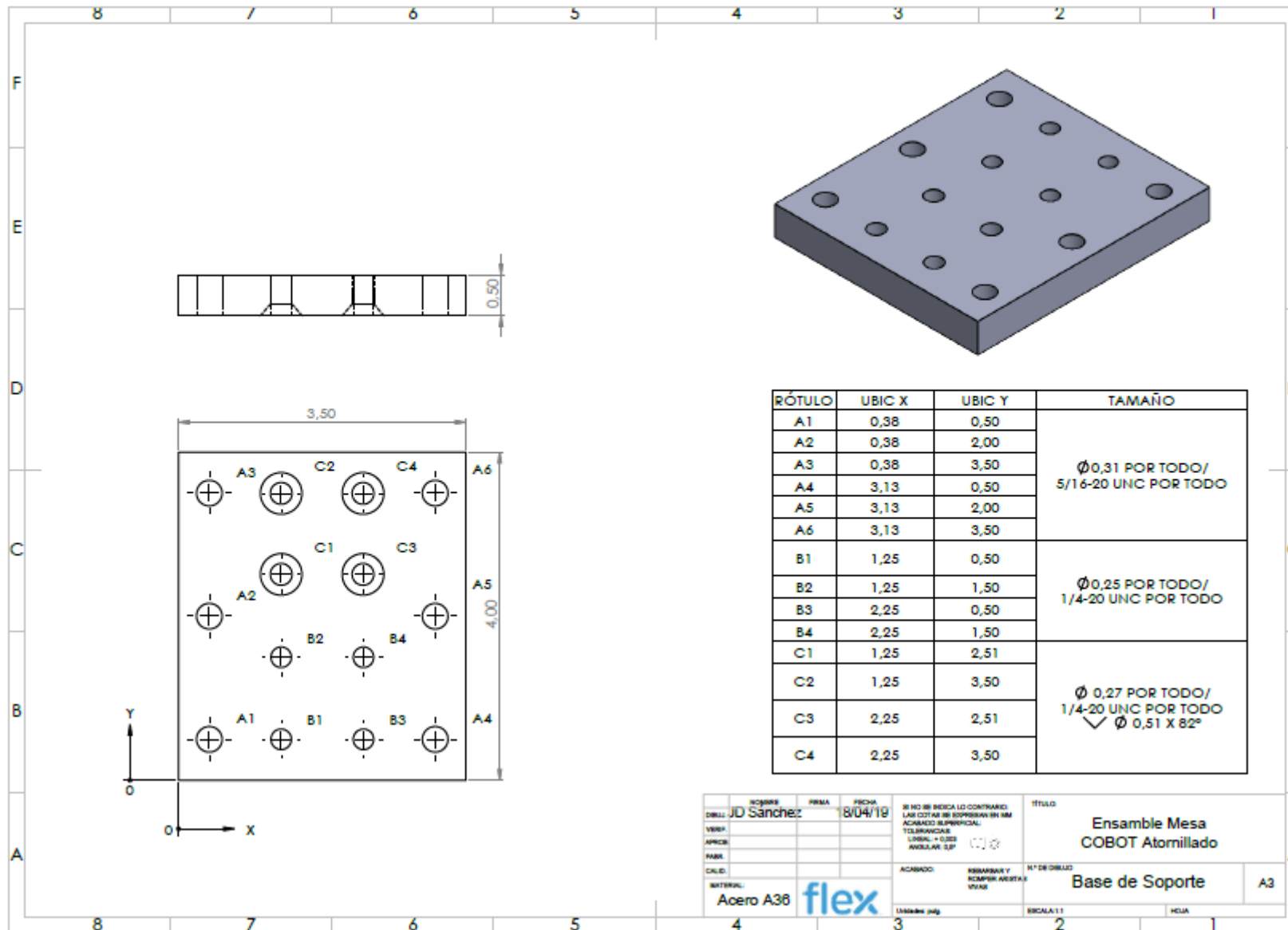
Nota: 03/19/04/02/04/05/06/07/08/09/10/11/12/13/14/15/16/17/18/19/20/21/22/23/24/25/26/27/28/29/30/31/32/33/34/35/36/37/38/39/40/41/42/43/44/45/46/47/48/49/50/51/52/53/54/55/56/57/58/59/60/61/62/63/64/65/66/67/68/69/70/71/72/73/74/75/76/77/78/79/80/81/82/83/84/85/86/87/88/89/90/91/92/93/94/95/96/97/98/99/100/101/102/103/104/105/106/107/108/109/110/111/112/113/114/115/116/117/118/119/120/121/122/123/124/125/126/127/128/129/130/131/132/133/134/135/136/137/138/139/140/141/142/143/144/145/146/147/148/149/150/151/152/153/154/155/156/157/158/159/160/161/162/163/164/165/166/167/168/169/170/171/172/173/174/175/176/177/178/179/180/181/182/183/184/185/186/187/188/189/190/191/192/193/194/195/196/197/198/199/200/201/202/203/204/205/206/207/208/209/210/211/212/213/214/215/216/217/218/219/220/221/222/223/224/225/226/227/228/229/230/231/232/233/234/235/236/237/238/239/240/241/242/243/244/245/246/247/248/249/250/251/252/253/254/255/256/257/258/259/260/261/262/263/264/265/266/267/268/269/270/271/272/273/274/275/276/277/278/279/280/281/282/283/284/285/286/287/288/289/290/291/292/293/294/295/296/297/298/299/300/301/302/303/304/305/306/307/308/309/310/311/312/313/314/315/316/317/318/319/320/321/322/323/324/325/326/327/328/329/330/331/332/333/334/335/336/337/338/339/340/341/342/343/344/345/346/347/348/349/350/351/352/353/354/355/356/357/358/359/360/361/362/363/364/365/366/367/368/369/370/371/372/373/374/375/376/377/378/379/380/381/382/383/384/385/386/387/388/389/390/391/392/393/394/395/396/397/398/399/400/401/402/403/404/405/406/407/408/409/410/411/412/413/414/415/416/417/418/419/420/421/422/423/424/425/426/427/428/429/430/431/432/433/434/435/436/437/438/439/440/441/442/443/444/445/446/447/448/449/450/451/452/453/454/455/456/457/458/459/460/461/462/463/464/465/466/467/468/469/470/471/472/473/474/475/476/477/478/479/480/481/482/483/484/485/486/487/488/489/490/491/492/493/494/495/496/497/498/499/500/501/502/503/504/505/506/507/508/509/510/511/512/513/514/515/516/517/518/519/520/521/522/523/524/525/526/527/528/529/530/531/532/533/534/535/536/537/538/539/540/541/542/543/544/545/546/547/548/549/550/551/552/553/554/555/556/557/558/559/560/561/562/563/564/565/566/567/568/569/570/571/572/573/574/575/576/577/578/579/580/581/582/583/584/585/586/587/588/589/590/591/592/593/594/595/596/597/598/599/600/601/602/603/604/605/606/607/608/609/610/611/612/613/614/615/616/617/618/619/620/621/622/623/624/625/626/627/628/629/630/631/632/633/634/635/636/637/638/639/640/641/642/643/644/645/646/647/648/649/650/651/652/653/654/655/656/657/658/659/660/661/662/663/664/665/666/667/668/669/670/671/672/673/674/675/676/677/678/679/680/681/682/683/684/685/686/687/688/689/690/691/692/693/694/695/696/697/698/699/700/701/702/703/704/705/706/707/708/709/710/711/712/713/714/715/716/717/718/719/720/721/722/723/724/725/726/727/728/729/730/731/732/733/734/735/736/737/738/739/740/741/742/743/744/745/746/747/748/749/750/751/752/753/754/755/756/757/758/759/760/761/762/763/764/765/766/767/768/769/770/771/772/773/774/775/776/777/778/779/780/781/782/783/784/785/786/787/788/789/790/791/792/793/794/795/796/797/798/799/800/801/802/803/804/805/806/807/808/809/810/811/812/813/814/815/816/817/818/819/820/821/822/823/824/825/826/827/828/829/830/831/832/833/834/835/836/837/838/839/840/841/842/843/844/845/846/847/848/849/850/851/852/853/854/855/856/857/858/859/860/861/862/863/864/865/866/867/868/869/870/871/872/873/874/875/876/877/878/879/880/881/882/883/884/885/886/887/888/889/890/891/892/893/894/895/896/897/898/899/900/901/902/903/904/905/906/907/908/909/910/911/912/913/914/915/916/917/918/919/920/921/922/923/924/925/926/927/928/929/930/931/932/933/934/935/936/937/938/939/940/941/942/943/944/945/946/947/948/949/950/951/952/953/954/955/956/957/958/959/960/961/962/963/964/965/966/967/968/969/970/971/972/973/974/975/976/977/978/979/980/981/982/983/984/985/986/987/988/989/990/991/992/993/994/995/996/997/998/999/1000

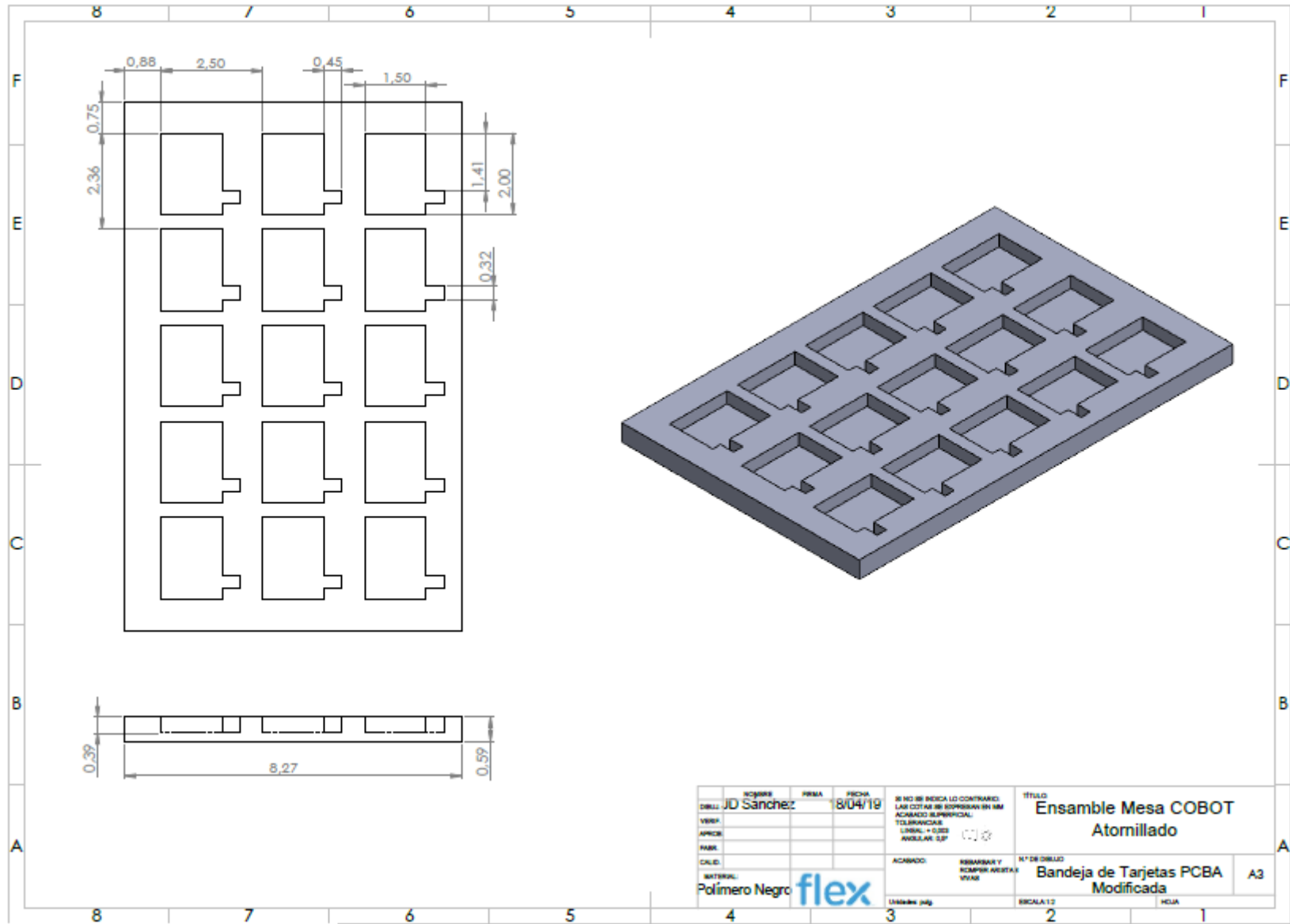


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	8020 T-Slotted Profile 2020 2x2x18		1
2	8020 T-Slotted Profile 2020 2x2x9		1
3	8020 Inside Corner Bracket 4138 Black		3
4	8020 T-Nut Fastening 3280		10
5	Base de Soporte		1
6	8020 Black End Cap 2028		2

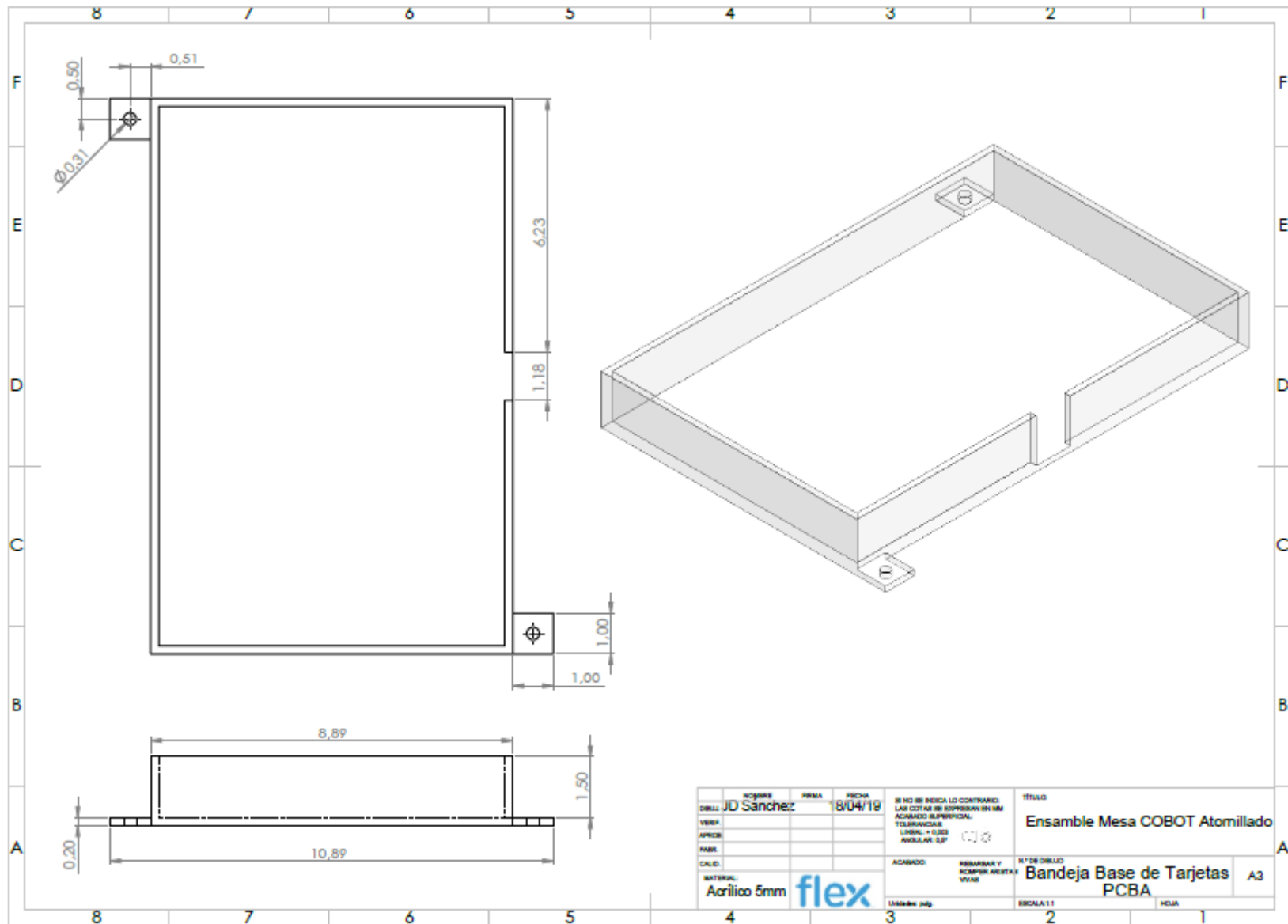
DIBUJANTE	PROYECTISTA	FECHA	SE NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS LINEAL: ± 0,20 ANGULAR: 0,5°	TÍTULO
JD Sanchez		8/04/19		Ensamble Mesa COBOT Atornillado
VERBA			ACABADO:	N.º DE DIBUJO
APROBADO			REVISAR Y REAPROBAR SI HAY	Soporte de Atornillador, Barra Ionizadora, Teach Pendant
PAIS				A3
CALD.			UTILIZAR PÁG.	ESCALA 1:1
MATERIAL:				HOLA





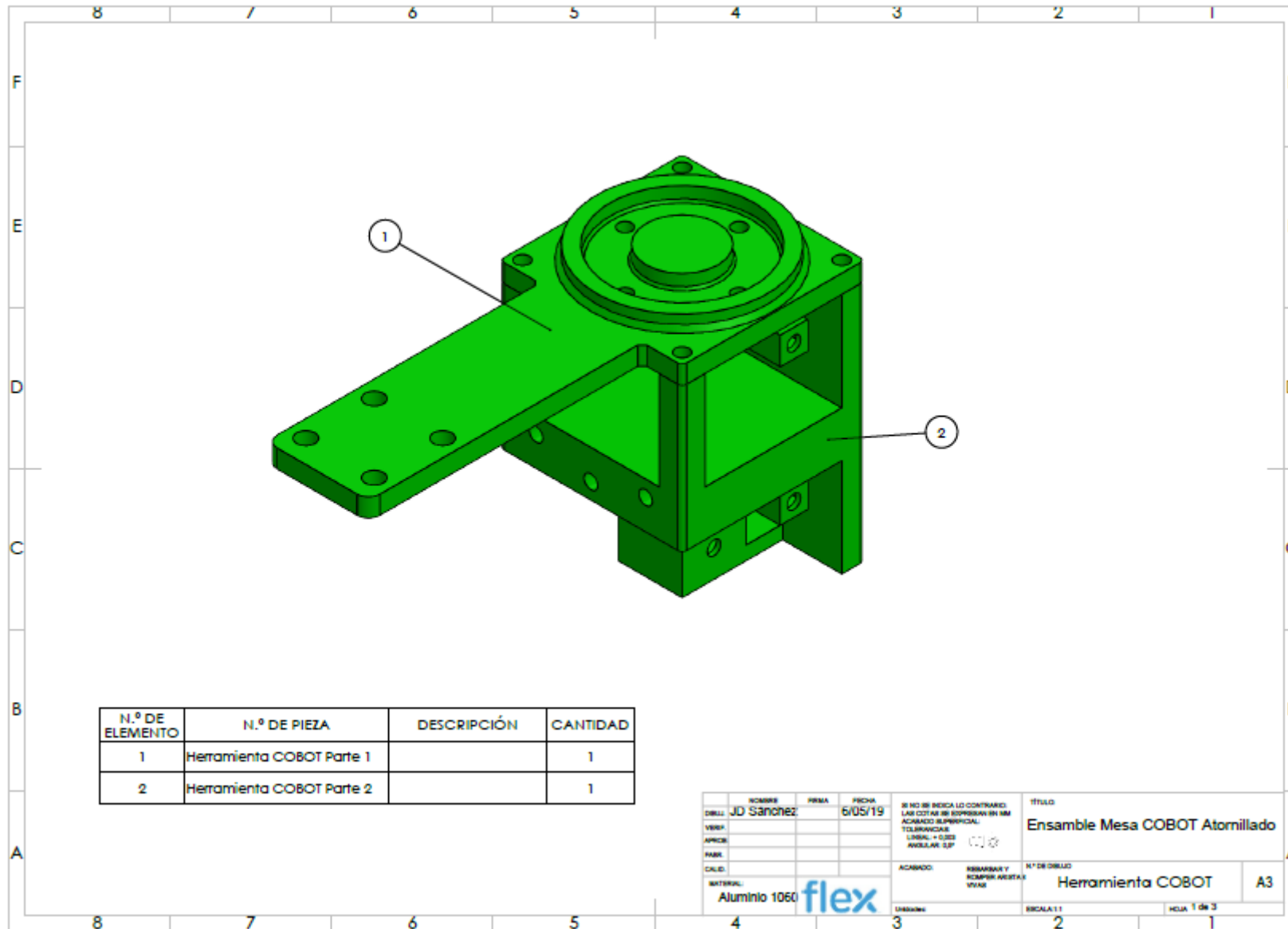


Nota: Q221/17069/2020'S Fabricación/ Cada placa viene en la modificación



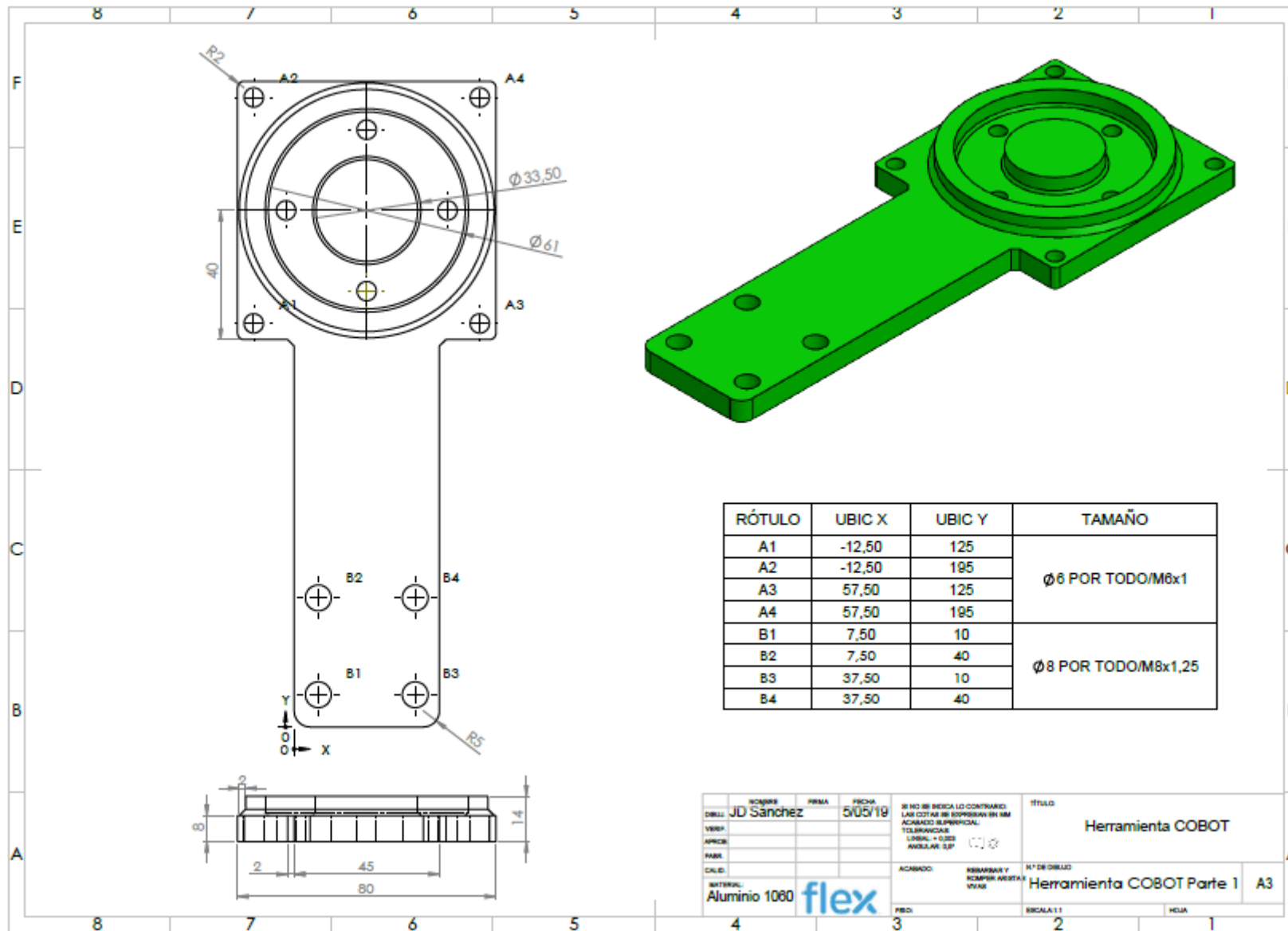
www.cym.es/06692076/Files/atomillado/ Este es un archivo de muestra

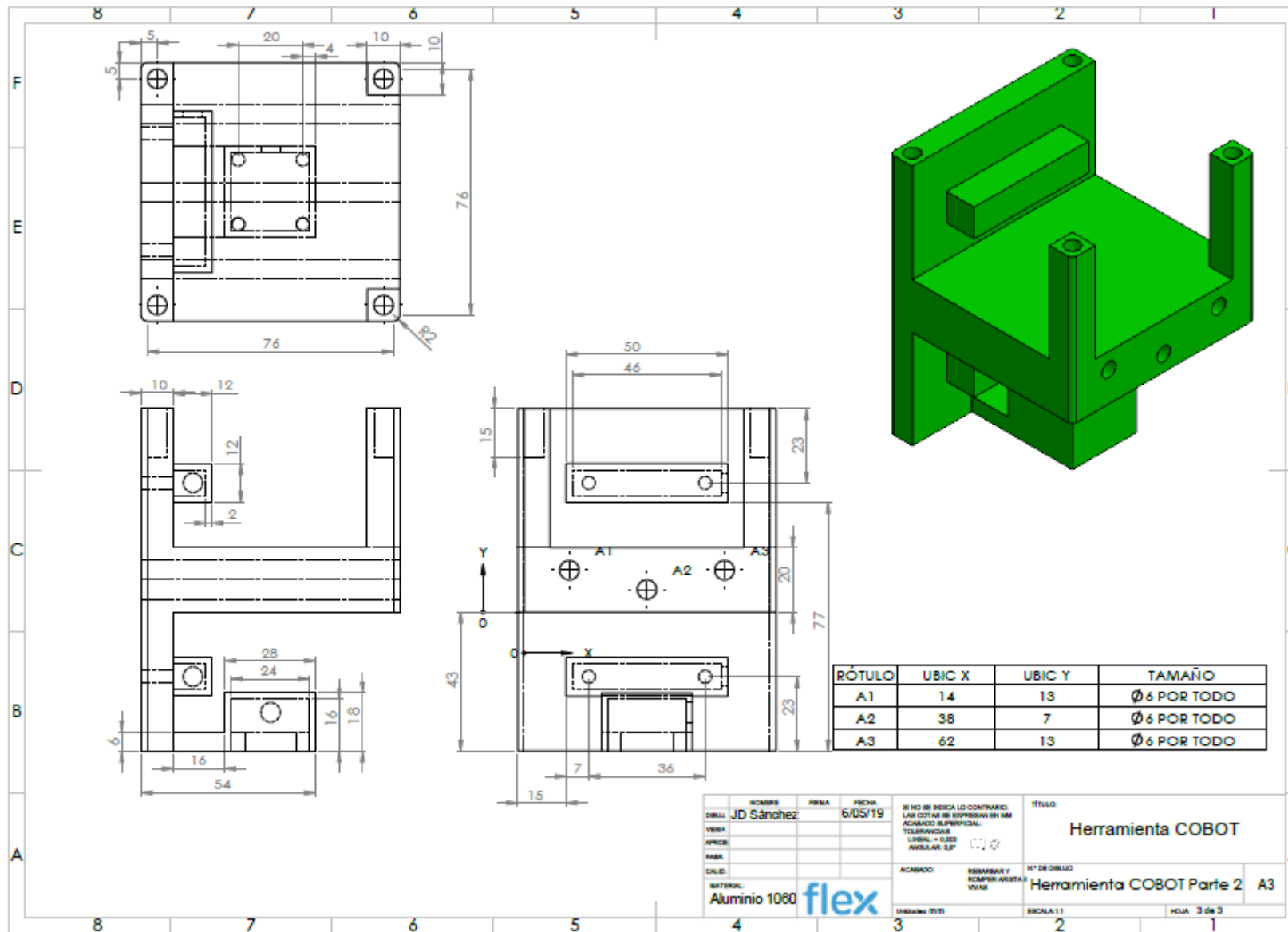
## Apéndice C

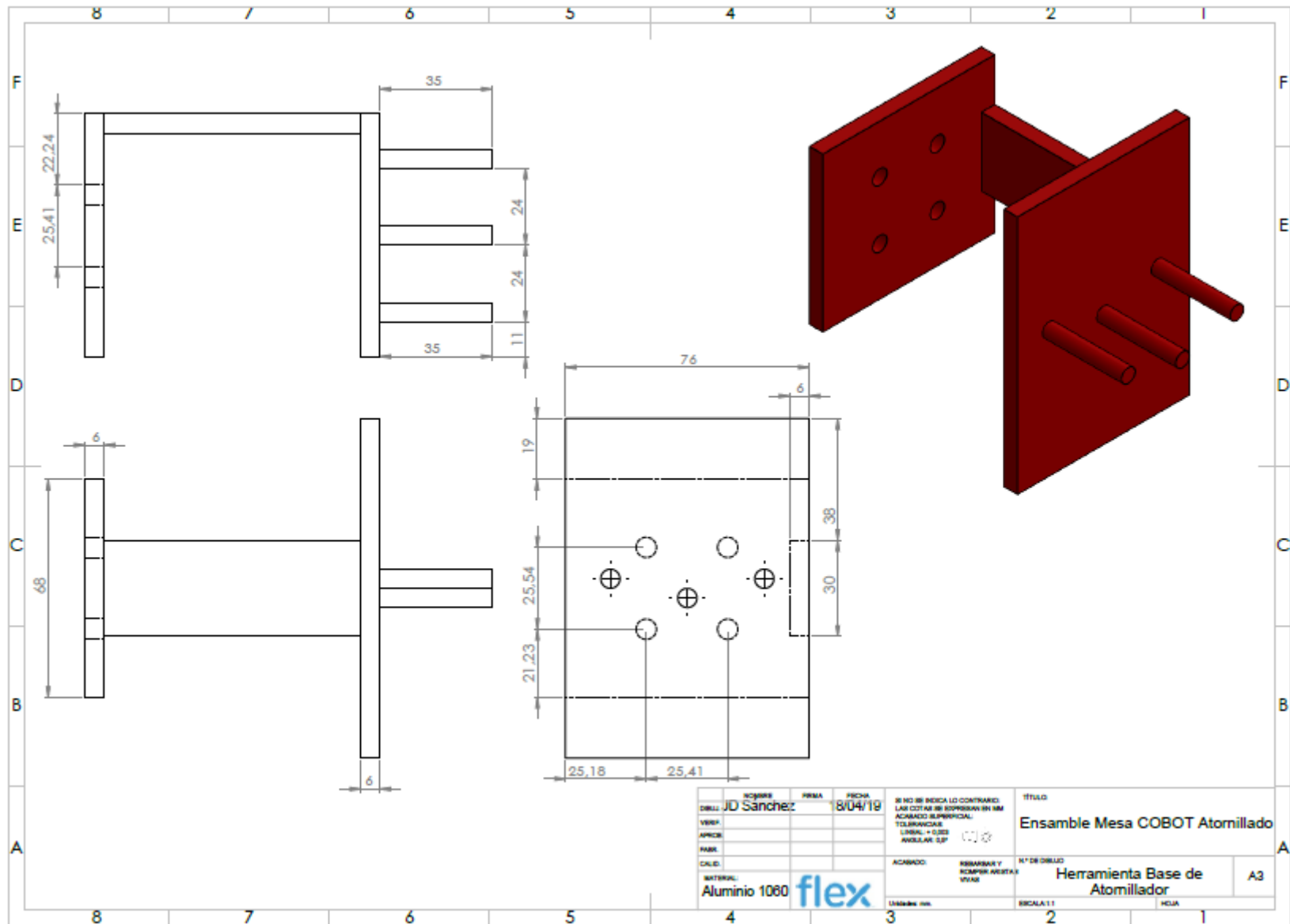


© SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la escuela.

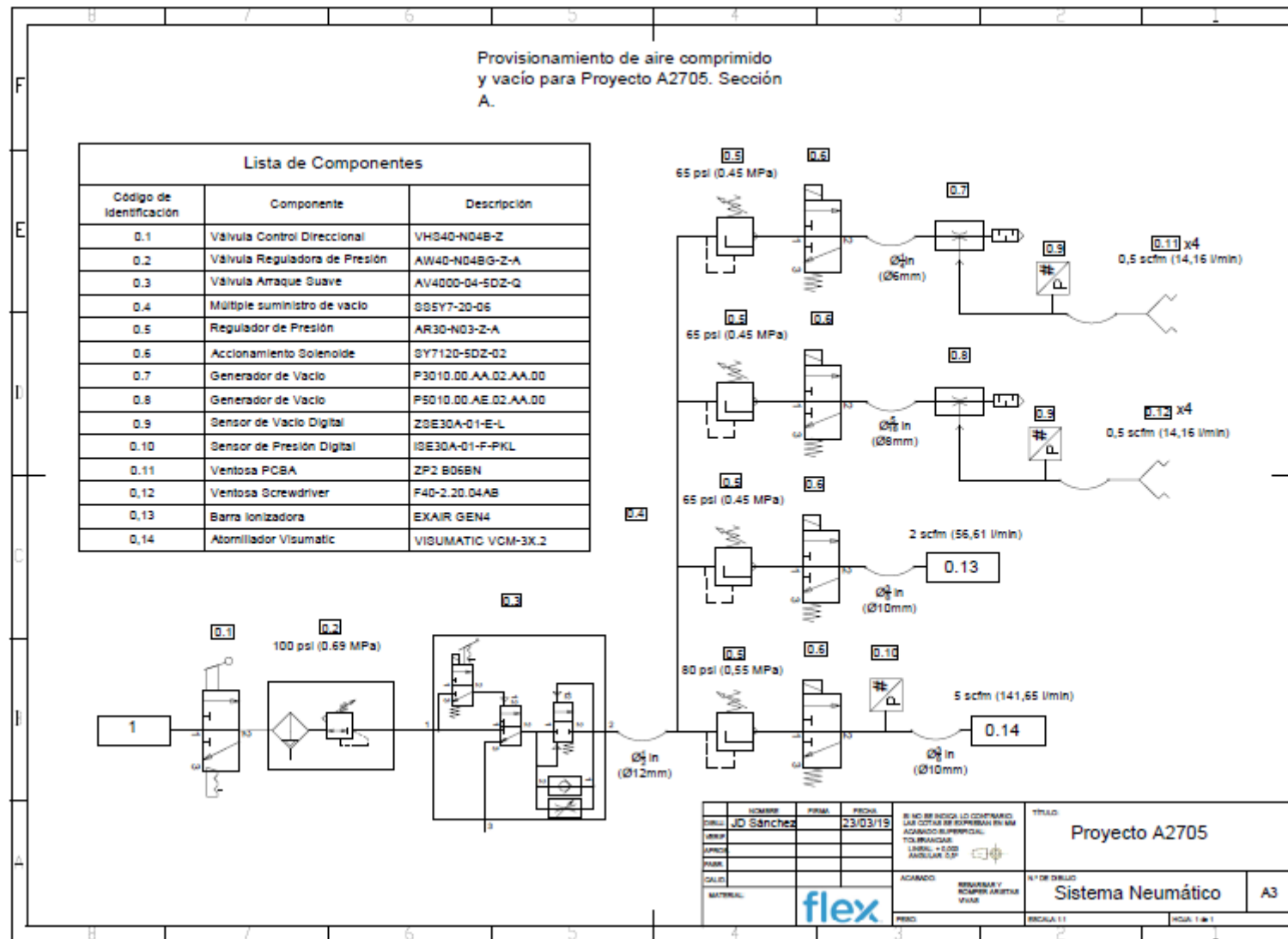




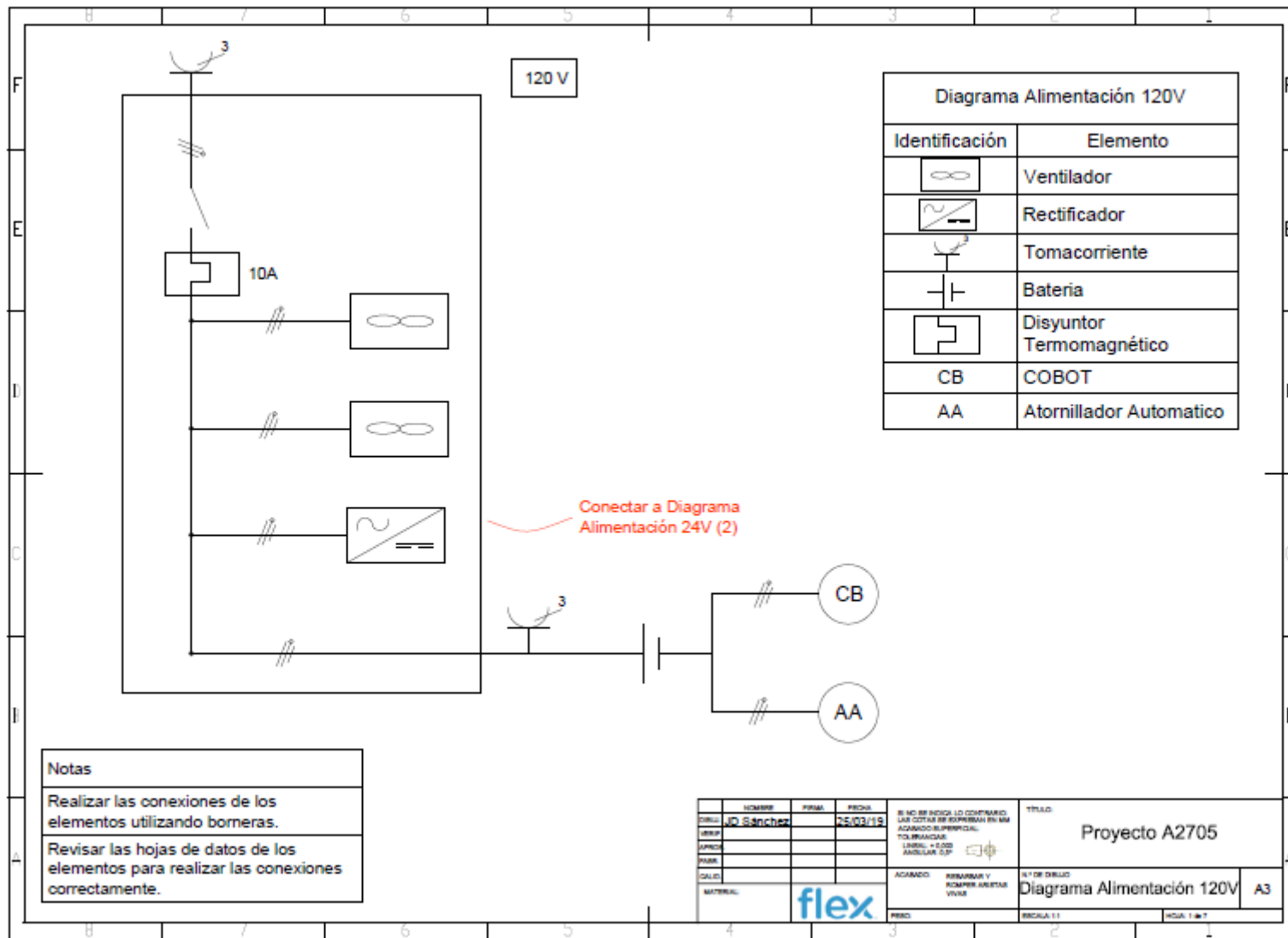


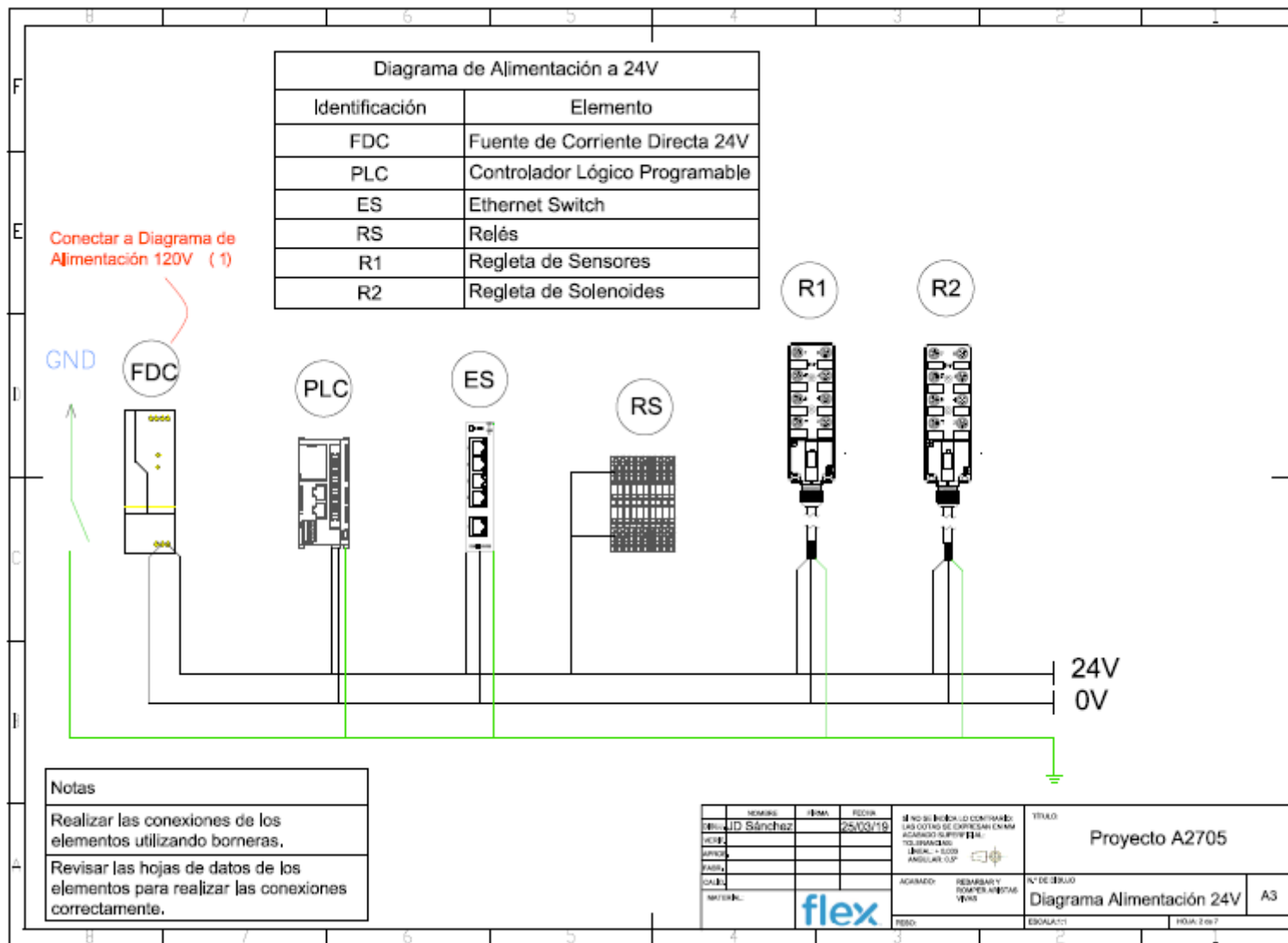


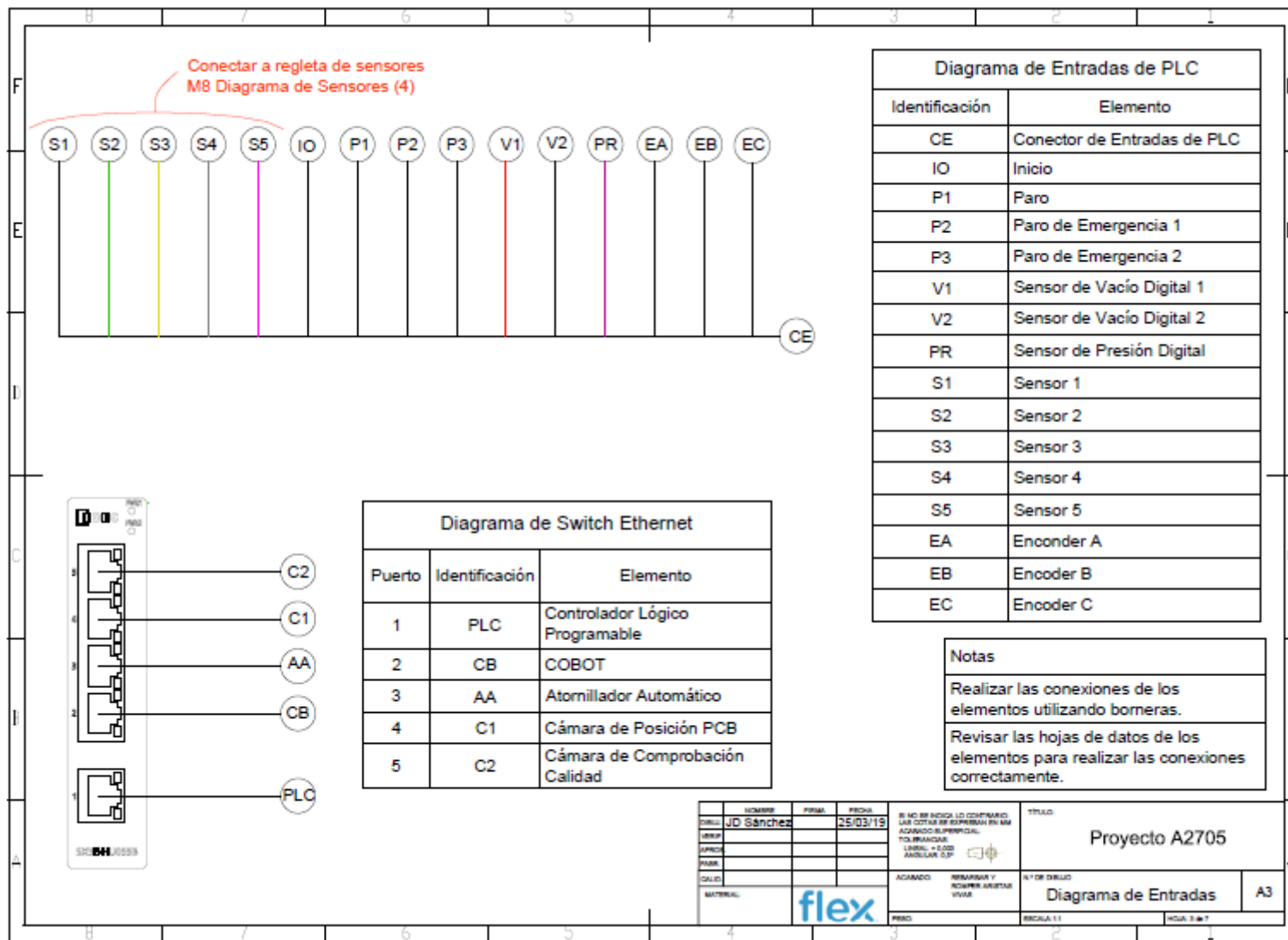
## Apéndice D

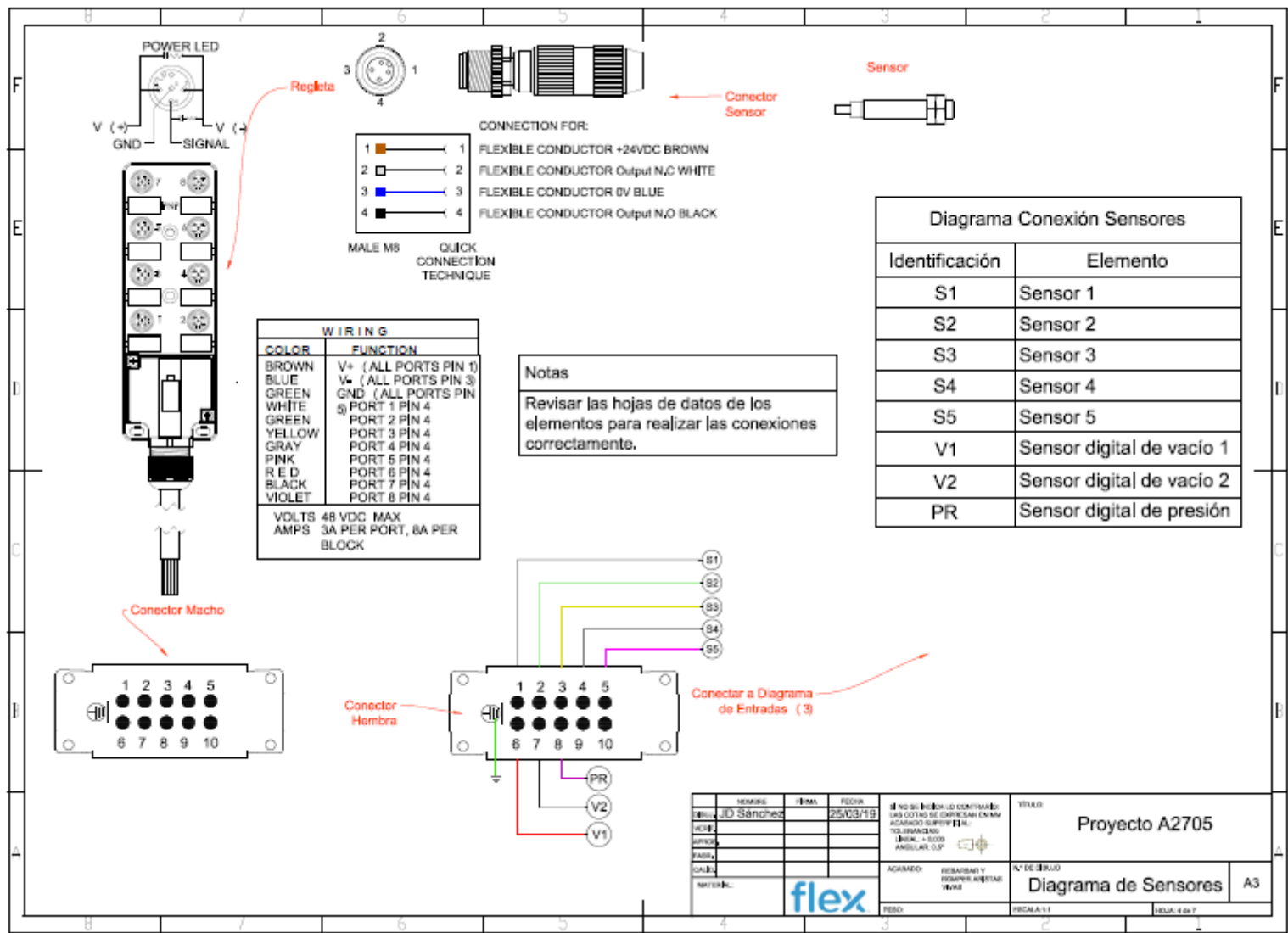


## Apéndice E

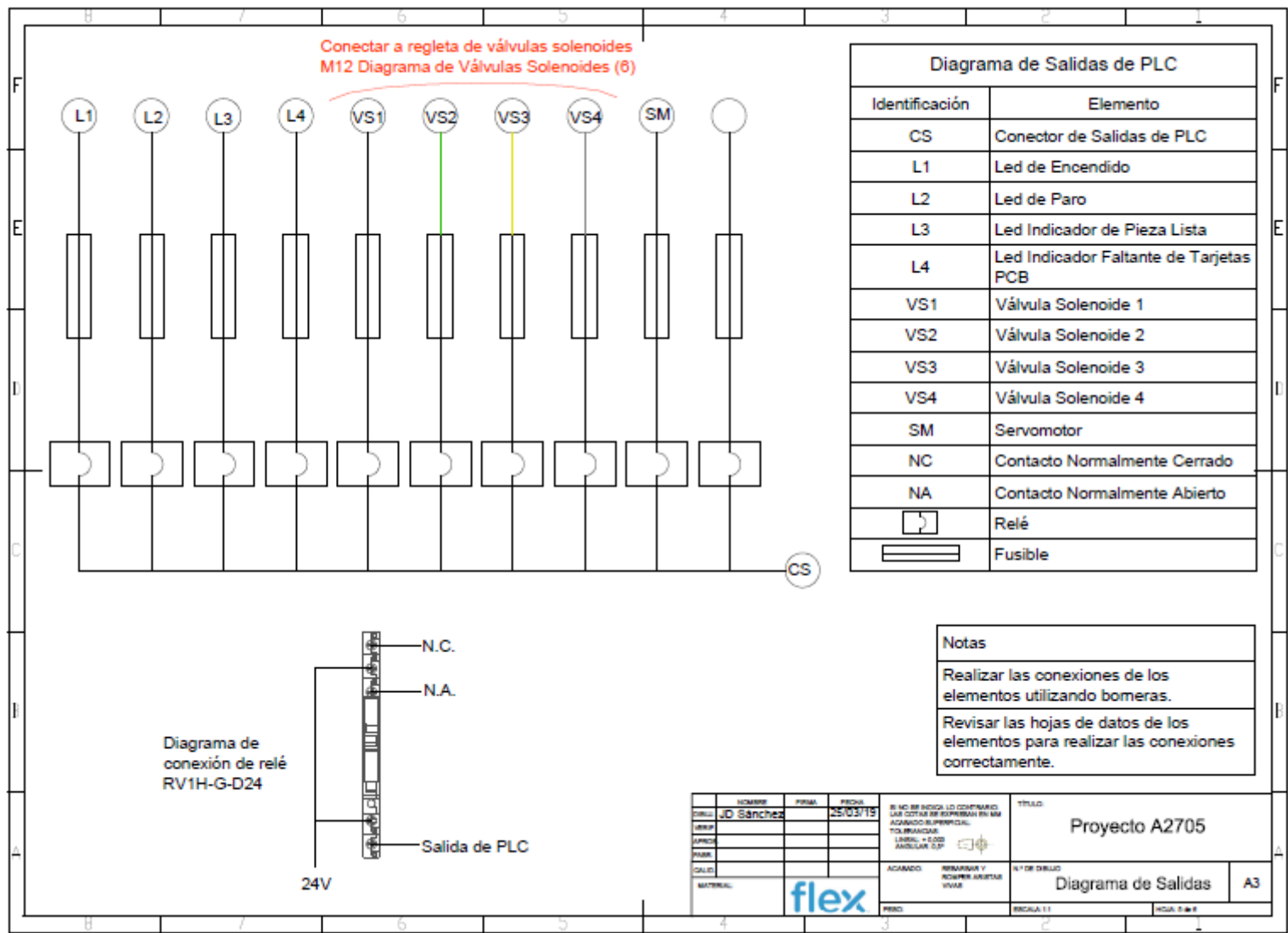


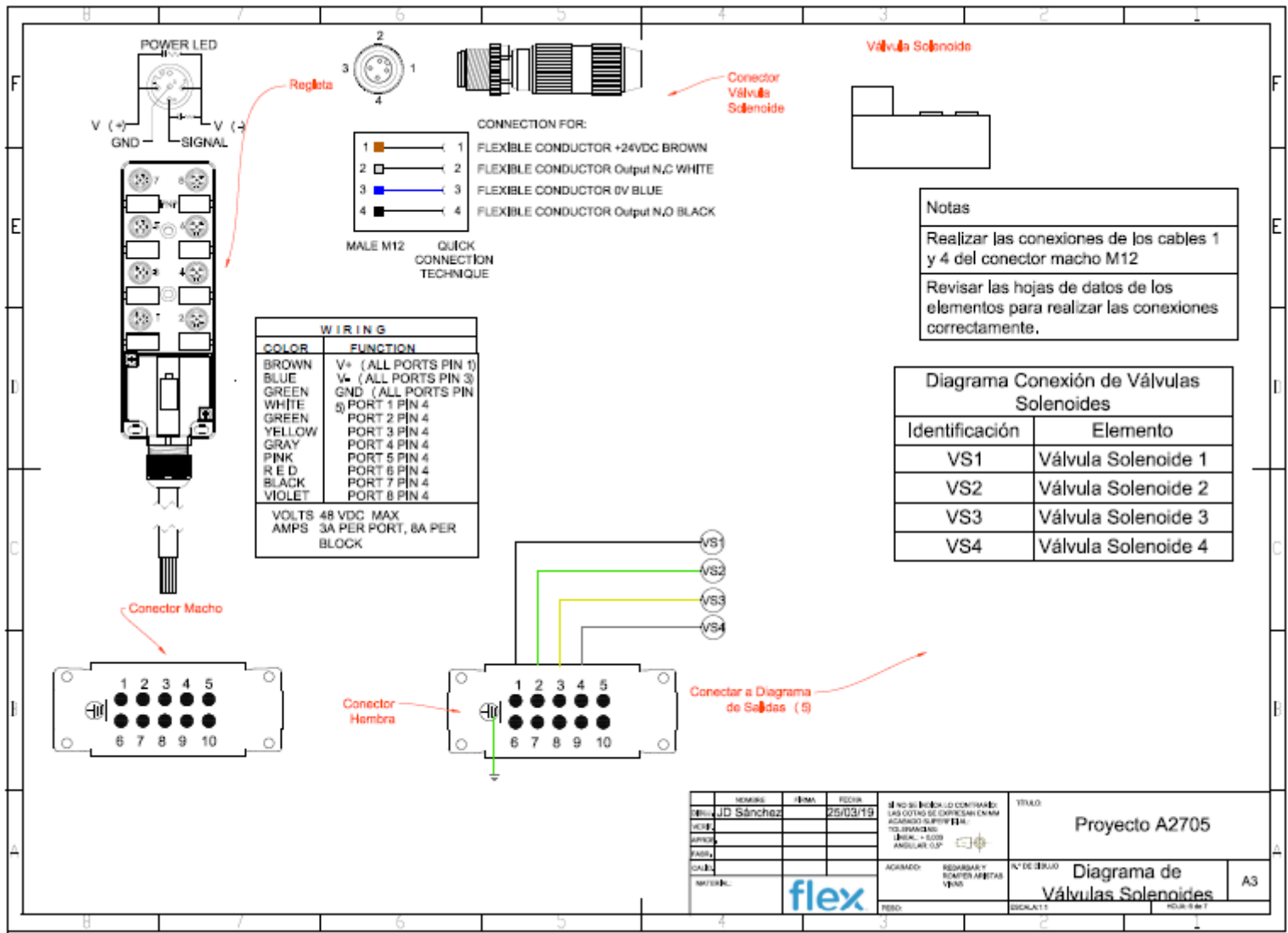


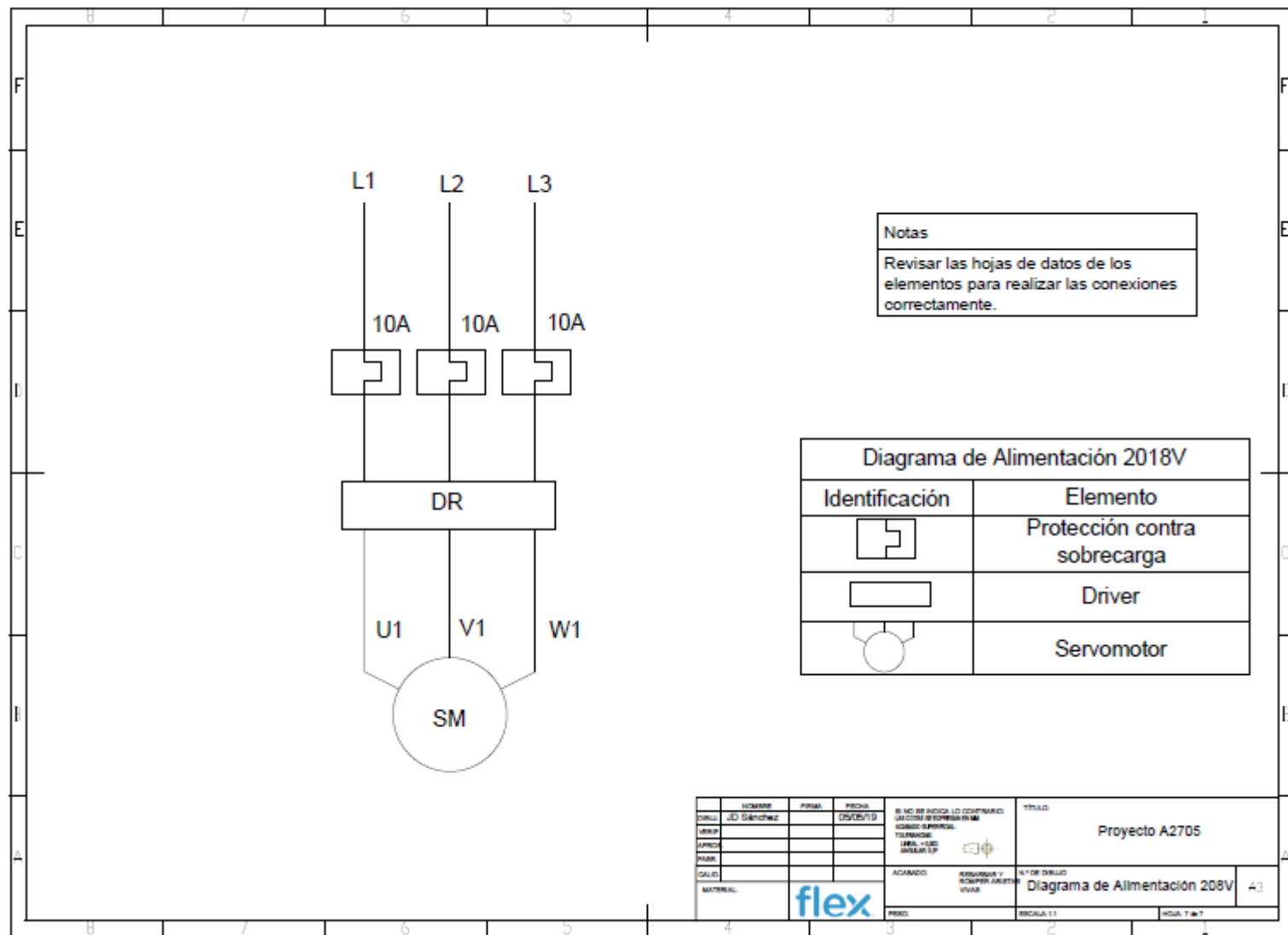















**Notas**  
 Revisar las hojas de datos de los elementos para realizar las conexiones correctamente.

Diagrama de Alimentación 208V	
Identificación	Elemento
	Protección contra sobrecarga
	Driver
	Servomotor

<table border="1"> <tr> <td>DESIGNADO</td> <td>EDICIONES</td> <td>FECHA</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>J.D. Sánchez</td> <td></td> <td>05/05/19</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ELABORADO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>REVISADO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROBADO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CALIFICADO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MATERIAL</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	DESIGNADO	EDICIONES	FECHA	FECHA	J.D. Sánchez		05/05/19		ELABORADO				REVISADO				APROBADO				CALIFICADO				MATERIAL				<p>flex</p>	<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, SE APLICAN LAS NORMAS DE LA EMPRESA EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.</p> <p>ACORDADO</p> <p>REVISADO Y APROBADO</p>	<p>TÍTULO</p> <p>Proyecto A2705</p> <p>Nº DE DIBUJO</p> <p>Diagrama de Alimentación 208V</p> <p>43</p>
DESIGNADO	EDICIONES	FECHA	FECHA																												
J.D. Sánchez		05/05/19																													
ELABORADO																															
REVISADO																															
APROBADO																															
CALIFICADO																															
MATERIAL																															

## Apéndice F

### Banda transportadora de cadenas

Elemento	Marca	Modelo	Cantidad	Costo	Costo total
Banda de cadenas	McMASTER-CARR	6378K210	2	\$92,00	\$184,00
Semi-eje de banda de cadenas	McMASTER-CARR	6369K831	4	\$67,00	\$268,00
Cojinete	McMASTER-CARR	6494K140	2	\$40,00	\$80,00
Tensor de banda	McMASTER-CARR	60085K110	2	\$116,00	\$232,00
Eje 6 pulg.	McMASTER-CARR	1497K144	1	\$20,00	\$20,00
Eje 9 pulg.	McMASTER-CARR	1497K145	1	\$26,00	\$26,00
Angular 6 ft	McMASTER-CARR	9017k494	5	\$22,00	\$110,00
Placa cuadrada 6pulg x 6pulg	McMASTER-CARR	9037k19	4	\$24,00	\$96,00
Lamina de 1 ft	McMASTER-CARR	9017k491	4	\$3,00	\$12,00
Tubo cuadrado 3 ft	McMASTER-CARR	9017k460	6	\$33,00	\$198,00
Empaque	McMASTER-CARR	2526k71	4	\$27,00	\$108,00
Leveling Caster	8020 Inc.	2714	6	\$60,00	\$360,00
Lamina para soporte Leveling Caster			2	\$90,00	\$180,00
<b>Total</b>					<b>\$1.874,00</b>

### Atornillador Visumatic

Proveedor	Affix
Elemento	Costo
Atornillador automático Visumatic VCM-3X.2 y Alimentador 94	\$18.150,00
Sistema eléctrico	\$7.100,00
Tolva de alimentación con controles	\$2.250,00
<b>Total</b>	<b>\$27.500,00</b>

### Panel de control y automatización

Elemento	Marca	Modelo	Cantidad	Costo	Costo Total
Interruptor principal	SOCOMEK	Sirco M16	1	\$20,00	\$20,00
Disyuntor termo magnético	IDEC	NC1V-11A	1	\$15,00	\$15,00
PLC	Panasonic	FP0H C32ET	1	\$700,00	\$700,00
Switch Ethernet	IDEC	5X5E-HU055B	1	\$110,00	\$110,00
Fuente Rectificador 24V DC	IDEC	PS5R-VF24	1	\$110,00	\$110,00
Fusible	IDEC	KN-F10L24DC	10	\$3,00	\$30,00
Relés	IDEC	RV1H-G-D24	10	\$6,50	\$65,00
Leds	XECRO	PP-PR-PS	3	\$50,00	\$150,00
Sensor capacitivo	XECRO	CS12-N8PO60-A12	5	\$76,00	\$380,00
Regletas	MENCOM CORP.	JDN-850-005-F000	2	\$92,00	\$184,00
Extractor panel	McMASTER-CARR	1976K95	1	\$25,00	\$25,00
Ventilador panel	McMASTER-CARR	1976K95	1	\$25,00	\$25,00
Botonera arranque y paro	McMASTER-CARR	7546K240	1	\$70,00	\$70,00
Botonera paro emergencia	McMASTER-CARR	6785k210	2	\$42,00	\$84,00
<b>Total</b>					<b>\$1.968,00</b>

### COBOT

Proveedor	SPC Ingeniería
Elemento	Costo
Robot colaborativo AUBO i5	<b>\$30.800,00</b>
Control Box	
Teach Pedant	

Mesa de soporte

Elemento	Marca	Modelo	Cantidad	Costo	Costo Total
Leveling Caster	8020 Inc.	2715	4	\$86,00	\$344,00
Lamina aluminio	McMASTER-CARR	9037k56	1	\$856,00	\$856,00
Lamina angular 3ft	McMASTER-CARR	9017k494	8	\$13,00	\$104,00
Angular 1 ft	McMASTER-CARR	9017k491	5	\$6,00	\$30,00
Lámina para soporte Leveling Caster			1	\$90,00	\$90,00
Lámina de madera			1	\$30,00	\$30,00
Angular 8020	8020 Inc.	4138	9	\$7,50	\$67,50
Lámina para Base soporte	McMASTER-CARR	9037k19	1	\$76,50	\$76,50
Lámina estructural	8020 Inc.	2020	1	\$58,85	\$58,85
Cobertor de final	8020 Inc.	2028	6	\$2,00	\$12,00
Total					<b>\$1.668,85</b>

Inversión total necesaria

Elemento	Costo
COBOT	\$30.800,00
Atornillador Automático	\$27.500,00
Sistema neumático	\$3.445,65
Sistema de visión	\$8.375,00
Banda transportadora de cadenas	\$1.874,00
Mesa de soporte	\$1.668,85
Panel de control y automatización	\$1.968,00
Total	<b>\$75.631,50</b>

Sistema neumático

<b>Proveedor</b>	Dansar Industries
<b>Elemento</b>	<b>Costo</b>
Sistema neumático	<b>\$3.445,65</b>

Sistema de visión

<b>Proveedor</b>	KOPAR Latinoamérica S.A.		
<b>Elemento</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Costo</b>
Cámara inteligente In-Sight-373-50	COGNEX	IS7600M	\$6.625,00
Cubierta polarizada de lente	COGNEX	COV-7000-PL FULL	\$550,00
Lente de autoenfoque	COGNEX	ISAF-7000-8MM	\$550,00
Iluminación	COGNEX	ISLM-7000-WHI	\$650,00
Total			<b>\$8.375,00</b>

## **Anexos**

# ANEXO A



## AUBO-i5

6 axis  
5Kg payload  
924mm reach






### TECHNICAL SPECIFICATIONS:

<b>Robot Type</b> <b>Controlled Axes DoF</b> <b>Reach</b> <b>Payload</b> <b>Weight</b> <b>Footprint</b> <b>Collaborative Operation</b>	AUBO-i5 Articulated Type / Modular 6 axes (J1, J2, J3, J4, J5, J6) J7max 924 mm, 880 mm (working range) 5Kg 24 Kg 172 mm diameter Safety monitored stop, speed and separation monitoring, hand guide operation, power and force limiting design
<b>Certifications</b> <b>Repeatability</b> <b>Linear Velocity</b> <b>Power Consumption</b> <b>Materials</b> <b>Ambient Humidity</b>	ISO 10218-1:2011, EN 60204-1:2006 + A1:2009, ISO 12100: 2010, ISO 13849-1:2006, CE (+/- 0.05 mm) 2.8 m/s adjustable 200 watts typical application Aluminum, Steel, Plastic Normal 75% RH or less without frost or dew, 85% RH short term
<b>Ambient Temperature</b> <b>IP Classification of Robot</b> <b>Programming</b>	0 to 45 degrees Celsius IP54 Teach pendant with user interface, guide to teach, ROS compatibility through an API, C++ or Python
<b>Communication</b> <b>Motor Type</b> <b>Installation Orientation</b>	CAN bus Harmonic drive 48 Volt Any Ceiling, Floor, Wall

AXIS MOVEMENT	WORKING RANGE	MAXIMUM SPEED	MAX. JOINT MOMENTS
J1 axis rotation base	(+/-) 175°	150°/sec	207 Nm
J2 axis rotation shoulder	(+/-) 175°	150°/sec	207 Nm
J3 axis rotation elbow	(+/-) 175°	150°/sec	207 Nm
J4 axis wrist rotation	(+/-) 175°	180°/sec	34 Nm
J5 axis wrist swing	(+/-) 175°	180°/sec	34 Nm
J6 axis wrist rotation	(+/-) 175°	180°/sec	34 Nm

I/O PORT ON WRIST					
Voltage	Current	Digital In	Digital out	Analog In	Analog Out
0V/224 V	800 mA	4	4	2	0

#### CONTROL BOX

<b>Dimensions (LxWxH)</b> <b>Weight</b> <b>Cabling</b> <b>Color</b> <b>Communication</b> <b>Power supply</b> <b>IP Classification</b>	683x220x622 mm 20Kg 5mm Black TCP/IP, Modbus RTU/TCP 100 - 240 VAC, 50 - 60 Hz IP54
---	---

#### I/O PORTS

User I/O	Safety I/O
Digital In	16
Digital out	16
Analog In	4
Analog out	4
Power Input	24 Volts
Power output	3A

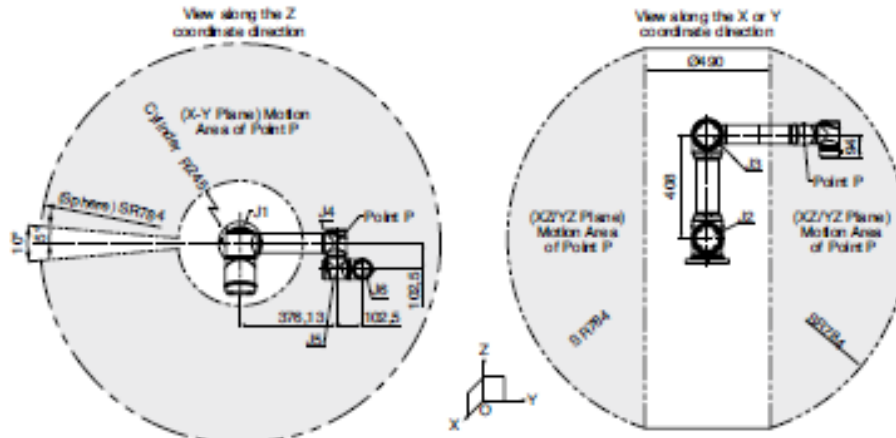
#### TEACH PENDANT

<b>Dimensions (LxWxH)</b> <b>Weight</b> <b>Display Screen</b> <b>Cabling</b> <b>IP Classification</b> <b>Color</b>	355x235x64 mm 1.8 Kg 30 cm Touch LCD Screen 4.5 mm IP54 Orange
---	---




# AUBO-i5 Collaborative Robot (Co-Bot)

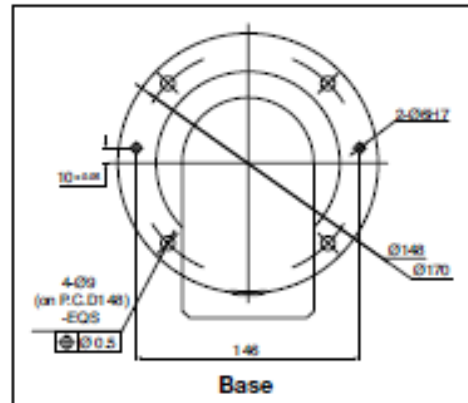
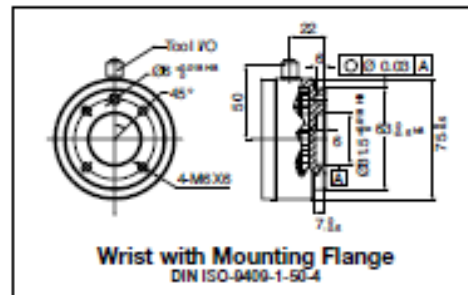
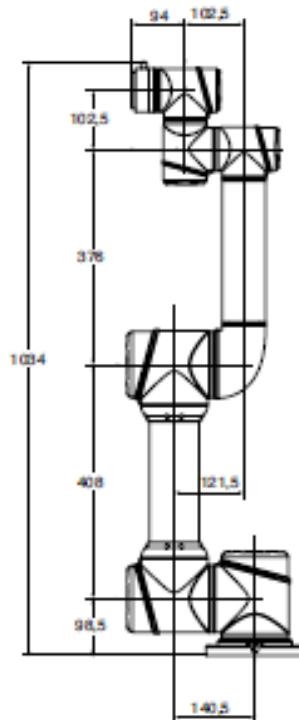
## Work Envelope-Range of Motion of the Point P



NOTE:

1. Double dotted line means regional boundaries

2. The trajectory of Point P may exceed the space area which contained by the double dotted line



[www.aubo-robotics.com](http://www.aubo-robotics.com)