

CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada  
Gerencia de Posgrado



*Integración de celda de manufactura para ensamble de  
tapas electrónicas, utilizadas en la industria automotriz*

TESIS QUE PRESENTA

**Ing. Eduardo Saúl Sánchez Morales**  
**Asesor: Mtro. Carlos Alberto Vera Espitia**

Para obtener el grado de

**Maestro en**  
**Manufactura Avanzada**

Zapopan, Jalisco  
julio, 2023



## CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



Querétaro, Querétaro, 03 de Febrero del 2023.

Mtro. Geovany González Carlos  
Gerencia de Posgrado  
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del Ingeniero Eduardo Saúl Sánchez Morales, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis/tesina, titulado "Integración de celda de manufactura para ensamble de tapas electrónicas, utilizadas en la industria automotriz" **autorizo** que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de **Maestro en Manufactura Avanzada**.

Sin otro particular por el momento, agradezco la atención prestada.



---

MC. Carlos Alberto Vera Espitia

Asesor Académico

---

Grado, nombre completo

Asesor en Planta

## CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"



Unidad Profesional Interdisciplinaria  
de Ingeniería Zacatecas

2023. Año de Francisco Villa  
30 Aniversario de la Declaración sobre  
la Eliminación de la Violencia contra la Mujer (ONU)  
60 Aniversario del CECyT 7 "Cuauhtémoc" y del CENAC  
90 Aniversario de la Escuela Superior de Ingeniería Textil  
40 Aniversario del CIDIIR, Unidad Oaxaca

Zacatecas, Zac., 13 de marzo del 2023.

Mtro. Geovany González Carlos  
Gerencia de Posgrado  
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del alumno Eduardo **Saúl Sánchez Morales**, cuyo título es:

**Integración de celda de manufactura para ensamble de tapas electrónicas, utilizadas en la industria automotriz.**

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el alumno, y realizado los cambios que le fueron sugeridos, puede ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

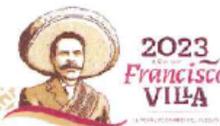
Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la Institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

Firma

M. en I. Umanuel Azazael Hernández  
González

F31b Revisión: 04-Feb-2022



## **DEDICATORIA**

A mi esposa y a mi hija, quienes me han apoyado con el desarrollo de este documento.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, por su apoyo y comprensión.

A mis padres por guiarme en un correcto sendero.

Al lugar donde laboro, quienes me apoyaron al desarrollo de este documento.

\* \* \*

## RESUMEN

El ensamble automático de componentes ha aumentado su demanda con el paso de los años, esto debido al decremento de los componentes necesarios para una correcta solución de una aplicación dada.

En el siguiente trabajo, se revisó la información con la cual se cuenta por parte del cliente, así como la retroalimentación que se tiene por parte de las áreas técnicas de soporte, y del propio usuario, para de esta manera, realizar una integración exitosa y mejorada de una celda de ensamble de tapas, ejecutando la función por medio de un robot SCARA Nachi® (EZ03V4-05-4525).

Se revisó una metodología propuesta en donde, se explorarán los principales sistemas que conformarán la solución a la aplicación específica, así como los cálculos necesarios en los componentes y sistemas importantes con los cuales contara el equipo.

Por último, se realizó una comparativa de costos entre una celda de manufactura existente, y la nueva celda que se integrará a la línea para el aumento de la producción.

**Palabras clave:** Ingeniería y tecnología, Tecnología e ingeniería mecánicas, Equipo y maquinaria industrial, Robot, Celda de manufactura.

## ABSTRACT

The automatic assembly of components has increased its demand over the years, due to the monetary decrease of the necessary components or systems for a correct solution of a given application.

In the next work, the information available from the client will be reviewed, as well as the feedback received from the technical support area, and from the final user himself, to carry out a successful integration and improved cover assembly cell, which will perform this function through a SCARA Nachi® robot (EZ03V4-05-4525).

A proposed methodology will be reviewed where the main systems that will make up the solution to the specific application will be explored, as well as the necessary calculations in the important components and systems with which the equipment will have.

Finally, a cost comparison will be made between an existing manufacturing cell and the new cell that will be integrated into the line to increase production.

**Keywords:** Engineering and technology, Mechanical engineering and technology, Industrial machinery and equipment, Robot, Manufacturing cell.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
GLOSARIO .....	xiv
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	2
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos .....	6
1.5. HIPÓTESIS.....	6
2. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. CELDA DE MANUFACTURA .....	8
2.1.1. Máquina única .....	8
2.1.2. Máquinas semi-automáticas .....	8
2.1.3. Celda flexible de manufactura.....	9
2.1.4. Sistema flexible de manufactura .....	9
2.2. ROBÓTICA EN MANUFACTURA.....	10
2.2.1. Clasificación de los robots industriales .....	10
2.2.2. Ventajas y desventajas del uso de robots .....	14
2.2.3. Selección de robot.....	15
2.2.4. Tipos de control en robots .....	15
2.3. SISTEMAS DE MANEJO DE MATERIAL .....	18
2.3.1. Tipos de transportadores .....	18
2.3.2. Comparativa transportadores .....	21
2.4. SISTEMAS DE MOVIMIENTO Y CONTROL.....	22
2.4.1. Sistemas neumáticos.....	22
2.4.2. Sistemas hidráulicos.....	23

2.4.3. Criterios de selección de sistemas .....	23
2.5. SISTEMAS DE SEGURIDAD .....	24
2.5.1. Guardas de seguridad.....	24
2.5.2. Interruptores de seguridad .....	24
2.5.3. Cortinas de seguridad.....	26
2.6. SISTEMAS DE SOPORTE Y CONFIGURACIÓN EN INGENIERÍA .....	27
3. PROCEDIMIENTO .....	28
3.1. CONCEPTO GENERAL DEL EQUIPO .....	30
3.2. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	30
3.2.1. Selección celda de manufactura .....	31
3.2.2. Selección de robot a utilizar .....	32
3.2.3. Selección de sistema de banda transportadora .....	34
3.2.4. Selección y/o diseño de elevador.....	36
3.2.5. Selección y/o diseño de sistema de sujeción.....	42
3.2.6. Sistema de sujeción.....	45
3.2.7. Sistema rotativo .....	53
3.2.8. Selección y/o diseño de sistema de purga/rechazo .....	56
3.2.9. Seguridad del equipo .....	59
3.3. INTEGRACIÓN DEL EQUIPO.....	63
3.3.1. Integración de celda de manufactura.....	64
3.3.2. Integración de robot.....	66
3.3.3. Integración de sistema de banda transportadora .....	67
3.3.4. Integración de elevador.....	68
3.3.5. Integración sistema de movimiento y nidos .....	69
3.3.6. Integración de EOAT .....	70
3.3.7. Integración de sistema de purga de producto.....	73
3.3.8. Ensamble de la celda de manufactura.....	75
3.4. PRUEBAS A CELDA DE MANUFACTURA.....	77
3.4.1. Ajuste ancho de nido.....	78
3.4.2. Mejora lado estético rayado.....	80
4. RESULTADOS .....	83
CONCLUSIONES .....	86
RECOMENDACIONES .....	87

APORTACIÓN DE LA TESIS.....	88
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS.....	89
REFERENCIAS.....	90
ANEXO.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de alcance robot esférico FANUC LR Mate 200iD/7L.....	12
Figura 2. Área de alcance robot SCARA NACHI EZ03V4-4525 .....	13
Figura 3. Robot tipo "Gantry" de 3 ejes, con EOAT de atornillado.....	14
Figura 4. Transportador de gravedad de rodillos locos .....	19
Figura 5. Transportador genérico de bandas .....	20
Figura 6. Transportador de cadena.....	21
Figura 7. Lado izquierdo interruptor mecánico, derecho interruptor sin contacto..	25
Figura 8. De izquierda a derecha; cortina detección de dedo, de mano y de cuerpo o brazo.....	26
Figura 9. Celda de ensamble con alimentadores de tapas (amarillo) .....	28
Figura 10. Diagrama de flujo de funcionamiento celda existente .....	29
Figura 11. Funcionamiento general propuesto .....	30
Figura 12. Dimensiones aproximadas y centro de masa de EOAT .....	34
Figura 13. Espacio para instalación de sistema de elevación de pallet.....	37
Figura 14. Fuerza teórica de cilindros compactos .....	39
Figura 15. Dimensiones y tolerancias de buje lineal.....	40
Figura 16. Dimensiones generales de eje, se aprecia el diámetro "D" con tolerancia g6 .....	40
Figura 17. Pallet de transporte de producto del proveedor .....	41
Figura 18. Diseño final elevador para proyecto .....	42
Figura 19. Nido móvil alimentador tapas .....	43
Figura 20. Cálculos realizados por el software para el pistón seleccionado.....	45
Figura 21. Uso de configurador de componentes de vacío, datos iniciales .....	49
Figura 22. Pantalla de selección de forma y características de ventosas .....	50
Figura 23. Ventosa seleccionada .....	51
Figura 24. Selección de características de generador de vacío .....	51
Figura 25. Características de diferentes tamaños de diámetro de boquillas para generadores de vacío .....	52
Figura 26. Comparativa tiempos de reacción generador con tobera de 1.5 (izquierda) y 0.7 (derecha).....	53

Figura 27. Pantalla de condiciones iniciales de software.....	54
Figura 28. Condiciones de operación del actuador .....	55
Figura 29. Configuración de actuador rotativo .....	55
Figura 30. Resultados de cálculos efectuados .....	56
Figura 31. Nido de rechazo propuesto .....	57
Figura 32. Cálculos realizados en software de selección .....	58
Figura 33. Sección de estación, en amarillo área útil de trabajo del robot, en rojo cortonas de seguridad, en naranja área descubierta del equipo .....	59
Figura 34. Diseño de guarda frontal de equipo .....	60
Figura 35. Area libre para haz de luz de cortina de seguridad.....	63
Figura 36. Integración de la guarda de seguridad con sus cortinas.....	63
Figura 37. Celda tamaño 35.....	65
Figura 38. En la parte superior, se muestra placa base sin modificar; en la parte inferior, se muestra placa base modificada con barrenos de sujeción los cuales, se resaltan en rojo.....	66
Figura 39. Placa sujeción de robot SCARA NACHI EZ03.....	67
Figura 40. Bases para transportador .....	68
Figura 41. Sección de transportador, donde se muestra la integración del lifter en el mismo Elaboración propia .....	69
Figura 42. Integración de nido y sistema de movimiento.....	70
Figura 43. Diseño EOAT para aplicación .....	70
Figura 44. En color verde, cople de conexión de EOAT para robot SCARA NACHI® EZ03.....	72
Figura 45. Cople mecánico deformado debido a una colisión .....	73
Figura 46. Integración de sistema de purga de celda .....	74
Figura 47. Localización de luz indicadora de función de cortinas "Mute" .....	75
Figura 48. Aspecto general de la celda de manufactura .....	76
Figura 49. Celda de manufactura de colocación de tapas .....	77
Figura 50. Mediciones realizadas al nido .....	78
Figura 51. Soportes en nido .....	80
Figura 52. Toma de tapa de nido por el EOAT .....	81
Figura 53. Tapa de producto rallada .....	81

Figura 54. Cambios en diseño en nidos de tapas ..... 82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz decisión selección robot propuesta .....	15
Tabla 2. Ventajas y desventajas de los tipos de transportadores, una X indica que es bueno, XX indica que es el mejor .....	21
Tabla 3. Características principales celdas predefinidas .....	32
Tabla 4. Comparación entre productos con función que pueden efectuar una función "Pick and Place" .....	33
Tabla 5. Matriz decisión selección robot .....	34
Tabla 6. Comparativa entre dos marcas de transportador. ....	35
Tabla 7. Criterio de ponderación selección transportador .....	36
Tabla 8. Condiciones conocidas de carga para pistón seleccionado .....	44
Tabla 9. Comparativa sujeción por gripper y ventosa .....	46
Tabla 10. Factores para considerar en la aplicación .....	48
Tabla 11. Datos de entrada para cálculo de sistema de giro .....	54
Tabla 12. Valores de referencia selección actuador neumático.....	58
Tabla 13. Datos del equipo para el cálculo de la distancia de la cortina .....	61
Tabla 14. Valores de masa y centro de gravedad del EOAT diseñado.....	71
Tabla 15. Dimensiones obtenidas en nidos muestra .....	79
Tabla 16. Comparativa de requerimientos contra resultados de celda de manufactura.....	83
Tabla 17. Comparativa costos partes manufactura de celdas.....	84

## GLOSARIO

**Actuador neumático:** Dispositivo mecánico que convierte la energía que obtiene por medio de la presión del aire, en movimientos lineales o rotativos de acuerdo con su configuración.

**Alimentador de piezas:** Un sistema alimentador de piezas, es un sistema capaz de entregar partes de forma automática y segura al área de procesamiento o ensamble de un equipo autónomo, esto sin la intervención del operador en esta área.

**CAD:** Por sus siglas en inglés **C**omputer **A**ided **D**esign, se refiere al uso de tecnologías computacionales para el soporte del diseño en etapas de creación, modificación análisis, e incluso la optimización de este.

**Celda de manufactura:** Una celda de manufactura es una disposición y organización de personal, arreglos mecánicos y materiales de tal forma de que el producto es procesado en un flujo continuo. Un diseño que se acopla más a estándares de las plantas es el diseño flexible de estos equipos.

**Corriente alterna:** diferencia de potencial entre dos puntos que varía en forma senoidal, a través del tiempo.

**Corriente directa:** diferencia de potencial entre dos puntos, la cual es fija o constante a través del tiempo.

**Cortina de seguridad:** Dispositivo fotoeléctrico el cual, al momento de verse interrumpido el haz de luz, enviara una señal para el paro del equipo o la máquina.

**Elevador:** Dispositivo mecánico que sirve para orientar pallets que viajan a través de sistemas de transferencia, como son transportadores de banda o sistemas manuales de movimiento.

**EOAT:** **E**nd of **A**rm **T**ooling, por sus siglas en inglés, es un elemento que se coloca al extremo del último eslabón del robot, el cual suministra a este, la capacidad de

agarre del objeto que se quiere manipular; o en su defecto se coloca la herramienta específica para la cual el robot realizara una tarea determinada (pintura, soldadura, por ejemplo).

**Fuerza:** Interacción entre dos cuerpos o entre un cuerpo y su ambiente.

**Generador de vacío:** Componente que convierte una presión positiva generada por un compresor de aire, en una presión negativa o vacío. Esto lo hace por medio del efecto Venturi.

**Manejo de material:** proceso asociado con la proveeduría de los materiales en el lugar, las cantidades, las condiciones, la secuencia y orientación correcta; así como el momento y con el costo apropiado de transporte.

**PCB:** Placa de material no conductor que se utiliza para el ensamble y conexión de componentes electrónicos, a través de pistas de un material conductor.

**Robot:** Un robot es un manipulador reprogramable multifuncional diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos programados variables para la realización de una variedad de tareas.

**Ruta:** La ruta (path, en inglés) de un robot es una descripción geométrica del movimiento, es decir, una serie de puntos en el espacio que un manipulador debe seguir al momento de ejecutar un movimiento asignado.

**Trayectoria:** La trayectoria de un manipulador es en sí, una ruta en la cual se especifica un tiempo para su ejecución, como ejemplo entrarían en los factores de la aceleración y velocidad para cada punto que se tiene.

**Ventosa:** Interfaz entre un sistema de generación de vacío y la pieza de trabajo que se estará manipulando. Las ventosas se utilizan como métodos de sujeción para superficies que no son rugosas, por lo general, en aplicaciones manuales o automatizadas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Grandes empresas de manufactura automotriz que en los sucesivos se referenciarán como "ARMADORAS", trabajan en líneas de ensamble con otras múltiples compañías que se dedican a realizar solo una parte de los vehículos a "armar". Estas armadoras, solo producen una parte del producto final, pero funcionan como una organización manufacturera independiente cuyo cliente final es la ARMADORA y a quien deben cumplir con todos sus requerimientos. Estas compañías serán referenciadas en lo sucesivo como "PROVEEDORAS", y las cuales requieren de contratación de empresas más pequeñas, pero especializadas en muchos ramos, capaces de realizar soluciones integrales a sus proyectos de automatización, en adelante conocidas como "INTEGRADOR", siguiendo y/o encaminados hacia una correcta transformación a la industria 4.0.

El incremento de la demanda de componentes electrónicos, tales como son los módulos de control para vehículos de sus diferentes sistemas básicos (sistemas de tracción, de temperatura, de encendido, etc.), así como la necesidad de relocalización geográfica de las plantas que manufacturan estos productos a México, influyen de manera sustancial en el aumento de la demanda en las industrias mexicanas que se dedican a producir estos módulos. Bajo este criterio uno de los componentes más solicitados actualmente en la industria automotriz son módulos de control, los cuales son ampliamente utilizados en diversas partes de los vehículos automotores, y controlan desde el mismo funcionamiento del motor del vehículo hasta aspectos fundamentales como los elevadores eléctricos de los vidrios de las ventanas, tal es el caso de esta aplicación específica, la cual comprende la integración de una línea de ensamble autónomo, con el fin de satisfacer las exigencias de requerimientos globales actuales.

Es así como a lo largo del presente documento se abordará una posible solución al problema de la sobre demanda a través de la aplicación de celdas de manufactura, a partir del desarrollo de una aplicación de ensamble para la celda de manufactura, la cual colocará tapas de aluminio en una carcasa de plástico, que estará viajando a través de una banda transportadora dentro de un pallet con dos cavidades.

El desarrollo del proyecto contara con objetivos de maximización de la autonomía del equipo, e incluso, se espera optimizar al máximo los tiempos de ciclo, buscando que cada vez sean menores, de igual forma se analizaran otros puntos de optimización, incluyendo el análisis y selección de brazos robóticos.

Finalmente, se espera que luego del análisis y la implementación de la celda de manufactura, se cuente con los planos de manufactura de la aplicación de la celda de manufactura, así como documentación relacionada al desarrollo mecánico de la celda, lo cual nos ayudara a resolver la problemática de la sobre demanda de productos, ya que seremos capaces de producir componentes con tiempos menores con la misma calidad y la menor interacción hombre máquina.

### **1.1. ANTECEDENTES**

“La industria 4.0 es la digitalización del sector manufacturero impulsada por información o datos que manejan las organizaciones industriales; computadoras cada vez más potentes y con un bajo costo; capaces de analizar la información de los procesos y continua mejora de la interacción hombre-máquina” (Díaz-Martínez, Cruz-Méndez, & Ruiz-Domínguez, 2018).

La industria 4.0 se fundamenta en procesos de innovación tecnológica. Se caracteriza por la fusión entre lo físico, digital y lo biológico. De esta manera se crean lazos firmes que permiten una mejor interacción entre equipos, así como operadores con equipos y los productos con las personas (Rozo-García, 2020).

Las grandes empresas proveedoras requieren de la contratación de empresas especializadas en el ramo de la automatización, para llevarlas con éxito hacia un correcto camino dentro de la transformación a la industria 4.0.

Así es como de esta manera, las empresas que suministran directamente a las líneas de ensamble en las ensambladoras se apoyan de estas otras empresas que, aunque pequeñas, cuentan con una gran conocimiento y capacidad en el área de la automatización, es a estas empresas a quien las grandes industrias entregan sus requerimientos y especificaciones, para que en conjunto puedan resolver los problemas.

Actualmente, la industria automotriz está muy interesada en optimizar sus tiempos de fabricación, debido a la alta demanda. Esta necesidad de autos obliga a incrementar la demanda de los componentes periféricos necesarios para el ensamble de los automóviles, es así como las empresas que fabrican estos componentes se ven obligadas a reducir sus tiempos de producción e incrementar la productividad de su cadena de productos. Es aquí, donde estas empresas más especializadas en optimización están cada vez más al alza, ya que son estas las que pueden ayudar a introducirse en la optimización y alcanzar los beneficios de la industria 4.0.

Actualmente la compañía integradora, que es una compañía dedicada a la implementación de soluciones de automatización, reducción de tiempos de fabricación, instrumentación y apoyo en proyectos en general, está trabajando para resolver una problemática, que se ataca desde el punto de vista de la manufactura 4.0, a esta compañía se le ha solicitado la integración de una línea de ensamble autónomo, que consta de una celda de ensamble de tapas, una celda de atornillado y una adicional de impresión y colocación de etiqueta, las cuales se ubicarán al final de la línea de SMT (Surface Machine Technology, por sus siglas en inglés), la cual se encarga de colocar todos los componentes electrónicos que componen una tarjeta en su respectiva ubicación.

En la empresa proveedora ya existe una celda que realiza la misma función que esta que se presenta, sin embargo, tienen omisiones al momento del proceso de ensamble dado que durante el diseño de la celda se tomaron diferentes factores para su diseño, como lo son el manejo del material, el proceso de ensamble y por último el tiempo de ciclo de operación.

Este equipo tiene dos alimentadores frontales de producto. Las tapas son tomadas por un sistema de cuatro ventosas de vacío, una vez que las toma con el primer par de ventosas, el equipo lleva las tapas a un nido de pre-alineación, donde es alineada la tapa. Una vez realizado este paso, el robot se mueve nuevamente a esta posición para tomar con todas las ventosas las dos tapas y llevarlas alineadas a la posición de ensamble.

La empresa proveedora en la que se estará instalando el equipo, dado que ya tiene una línea de ensamble previa, ya cuenta con sus propios dispositivos de transporte de producto, los cuales se mueven en bandas transportadoras a lo largo de su línea de ensamble, estos dispositivos de transporte se emplearán, para mover las piezas dentro de la línea, utilizando de esta manera los mismos recursos que ya cuenta el cliente en sus instalaciones.

La omisión principal que esta celda tiene es la falla en el apilamiento del producto, dado que el producto se apila de forma vertical (uno sobre otro), el sistema puede llegar a tomar dos tapas al mismo tiempo. Esto debido a que la tapa cuenta con un doblado a 90°, el cual, en conjunto con la forma propia de la tapa, y sus bajos y altos relieves, ocasionan que la tapa se atore entre sí misma.

Una vez que se toman las dos tapas, una de ellas, puede caer dentro del nido de forma aleatoria, lo que provoca la colisión del EOAT del robot, al momento de realizar una segunda recolección de tapa.

## **1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente a la empresa proveedora se le está solicitando incrementar su capacidad de producción, pasando de 165 UPH (Unidades Por Hora) a 248 UPH, lo cual representa un incremento del 55.2% de su capacidad actual.

Con los equipos, procesos y distribuciones hombre-máquina actuales, le es imposible cumplir con estos objetivos ya que, siendo su proceso de manufactura manual, le conlleva problemas de calidad el hecho de acelerar el "factor humano" debido a las fluctuaciones en el proceso, por lo que en estos momentos no puede competir en el mercado global ni asegurar contratos vitales para su desarrollo y supervivencia comercial.

Se tomará la retroalimentación por parte del cliente, así como parte del área de servicio de la empresa que estará integrando el equipo para realizar el nuevo diseño del equipo.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

Con la problemática definida en el punto 1.2, (obtener un incremento del 50.30% de su capacidad actual), es muy importante para la empresa proveedora poder incrementar su capacidad productiva en los próximos 6 meses, de lo contrario, su participación en el mercado se vería impactada, así como sus próximos contratos comerciales e incluso su supervivencia como proveedor de la industria automotriz.

Con el afán de resolver esta problemática, la compañía integradora fue canalizada para apoyar en la solución de la problemática, no obstante, con el ahincó de apoyar con la solución, se solicitaron detalles restrictivos de la armadora, los cuales también son parte de la problemática inicial, entre los requerimientos originales se encuentran:

- 1) Realizar el incremento de 165 UPH a 248 UPH en un lapso menor a seis meses.
- 2) Realizar esta implementación por medio de una integración "Touchless" por parte de un operador.
- 3) Considerar una dimensión máxima de la celda de 1.5m<sup>2</sup>

Además de los requerimientos del cliente original, la empresa proveedora, tiene sus propias restricciones, que también se deben respetar, las cuales incluyen:

1. Mantener el costo de las partes que comprenden la aplicación menor a 550,000 MXN.
2. Utilizar en la medida de lo posible las inversiones actuales (como equipos, pallets, y partes comunes).

Así es, como con la intención de resolver la problemática, se optó por implementar una celda de manufactura, que no solo limitara el contacto del operador con el ensamble de los módulos de control, sino que apoyara con la reducción de los tiempos de manufactura.

## **1.4. OBJETIVOS**

Con el fin de lograr una exitosa implementación del equipo se tiene que cumplir con los siguientes objetivos generales:

### **1.4.1. Objetivo general**

- Aumentar la demanda de producción de módulos de control en 50.3%.
- Realizar una integración exitosa de la celda de manufactura de ensamble de tapas en la línea de ensamble.

De los cuales se desprenden los siguientes objetivos específicos:

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Realización de pruebas funcionales del equipo para la validación se considerará una corrida de 180 piezas.
- Cumplir con los criterios de tiempo ciclo solicitados por la empresa manufacturera que ha solicitado los servicios del integrador de 21.8 segundos por pieza.
- Cumplir con el tiempo de operación sin surtir de material la celda de manufactura de 30 minutos.
- Entrega de planos de manufactura de la aplicación de la celda, los cuales estarán adjuntos al final del presente documento.
- Se realizará una comparativa de costos monetarios de partes de maquinadas, correspondientes a la aplicación (partes relacionadas con la operación de la celda, no incluirá dibujos de la estructura) entre la celda existente y la que se integrará.

## **1.5. HIPÓTESIS**

Para el desarrollo del presente proyecto se parte de una hipótesis que considera que, se puede incrementar la producción del producto que se elabora en la empresa proveedora, en por lo menos un 50%, a partir de la implementación de

una celda de manufactura que elimine o reduzca la interacción del operario con el producto y que interactúe con las celdas circundantes sin generar problemas de colisión, trabajando con tiempos de ciclo de 43.6 segundos y satisfaciendo las necesidades del cliente.

## **2. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se revisará la información teórica y técnica que se relaciona con el correcto desarrollo del proyecto. Así como conceptos que nos ayudaran a tener un mayor grado de comprensión de este trabajo.

### **2.1. CELDA DE MANUFACTURA**

Una celda de manufactura es un arreglo de operaciones menores para realizar una pieza o parte de un proceso de mayores dimensiones. Lo que la convierte en una fábrica pequeña dentro de una fábrica de mayores dimensiones (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013).

Una clasificación de las celdas de manufactura puede que se puede realizar de la siguiente manera:

- Máquinas únicas.
- Máquinas semiautomáticas.
- Celdas flexibles de manufactura.
- Sistema flexible de manufactura.

#### **2.1.1. Máquina única**

Este tipo de celda será el más simple, puede ser desde un simple mecanismo común, como un pistón, hasta mecanismos complejos que trabajan en conjunto dentro de una misma área de trabajo.

#### **2.1.2. Máquinas semi-automáticas**

Estos equipos corresponden a una mejora operacional de la máquina única, la cual se le agrega un conjunto de lógicas de operación más robustas a través de un controlador, de tal forma que una parte del proceso que realizan lo hacen de forma automática, mientras el resto de la operación la realiza un operador.

Una característica de estas dos primeras clasificaciones es que son productos o equipo dedicados, es decir solo pueden hacer un producto o una familia de un solo producto. Caso contrario las dos siguientes clasificaciones permitirán hacer familias de un mismo producto, absorbiendo variaciones este pueda presentar.

### **2.1.3. Celda flexible de manufactura**

Como se ha mencionado en el punto 2.1, una celda de manufactura es una disposición y organización de personal, arreglos mecánicos y materiales de tal forma de que el producto es procesado en un flujo continuo. Si a esta misma celda, se le agregando una automatización más compleja, en conjunto con la remoción optativa del factor humano de la operación normal del equipo (salvo labores de surtido de materia prima), y, un amplio margen de manejo de diferentes productos o variaciones de este mismo producto, se puede decir que tenemos una celda de manufactura flexible.

Este tipo de celdas puede estar como equipos únicos, o en su defecto formar parte de un conjunto de celdas, al cual llamaremos "Sistema Flexible de Manufactura" (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013).

### **2.1.4. Sistema flexible de manufactura**

Un sistema flexible de manufactura (FMS, por sus siglas en inglés) es un sistema con un determinado número de partes procesadas y ensambladas las cuales son realizadas y controladas por máquinas, equipos y/o robots. Un típico FMS puede procesar partes de un mismo producto o de diferentes productos sin intervención por parte de un operador, y en adición, es suficientemente flexible para cambiar de acuerdo con las condiciones de mercado y los tipos de producto sin la compra de más equipos para cubrir estos cambios (Ruiz, Cazorla, Cuartero, & Macia, 2009).

## **2.2. ROBÓTICA EN MANUFACTURA**

En el campo industrial, los robots han sustituido al hombre en tareas repetitivas, que pueden resultar peligrosas o que requieren altas exigencias de precisión, calidad y/o velocidad (Vallejo R., 1998).

Para entender el alcance general de la aplicación de los robots es necesario que se comprendan algunos aspectos específicos de los robots y sus clasificaciones.

### **2.2.1. Clasificación de los robots industriales**

Existen diversas clasificaciones para los robots manipuladores, como son por su fuente de alimentación, geometría o estructura cinemática, área de aplicación o su método de control.

#### **2.2.1.1. Clasificación por su fuente de alimentación**

De forma general, los robots operan con tres principales formas de energía: eléctrica, hidráulica y neumática. Los robots hidráulicos son principalmente utilizados para elevar cargas, sin embargo, tienen restricciones como son el mayor uso de componentes periféricos, así como las fugas de líquidos y el mantenimiento que requieren. Los robots que son movidos por servomotores de CD (corriente directa) o CA (corriente alterna) han incrementado su popularidad y uso, esto a partir de que los costos de estos han ido bajando con el paso del tiempo, adicionalmente son más limpios y menos ruidos en comparación con un robot hidráulico. Los robots neumáticos son los más baratos, sin embargo, no se tiene un control preciso de sus movimientos (Spong, Hutchinson, & Vidyasagar, 1989).

#### **2.2.1.2. Clasificación por su área de aplicación**

Los robots frecuentemente son clasificados por aplicación como robots de ensamble y robots de no ensamble. Los robots de ensamble tienden a ser pequeños, controlados electrónicamente. Los robots que no se consideran de

ensamble abarcan los de soldadura, pintura, manejo de material, así como carga y descarga (Spong, Hutchinson, & Vidyasagar, 1989).

### **2.2.1.3. Clasificación por método de control**

Los robots son clasificados por su método de control en servo robots y no servo robots.

Los robots servo controlados adicionalmente, se pueden subclasificar de acuerdo con el método con el cual el controlador guía en herramienta. El robot más simple de este tipo es el robot punto a punto. A este tipo de robot se le pueden enseñar una serie de puntos discretos, sin embargo, no hay control sobre la ruta del EOAT entre los puntos que se han indicado.

Existen sistemas de movimiento de trayectoria continua, esta puede ser controlada en su totalidad, es decir el sistema puede trazar una línea recta entre dos puntos o incluso seguir contornos. Adicionalmente, la velocidad y la aceleración pueden ser controlados. Este tipo de sistemas, solo se moverán entre dos puntos ya dados, y no tienen una flexibilidad de posiciones, en comparación con uno tipo SCARA o un robot de 6 ejes.

### **2.2.1.4. Clasificación por geometría**

Varios de los robots industriales en estos tiempos, tienen seis o menos grados de libertad. La mayoría de los manipuladores caen dentro de cinco tipos de geometría: articulado (RRR), esférico (RRP), SCARA (RRP), cilíndrico (RPP) o cartesiano (PPP).

#### **2.2.1.4.1. Robot articulado**

Los robots manipuladores que tienen una configuración antropomórfica (articulado) presentan una mayor movilidad en su área de trabajo, esto debido a que sus eslabones están unidos por medio de tres articulaciones rotacionales (Reyes Cortés, 2011).

Debido a su similitud con el brazo humano, la segunda articulación de este robot se le conoce como hombro, y la tercera articulación se le conoce como codo.

### 2.2.1.4.2. Robot esférico

Un robot esférico (figura 1) es una derivación del robot articulado (RRR), el cual se obtiene al remplazar la tercera articulación o codo en la configuración giratoria, por una articulación prismática de esta manera se obtiene la esférica (Spong, Hutchinson, & Vidyasagar, 1989), una característica importante es que estos robots, se pueden programar en coordenadas esféricas, de ahí su nombre.

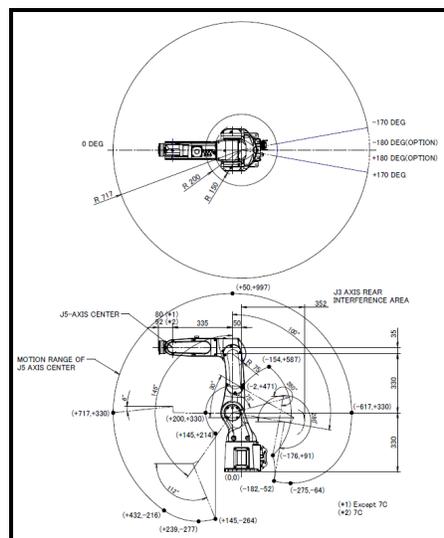


Figura 1. Área de alcance robot esférico FANUC LR Mate 200iD/7L (FANUC Corporation, 2015)

### 2.2.1.4.3. Robot SCARA (RRP)

El robot SCARA (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly, por sus siglas en inglés) es una configuración, que como su nombre lo indica, es adaptado para operaciones de ensamble (Spong, Hutchinson, & Vidyasagar, 1989).

El robot SCARA es un brazo planar de dos articulaciones rotacionales para la base y el hombro de este; la tercera articulación es una prismática. La estructura es de alta rigidez, lo que le permite soportar cargas de forma vertical y controlar fuerzas en el plano horizontal, por lo que la configuración SCARA es adecuada para la tarea de ensamble de objetos pequeños (Reyes Cortés, 2011).

Algunos modelos de robot SCARA cuentan con dos configuraciones posibles de montaje, una de ellas es "montaje al suelo" en la cual la base del robot estará orientada de forma vertical con los tornillos de sujeción hacia abajo; el "montaje invertido" (ver figura 2) es aquel en el que la base del robot se encuentra de forma vertical, pero a diferencia del anterior montaje, los tornillos de sujeción se encuentran orientados hacia arriba. Este tipo de configuración permite tener una mayor área de alcance (de 360°), en comparación con el montaje al suelo, donde las colisiones con el mismo cuerpo del robot nos limitarían el rango de giro de 360°, el cual se tiene con un tipo de montaje superior (Nachi-Fujikoshi Corporation, 2018).

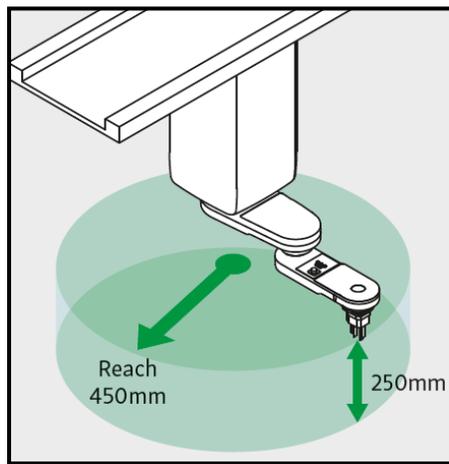


Figura 2. Área de alcance robot SCARA NACHI EZ03V4-4525 (Nachi-Fujikoshi Corporation, 2018)

#### 2.2.1.4.4. Robot cilíndrico

El robot de configuración cilíndrica tiene en su base una articulación rotacional, mientras que la segunda y tercera articulación serán prismáticas. Entre las aplicaciones que, de este tipo de robots manipuladores, se encuentran aquellas que procesan cavidades horizontales huecas, así como el transporte de objetos. Su área de trabajo será un cilindro hueco, que estará basado en las longitudes de sus articulaciones prismáticas (Reyes Cortés, 2011).

#### 2.2.1.4.5. Robot cartesiano (PPP)

Un robot cartesiano (figura 3), es aquel en el que sus tres primeras juntas son prismáticas. Este tipo de robots son útiles para aplicaciones que se requieran

moverse desde la parte superior, como robots tipo gantry para transporte de material o cargas (Saha, 2008).

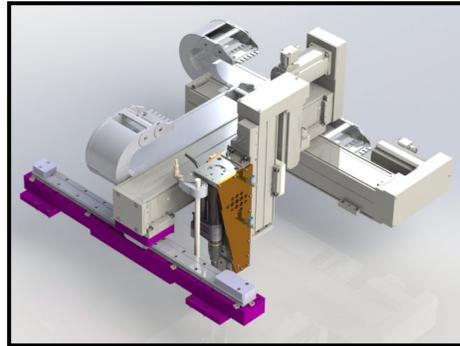


Figura 3. Robot tipo "Gantry" de 3 ejes, con EOAT de atornillado  
Elaboración propia

## **2.2.2. Ventajas y desventajas del uso de robots**

El uso de los robots en la industria ha presentado un auge importante desde el año 2010, con la globalización de componentes y el decremento de sus costos. Esto aunado con las exigencias de mejora continua y la implementación de líneas de ensamble cada vez más automáticas y menos dependientes de la labor humana, ha orillado a diversos sectores industriales al uso e implementación de robots para la realización de tareas repetitivas.

### **2.2.2.1. Ventaja**

Entre las principales ventajas que se adquieren con el uso y/o implementación de un robot en una línea de manufactura son:

- Alta repetibilidad en procesos de ensamble.
- Decremento de las plantillas de personal de producción.
- Decremento de labor manual y esfuerzo físico.
- Alta producción.

### **2.2.2.2. Desventajas**

Entre sus desventajas se pueden encontrar las siguientes:

- Costos elevados dependiendo de su aplicación.
- Amplia área de mejora en ensamble y/o procesos donde el tacto es importante.
- Limitaciones de movimientos en sus ejes.

### 2.2.3. Selección de robot

La correcta selección de un robot depende mucho de la aplicación final en la que estará realizando su función. Diversos factores se involucran para realizar una correcta selección como son la masa del producto a mover, la ubicación física del robot, así como su orientación, alcance de este y peso teórico o estimado del EOAT. Para esto se pueden emplear diferentes técnicas de selección como es el "Proceso de jerarquía analítica" (AHP, por sus siglas en ingles) (García Alcaraz, Maldonado Macías, Hernández Arellano, & Alvarado Iniesta, 2013).

Los factores en los que en los cuales se enfocará el proyecto, serán los siguientes (ver tabla 1):

Tabla 1. Matriz decisión selección robot propuesta

Criterio Ponderación	Regular	Bueno	Excelente
	1	3	5
Característica	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Alcance			
Altura (z)			
Repetibilidad			
Carga			
Accionamiento			
Costo (USD)			
<b>Total</b>			

Elaboración propia

### 2.2.4. Tipos de control en robots

Existen diversas formas de control que se emplean en el control de un manipulador. La técnica que se seleccione y se implemente puede tener una gran influencia en el rendimiento del manipulador, así como su posible rango de aplicaciones.

Algunos factores que influyen directamente en la selección del tipo de control de un manipulador son el diseño mecánico y sistema de movimiento (por medio de motorreductores o servos directos).

#### 2.2.4.1. Control PD

El control proporcional derivativo (PD) es el más conocido y empleado en el área de control automático. Durante varios años este control fue meramente empírico, ya que carecía de un sustento científico. La demostración de este tipo de control fue realizada en 1981 por Takegaki y Arimoto, sentando las bases del desarrollo de control de robots.

Este método de control esta expresado en la siguiente ecuación:

$$\tau = K_p \bar{q} - K_v \dot{q} + g(q)$$

Ecuación 1. Ecuación de control Proporcional Derivativo (PD)

En este algoritmo se puede apreciar en su estructura la parte proporcional y la acción de control derivativo. El control proporcional está determinado por  $K_p \bar{q}$ , donde  $K_p$  es una matriz definida positiva denominada ganancia proporcional. La acción de control derivativa está formada por  $K_v \dot{q}$  donde  $K_v$  es una matriz definida positiva denominada ganancia derivativa, la cual tiene un efecto de amortiguamiento o freno mecánico a través de la inyección de la velocidad articular  $\dot{q}$ .

La estructura del control PD también tiene un término parcial de la dinámica que se genera en el robot, el cual consiste en el par gravitacional, el cual se emplea en los robots que se mueven en planos verticales o en espacios tridimensionales.

En el control proporcional derivativo, la única variable a controlar es el error de posición  $\bar{q}$  y no la velocidad de amortiguamiento  $\dot{q}$ . La velocidad se emplea como inyección de amortiguamiento, cuya principal acción es sobre el estado transitorio, puesto que en el estado estacionario la posición es una constante o la velocidad es cero. La acción derivativa no reduce la magnitud del error de posición en estado estacionario. El término relacionado con la compensación de gravedad se emplea

para mantener al robot en la posición deseada, ya que cuando el robot alcanza una posición deseada, el error de posición y su velocidad son cero, es por esto que se requiere energía del robot para compensar el par gravitacional.

#### 2.2.4.2. Control PID

El control PD tiene como área de mejora al momento del sistema estar estático, el cual se manifiesta como un error al cual conoceremos en adelante como "offset", para disminuir este error se agrega a la estructura matemática de la ecuación 1 un término más, el cual se llama acción de control integral. Esto da origen al control proporcional integral derivativo (PID), el cual es la versión modificada del control proporcional derivativo el cual pretende disminuir la diferencia del error cuando el sistema esta estático, al realizar esta acción el algoritmo queda de la siguiente manera (ecuación 2):

$$\tau = K_p \tilde{q} - K_v \dot{q} + K_i \int_0^t \tilde{q}(\mu) d\mu + g(q)$$

Ecuación 2. Ecuación de Control PID

Es importante tener en cuenta que, el algoritmo PID únicamente tiene estabilidad asintótica (que tiene forma de una curva asíntota) local siempre y cuando las ganancias del control puedan satisfacer ciertas condiciones de sintonía (Reyes Cortés, 2011).

#### 2.2.4.3. Moldeo de energía

El control por moldeo de energía representa una herramienta moderna de control, la cual permite diseñar una extensa familia de estrategias de control, las cuales ayudaran con el control o regulación de robots manipuladores.

Esta técnica genera, como se mencionó, una amplia familia de algoritmos de control de posición, los cuales cuentan con una estructura matemática del gradiente de la energía potencial artificial, el cual modela la anergia aplicada al robot, más la incorporación de la función disipativa (acción de control derivativa) como elemento de inyección de amortiguamiento o freno mecánico.

Generalmente los algoritmos que se generan con esta técnica se pueden dividir en dos, aquellos que solicitan torque o par sin tomar en cuenta los límites físicos del servo amplificador, y aquellos que se encuentran dentro del rango de operación normal del servo amplificador (Reyes Cortés, 2011).

## **2.3. SISTEMAS DE MANEJO DE MATERIAL**

Dentro de la amplia gama de sistemas que pueden realizar una función de manejo o transporte de material se encuentran los transportadores. Este tipo de sistemas estarán correlacionados al tipo de producto que están manejando o la forma que en este será movido a través de este sistema.

### **2.3.1. Tipos de transportadores**

Como se menciona en la sección 2.3, existen diversos tipos de transportadores, los cuales se relacionan con el material que manipulan. Es de esta forma que se tienen los siguientes tipos de bandas transportadoras.

#### **2.3.1.1. Transportadores de gravedad**

Este transportador usa el efecto de la gravedad para deslizar los productos que transporta de un punto a otro. Este tipo de transportadores son de operación manual, es decir un operador coloca la pieza en un extremo y esta se desliza a lo largo del transportador, o en su defecto el operador empuja el producto. Para mejorar su eficiencia, a estos transportadores se les agregan rodillos, ruedas, baleros o incluso materiales que mejoran el deslizamiento de los productos a través de estos, a lo ancho y largo de este (Shinde & Patil, 2012).

Los transportadores de gravedad (figura 4) se utilizan para la manipulación de tarimas de madera, cajas de cartón o empaques.



Figura 4. Transportador de gravedad de rodillos locos  
(MiSUMi USA, 2018)

### **2.3.1.2. Transportador de banda**

Transportador de banda (Gandhi & Sharma, 2019) es un sistema capaz de mover productos de forma longitudinal de un punto A hacia un punto B. Esto lo efectúa por medio de un sistema de bandas, las cuales pueden ser planas por un lado o planas de un lado y dentadas del otro. Estas bandas son movidas por un motor-reductor que estará calculado en base al peso de los componentes y sus pallets de transporte.

Por lo general este tipo de transportadores son configurables y son calculados por cada una de las empresas que se dedican a la venta de estos equipos.

Existen diversos tipos de transportadores de banda, como se revisará en los siguientes puntos.

#### **2.3.1.2.1. Banda plana**

Este tipo de transportador tiene funciones similares al de tipo de gravedad, salvo que este tiene una banda de tela y/o fibra sintética la cual mueve el producto, esta banda cubre el ancho del transportador y es movida por un sistema de rodillos.

Los transportadores de banda plana son ampliamente utilizados, debido a la amplia variedad de componentes que pueden mover.

Para movimientos o transporte de partes que no pueden ser movidas directamente por una banda, se utilizan pallets (ver figura 5) los cuales viajan a través de las bandas planas.

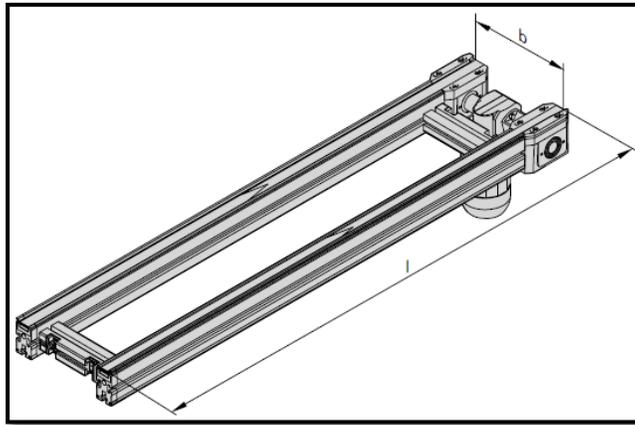


Figura 5. Transportador genérico de bandas (Bosch Rexroth, 2020)

#### **2.3.1.2.2. Banda acanalada**

Este transportador es utilizado en forma de V, y se utiliza para mover productos no uniformes como tierras, harinas, piedras entre otros (McGuire, 2010).

#### **2.3.1.2.3. Bandas con aletas verticales**

Estas bandas cuentan con una especie de aletas, las cuales son perpendiculares a la banda, y estas pueden ser insertadas por medio de tornillos, o en su defecto integradas desde la construcción de la banda (McGuire, 2010).

#### **2.3.1.3. Transportadores de cadena**

Los transportadores de cadena (figura 6), se utilizan para el transporte de objetos pesados, los cuales pueden ser colocados de forma directa sobre esta, o por medio de eslabones especiales. Una de las características que tienen este tipo de transportadores, es su flexibilidad, ya que no solo pueden transportar componentes de forma recta, si no que, por medio de eslabones especiales, estos pueden efectuar giros para cambiar la dirección en la que se transporta el producto. Del mismo modo, la cadena puede elevar su trayectoria, por lo que, además de los

giros este tipo de transportadores pueden elevar producto de un punto a otro (McGuire, 2010).



Figura 6. Transportador de cadena  
(Regal Rexnord, 2022)

### 2.3.2. Comparativa transportadores

Como se ha mencionado a lo largo de este documento, muchas de las configuraciones de los componentes mecánicos, dependen directamente de la aplicación final de estos. Es por lo que es necesario saber las características de la aplicación, así como las ventajas y desventajas de cada transportador (tabla 2).

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los tipos de transportadores, una X indica que es bueno, XX indica que es el mejor

Característica	Tipo Transportador		
	Gravedad	Banda Plana	Cadena
Velocidad	X	X	X
Dimensiones	XX	X	X
Peso	X	X	XX
Precisión	X	XX	X
Elementos Control	X	XX	XX
Manipulación	X	XX	X
Flexibilidad	X	X	XX

Elaboración propia

## **2.4. SISTEMAS DE MOVIMIENTO Y CONTROL**

Los sistemas de movimiento y control basados en fluidos pueden ser neumáticos, hidráulicos, eléctricos y mecánicos.

### **2.4.1. Sistemas neumáticos**

Los sistemas de aire comprimido se encargan de proporcionar movimientos controlados por medio de válvulas, las cuales mueven cilindros, motores, elevadores prensas entre otros. Estos sistemas son de circuito abierto, ya que el mismo aire que se tiene en la atmosfera es tomado como fluido de trabajo, y una vez que ha realizado su función, este mismo aire será expulsado a atmosfera.

Estos sistemas están formados por un compresor de aire, un depósito, un sistema de preparación de aire, una red de tuberías de distribución y un sistema de preparación de aire para cada dispositivo neumático que se requiera.

Estos sistemas se pueden combinar con otros elementos eléctricos y electrónicos, los cuales dan por resultado una amplia flexibilidad y control (Creus Solé, 2012).

#### **2.4.1.1. Ventajas sistema neumático**

Las ventajas que tiene un el uso de la neumática son las siguientes:

- Bajo costo de componentes.
- Facilidad de diseño e implementación.
- Baja presión de trabajo.
- Trasmisión de energía a grandes distancias.
- Aplicaciones con bajo costo de implementación.

#### **2.4.1.2. Desventajas sistemas neumáticos**

Entre las desventajas que puede tener el uso de la neumática son las siguientes:

- Compresibilidad del aire.
- Altos costo en generación de energía neumática.
- Bajo rendimiento debido a fugas.

## **2.4.2. Sistemas hidráulicos**

La hidráulica utiliza básicamente los fluidos hidráulicos como medios de presión para mover actuadores de este mismo tipo. A diferencia de los sistemas neumáticos, donde el circuito de trabajo es de tipo abierto, en los circuitos hidráulicos el circuito de trabajo será cerrado, es decir el fluido no puede ser expulsado a la atmosfera, por lo que debe regresar a su tanque de almacenamiento para, de esta manera, ser utilizado hasta que el fluido cumpla con su tiempo de vida.

Para aplicaciones industriales los sistemas hidráulicos se utilizan en elevadores, prensas, maquinaria de inyección y en todos aquellos en los que la fuerza, debido a la naturaleza del proceso, sea un factor de suma importancia (Creus Solé, 2012).

### **2.4.2.1. Ventajas sistemas hidráulicos**

El uso de sistemas hidráulicos tiene las siguientes ventajas:

- Gran potencia transmitida.
- Precisión de posición de actuadores.
- Fácil arranque con cargas elevadas.
- Facilidad de control por medio de válvulas de operación "suave".

### **2.4.2.2. Desventajas sistemas hidráulicos**

Entre las desventajas de un sistema hidráulico tenemos las siguientes:

- Fugas con consecuencias ambientales y con riesgo de incendio.
- Alta sensibilidad a la suciedad.
- Peligro por el uso de altas presiones en los sistemas.
- Cambios de la viscosidad de los fluidos debido a la temperatura.

## **2.4.3. Criterios de selección de sistemas**

Para la selección de uno de los dos sistemas es necesario considerar los siguientes puntos:

- Influencia en el ambiente.

- Modo de almacenamiento de energía.
- Exactitud o precisión de posición.
- Estabilidad.
- Presión de operación.

## **2.5. SISTEMAS DE SEGURIDAD**

Los sistemas de seguridad de un equipo son de gran importancia en los equipos automatizados, ya que permiten la interacción segura del equipo por parte de un operador o personal de mantenimiento (International Organization for Standardization, 2015).

Existen diversos sistemas o mecanismos que nos ayudan a cumplir esta función, desde guardas mecánicas fijas, interruptores, cortinas o incluso scanner que nos permitirán hacer esta interacción de forma segura.

### **2.5.1. Guardas de seguridad**

Estos serán los mecanismos más simples que nos permitirán realizar la función de preservar la seguridad del operador y del equipo. Estas piezas corresponden directamente a bloqueos con piezas mecánicas como laminas, cubiertas de policarbonato o puertas, las cuales no cuentan con dispositivos electrónicos de seguridad, y en su lugar están fijas directamente a la estructura y no se pueden remover (International Organization for Standardization, 2015).

### **2.5.2. Interruptores de seguridad**

Los interruptores de seguridad son componentes mecánicos que cuentan con un seguro especial (ver figura 7), el cual se deslizará o girará para engancharse con el interruptor, y de esta manera, ofrecer la seguridad para el operador y el equipo. Otro tipo de interruptor son aquellos denominados sin contacto, los cuales están formados por un conjunto de emisor receptor, los cuales se colocan en la parte fija y móvil del área móvil que se requiere proteger. Realizan la misma función y no tienen un bloqueo mecánico entre ellos.



Figura 7.Lado izquierdo interruptor mecánico, derecho interruptor sin contacto (Keyence México, 2021)

Existen algunos interruptores de seguridad con opciones de bloqueo, los cuales al momento de que el seguro del interruptor llega a su posición de enganche, estos tienen dentro de su carcasa un actuador eléctrico de bloqueo, el cual se activa impidiendo de esta manera la apertura de la parte móvil.

Estos componentes ya cuentan con señales digitales que se conectan al sistema de seguridad del equipo o de los equipos, el cual puede tener un relevador de seguridad o incluso un PLC dedicado a la seguridad del equipo.

Otro tipo de interruptores, ya cuentan con protocolos de comunicación dedicados al aspecto de seguridad, lo que los hace específicos a la empresa que los realiza.

### **2.5.2.1. Ventajas de los interruptores de seguridad**

Entre las ventajas que el uso de interruptores presenta:

- Mejora de seguridad en dispositivos móviles.
- Bloqueo automático de dispositivos móviles.

### **2.5.2.2. Desventajas de los interruptores de seguridad**

Entre las desventajas que presentan están los siguientes:

- Limitación mecánica para su uso.

### 2.5.3. Cortinas de seguridad

Existen diferentes configuraciones de cortinas de seguridad, así como longitudes de detección y altura de detección.

Estos elementos de seguridad han sido normalizados de tal forma, que tienen tres configuraciones básicas (figura 8):

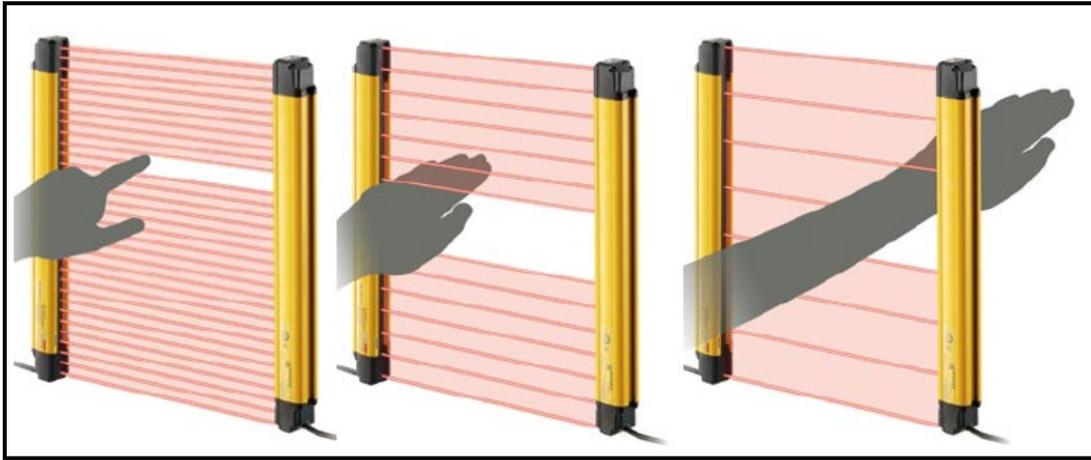


Figura 8. De izquierda a derecha; cortina detección de dedo, de mano y de cuerpo o brazo  
(Keyence México, 2017)

- 1) Detección de dedo. Esta cortina tiene una distancia entre haces de 14mm, lo cual permite ser interrumpida por el dedo de una persona.
- 2) Detección de Mano. Este tipo de cortina tiene una distancia entre haces de luz de 25mm, lo cual como el nombre lo indica detecta la interrupción por la mano de una persona o en su defecto un objeto de mayores dimensiones.
- 3) Detección de cuerpo. Las cortinas de detección de cuerpo tienen una distancia entre haces de 45mm, las cuales pueden detectar cuerpos muy grandes para que se interrumpan, como una persona caminando.

La ubicación de la cortina de seguridad estará ligada directamente a la capacidad de respuesta de la cortina, así como el sistema que controla. Es de esta manera, y de forma muy general, si la ubicación de la cortina es cercana a la zona de riesgo, la capacidad de detección de la cortina deberá de ser la más corta, y caso contrario, se puede considerar una cortina con mayor distancia de detección

cuando la ubicación del área a proteger no es muy corta (International Organization for Standardization, 2006).

Existen, principalmente dos normas en las que se basa la distancia de detección, la primera es la ISO y la segunda es la OSHA, las cuales son las principales representantes de organismos de seguridad a nivel mundial.

### **2.5.3.1. Ventajas cortinas de seguridad**

Las ventajas que presenta el uso de estos sistemas de seguridad se presentan los siguientes:

- Rápido acceso a las áreas de operación de los equipos.
- Mejora de interacción entre el operador y el equipo.

### **2.5.3.2. Desventajas cortinas de seguridad**

Entre las desventajas que tiene el uso de las cortinas:

- Generación de espacios sin seguridad dentro del equipo.
- Posibles interrupciones al ingreso del producto a través de la cortina.
- Uso de software para configuración de cortinas.

## **2.6. SISTEMAS DE SOPORTE Y CONFIGURACIÓN EN INGENIERÍA**

Cada empresa de manufactura de componentes neumáticos tiene sus propias herramientas de soporte para cubrir las necesidades de cálculos, así como una correcta selección de los componentes.

Muchas de las herramientas de cálculo y selección se encuentran en línea, dentro de las páginas de cada uno de los fabricantes de los componentes que se seleccionan.

Estas herramientas son utilizadas por medio de programas de configuración de componentes neumáticos, y los cuales nos ayudan a realizar una correcta selección de bloques de válvulas, componentes de vacío, selección de tanques de pulmón y multiplicadores, así como otros accesorios relacionados.

### 3. PROCEDIMIENTO

Actualmente, se cuenta con una celda de manufactura que realiza la función que se desarrolla en este documento, sin embargo, tienen omisiones al momento del proceso de ensamble dado que durante el diseño de la celda se tomaron diferentes factores para su diseño, como lo son el manejo del material, el proceso de ensamble y por último el tiempo de ciclo de operación.

Este equipo tiene dos alimentadores frontales de producto (figura 9). Las tapas son tomadas por un sistema de cuatro ventosas de vacío, por cada tapa individual. Cada sistema de cuatro tapas tiene un generador de vacío de tipo Venturi para su funcionamiento. Una vez que las toma con el primer par de ventosas, el equipo lleva las tapas a un nido de pre-alineación, donde cuatro actuadores lineales eléctricos con motor a pasos se encargan de cerrar y alinear cada una de las tapas. Una vez realizado este paso, el robot se mueve nuevamente a esta posición para tomar con todas las ventosas las dos tapas y llevarlas alineadas a la posición de ensamble.

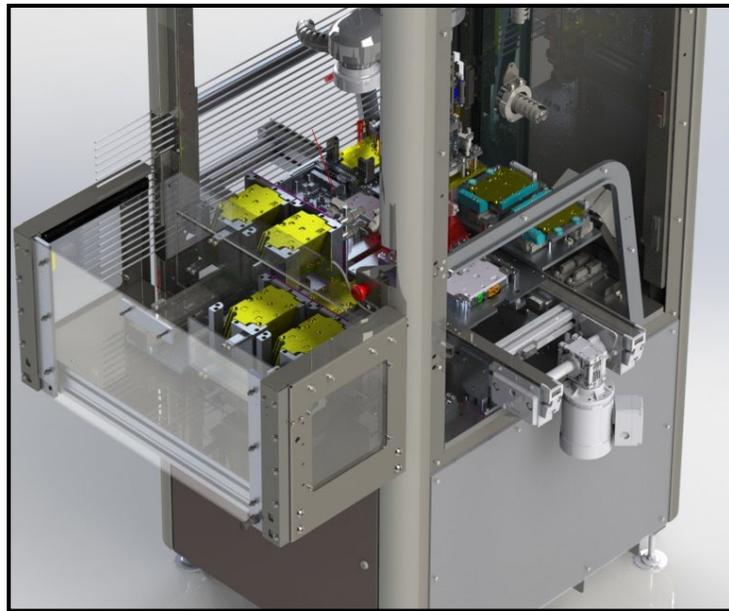


Figura 9. Celda de ensamble con alimentadores de tapas (amarillo)  
Elaboración propia

Las omisiones que esta celda tiene son: fallas en el apilamiento del producto, dado que el producto se apila de forma vertical (uno sobre otro) en cada uno de los nidos del mismo, y dado que el producto tiene un dobléz a 90° se ha detectado que, con el paso del tiempo y el peso propio de la pila de tapas, más la posición del mismo nido, las tapas tienden a quedar atoradas en la parte del dobléz, lo que provoca que, al momento de tomar una tapa, el sistema tome dos de ellas al mismo tiempo (García Niño, 2022).

Una vez que pasa esto la tapa puede caer dentro del nido de forma aleatoria, lo que provoca la colisión del EOAT al momento de realizar una segunda recolección de tapa en el nido.

El proceso de funcionamiento del equipo actual se puede apreciar en la figura 10:

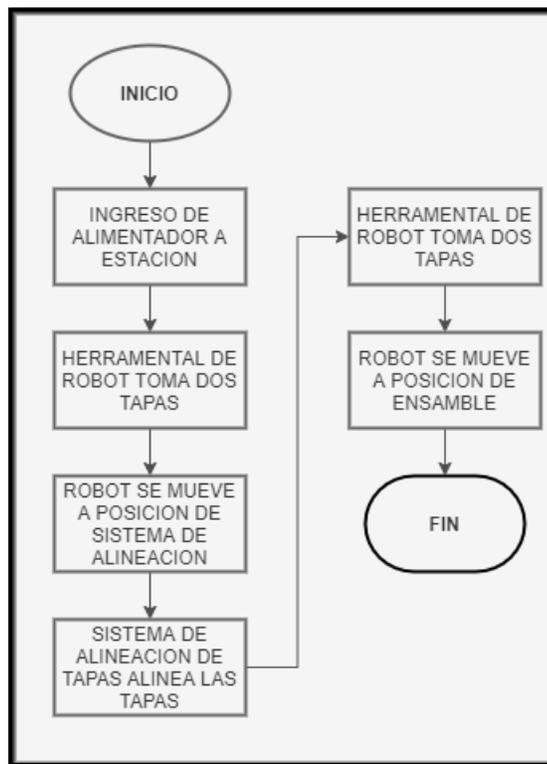


Figura 10. Diagrama de flujo de funcionamiento celda existente  
Elaboración propia

### 3.1. CONCEPTO GENERAL DEL EQUIPO

Para esta nueva propuesta de diseño del equipo, como se mencionó anteriormente, se tomará en cuenta las observaciones de parte del cliente, así como del área de servicio técnico de la empresa integradora.

Se replantea el alojamiento de las tapas en el nido, así como el retirar los actuadores neumáticos de alineación. Por lo tanto, el equipo quedara operando de la siguiente manera (figura 11):

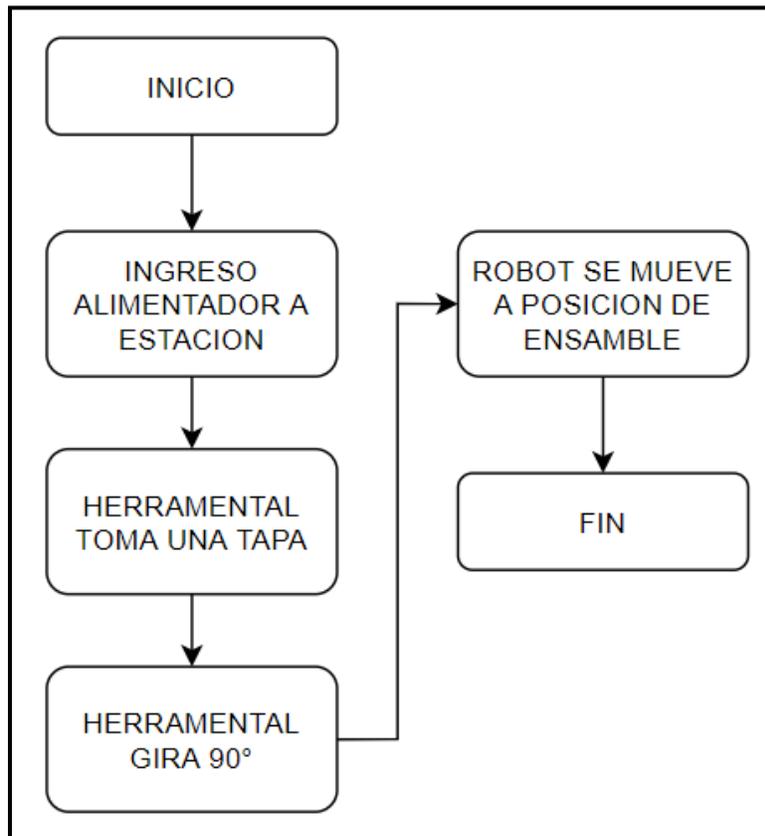


Figura 11. Funcionamiento general propuesto  
Elaboración propia

### 3.2. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para la correcta dirección de la solución desde una temprana fase es necesario seguir la siguiente metodología de trabajo propuesta, la cual cubre la selección e

implementación de los componentes que se requieren para la operación de la celda, y la cual se ha seccionado en los siguientes pasos:

- 1) Selección de celda de manufactura.
- 2) Selección de robot a utilizar.
- 3) Selección de sistema de banda transportadora.
- 4) Selección y/o diseño de elevador.
- 5) Selección y/o diseño de sistema de sujeción.
- 6) Selección y/o diseño de sistema de purga/rechazo.
- 7) Sistemas de Seguridad.

### **3.2.1. Selección celda de manufactura**

Por lo regular en las industrias, y siguiendo los lineamientos de “lean manufacturing”, las tareas a realizar dentro de un proceso son seccionadas en otras más sencillas o simples, de tal manera que para producir un producto en específico se tienen “n” cantidad de operaciones.

El integrador que realizara el desarrollo del proyecto para la empresa proveedora, cuenta con celdas de manufactura predefinidas, las cuales pueden albergar dentro de su estructura interna sistemas de coordenadas tipo “Gantry”, robot tipo SCARA de cuatro ejes (o cinco ejes, según requiera la aplicación) y por último brazos robóticos de seis ejes.

La empresa integradora cuenta con dos tipos de celdas predefinidas (ver tabla 3), el tamaño treinta y cinco, el cual puede contener sistemas gantry o un robot SCARA de 4 ejes (siendo este último el predefinido de fabrica), u otros diferentes sistemas que se alojen dentro de su espacio de trabajo; y se tiene el tamaño 70, esta celda puede alojar cualquier dispositivo que requiera, ya que debido a su tamaño y a su brazo de seis ejes (predefinido desde fabrica) permite un amplio grado de flexibilidad (tabla 3).

Un punto importante para mencionar es que un objetivo general de esta compañía integradora, es la reutilización de las celdas de manufactura desarrolladas en cada proyecto, esto con el fin de una fácil implementación en proyectos similares dentro de las empresas proveedoras donde se requieren sus servicios.

Tabla 3. Características principales celdas predefinidas

Característica	Celda 70	Celda 35
Dimensión (mm)	1200 x 1500	850 x 1000
Altura (mm)	2200	2200
Dimensión Max. Pallet (mm)	600 x 7000	450 x 700
Altura Max. Producto (mm)	220	220
Peso Max. Producto + Pallet	15 kg	15 kg
Robot (por defecto)	FANUC LR Mate 200D/7L, 6 ejes, 7kg carga	NACHI EZ03V4-4525, 4 ejes, 3kg carga

Elaboración propia

### 3.2.1.1. Consideraciones para selección

Como se mencionó anteriormente, uno de los aspectos que se tienen que cumplir como requisito de la empresa proveedora es el espacio, el cual lo tiene limitado por celda. El espacio destinado es de 1.5 m<sup>2</sup> de tal manera que de la tabla 3 obtenemos los siguientes datos de área, (realizando la conversión de milímetros a metros):

$$A_{C70} = 1.2 \times 1.5 = 1.8 \text{ m}^2$$

$$\therefore A_{C70} = 1.8 \text{ m}^2$$

$$A_{C35} = 0.85 \times 1 = 0.85 \text{ m}^2$$

$$\therefore A_{C35} = 0.85 \text{ m}^2$$

De la determinación del área que necesita la celda se puede apreciar que, para cumplir con los requisitos del proveedor, es necesario utilizar una celda de tamaño treinta y cinco. Adicionalmente este tipo de celda dará más margen de maniobra, considerando que se pueden colocar partes en la periferia de esta, o incluso ensambles (como los alimentadores) que tendrán que salir de su área de trabajo segura.

### 3.2.2. Selección de robot a utilizar

Dentro de los productos que pueden efectuar una función de "Pick and Place" (tabla 4) están:

- Sistemas tipo "Gantry" (3 ejes)
- Robots tipo SCARA (de 4 y 5 ejes)
- Robots de 6 ejes

Tabla 4. Comparación entre productos con función que pueden efectuar una función "Pick and Place"

Característica	Gantry	SCARA	Robot 6 Ejes
Alcance	Configurable (200 hasta 1000mm)	Ø 900mm	911mm
Altura (z)	Configurable (100 hasta 300mm)	250mm	Hasta 1643mm
Repetibilidad	± 0.02mm	± 0.02mm	± 0.03mm
Carga	De 1 hasta 8 kg	2 kg	7 kg
Accionamiento	Configurable Motor a pasos / Servomotor DC	Servomotor AC	Servomotor AC
Costo (USD)	De 7,000 a 30,000	9,500.00	15,000.00

Elaboración propia

### 3.2.2.1. Consideraciones para selección

Para la realización de una correcta selección de un robot, el cual se pretende utilizar en la aplicación que se tiene, se tomarán en cuenta los siguientes factores:

- Tamaño de celda.
- Carga permitida en el robot.
- Alcance.
- Costo.
- Flexibilidad / adaptabilidad a otras aplicaciones.

Al momento de considerar los criterios de selección del robot, y utilizando una matriz de decisión, a partir de la tabla 1, se desarrollará la matriz de decisión, la cual se muestra en la tabla 5, con la cual, al momento de utilizarla para nuestra aplicación, se tiene como resultado que para el caso de la aplicación, se ha seleccionado un robot tipo SCADA de 4 ejes, el cual tiene un tipo de montaje hacia el techo de la estación, y el cual, nos permitirá la utilización de una mayor área de trabajo, con un diámetro de alcance de 900 mm y un alcance de 250 mm en el eje z.

Tabla 5. Matriz decisión selección robot

Criterio	Regular	Bueno	Excelente
Ponderación	1	3	5
Característica	Gantry	SCARA	Robot 6 Ejes
Alcance	3	3	3
Altura (z)	3	3	5
Repetibilidad	5	5	3
Carga	3	3	5
Accionamiento	1	3	3
Costo (USD)	1	3	1
Total	135	<b>1215</b>	675

Elaboración propia

Este robot SCARA que se instalara en la celda, es de la marca NACHI (número de parte EZ03V4-4525) (Nachi-Fujikoshi Corporation, 2018), el cual tiene una capacidad de carga máxima de 3kg, y una distancia máxima de del centro de masa de 230 mm, con una disminución en su peso útil de carga a 1 kg (figura 12).

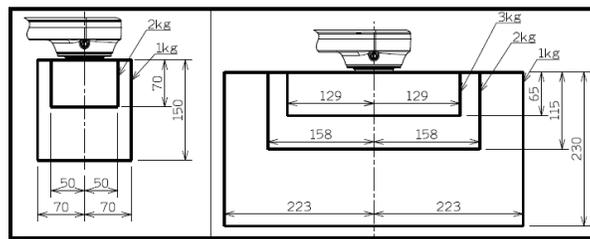


Figura 12. Dimensiones aproximadas y centro de masa de EOAT (Nachi-Fujikoshi Corporation, 2018)

### 3.2.3. Selección de sistema de banda transportadora

Dado que la banda transportadora es un componente configurable y completamente comercial (ver tabla 6), será necesario que se envíen los criterios de configuración a los proveedores A y B, los cuales distribuyen y/o fabrican estos sistemas de transporte.

Este sistema de transporte de porta piezas (o pallets), deberá de ser compatible con los componentes que el cliente ya tiene en uso, los cuales no se modificaran o cambiaran, esto con el objetivo de cumplir con uno de los requerimientos del proveedor de manufactura, el cual es no elevar los costos.

Tabla 6. Comparativa entre dos marcas de transportador.

Característica	Proveedor A	Proveedor B
Longitud	Configurable (275 hasta 7500mm)	Configurable (200 hasta 6000mm)
Ancho	320mm	320mm
Ancho Pallet	300mm	
Carga	113 kg	60 kg
Ancho Banda	25mm	
Costo (USD)	4,900.00	5,200.00

Elaboración propia

### 3.2.3.1. Consideraciones para selección.

Para un fácil manejo y control del transportador, este será seccionado en tramos individuales para cada una de las estaciones que comprenden la línea. Cada tramo tendrá una longitud de 1.2 m, y contará con su propio sistema de tracción, actuadores de tope para los pallets y accesorios relacionados.

Considerando que el ancho del transportador deberá de ser de 300mm para la aplicación (ya que es la medida que la empresa proveedora ya tiene en sus pallets), el proveedor seleccionado tendrá que realizar un recorte en su medida de transportador comercial más cercana a la requerida, la cual es de 320mm de ancho, de tal manera que quede a la medida solicitada de 300mm (ver tabla 7).

Tabla 7. Criterio de ponderación selección transportador

Criterio Ponderación	Regular	Bueno	Excelente
	1	3	5
Característica	Proveedor A	Proveedor B	
Longitud	3	3	
Ancho	3	3	
Ancho Pallet	3	3	
Carga	3	3	
Ancho Banda	3	3	
Costo (USD)	3	3	
Total	729	729	

Elaboración propia

Adicionalmente, otro factor importante es que la empresa proveedora, ya cuenta en sus instalaciones con transportadores de la marca que distribuye el proveedor A, por lo que se opta por la selección del este proveedor para surtir el material. La selección y configuración de este transportador ha sido realizado desde un configurador propio de la marca llamado "D-Tools".

### 3.2.4. Selección y/o diseño de elevador

Dentro de los accesorios o sistemas que se pueden adquirir dentro de la compra de sistema de transporte (conveyor), es posible adquirir los elevadores de pallet con un costo de 1,300.00 USD por cada sistema de elevación. Sin embargo, en la aplicación la medida del transportador es específica, de acuerdo con los requerimientos del proyecto, y un lifter con esta medida comercial no existe. Otro aspecto importante para considerar es el espacio que se tiene dentro del equipo para su instalación, el cual es de 86.7mm, comprende el área libre dentro de la estación (figura 13) entre la placa base y la cara inferior del transportador. Esta altura ha sido determinada por la altura que ya tiene la línea del cliente, la cual es de 950mm.

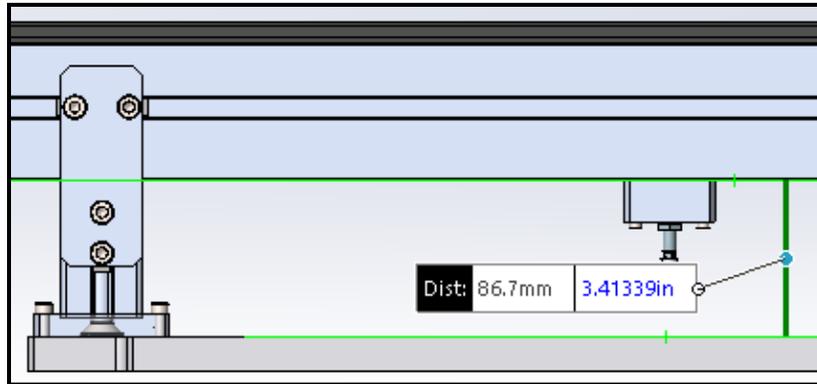


Figura 13. Espacio para instalación de sistema de elevación de pallet  
Elaboración propia

Se ha considerado que, se pueden adquirir estos sistemas de elevación para ser posteriormente modificados para la aplicación. Sin embargo, la empresa seleccionada no tiene la capacidad de realizar esta adecuación, y aunado a esto, se nos ha indicado que con cualquier modificación externa a las piezas que componen este dispositivo, anulará la garantía de este.

Por estos motivos se ha optado por realizar el diseño del lifter, basados en los componentes ya existentes.

### 3.2.4.1. Consideraciones para diseño

Antes de comenzar con el diseño de este sistema de elevación, es necesario tener en cuenta los siguientes:

- Fuerza generada por el robot (z): 700N
- Presión de aire: 0.68 MPa
- Altura elevación (del ras de la banda): 3 a 5 mm
- Espacio de instalación: 86.7mm
- Bloqueo vertical: No considerado
- Masa del pallet (con producto): 3 kg

### 3.2.4.2. Selección del actuador neumático

Para la selección del actuador neumático, se van a tomar en consideración, como primer paso, las fuerzas que interactúan en él, tal es el caso de la fuerza generada por el robot, el peso del pallet, el peso de la placa móvil y, por último, los efectos del rozamiento de los bujes con las guías lineales.

Dado que no es indispensable que se utilice toda la fuerza del robot hacia abajo, solo se considerada para efectos de cálculo y selección, el 75% de la fuerza mencionada líneas arriba. Entonces se determina que, la fuerza total del actuador estará dad por:

$$F_{A.N} = \sum F_v$$

Ecuación 3. Calculo fuerzas verticales.

Primero, se convertirá la masa del pallet en peso expresado en newtons (*Ec. 4*):

$$w_p = m_p * g$$

Ecuación 4. Formula conversión masa(kg) a peso(N).

$$w_p = 3 * 9.81 = 29.43 N$$

Ahora, es necesario conocer el peso de la placa que se ha diseñado. Se consulta el software CAD para determinar su masa la cual es de 1.250 Kg, por lo cual utilizamos nuevamente la ecuación 4 (*Ec. 4*):

$$w_p = m_p * g$$

$$w_p = 1.25 * 9.81 = 12.26 N$$

Por último, es necesario conocer el coeficiente de fricción estático de la aplicación, dado que se utilizarán bujes lineales el coeficiente de fricción lo consideraremos como uno.

Con los datos obtenidos utilizamos la ecuación 1 (*Ec. 1*):

$$F_{A.N} = \sum F_v \quad Ec. 1$$

$$F_{A.N} = (700 * 0.75) + 29.43 + 12.26$$

$$F_{A.N} = 566.69 \text{ N}$$

Ahora con la información de carga vertical, se buscará en los catálogos de los fabricantes de partes neumáticas (figura 14) un pistón que cubra las necesidades de fuerza que están dadas en la Ec. 1, por lo tanto, y considerando que el estándar de uso en material neumático dentro de la empresa integradora es la marca SMC, se seleccionara el cilindro en base a la siguiente tabla de cilindros compactos:

Theoretical Output				
Bore size (mm)	Operating direction	Operating pressure (MPa)		
		0.3	0.5	0.7
12	IN	25	42	59
	OUT	34	57	79
16	IN	45	75	106
	OUT	60	101	141
20	IN	71	118	165
	OUT	94	157	220
25	IN	113	189	264
	OUT	147	245	344
32	IN	181	302	422
	OUT	241	402	563
40	IN	317	528	739
	OUT	377	628	880
50	IN	495	825	1150
	OUT	589	982	1370
63	IN	841	1400	1960
	OUT	935	1560	2180
80	IN	1360	2270	3170
	OUT	1510	2510	3520
100	IN	2140	3570	5000
	OUT	2360	3930	5500

Figura 14. Fuerza teórica de cilindros compactos (SMC Corporation, 2020)

De la figura 14 se puede determinar que un cilindro compacto, con un diámetro de embolo de 40mm cumplirá con las características de diseño requeridas.

### 3.2.4.3. Eje lineal y Buje

Es necesario tener en consideración que este sistema tendrá dos longitudes de operación. Por lo tanto, la barra será seleccionada para la operación en la longitud más larga. Se busca un eje hueco comercial que tenga la longitud de 140mm, así como el diámetro nominal de 16mm, con planos de sujeción y roscas de fijación en los extremos. También se considera que, dado que estará en contacto con un buje lineal de bolas recirculantes, se considera necesario que este tenga un tratamiento

de cromo duro para su extensión de vida útil. Este buje tiene una tolerancia de 0 / -0.01 mm, por lo cual es aceptable para la aplicación que se requiere (figura 15).

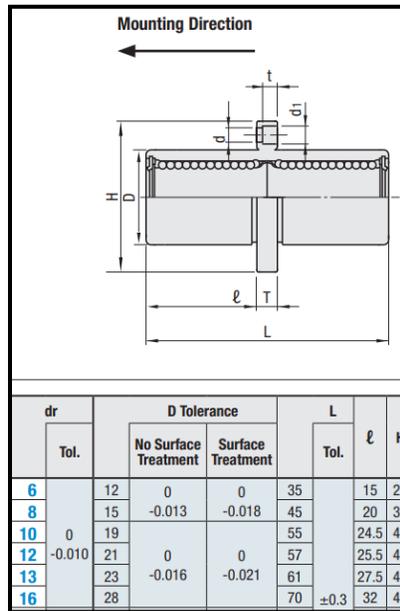


Figura 15. Dimensiones y tolerancias de buje lineal (MiSUMi USA, 2018)

Se ha seleccionado la marca de componentes industriales MISUMI debido a su amplia gama de productos configurables, el número de parte de este eje es el PSPWR16-140-M12-N12-SC24-DKC. Este eje tiene una tolerancia diametral para el eje de g6, la cual varía de un diámetro a otro, para este diámetro de 16mm la tolerancia es de -0.01 / -0.02 (figura 16).

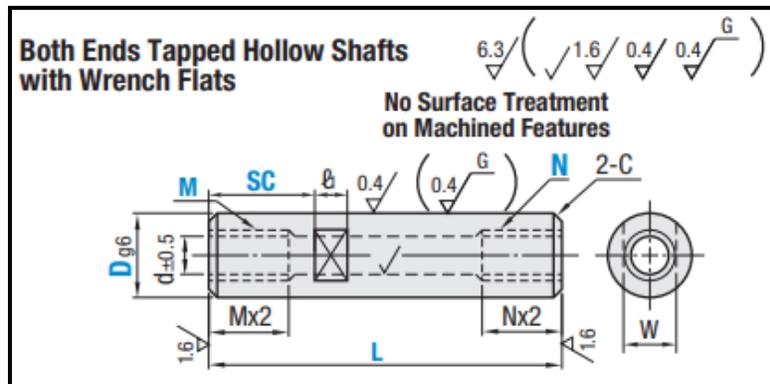


Figura 16. Dimensiones generales de eje, se aprecia el diámetro "D" con tolerancia g6 (MiSUMi USA, 2018)

Con este juego de tolerancias en buje y eje, se puede concluir que tendrá un claro para moverse de 0.01 a 0.03mm.

#### 3.2.4.4. Dimensiones de Pallet

Dado que el pallet con el que ya cuenta el proveedor (figura 17) de componentes de manufactura ya existe físicamente en las instalaciones de este, es necesario conocer las dimensiones que tiene, así como la ubicación de sus bujes de localización para de este modo, colocar los respectivos pernos de localización en la placa móvil del lifter.

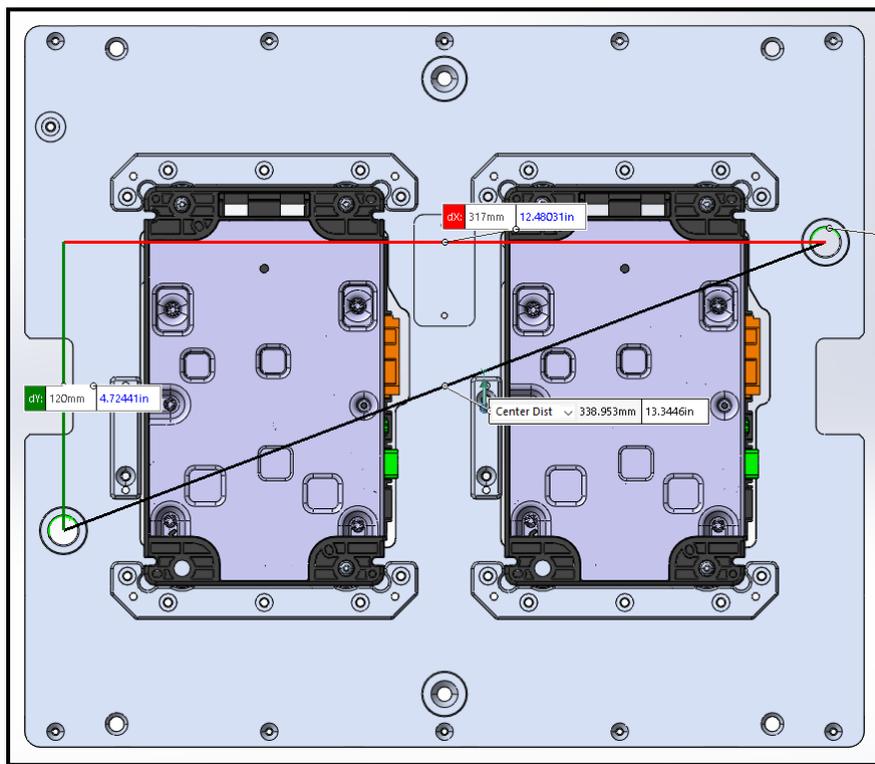


Figura 17. Pallet de transporte de producto del proveedor  
Elaboración propia

La medida general del pallet es de 6.5 x 300 x 350mm. En la imagen 17 se puede apreciar la distancia en la que se encuentran ubicados los bujes guías del pallet. Es esta misma distancia a la que se colocaran los pernos centradores de nuestro elevador diseñado.

Un estudio dimensional por separado nos arroja que, el diámetro de los bujes de los pallets tiene una variación desde 12.1 hasta 12.25 mm. Por lo cual, y considerando esta medida se seleccionan unos pernos guía de 12 mm de diámetro. Para absorber cualquier anomalía dimensional se solicita un perno redondo y un perno con forma de diamante.

El diseño del elevador final se muestra en la figura 18. Esto tomando en cuenta, dimensiones específicas para el pallet, así como los componentes seleccionados previamente.

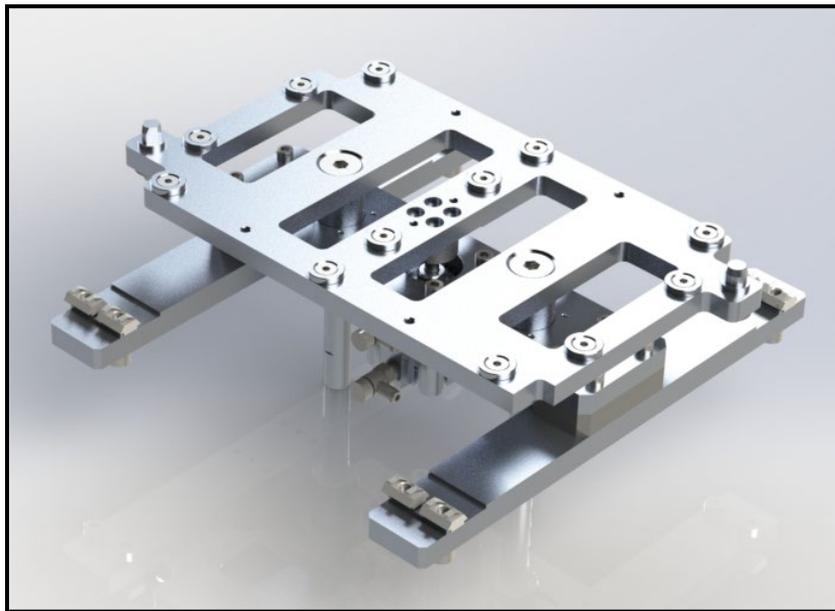


Figura 18. Diseño final elevador para proyecto  
Elaboración propia

### **3.2.5. Selección y/o diseño de sistema de sujeción**

En la selección del sistema de sujeción, se ven involucrados directamente dos sistemas primordiales que trabajan en conjunto en la celda: el alimentador y el EOAT.

#### **3.2.5.1. Alimentador**

Para el diseño del alimentador se tomará en cuenta la información que se proporciona por parte del cliente, esto como retroalimentación para la mejora del

diseño que se tiene de la celda anterior. Entre los aspectos que se deben tomar en cuenta, para el diseño del alimentador serán:

- Tiempo de operación del equipo sin resurtido de material mayor a 30 minutos.
- Carga dentro del equipo, o por medio de bandejas removibles.
- Dado que la tapa, forma parte de la vista o presentación del producto es necesario no dañar o marcar esta al momento de su manipulación.

Con el objetivo de eliminar el tipo de apilamiento de producto, se presenta un diseño (figura 19) para alojamiento de forma vertical de las tapas.

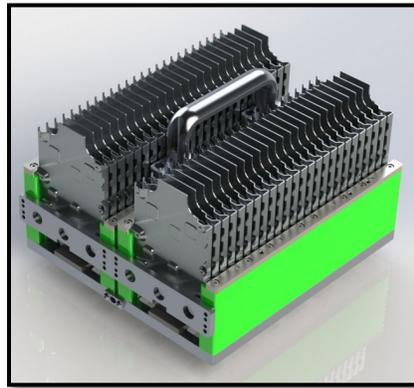


Figura 19. Nido móvil alimentador tapas  
Elaboración propia

Los materiales propuestos de forma inicial durante el proceso de diseño, para la elaboración de este nido, son bloques de Nylamid XL en las partes laterales. Adicionalmente y para evitar un descaste prematuro de los bloques se ha considerado un inserto en la parte superior, de tal forma que, al ingresar las tapas en el nido, estas no desgasten o despostillen las piezas de Nylamid.

Este nido tiene una capacidad de 25 piezas por lado, por lo que, con dos alimentadores en el equipo, se tiene una capacidad de 100 piezas, por lo que se cumple el criterio de autonomía del equipo mayor a 30 minutos.

Considerando el tiempo ciclo de 21.9 s, y con 100 piezas en sus nidos, tendremos que la autonomía teórica del equipo será de 36 minutos.

### 3.2.5.2. Sistema de movimiento

Dado que es necesario que el nido pueda ser removible, y además pueda entrar y salir del equipo sin que represente un riesgo al operador, o en su defecto, un paro del equipo para surtir material es necesario que los alimentadores entren completamente cargados, y salgan cuando ya no se cuenten con piezas.

Para realizar esto es necesario conocer las masas que se estarán desplazando, de tal manera que se pueda seleccionar un cilindro neumático que soporte esta carga (tabla 8). Así como el modelo que tentativamente se utilizara en el sistema.

Para realizar estos cálculos estaremos utilizando un software llamado "Guide Cylinder Selection Software" (SMC Corporation), considerando que este sistema se estará moviendo con ayuda de un par de guías lineales localizadas al costado del pistón. Este programa realiza los cálculos en base al centro de masa de la carga que estará moviendo. Por lo que es necesario tener esta información.

Tabla 8. Condiciones conocidas de carga para pistón seleccionado

Característica	Referencia
Tipo de montaje	Horizontal
Presión de aire nominal del equipo.	0.6 MPa
Masa del componente a manipular.	10.3 kg
Carrera requerida	300 mm
Velocidad promedio del pistón	100 mm/s
Ubicación centro de gravedad de la carga	
Lx	- 0.25 mm
Ly	59.76 mm
Lz	0.69 mm

Elaboración propia

Una vez que se tienen estos datos, se procede a abrir el software y se ingresan los datos, una vez hecho esto, se da clic sobre el botón de “calcular” y nos enviara los resultados (figura 20).

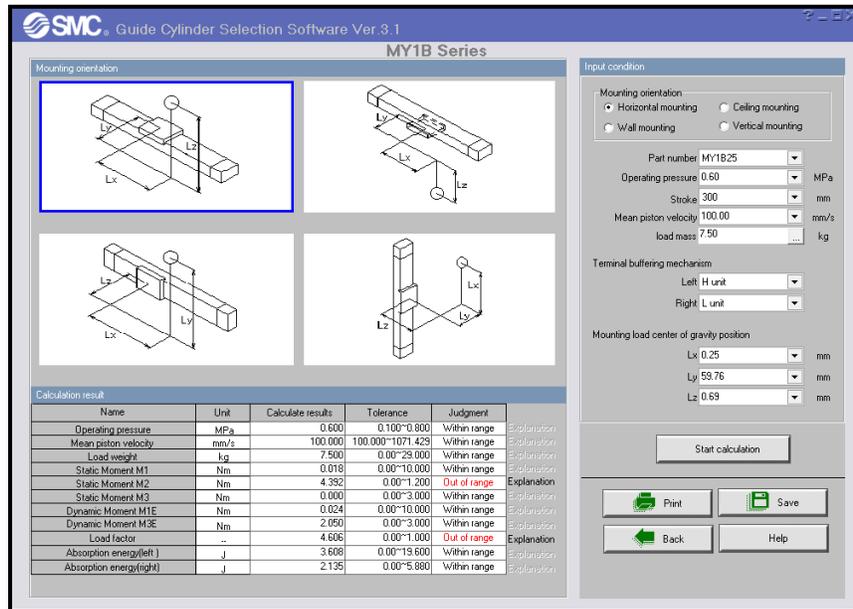


Figura 20. Cálculos realizados por el software para el pistón seleccionado (SMC Corporation)

Recordemos que este software realiza el cálculo del pistón sin considerar el uso de guías lineales. Por lo que agregaremos un par de guías lineales, una de cada lado, para soportar esta masa en movimiento, por lo que la masa en movimiento la estará soportando la guía lineal.

### 3.2.6. Sistema de sujeción

Para una correcta selección del método de sujeción de las piezas, es necesario tener en cuenta las siguientes características:

- Capacidad de carga.
- Fuerza de agarre.
- Geometría y dimensiones de las partes a manipular.
- Tolerancias del producto.
- Movimientos que realizara.
- Tipo de accionamiento (eléctrico, neumático).

- Tiempo de sujeción de la parte.
- Superficie de contacto.

Para la toma correcta de las tapas del alimentador existen dos formas posibles (ver tabla 9), la primera es por medio de un actuador neumático tipo gripper, el cual tomará la tapa por los extremos y la levantará, sujetándola hasta llegar a su posición de inserción donde la pieza será liberada; la segunda de ellas es utilizando un sistema de ventosas de vacío para la sujeción de la tapa.

Tabla 9. Comparativa sujeción por gripper y ventosa

Tipo	Accionamiento	Uso	Características Generales
<b>Gripper de presión</b>	Neumático o eléctrico	Transporte y manipulación de piezas, sin que sufran deformación al momento de ser sujetas.	Requieren partes para sujeción (interfaz).
			Mayor espacio para instalación y operación
<b>Ventosa de Vacío</b>	Neumático	Cuerpos con superficies lisas y poco porosas.	Alto consumo de aire
			Menor espacio para instalación y operación
			No requieren partes para sujeción (interfaz).

Elaboración propia

Dado que un accionamiento por gripper de presión sería un 50% más ancho, y considerando que los espacios son reducidos para el ingreso al alimentador de tapas, se opta por el diseño por medio de ventosas de vacío, debido a que no requiere componentes de interfaz entre el producto y la forma de sujeción, así como el espacio para su instalación es menor en comparación con el gripper de presión.

### 3.2.6.1. Calculo sistema de sujeción

Dentro de los generadores tipo Venturi, hay principalmente, dos tipos, los de una etapa y los de dos etapas, el primero tiene un solo Venturi en su cuerpo principal, mientras que los de dos etapas tienen dos generadores tipo Venturi, uno delante del otro, los cuales como resultado tienen una mayor capacidad.

Existen otros métodos de generación de vacío más industriales y para aplicaciones donde el vacío tiene un alto consumo, tal es el caso de las bombas de vacío.

Ese tipo de generadores, por lo regular necesitan de otros elementos que los ayuden con la ejecución de un óptimo desempeño, esto sin considerar el elemento de generación de presión de aire, estos componentes son:

- Válvula neumática accionamiento eléctrico
- Generador de vacío.
- Regulador de flujo
- Indicador de presión de vacío.
- Filtro de succión.

Es posible seleccionar cada uno de los componentes con los que contará el sistema (solución discreta), o en su defecto, seleccionar uno que integre todos los componentes arriba mencionados en un solo cuerpo (selección integrada).

Existen métodos numéricos y por medio de software dedicado para el cálculo de los componentes necesarios para un sistema de vacío.

Cada marca de componentes neumáticos cuenta con su software de ayuda y selección para sus propios componentes. En este trabajo nos apoyaremos con el software de selección de componente de SMC llamado "Vacuum Absorption Transfer System Model Selection Software" (SMC Corporation), el cual nos guiará a través de los pasos que hay que seguir, con el fin de obtener un componente correctamente seleccionado.

### **3.2.6.2. Datos necesarios para el uso del software**

Para tener un uso fluido de este software de ayuda es necesario tener o contar a la mano con los siguientes datos y/o información:

- Tipo de sistema a usar (discreto o integrado).
- Masa del componente a manipular.
- Presión de aire nominal del equipo.
- Número de ventosas de vacío a utilizar.
- Número de generadores de vacío a utilizar.

- Longitud y diámetro de mangueras de conexión (del generador a la ventosa).
- Presión nominal de vacío requerida (por lo regular -40 kPa).
- Factor de seguridad.

Para la aplicación que se tiene, se consideran los siguientes datos (tabla 10):

Tabla 10. Factores para considerar en la aplicación

Característica	Referencia
Tipo de sistema a usar (discreto o integrado).	Integrado
Masa del componente a manipular.	0.1 Kg
Presión de aire nominal del equipo.	0.6 kPa
Numero de ventosas de vacío a utilizar.	4
Numero de generadores de vacío a utilizar.	1
Longitud y diámetro de mangueras de conexión (del generador a la ventosa).	
Alimentación	6 mm
Tramo 1 (Generador - Distribuidor)	0.75 m / Ø 8 mm
Tramo 2 (Distribuidor - Ventosas)	0.5 m / Ø 4 mm
Presión nominal de vacío requerida (por lo regular -40 kPa).	- 40 kPa
Tiempo de respuesta (toma de parte)	< 0.3 s
Factor de seguridad.	> 1.5

Elaboración propia

### 3.2.6.3. Uso del software

Dado que cada software tendrá su propia forma de uso, solo se reflejará en este trabajo aquellas partes donde la información sea importante y genérica.

### 3.2.6.4. Condiciones o valores de entrada

En esta pantalla del software de selección de componentes, se tiene que ingresar parte de los datos mencionados en la tabla 8 (figura 21). Entre otras condiciones que se configuran están la forma en que se eleva la masa a manipular. Uno de los aspectos que cambian al momento de seleccionar esta configuración de carga en vertical, es el factor de seguridad, el cual cambia a ocho de forma automática.

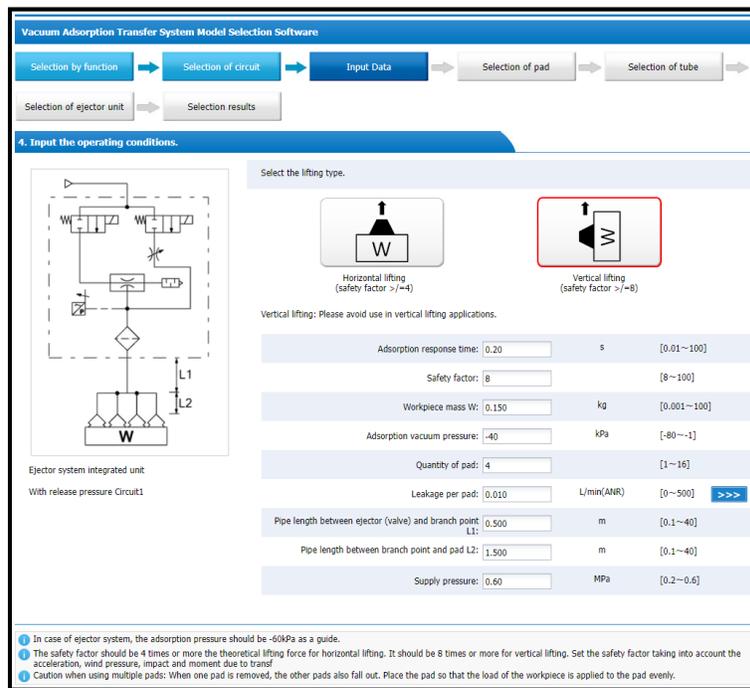


Figura 21. Uso de configurador de componentes de vacío, datos iniciales (SMC Corporation)

El sistema de vacío básicamente trabaja removiendo el volumen de aire que se tiene a partir del propio generador, por lo cual la importancia de conocer las longitudes y diámetros de las mangueras que se estarán utilizando; así como la dimensión de la ventosa y/o ventosas que se tendrán conectadas al sistema de vacío.

### 3.2.6.5. Selección de la ventosa

En esta pestaña del software (ver figura 22) será configurada la forma, tipo de sujeción mecánica y el material de la ventosa. El material de la ventosa para

nuestra aplicación deberá ser un material que cumpla con requerimientos ESD (Electrostatic Discharge, ESD por sus siglas en ingles), esto debido a la proximidad y contacto mecánico que se tiene entre el housing, PCB (Printed Circuit Board) y tapa (por requerimientos de la empresa proveedora).

Series	Pad diameter	Pad shape
ZP3	ø1.5~ø125	Flat, Bellows, Flat pad with rib and groove
ZP2	ø0.8~ø340	flat, thin flat, bellows, nozzle, flat pad, oval, sponge, heavy-duty pad flat, heavy-duty pad bellows, heavy-duty pad oval, heavy-duty pad thin flat
ZP	ø2~ø125	flat, thin flat, bellows, deep, oval, heavy-duty pad flat, heavy-duty pad bellows

**Select the pad specifications.**

Pad type: With buffer (Rotating) >>>

Pad shape: Bellows type (1.5 convolutions) >>>

Pad size: ø10

Pad material: Conductive silicone rubber >>>

Vacuum inlet: Female thread M5X0.8

Vacuum inlet direction: Lateral >>>

Mounting: Male thread M8X0.75

Buffer stroke: 3

Accessory: None

**Select the pad part number.** Applicable product No. 1 Case

Product number	Pad size mm	Safety factor	Vacuum inlet	Mounting
● ZP3-Y10BGSJ3-B5	ø10	8.5	Female thread M5X0.8	Male thread M8X0.75

Figura 22. Pantalla de selección de forma y características de ventosas (SMC Corporation)

Es necesario tener en consideración en conjunto con el buffer mecánico, que las ventosas tendrán que amortiguar impactos al momento de la toma del producto, y al momento de dejar el producto (figura 23), es de esta manera que se selecciona con muelles en su forma principal.

Otras características que se configuran es el método de sujeción, conexión de entrada de vacío.



Figura 23. Ventosa seleccionada (SMC Corporation)

### 3.2.6.6. Selección del generador de vacío

Dado que, se ha optado por la solución integrada al sistema de vacío, se selecciona esta opción en el software (figura 24), y se configuran las opciones relacionadas.

Como se menciona anteriormente, la solución integrada contiene dentro de esta los elementos para el óptimo funcionamiento de un sistema de vacío, como lo son las electroválvulas para su activación, filtro, silenciador e indicador de presión.

Series	Name	Supply pressure range MPa	Maximum vacuum pressure kPa	Standard supply pressure MPa
ZK2	Vacuum unit	0.3 - 0.6	-91	0.35
ZK2	Vacuum ejector system with valve			ZK2[1]5-0.37
ZR	Large vacuum unit	0.2 - 0.55		0.45
ZR	Vacuum ejector system with valve			SType - 04 LType - 03
ZL1/ZL3/ZL6	With multistage ejector valve	ZL1 - 0.2 - 0.5 ZL3/ZL6 - 0.2 - 0.6	ZL1 - 04 ZL3/ZL6 - 90(MType) ZL3/ZL6 - 93(HType)	ZL1 - 0.35 ZL3 - 0.35(HType) ZL3 - 0.50(HType) ZL6 - 0.37(MType) ZL6 - 0.52(HType)

Select the ejector unit specification.

Valve type:

Body type:

Ejector exhaust method:

Vacuum port:

Supply port:

Exhaust port:

Release pressure supply port:

Pilot pressure supply port:

Other specifications:

Select the part number of the ejector unit. Applicable product No. 4 Case

Ejector unit part number	Manifold part number	Nozzle diameter (mm)	Ejector exhaust method	Other specifications	Quantity of components used simultaneously
<input type="checkbox"/> ZK307N[1]08		0.7	Silencer exhaust (silencer built-in)	CE-compliant	2
<input type="checkbox"/> ZK310N[1]08		1.0	Silencer exhaust (silencer built-in)	CE-compliant	2
<input type="checkbox"/> ZK312N[1]08		1.2	Silencer exhaust (silencer built-in)	CE-compliant	1
<input checked="" type="checkbox"/> ZK315N[1]08		1.5	Silencer exhaust (silencer built-in)	CE-compliant	1

Figura 24. Selección de características de generador de vacío (SMC Corporation)

Un apartado pendiente de definir en el software de selección es el tamaño de la boquilla de vacío (figura 25). Entre mayor sea el tamaño de esta, la succión que se genere será mayor. Por lo tanto, una boquilla mayor permitirá mover más rápido el volumen de aire que se encuentre alojado en el sistema, y presentará mejores tiempos de respuesta, así como un factor de seguridad mayor, de acuerdo con el peso a mover (SMC Corporation).

Ejector Specifications		Model	ZK2□07	ZK2□10	ZK2□12	ZK2□15
Nozzle diameter	[mm]		0.7	1.0	1.2	1.5
Max. suction flow <sup>Note 5)</sup>	Port exhaust	[l/min (ANR)]	34	56	74	89
	Silencer exhaust/Complex exhaust	[l/min (ANR)]	29	44	61	67
	High-noise reduction silencer exhaust	[l/min (ANR)]	34	56	72	83
Air consumption <sup>Note 5)</sup>	[l/min (ANR)]		24	40	58	90
Maximum vacuum pressure <sup>Note 5)</sup>	[kPa]		-91			
Supply pressure range	[MPa]		0.3 to 0.6			
Standard supply pressure <sup>Note 6)</sup>	[MPa]		0.35			0.4 (0.37)

Note 5) Values are based on standard of SMC measurements. They depend on atmospheric pressure (weather, altitude, etc.) and measurement method.  
 Note 6) The value in ( ) is for without valve. For nozzle size 07 to 12, the value is common to the ejectors with valve and without valve.

Figura 25. Características de diferentes tamaños de diámetro de boquillas para generadores de vacío (SMC Corporation)

El generador de vacío, en su cuerpo cuenta con dos electroválvulas, la primera de ellas es para activar el generador tipo Venturi, la segunda es para romper este vacío por medio de presión positiva, es decir, al activarse enviará un chorro de aire a presión para cortar el vacío.

### 3.2.6.7. Comparativa gráfica

Una forma de realizar una selección de componentes adecuadamente es realizando la comparativa que se muestra en la figura 26, entre un generador de vacío con una tobera de 0.7 y el seleccionado de 1.5.

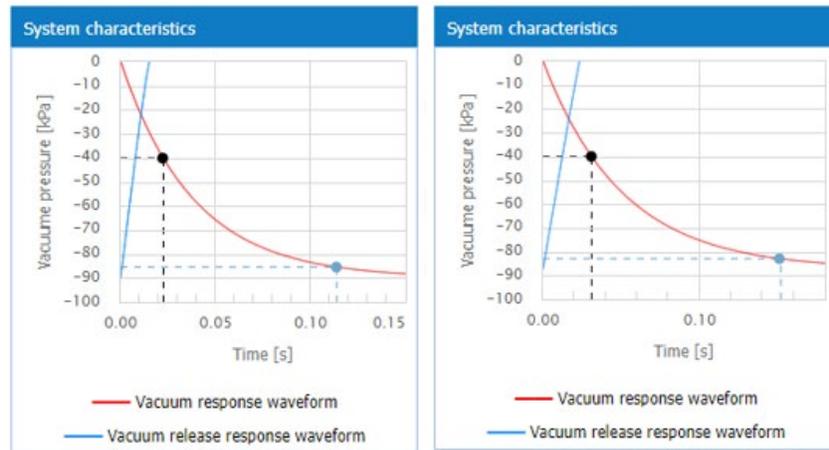


Figura 26. Comparativa tiempos de reacción generador con tobera de 1.5 (izquierda) y 0.7 (derecha) (SMC Corporation)

En esta comparativa se puede observar cómo los tiempos de respuesta son más rápidos en el generador con tobera más grande. Por lo tanto, este último es seleccionado para la aplicación.

### 3.2.7. Sistema rotativo

Dado que las tapas se encuentran apiladas de forma vertical, separadas por el mismo nido que las aloja, y la posición de ensamble final es en horizontal, es necesario que la tapa gire 90°, pasando de su orientación vertical a una horizontal. Este dispositivo tendrá que estar alojado dentro del mismo cuerpo del EOAT, y tendrá que contener a las ventosas de vacío, así como un sensor de detección de pieza.

#### 3.2.7.1. Actuador rotativo neumático

Para realizar la correcta selección de este componente, así como sus respectivos cálculos, se utilizará un software llamado "Rotary Actuator Model Selection Software" (SMC Corporation)

Al igual que en los anteriores cálculos, para tener una navegación fluida a través de este software, es necesario tener a la mano los siguientes datos (tabla 11):

Tabla 11. Datos de entrada para cálculo de sistema de giro

Característica	Referencia
Masa del componente a manipular.	0.41327 kg
Presión de Operación	0.6 Mpa
Distancia al centro de masa (perpendicular al eje)	0.006 m
Distancia al centro de masa (paralelo al eje)	0.06327 m
Angulo de giro	90°
Momento Giro (Lzz)	0.00078
Tiempo de Giro	0.3 s

Elaboración propia

### 3.2.7.2. Condiciones o valores iniciales de la carga

Una vez que se ha ingresado al software, y configurado la forma correcta de la aplicación, será necesario agregar los datos (ver figura 27) que conciernen a la carga que llevara consigo el actuador.

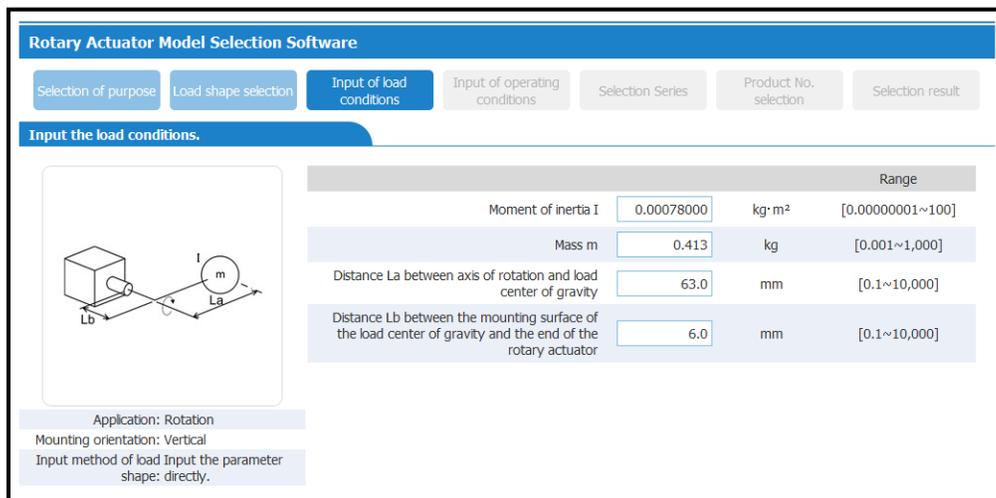


Figura 27. Pantalla de condiciones iniciales de software (SMC Corporation)

### 3.2.7.3. Condiciones o valores iniciales operacionales

En esta pantalla a diferencia de la anterior, en la cual se configuran los valores que conciernen a la masa, en esta se configuran las condiciones del actuador (figura 28).

Figura 28. Condiciones de operación del actuador (SMC Corporation)

Dentro de este mismo software el tipo de actuador es seleccionado (figura 29), las opciones que se encuentran son: actuadores de piñón y cremallera y con leva tipo "Vane". Otras variables dentro de estas dos clasificaciones son, alta precisión, de baja velocidad, con eje rotativo.

Figura 29. Configuración de actuador rotativo (SMC Corporation)

Para la aplicación que se realiza, y de tal manera que el soporte de la parte giratoria sea alto, se ha seleccionado un tipo piñón y cremallera de alta precisión, el cual tiene amortiguadores de carga externos a los topes del actuador.

Los resultados indican que el actuador seleccionado (ver figura 30) cumple con los criterios de esfuerzo, salvo la nota "E", la cual corresponde a una indicación para agregar los topes externos.

Una vez que se ha terminado de correr el programa, los resultados para la selección del actuador han sido aceptables. Por lo que se cumplen con las necesidades de diseño.

Calculation results			
Items	Unit	Input values/Calc. values	Allowable range
Ambient temperature	°C	20	0~60
Supply pressure	MPa	0.60	0.1~0.6
Rotating time	s/90°	0.3	0.2~0.7
Rotating angle	°	90.0	43~190
Required torque	N·m	1.547	0~2.2
Load M 	N·m	0.0242844	0~4.8
Load Fr 	N	4.0474	0~166
Load Fsa 	N	0	0~197
Load FSb 	N	0	0~137
Kinetic energy	J	0.04276821	
Moment of inertia I	kg·m²	0.00078	

Figura 30. Resultados de cálculos efectuados (SMC Corporation)

### 3.2.8. Selección y/o diseño de sistema de purga/rechazo

El sistema de rechazo y/o purga de la celda se encargará de retirar las tapas que el herramental, por motivos de paros o interrupciones en la línea, ya no requiera para efectuar su función. Este sistema deberá de evitar que el operador meta la mano a la celda, con la finalidad de descargar el material una vez que se ha llenado este nido, así como evitar el paro de la celda durante la descarga del material. Esta eyección de forma automática implica el uso de un sensor, el cual determinará el nivel máximo de tapas que ha alcanzado el nido donde se alojarán estas, y de esta manera moviendo el nido hacia afuera.

El nido con el contará este sistema de purga (ver figura 31), deberá de tener medidas más grandes respecto a la pieza que va a soportar, es decir si la pieza en su parte más ancha mide 180mm, el nido al menos deberá de tener un margen de un milímetro por lado, es decir el nido deberá tener una medida de 182mm.

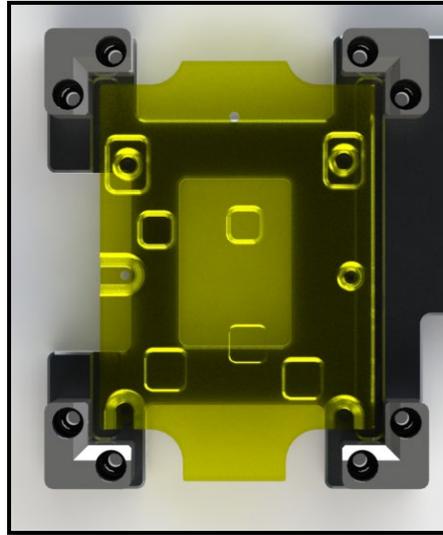


Figura 31. Nido de rechazo propuesto  
Elaboración propia

La purga se realizará cada que se falle una inserción de tapa y/o la celda caiga en una condición de error.

### **3.2.8.1. Selección de actuador neumático**

Para lograr los movimientos de forma automatizada, será necesario utilizar un actuador neumático, el cual preferentemente deberá de contar con guías internas, esto con el fin de evitar el uso de guías externas adicionales. Por lo tanto, volveremos a utilizar el software "Guide Cylinder Selection" (SMC Corporation) para determinar qué cilindro se acopla más a nuestras necesidades.

Con base a los anteriores cálculos, es necesario que se tenga la siguiente tabla antes de efectuar los cálculos en el software dedicado (tabla 12):

Tabla 12. Valores de referencia selección actuador neumático

Característica	Referencia
Tipo de montaje	Horizontal
Presión de aire nominal del equipo.	0.6 MPa
Masa del componente a manipular.	1.444 kg
Carrera requerida	200 mm
Velocidad promedio del pistón	100 mm/s
Ubicación centro de gravedad de la carga	
X	- 180.69 mm
Y	14.16 mm
Z	19.64 mm

Elaboración propia

Ya que se tienen estos datos, se ingresan al software de cálculo, el cual arroja los siguientes resultados (figura 32):

The screenshot displays the MY1M Series software interface. On the left, there are four diagrams illustrating different mounting orientations: Horizontal, Ceiling, Wall, and Vertical. The 'Horizontal mounting' diagram is highlighted with a blue border. On the right, the 'Input condition' panel shows the following settings:

- Mounting orientation:  Horizontal mounting,  Ceiling mounting,  Wall mounting,  Vertical mounting
- Part number: MY1M25
- Operating pressure: 0.60 MPa
- Stroke: 200 mm
- Mean piston velocity: 100 mm/s
- load mass: 1.50 kg
- Terminal buffering mechanism: Left Air cushion, Right Air cushion
- Mounting load center of gravity position: Lx 180.69 mm, Ly 14.16 mm, Lz 19.64 mm

At the bottom right, there are buttons for 'Start calculation', 'Print', 'Save', 'Back', and 'Help'. Below the diagrams, the 'Calculation result' table is shown:

Name	Unit	Calculate results	Tolerance	Judgment	Explanation
Operating pressure	MPa	0.600	0.150~0.800	Within range	Explanation
Mean piston velocity	mm/s	100.000	100.000~714.286	Within range	Explanation
Load weight	kg	1.500	0.00~38.000	Within range	Explanation
Static Moment M1	Nm	2.656	0.00~15.000	Within range	Explanation
Static Moment M2	Nm	0.208	0.00~9.000	Within range	Explanation
Static Moment M3	Nm	0.000	0.00~2.400	Within range	Explanation
Dynamic Moment M1E	Nm	0.135	0.00~15.000	Within range	Explanation
Dynamic Moment M3E	Nm	0.097	0.00~2.400	Within range	Explanation
Load factor	..	0.289	0.00~1.000	Within range	Explanation
Absorption energy(left)	J	0.015	0.00~1.600	Within range	Explanation
Absorption energy(right)	J	0.015	0.00~1.600	Within range	Explanation

Figura 32. Cálculos realizados en software de selección (SMC Corporation)

### 3.2.9. Seguridad del equipo

La seguridad del equipo es muy importante para la correcta operación de este. Estos sistemas de seguridad están orientados a la protección del operador, del proceso (o función de la celda), así como los componentes internos de la misma.

La celda que se ha seleccionado, dentro de los aspectos de seguridad que tiene, ya cuenta con dos cortinas de seguridad con la capacidad de detección de mano, las cuales, han sido colocadas en las partes laterales del equipo (figura 33).

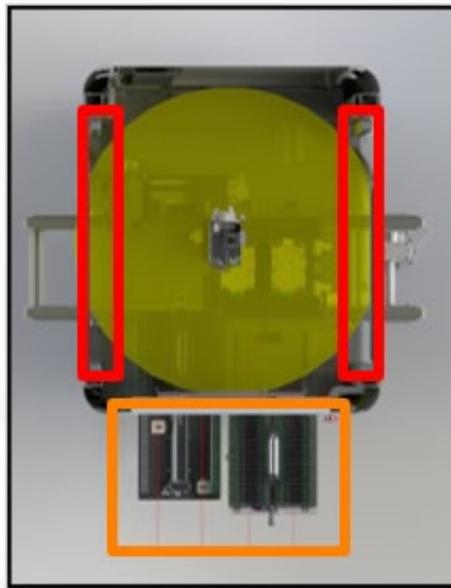


Figura 33. Sección de estación, en amarillo área útil de trabajo del robot, en rojo cortinas de seguridad, en naranja área descubierta del equipo  
Elaboración propia

Sin embargo, la parte frontal del equipo se encuentra descubierta, y es donde el operador está interactuando con el equipo, alimentándolo de tapas cada que lo requiera, es por esto que se ve necesario agregar un guarda al frente del equipo que cubra los movimientos automáticos de los alimentadores, y en adición, un par de cortinas de seguridad, que tengan la capacidad de detección de dedos, así como una guarda abatible que estará al frente del equipo, la cual nos permitirá alimentarlo con mayor facilidad, esta guarda también contará con un interruptor de seguridad.

### 3.2.9.1. Guarda frontal

La guarda frontal (figura 34) será la protección física del operador hacia el equipo, de tal manera que los alimentadores podrán entrar y salir de la estación de forma automática, y sin riesgo de que el operador sea lesionado durante el movimiento de estos.

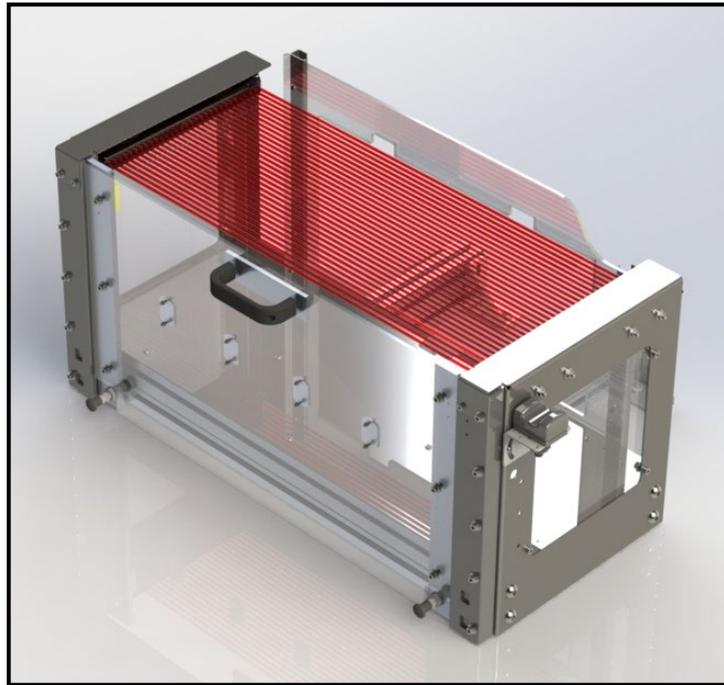


Figura 34. Diseño de guarda frontal de equipo  
Elaboración propia

Esta guarda de forma interna deberá de alojar a los componentes necesarios para la seguridad del equipo, así como permitir la entrada y salida de material, y la apertura de puertas de servicio del equipo.

### 3.2.9.2. Cálculo cortina de seguridad

Para el cálculo de la cortina de seguridad, es necesario conocer cierta información eléctrica de tiempos de respuesta, así como velocidades de penetración de cuerpos dentro de las áreas que se quieren proteger.

Existen diversos métodos para el cálculo de la distancia de colocación de la cortina de seguridad, como es el OSHA, ANSI y la norma UNE-E ISO 13855:2011, para esta

aplicación se utilizará la norma ISO 13855:2011 (Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT), 2018). Para esto será necesario conocer la formula general para el cálculo de esta distancia (ecuación 5):

$$S_{RT} = k * T + C$$

Ecuación 5. Calculo de distancia minima instalacion cortinas de seguridad.

En donde:

$S_{RT}$  → Distancia en milímetros desde la zona peligrosa al plano más próximo (distancia de seguridad).

$k$  → Constante de velocidad en mm/s (velocidad de penetración).

$T$  → Tiempo total de detención del sistema (expresado en segundo).

$C$  → Factor de relacionado a la aplicación.

T puede ser considerado como una sumatoria, dividida en dos secciones; la primera contendrá la suma de los tiempos de reacción de los dispositivos que interactúan en el sistema de seguridad (relevadores, bobinas, robot entre otros); la segunda parte corresponde a los tiempos de detención total de la parte móvil (herramental de prensa, robot, por ejemplo).

Tabla 13. Datos del equipo para el cálculo de la distancia de la cortina

Característica	Referencia
Tipo de montaje	Vertical (perpendicular)
Velocidad penetración	1600 mm/s
Tiempos de activación	
Válvula Neumática	5 ms
Cortinas	6.6 ms
Otro	3 ms

Elaboración propia

Adicionalmente para el cálculo, es necesario conocer la orientación o posición de la cortina de seguridad.

Un aspecto importante es que, en caso de que una persona entre dentro del área de trabajo que se ha limitado por medio de la cortina, el sistema no deberá de operar nuevamente hasta que el individuo este fuera del área de peligro.

Ajustando la ecuación 5, de acuerdo con la aplicación que se tiene, tenemos que, queda de la siguiente manera (ecuación 6):

$$S_{RT} = (k * T) + (8 * (d - 14))$$

Ecuación 6. Calculo cortinas aplicación de celda.

Donde la constante C ha sido remplazada por una constante capacidad de detección de esta, representada por la letra "d".

Entonces utilizando los valores que ya se tienen (ver tabla 13, tiempos de activación), y utilizado la ecuación 6, tenemos:

$$S_{RT} = (k * T) + (8 * (d - 14))$$

$$S_{RT} = (1600 * 0.0146) + (8 * (14 - 14))$$

$$S_{RT} = (1600 * 0.0146)$$

$$S_{RT} = (1600 * 0.0146)$$

$$S_{RT} = 2.336 \text{ mm}$$

Lo cual nos indica que podemos instalar nuestra cortina a una distancia mínima de 2.336 milímetros del área a proteger (figura 35).

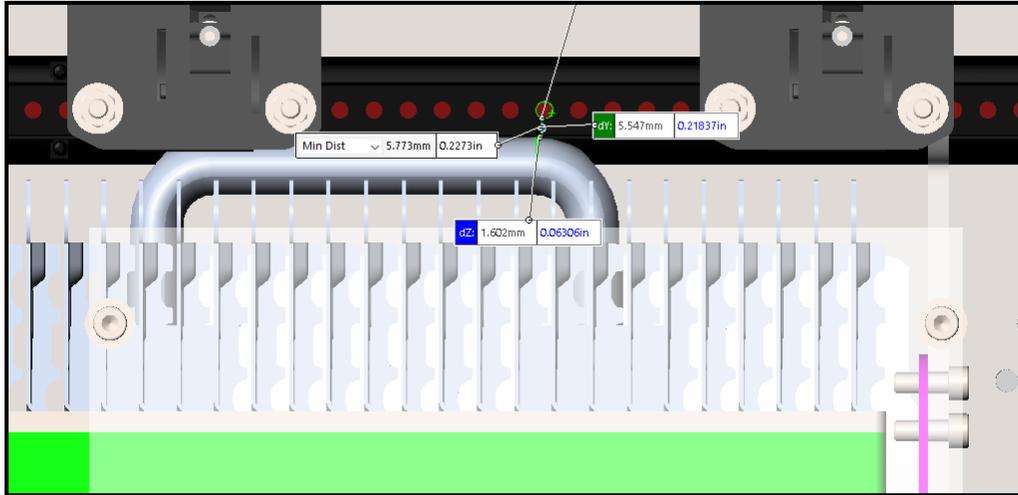


Figura 35. Area libre para haz de luz de cortina de seguridad  
Elaboración propia

Una vez realizada la comprobación, podremos visualizar la integración de la de este sistema con los componentes que la forma, hablando de la seguridad (figura 36).

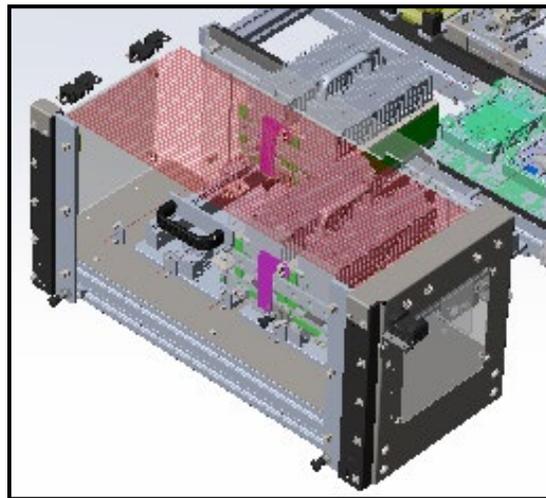


Figura 36. Integración de la guarda de seguridad con sus cortinas  
Elaboración propia

### 3.3. INTEGRACIÓN DEL EQUIPO

En esta sección se revisará la integración de los sistemas que se han seleccionado previamente, con el fin de tener una correcta operación del equipo.

Como se ha establecido en secciones anteriores, la estación tiene un flujo de piezas a través de un transportador de bandas, esto con ayuda de un pallet de dos cavidades. Este pallet viene desde las estaciones previas que se encuentran en la línea de ensamble de este producto. Una vez que el pallet ha ingresado a la estación, un elevador levantará y orientará este pallet dentro de la celda. En paralelo a estas dos tareas el robot se moverá y tomará una tapa, con ayuda del EOAT, del nido y la sostendrá hasta que el elevador llegue a su posición de trabajo, y finalmente colocándola en su posición de ensamble final.

Se revisará la integración de los principales sistemas que realizarán la función primaria del equipo, la cual corresponde a un sistema "Pick & Place".

### **3.3.1. Integración de celda de manufactura**

La celda de manufactura que se ha seleccionado de tamaño 35, se nos entrega completamente ensamblada (ver figura 37).

Esta celda se entrega con tapas laterales de policarbonato, sin embargo, estas deben ser remplazadas por tapas que cumplan requerimientos ESD que solicita el cliente, ya que las actuales, no cuentan con esta característica crítica para la empresa proveedora. Las tapas requeridas para la operación de la estación son dos tapas laterales y una tapa frontal.



Figura 37. Celda tamaño 35  
Elaboración propia

Para el montaje de los componentes mecánicos que se utilizaran, es necesario realizar barrenos de sujeción para componentes en la placa base de esta, por lo que es necesario remover la placa base de la celda, y enviarla a retrabajar en un taller de maquinados, esto con el fin de realizar barrenos roscados y barrenos para pernos de localización de componentes, así como los maquinados indicados en la pieza (ver figura 38).

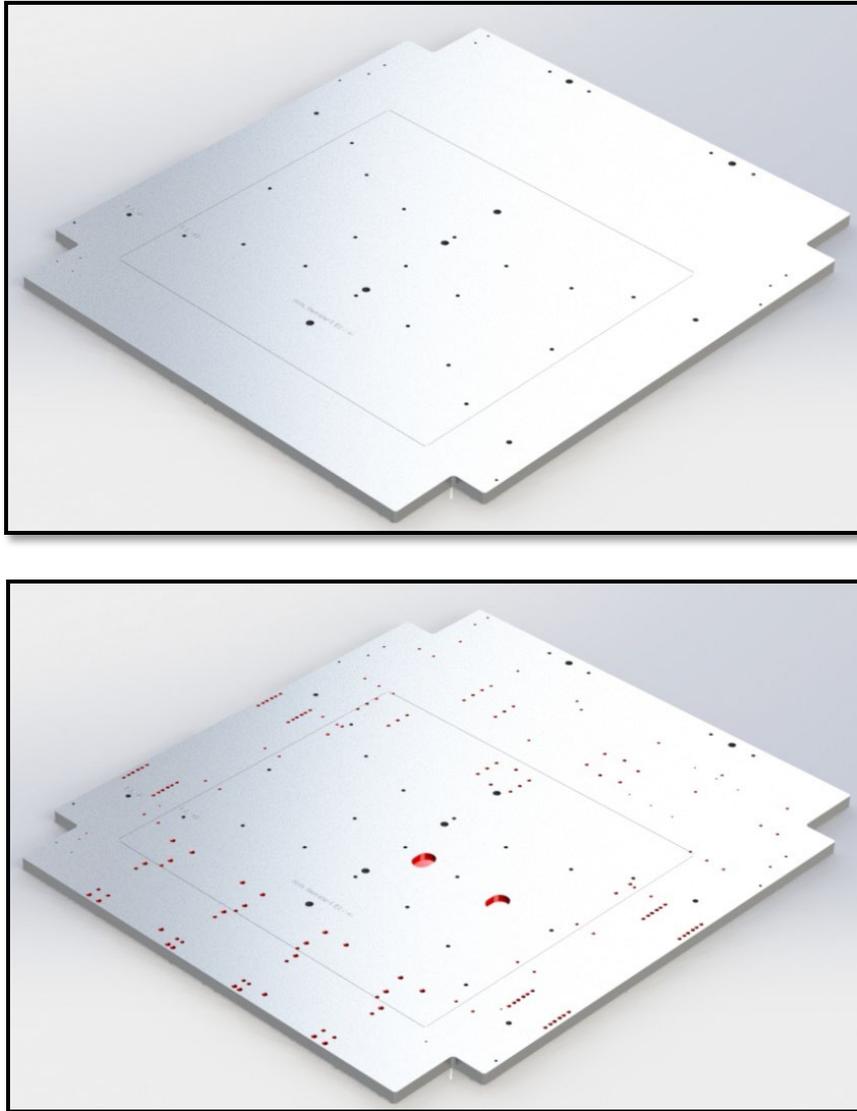


Figura 38. En la parte superior, se muestra placa base sin modificar; en la parte inferior, se muestra placa base modificada con barrenos de sujeción los cuales, se resaltan en rojo

Elaboración propia

### 3.3.2. Integración de robot

La celda de manufactura seleccionada, dentro de su integración, ya se entrega con el sistema de manipulación seleccionado; para este caso, un robot SCARA de 4 ejes, el cual es manufacturado por la empresa NACHI®, y que tiene un número de parte EZ03V4-02-4525.

El robot se encuentra sujeto a una placa de aluminio (ver figura 39), que se encuentra localizada en la parte superior de la celda. La placa se sujeta a la celda por medio de insertos de acero a la estructura de esta, y, aprovecha los travesaños que recorren la parte superior de la celda transversalmente, para sujetarse de esta misma parte.

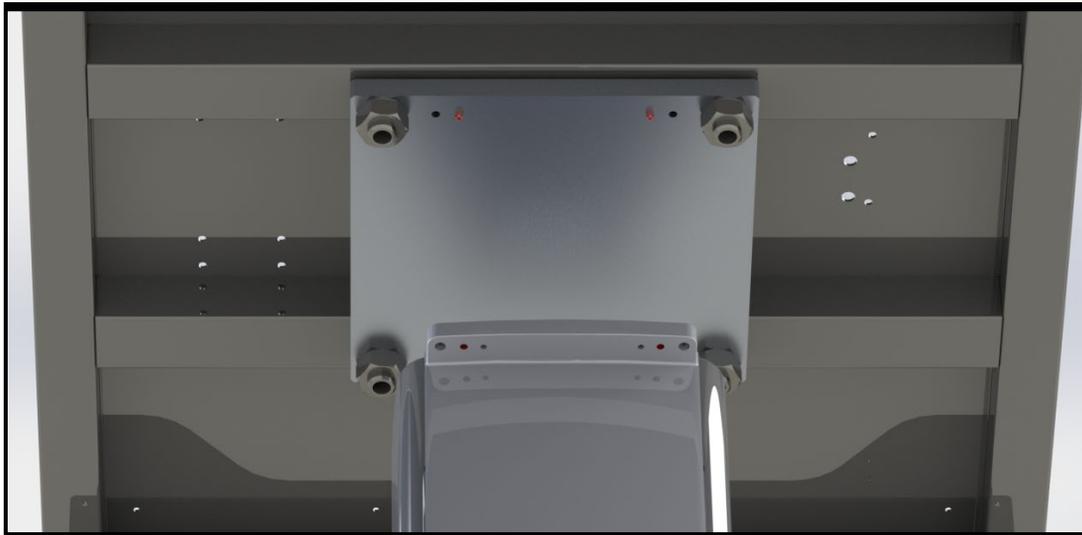


Figura 39. Placa sujeción de robot SCARA NACHI EZ03  
Elaboración propia

Esta placa tiene los barrenos de localización para pines (de acuerdo con el patrón de barrenos del robot), así como los barrenos para sujeción de este.

### **3.3.3. Integración de sistema de banda transportadora**

Este componente del equipo es el que encargará de mover los pallets a través de la estación, los cuales, para la estación de colocación de tapa, serán alimentados por una estación previa, y forma parte de la línea de ensamble completa del cliente final. Una característica importante que se tiene que considerar en el diseño, y durante la implementación de este componente, es la altura de trabajo del equipo, la cual se ve reflejada directamente en la altura de ubicación del transportador.

La altura de trabajo del transportador deberá de ser la misma que se tiene en todo el conjunto de equipos que conforman la línea de ensamble de la empresa proveedora, la cual esta estipulada en 950mm con una tolerancia de  $\pm 15$ mm.

Al utilizar esta altura de referencia, es necesario agregar al transportador comercial, un sistema de soportes verticales (figura 40), los cuales sujetarán al mismo, y brindarán la altura requerida. El ajuste de altura final será absorbido por los propios niveladores del equipo.



Figura 40. Bases para transportador  
Elaboración propia

### 3.3.4. Integración de elevador

El elevador de esta estación se ha considerado como un ensamble que se integrará a la estación, sujetándolo al cuerpo del mismo transportador (ver figura 41). Dado que este ensamble ayudará a orientar el pallet, para que el producto pueda ser ensamblado, se considera que es un ensamble que no se va a remover de su posición de instalación, en un periodo de tiempo largo. Por lo tanto, el acceso para la sujeción de este al transportador no será un factor importante a discusión.

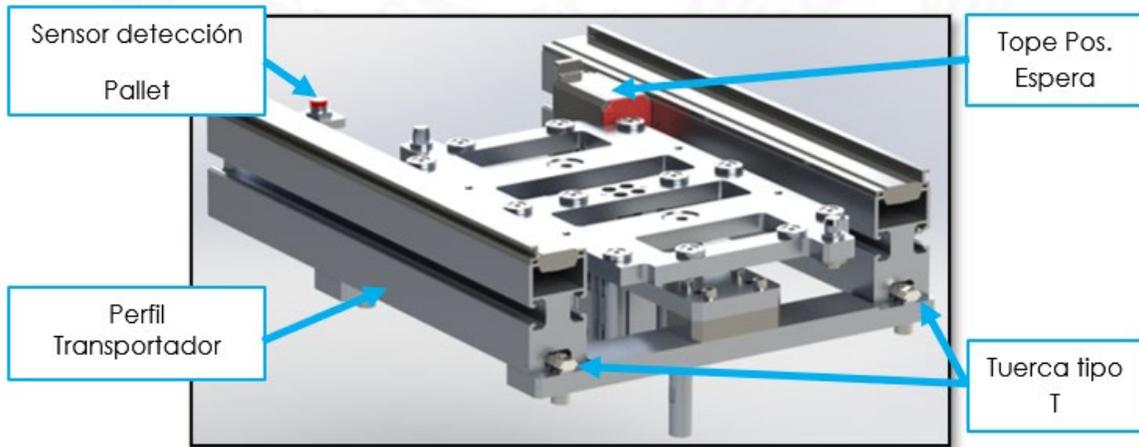


Figura 41. Sección de transportador, donde se muestra la integración del lifter en el mismo  
Elaboración propia

El ensamble del elevador será atornillado al perfil de la banda transportadora, por medio de unas tuercas tipo T las cuales cuentan una con rosca para tornillo M8, estas se insertan dentro de la ranura del perfil de la banda transportadora, y ejercen presión dentro del mismo perfil al momento de que los tornillos son apretados.

### 3.3.5. Integración sistema de movimiento y nidos

Una vez realizados los cálculos de los sistemas involucrados (ver sección 3.2.5), se tiene como resultado el siguiente sistema de alimentación para las tapas ya integrado, el cual cumple con los criterios de autonomía del equipo.

Este sistema tendrá dentro del mismo, el conjunto del sistema de movimiento, nidos y guías lineales, los cuales se muestran en la figura 42.

Se aprecia la orientación de forma vertical del producto, así como las guías lineales y el actuador que mueve este nido.

Dentro de las características a considerar, es la altura en la que el sistema se estará moviendo e interactuando con el transportador, siendo este último quien ya tiene una altura definida (ver 4.3), y la cual es de 167mm, tomando como referencia la cara superior de la placa base, y el ras de la banda transportadora.

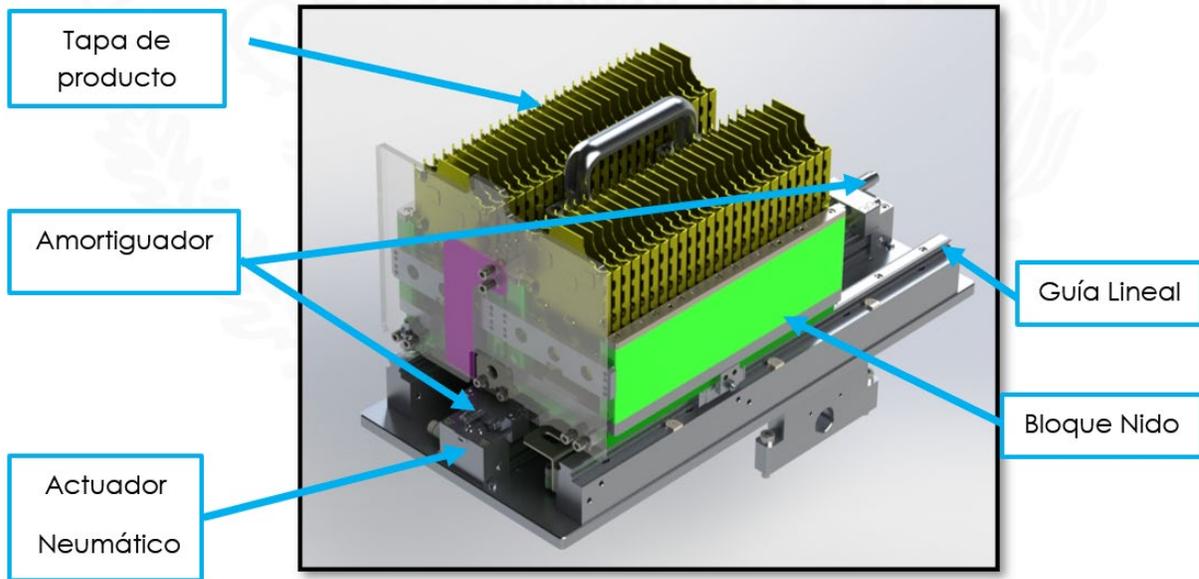


Figura 42. Integración de nido y sistema de movimiento  
Elaboración propia

### 3.3.6. Integración de EOAT

La integración de los sistemas calculados en el capítulo anterior (3.2.5 a 3.2.7), nos da como resultado, esta opción de diseño del EOAT, el cual se requiere para la correcta operación del equipo (figura 43).

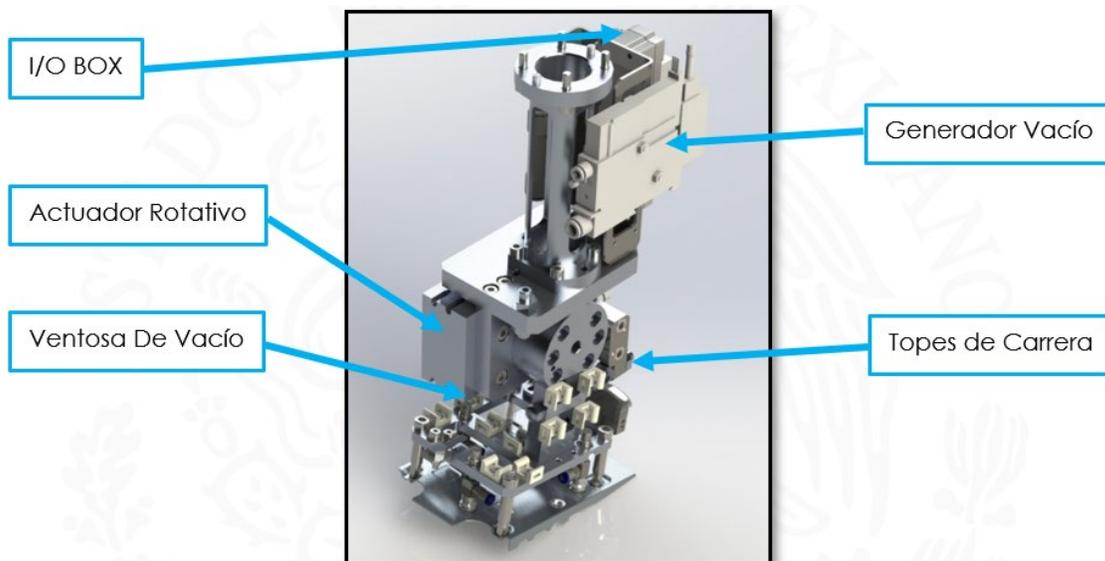


Figura 43. Diseño EOAT para aplicación  
Elaboración propia

Con este diseño tenemos los siguientes datos del EOAT, los cuales se obtienen del software de diseño empleado (tabla 14):

Tabla 14. Valores de masa y centro de gravedad del EOAT diseñado

Característica	Referencia
Masa	2.530 kg
Localización centro de masa:	
X	- 13.15 mm
Y	- 166.64 mm
Z	- 13.53 mm

Elaboración propia

Con los datos de centro de masa que se muestran en la tabla 14, y comparándolo con las especificaciones del fabricante, se determina que este excede la especificación del fabricante en el eje "Y". Por lo tanto, las afectaciones que se puedan generar en el robot sólo podrán ser determinadas por el programa especial del propio fabricante del robot, o en su defecto durante la programación del robot, desde su herramienta de manipulación.

Para la conexión de los componentes que conforman este EOAT, se ha requerido de una pieza de conexión, la cual está soportando el peso de las partes (figura 48), así como permitirá el paso de los cables y conexiones, tanto eléctricas como neumáticas, del EOAT a través de esta. La parte se ha pensado, de manera adicional, como un fusible mecánico, la cual se deformará en caso de sufrir una colisión del robot contra una parte fija de la celda.

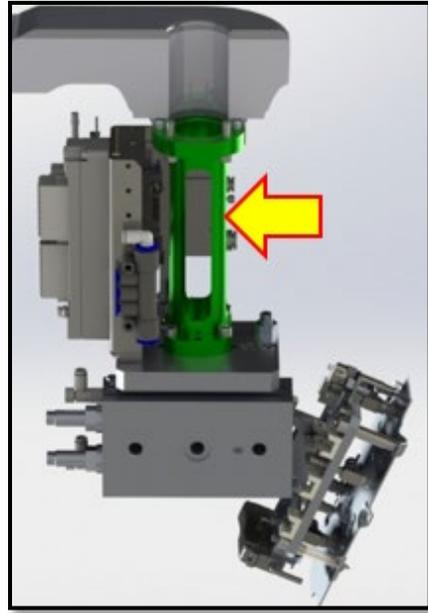


Figura 44. En color verde, cople de conexión de EOAT para robot SCARA NACHI® EZ03  
Elaboración propia

Un ejemplo dentro de una aplicación en campo de la fiabilidad, y funcionalidad del cople, que se ha utilizado en este equipo se muestra en la figura 45, el cual ha sufrido una colisión debido a una deficiente interacción de ejes eléctricos con el robot y su herramental. Afortunadamente una vez que se deformó, el robot solo detectó una sobre-corriente sin que se llegara a una colisión. Para poner en marcha nuevamente la celda, no fue necesario reprogramar los puntos de interacción del robot en la celda, solo con cambiar el cople por uno nuevo la celda volvió a operar.



Figura 45. Cople mecánico deformado debido a una colisión  
(Ramos Arreguín, Salazar Colores, Cabal Yopez, & Vargas Soto, 2022)

### **3.3.7. Integración de sistema de purga de producto**

El sistema de purga será el encargado de recolectar las tapas que se encuentren en el EOAT (figura 46), al momento de realizar un paro, o que la ventosa de sujeción no este correctamente sujetando el producto (retroalimentación por medio de sensor de presión). Este sistema estará ubicado de lado izquierdo de la celda, y se moverá de forma automática hacia el exterior, al momento de que un sensor detecte que se encuentra completamente lleno.

La altura de instalación mínima será igual que la usada en la integración de los nidos de tapas, la cual es de 167mm, tomando como referencia la cara superior de la placa base, y el ras de la banda transportadora.

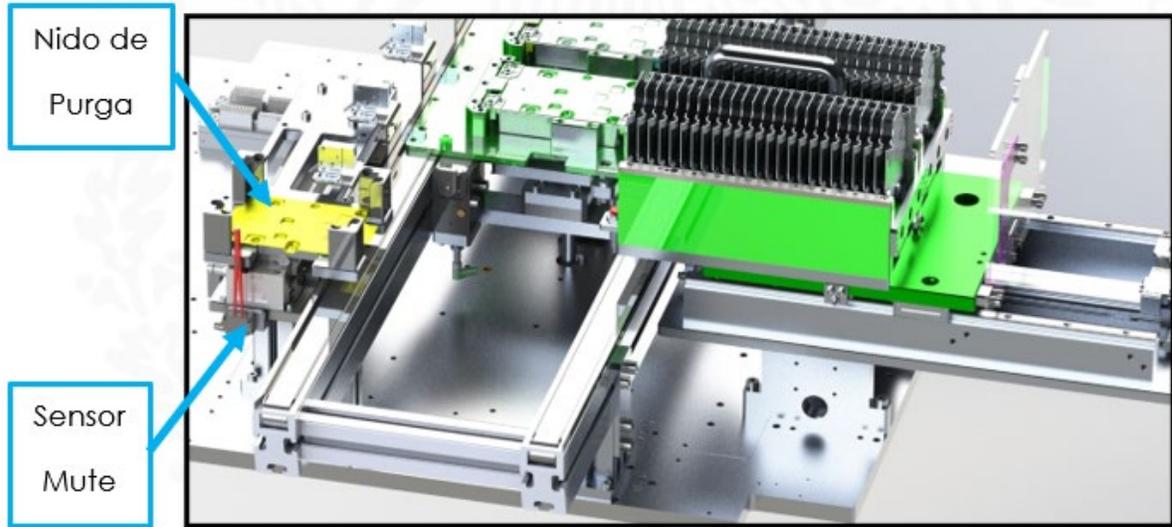


Figura 46. Integración de sistema de purga de celda  
Elaboración propia

Para una correcta operación automática de este sistema de purga, ha sido necesario agregar un sensor, el cual será dedicado para la activación de una función dentro de las mismas cortinas, la cual se llama "Mute", y nos permite, mientras el sensor este detectando, apagar de forma temporal la señal de seguridad de la cortina, de tal manera que esta, no mande a paro el equipo. Esta señal solo opera al momento de que el cilindro se encuentra en movimiento, y se deja de enviar cuando el cilindro regresa de nuevo a su posición inicial (retraído dentro de la celda).

Adicionalmente, y para hacer visible la activación de la función de "Mute" en las cortinas de seguridad, se ha agregado un indicador luminoso (ver figura 47), el cual destellara cuando esta función en las cortinas de seguridad se encuentre activada.

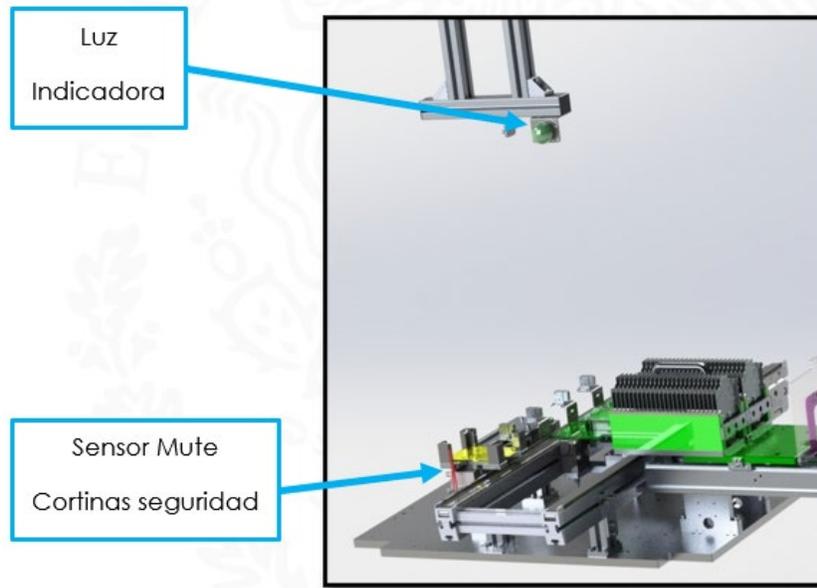


Figura 47. Localización de luz indicadora de función de cortinas "Mute"  
Elaboración propia

### 3.3.8. Ensamble de la celda de manufactura

Una vez que se tienen los conceptos definidos, y se han tenido revisiones de ingeniería tanto internas de departamento, como una general para la liberación de este, se tiene como resultado el diseño completo de la celda de manufactura, el cual se muestra en la figura 48.

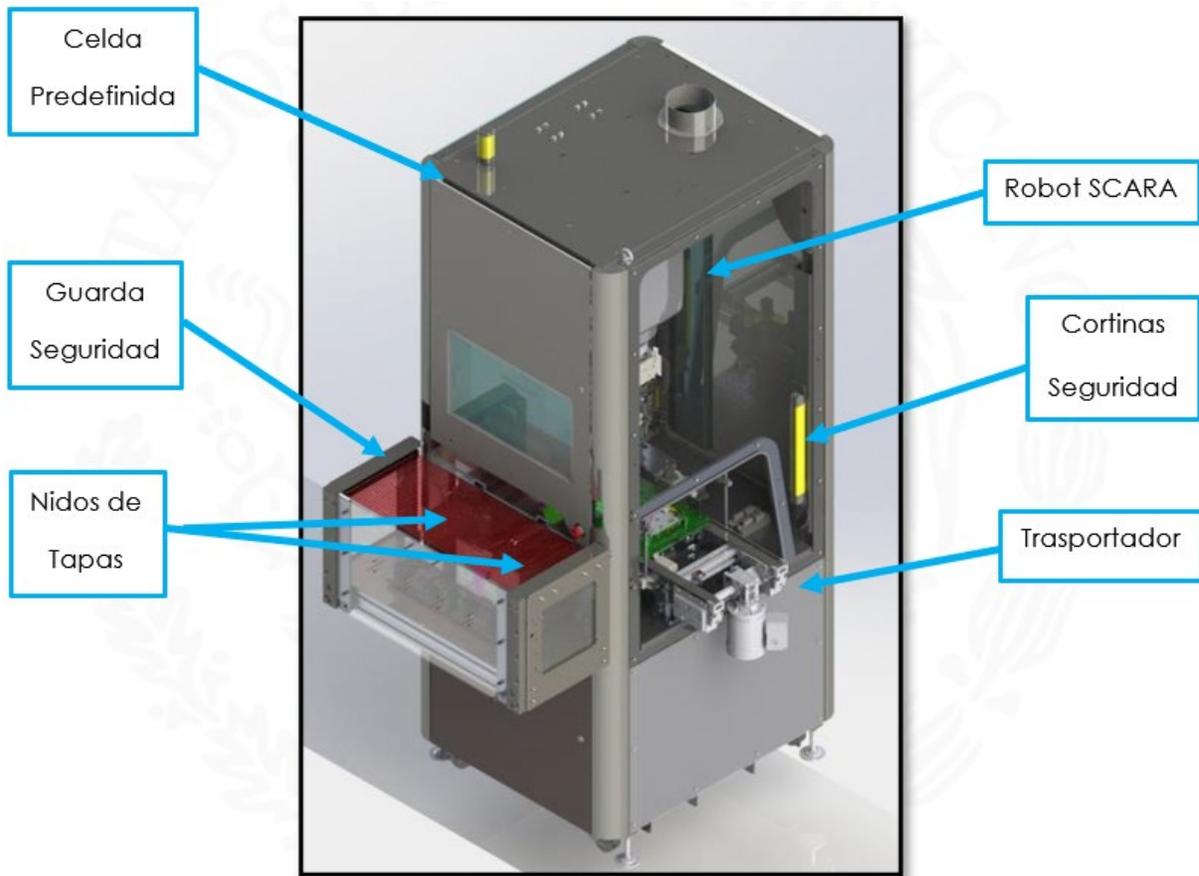


Figura 48. Aspecto general de la celda de manufactura  
Elaboración propia

Para realizar el ensamble, y considerando las cargas de trabajo del área dedicada, se ha optado por solicitar a cada uno de los proveedores de partes de manufactura que entreguen ensambles completos, es decir ya armados con los componentes que el diseño requiere. De esta manera el equipo de ensamble de la empresa integradora solo se dedicará a colocar los subensambles en la estación.

La celda que ha sido integrada, de forma física se muestra en la figura 49.



Figura 49. Celda de manufactura de colocación de tapas  
Elaboración propia

En el anexo se muestra un extracto de dibujos de ensamble para algunos de los ensambles que se muestran en esta sección, así como de partes de manufactura.

### **3.4. PRUEBAS A CELDA DE MANUFACTURA**

Para la correcta ejecución de las pruebas funcionales del equipo se han solicitado muestras al cliente 50 carcazas de plástico, 50 PCB's sin poblar y 100 tapas del producto.

Antes del inicio de las pruebas funcionales del equipo, se ha probado de forma manual y se ha detectado que es necesario realizar el siguiente ajuste:

- Ajuste al ancho de cada nido.

Durante las pruebas funcionales del equipo se detecta la siguiente área de oportunidad:

- Lado estético de la tapa rayado.

### 3.4.1. Ajuste ancho de nido

Al probar la inserción de las tapas en los nidos de forma manual se detectó que existe una leve interferencia, al momento de que las tapas son cargadas al nido de forma manual. Esta interferencia no se encuentra en todas las ranuras de inserción, si no que solamente en las orillas (figura 54). Por lo que se procede a colocar refuerzos en los externos de los nidos para evitar que, al momento de apretar los tornillos de sujeción, estos bloques se deformen hacia adentro.

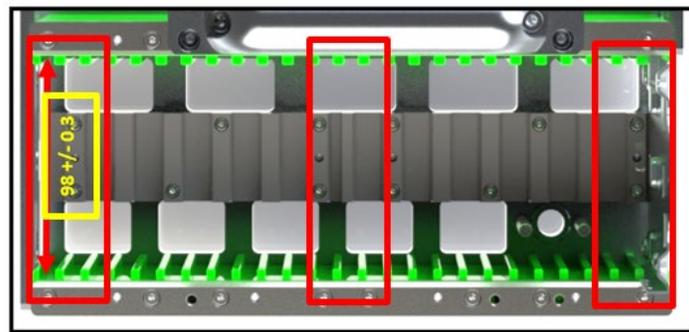


Figura 50. Mediciones realizadas al nido  
Elaboración propia

Se realiza una muestra de medición de los nidos en tres posiciones diferentes, y utilizando tres ranuras de referencia y se obtiene los siguientes resultados (ver tabla 15).

Tabla 15. Dimensiones obtenidas en nidos muestra

Dimensión Nominal	Tolerancia Inferior (mm)	Medida nominal	Tolerancia Superior (mm)
Medida nominal	0.15	98	0.15
Margen Medición	97.85		98.15
Dimensión obtenida	Diferencia Inf.	Medición realizada	Diferencia Sup.
<i>Frontal</i>			
Posición 1	-0.45	97.4	0.75
Posición 2	-0.45	97.4	0.75
Posición 3	-0.25	97.6	0.55
<i>Intermedia</i>			
Posición 1	-0.05	97.8	0.35
Posición 2	-0.05	97.8	0.35
Posición 3	0	97.85	0.3
<i>Posterior</i>			
Posición 1	-0.55	97.3	0.85
Posición 2	-0.3	97.55	0.6
Posición 3	-0.05	97.8	0.35

Elaboración propia

Con los resultados de las mediciones se procede a realizar una prueba que consiste en aflojar los tornillos y apretarlos a un torque de 6 N/m. y se realiza de nuevo la inspección. Se determina que un exceso de apriete, más una posible falta de paralelismo entre caras inferior y la cara plana de la caja del tornillo, estaría provocando el efecto de cierre de medidas en el nido.

Dado esto, se procede a agregar unos soportes a las orillas del nido (figura 51), de tal forma que estos mantengan en sus medidas nominales las piezas, sin que estas se cierren.

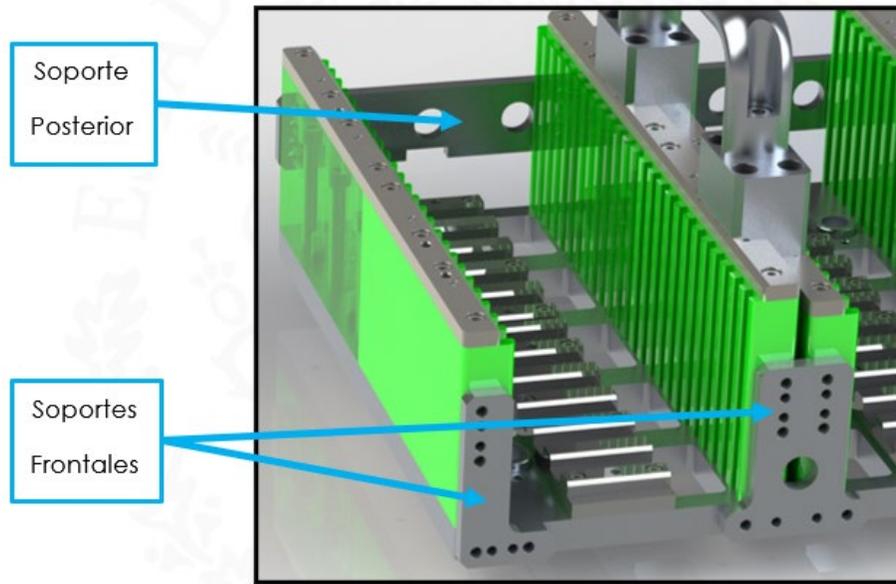


Figura 51. Soportes en nido  
Elaboración propia

### 3.4.2. Mejora lado estético rayado

Durante las pruebas funcionales del equipo, de forma semiautomática, se ha detectado un área de oportunidad que repercute directamente en los requerimientos del cliente, y es que las tapas se rayan al momento de que el EOAT las toma y las levanta del nido (figura 52).

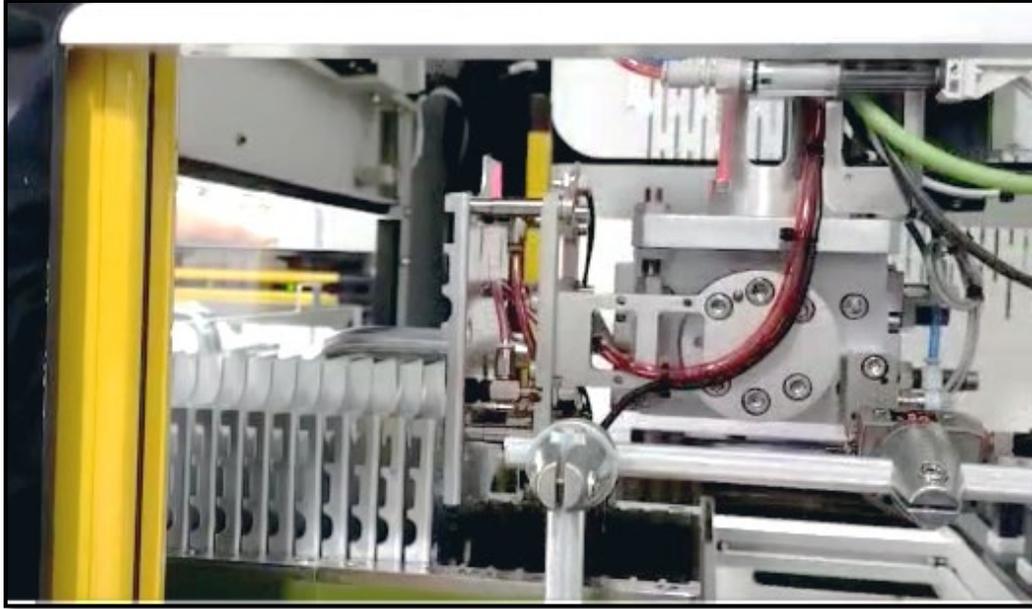


Figura 52. Toma de tapa de nido por el EOAT  
Elaboración propia

Dado que el defecto se encuentra en la parte visual del producto, (figura 53) es necesario realizar mejoras en el nido de las tapas, de tal manera que este defecto no sea apreciable a la vista.

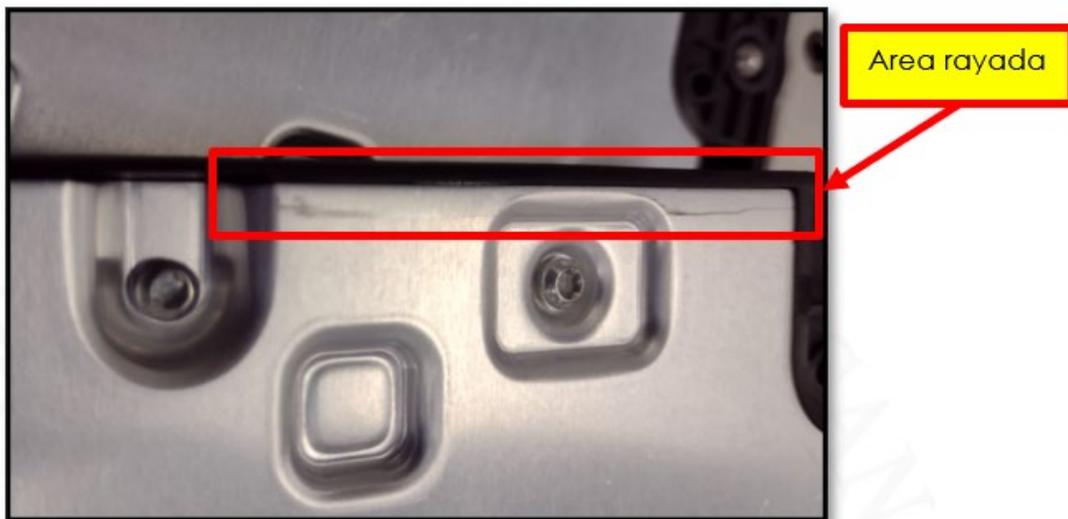


Figura 53. Tapa de producto rallada  
Elaboración propia

Para dar solución a este defecto, se realizan en orden consecutivo los siguientes pasos:

1. Eliminación de filos y aristas vivas de las piezas manufacturadas.
2. Prueba, manufactura de piezas de soporte de delrin negro, se utilizan cortadores nuevos, así como altas revoluciones para evitar marcar el material.
3. Prueba, manufactura de piezas de soporte de teflón, se utilizan cortadores nuevos, así como altas revoluciones para evitar marcar el material.

Se realizan los pasos arriba mencionados, y se determina que la mejor opción es el cambio del material de todos los bloques, pasando de Nylamid XL (verde lubricado) a teflón, el cual no marca las piezas. Adicionalmente se mejoran los insertos de acero superiores de los nidos (figura 54).

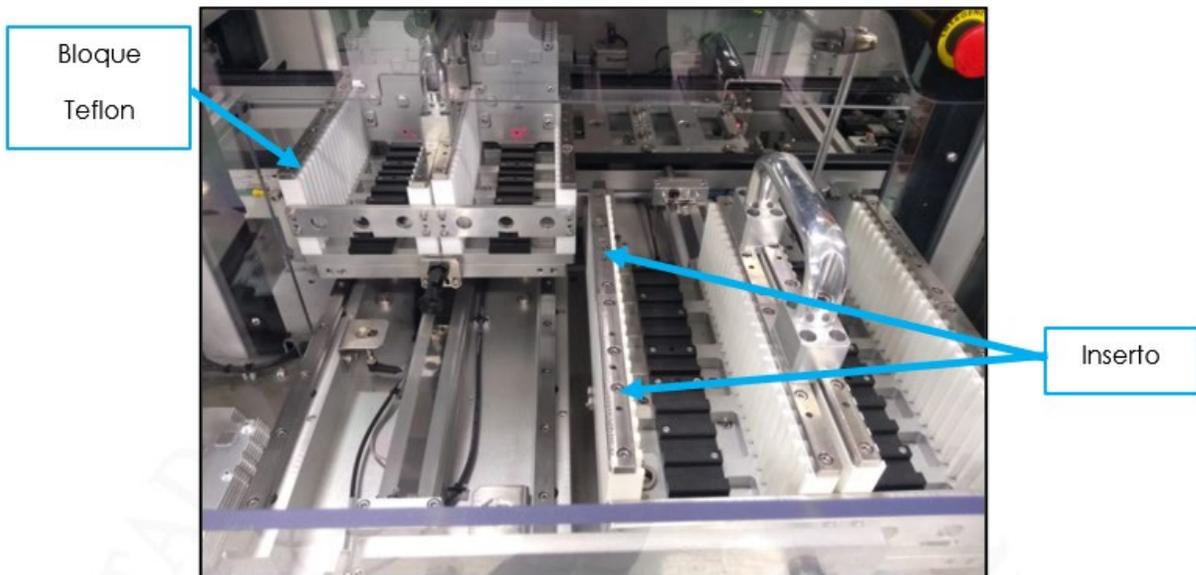


Figura 54. Cambios en diseño en nidos de tapas  
Elaboración propia

## 4. RESULTADOS

Una vez que se han realizado las mejoras en el equipo, se comienzan con las pruebas funcionales en modo automático del equipo, las cuales han sido satisfactorias, y, además cumplen con los requerimientos solicitados por el cliente.

La entrega e integración de la celda y de la línea de ensamble, fue realizada con éxito en las instalaciones del cliente final.

Durante las pruebas del equipo en forma automática, y con el robot a su máxima capacidad, se han obtenido tiempos ciclos que van de 22.5 hasta 27 segundos por pallet de dos piezas, esta variación es debido a que las tapas se ubican en diferentes posiciones de toma, y conforme el robot avanza a través del nido, el tiempo ciclo aumenta. Este tiempo ciclo queda, muy por debajo del requerido por el cliente (43.6 segundos por pallet de dos piezas). Este incremento en una situación de flujo constante permitirá aumentar la producción en un 38% aproximadamente, en comparación a lo requerido por el cliente (tabla 16).

Tabla 16. Comparativa de requerimientos contra resultados de celda de manufactura

<b>Factor por Evaluar</b>	Requerimiento cliente	Resultados pruebas	Incremento
Tiempo ciclo (s)	43.6	22.5 a 27	38 a 48%
Pallets por Hora	82.5	133 a 160	61 a 93%
Autonomía (min)	30	45	50%

Elaboración propia

La capacidad de autonomía no se ve afectada directamente debido a la disminución del tiempo ciclo de la estación, esto debido a que la celda cuenta con dos sistemas de alimentación individuales, que en conjunto tienen una capacidad de 100 tapas, y, considerando un tiempo ciclo de 12.4 segundos en promedio nos da una autonomía de 20 minutos, adicionalmente, se tienen dos nidos independientes que estarán cargados para continuar con el ritmo de la

celda. El conjunto de 4 nidos de forma continua nos da una autonomía de 40 minutos, en flujo continuo de la línea, lo cual supera la autonomía solicitada por el cliente de 30 minutos.

Dado que el cliente solicitó que se recortara el tiempo de entrega de la línea completa de manera funcional, las asignaciones de las partes maquinadas fueron de forma directa, sin pasar por un proceso de selección de proveedor.

En la siguiente tabla, podemos apreciar una comparación de costos, entre la celda que ya existe en la planta, y la nueva que se integrará (tabla 17):

Tabla 17. Comparativa costos partes manufactura de celdas

Costos Celda Actual		Costos Celda Existente	
Ensamble Móvil para nido	\$ 51,400.00	Ensamble móvil de Nido	\$ 51,440.00
Ensamble de EOAT	\$ 26,340.00	Ensamble de EOAT	\$ 26,669.84
Ensamble de Elevador	\$ 12,000.00	Ensamble de Elevador	\$ 8,900.00
Ensamble Estructura frontal	\$ 40,975.79	Ensamble Estructura frontal	\$ 34,329.00
Ensamble nidos intercambiables (4x)	\$ 206,400.00	Ensamble nido Alineación	\$ 23,928.00
Ensamble de transportador	\$ 5,200.00	Ensamble de transportador	\$ 8,800.00
Ensamble Lector Códigos	\$ 8,500.00	Ensamble Lector Códigos	\$ 6,580.00
Ensamble Nido Rechazo	\$ 10,308.59	Ensamble Nido Rechazo	\$ 12,300.00
Ensamble Guarda Frontal	\$ 34,000.00	Ensamble Guarda Frontal	\$ 23,126.00
Componentes Neumáticos	\$ 54,477.00	Componentes Neumáticos	\$ 190,299.00
Transportador	\$ 94,000.00	Transportador	\$ 78,666.50
<b>Total</b>	<b>\$ 543,601.38</b>	<b>Total</b>	<b>\$ 465,038.34</b>

Elaboración propia

El costo de una celda es mayor dado que se presentaron incrementos en materiales debido a los siguientes factores:

- Aumento de costo de aluminio.
- Integración de 4 nidos intercambiables.

Estas dos celdas tienen una diferencia de manufactura entre ellas de 3 años, y en los cuales, la pandemia de COVID que el mundo entero sufrió, generó cambios en cadenas de suministro, así como aumentos en costos de materiales, los cuales fluctuaron de una semana a otra, esto aunado a la escasez de aluminio y acero que se presentó.

## CONCLUSIONES

Se desarrolla esta solución para una aplicación que proporciona mejoras sustanciales en la presentación del producto, así como el proceso de ensamble de este.

Se puede afirmar que el incremento que se planteó en la hipótesis de este trabajo, si se ha cumplido, e incluso ha excedido los parámetros que se solicitaron inicialmente, por parte del cliente.

Este equipo, presenta una disminución de tiempos de ciclo de 38% lo cual nos da un amplio margen operativo para incrementos de ritmos de producción.

El diseño será resguardado como referencia para futuros proyectos en los cuales la aplicación sea similar a la que se ha desarrollado.

No se ha encontrado un estudio específico de tiempos para el proceso de ensamble de esta línea, dado que, se ha concebido desde un inicio como una línea autónoma.

Al momento de terminar de escribir esta tesis, se ha desarrollado una nueva celda con características similares de la tapa, pero con criterios de demanda diferentes. Los cuales consisten en 256 piezas por hora, con un tiempo ciclo de 14.06 segundos por pieza. El diseño de esta nueva aplicación se ha basado en este mismo, con algunas mejoras operativas para la disminución del tiempo ciclo de la estación.

## RECOMENDACIONES

Uno de los aspectos importantes para los procesos de ensamble, y que, en algunos casos, llegan a ser problemas graves de calidad dentro de la industria, es el aspecto estético. Una pieza que cuenta con daños estéticos suele ser clasificada de forma automática como una pieza mala, incluso, si la pieza es completamente funcional. Es de esta manera que el uso de materiales de más blandos que los que se manipulan será de gran ayuda, para mitigar este tipo de anomalías, así como la forma en que la pieza será manipulada. Los sistemas de manipulación por vacío son las alternativas predilectas para no dañar la estética del producto.

## **APORTACIÓN DE LA TESIS**

El desarrollo de soluciones automatizadas, en procesos donde se requiere que el operador tenga la menor interacción con el producto, ha aumentado, y lo cual supone un gran reto para todas las empresas que se dedican a la integración de sistemas, celdas y líneas que cubren completamente estas necesidades. La transformación industrial, así como otros factores ajenos a la propia industria (como la pandemia de COVID19) han acelerado esta transformación. Es de esta manera que los desarrollos y necesidades a cubrir, aumentaran conforme los procesos se vuelvan más complejos. Se pretende que con este trabajo se tengan unas bases sólidas, o incluso, una orientación para futuras aplicaciones, ya sean similares o completamente diferentes.

## **APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS**

El desarrollo de sistemas automáticos impacta directamente al factor humano, dado que este último tiende a decrecer al momento de que el sistema automático es implementado, sin embargo, un sistema autónomo requiere personal calificado para su operación y mantenimiento, por lo que se considera un avance en el desarrollo social de la población, esto es posible al requerir personal técnico en lugar de personal operacional. Influye en promociones internas dentro de una misma compañía principalmente, así como la contratación de personal que tengas las habilidades requeridas para estos nuevos puestos técnicos.

## REFERENCIAS

- Bosch Rexroth. (2020). *TS 2PLUS transfer system*. Charlotte, N. C.: Bosch Rexroth. Retrieved from <https://www.boschrexroth.com/es/co/media-details/01904298-e315-4024-b5fa-80543a5a0616>
- Creus Solé, A. (2012). *Neumática e hidráulica*. Barcelona: Marcombo.
- Díaz-Martínez, M. A., Cruz-Méndez, A. L., & Ruiz-Domínguez, H. S. (2018). Instrumento de diagnóstico y autoevaluación para medir las condiciones organizacionales hacia la nueva revolución industrial 4.0. *RIIT Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 6(35), 1-14. Retrieved from <https://riit.com.mx/ojs/index.php/riit/search/authors/view?firstName=A.&middleName=L.&lastName=Cruz-M%C3%A9ndez&affiliation=&country=MX>
- FANUC Corporation. (2015). FANUC robot LR mate 200iD, operator's manual (B-83494EN/04).
- Gandhi, P., & Sharma, G. (2019). The pallet conveyor system application in the industrial lines: a new design system with improvement of productivity. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 9(3), 257-266. Retrieved from [http://www.tjprc.org/view\\_full\\_paper.php?id=11255&type=html](http://www.tjprc.org/view_full_paper.php?id=11255&type=html)
- García Alcaraz, J. L., Maldonado Macías, A. A., Hernández Arellano, J. L., & Alvarado Iniesta, A. (2013). Selección de robots industriales con AHP. *Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Chiapas 2013*. 5. Tuxtla Gutiérrez: Academia Journals. Retrieved from <https://drive.google.com/drive/folders/0B4GS5FQQLif9fnBVbHpjMHU3T3JOam15WG01WktXZ194Rjc1dmdtMHIDbUIHU0lIN2xaNm8?resourcekey=0-dHflun7Oe5FoODEmTqDJgw&usp=sharing>
- García Niño, R. (2022, enero 14). Oportunidades de mejora estación 100 [entrevista]. Zapopan, Jalisco.
- Hernández Matías, J., & Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean manufacturing: conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: Escuela de Organización Industrial. Retrieved from <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/78202/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implantacion>
- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT). (2018). *Equipos de detección de presencia de personas (II): posicionamiento de cortinas fotoeléctricas*.
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 13849-1:2015 Safety of machinery. Safety-related parts of control systems. Part 1: General principles for design. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/69883.html>

- International Organization for Standardization. (2015). ISO 14120:2015 Safety of machinery. Guards. General requirements for the design and construction of fixed and movable guards. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/59545.html>
- Keyence México. (2017). Cortina de luz de seguridad. Ciudad de México, México. Retrieved from <https://www.keyence.com.mx/products/safety/light-curtain/gl-r/>
- Keyence México. (2021). Interruptores de seguridad Serie GS. Ciudad de México, México. Retrieved from <https://www.keyence.com.mx/products/safety/safety-interlock-switches/gsm/>
- McGuire, P. M. (2010). *Conveyors: application, selection, and integration*. Florida: Taylor and Francis.
- MiSUMi USA. (2018). *Metric online product guide: mechanical components for assembly automation*. Schaumburg, Illinois, USA: MiSUMi USA. Retrieved from <https://www.ajacs.com/metal-forming-catalog/misumi-1/525-misumi-mechanical-components-for-assembly-automation/file>
- Nachi-Fujikoshi Corporation. (2018, 01). EZ03V4-02 standard specifications (SEZEN-093-011). Toyama, Japan.
- Ramos Arreguín, J. M., Salazar Colores, S., Cabal Yopez, E., & Vargas Soto, J. E. (2022). *Diseño y planeación mecatrónica*. Querétaro: Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. Retrieved from <http://www.mecamex.net/Libros/2022-Libro-Diseno-y-Planeacion-Mecatronica.pdf>
- Regal Rexnord. (2022, 12). *Smart guide*. Retrieved from <https://www.systemplastsmartguide.com/INT/Smart-Guide/10110A/>
- Reyes Cortés, F. (2011). *Robótica: control de robots manipuladores*. México D.F.: Alfaomega.
- Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), 177-192. doi:<https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>
- Ruiz, M., Cazorla, D., Cuartero, F., & Macia, H. (2009). Improving performance in flexible manufacturing systems. *The Journal of Logic and Algebraic Programming*, 78(4), 260-273. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jlap.2008.11.002>
- Saha, S. K. (2008). *Introducción a la robótica*. España: McGraw-Hill Interamericana.
- Shinde, S., & Patil, R. (2012). Design and analysis of a roller conveyor system for weight optimization and material saving. *International Journal on Emerging Technologies*, 3(1), 168-173.

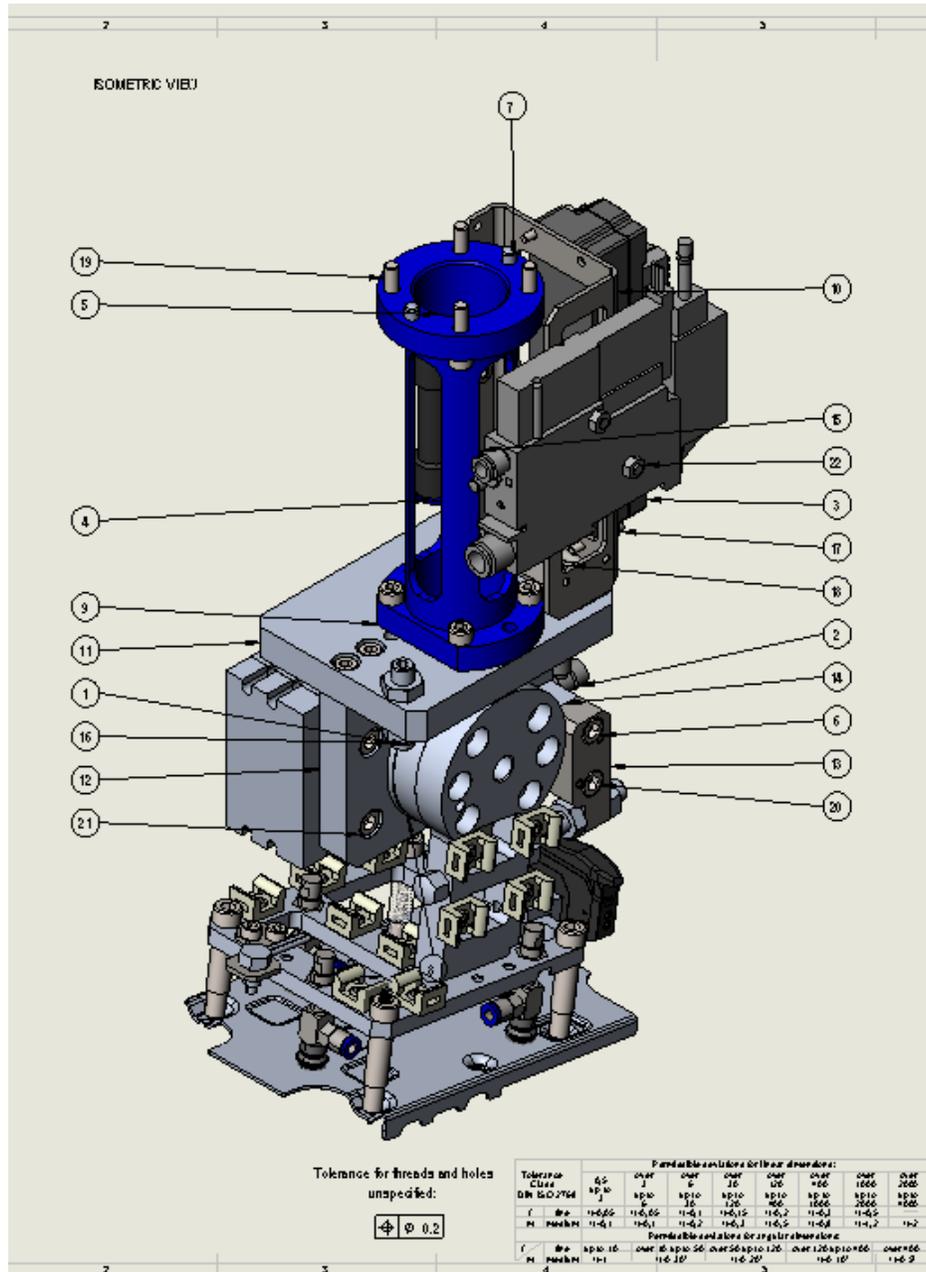
- SMC Corporation. (2020). *CQ2-Z-B catalogue*. Tokio: SMC Corporation. Retrieved from <https://ca01.smcworld.com/catalog/New-products-en/mpv/es20-205-CQ2/data/es20-205-CQ2.pdf>
- SMC Corporation. (n.d.). Guide cylinder selection. SMC Corporation. Retrieved from [https://www.smc.eu/en-eu/products/engineering-tools/guided\\_cylinder\\_selector](https://www.smc.eu/en-eu/products/engineering-tools/guided_cylinder_selector)
- SMC Corporation. (n.d.). Rotary actuator model selection software. Retrieved from <https://mssc.smcworld.com/ramss/index.php?language=en&zones=eu&countries=27>
- SMC Corporation. (n.d.). Vacuum adsorption transfer system model selection software. Retrieved from <https://mssc.smcworld.com/vatssmss/?language=en&zones=eu&countries=27>
- SMC Corporation. (n.d.). *ZK2 Series catalogue*. Tokio, Japan: SMC Corporation. Retrieved from [https://static.smc.eu/pdf/ZK2-Cc\\_EU.pdf](https://static.smc.eu/pdf/ZK2-Cc_EU.pdf)
- Spong, M., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (1989). *Robot dynamics and control*. John Wiley & Sons.
- Vallejo R., E. (1998). Sistemas flexibles de manufactura. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 3(4), 43-49. Retrieved from <https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2191>

## **ANEXO**

## Dibujos de ensamble

En esta sección se mostrará un extracto de los dibujos de ensamble, y manufactura que se utilizaron para la elaboración de la solución mecánica en la celda.

### Ensamble EOAT



### Ensamble elevador

**REVISIONS**

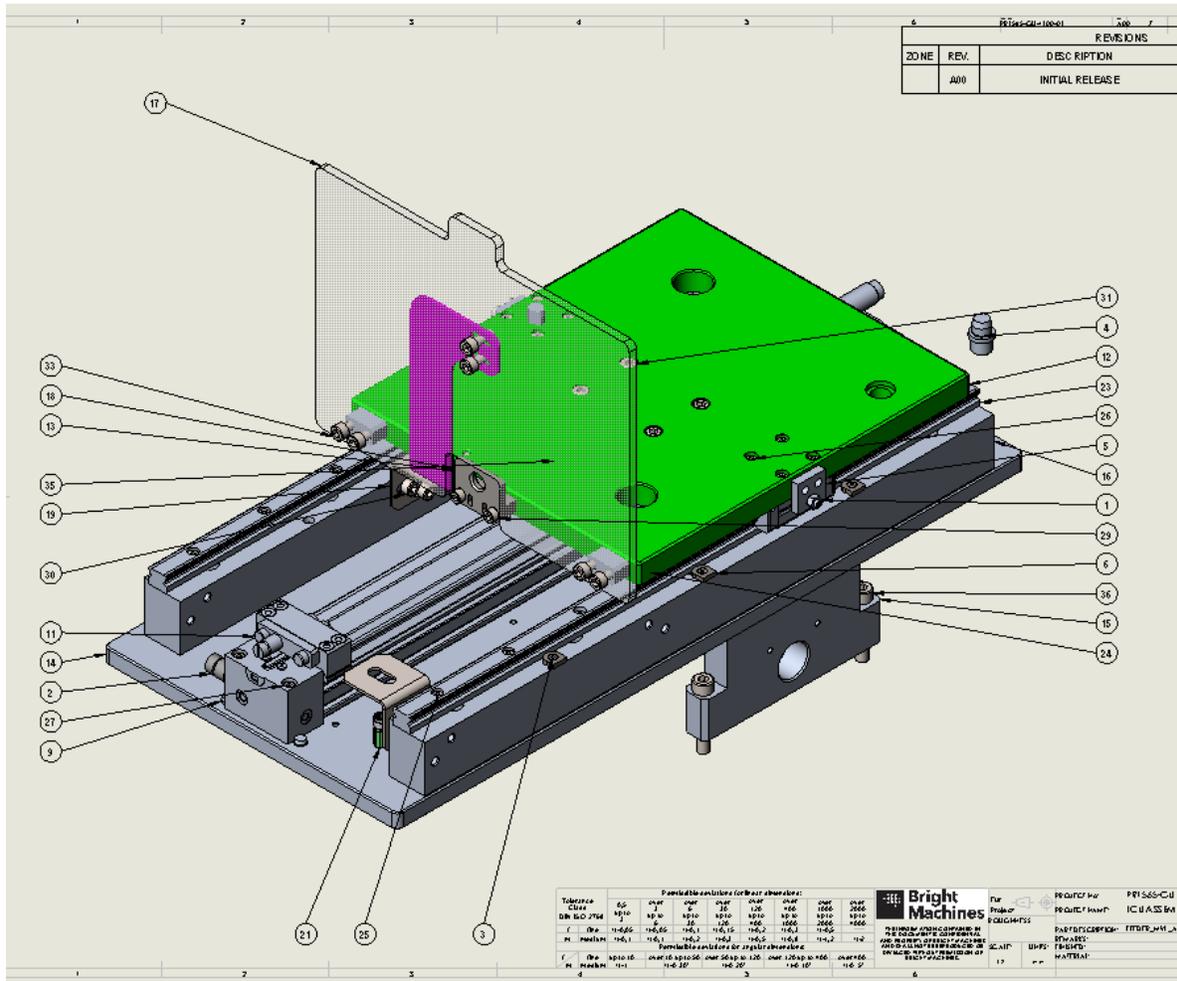
ZONE	REV.	DESC RIPTION	
	A00	INITIAL RELEASE	10

Tolerance for threads and holes unspecified

Tolerance Class	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
mm	0.012	0.025	0.050	0.075	0.100	0.150	0.200	0.300	0.400	0.500	0.630	0.800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000
mm	0.015	0.030	0.060	0.090	0.120	0.180	0.250	0.350	0.450	0.550	0.700	0.900	1.100	1.400	1.800	2.300	2.900	3.600	4.500	5.600	7.000	8.800	11.000

PROJECT No: [REDACTED]  
 PROJECT NAME: [REDACTED]  
 PART DESCRIP: [REDACTED]  
 SCALE: UNITS: mm

### Ensamble sistema móvil de nidos



### Cople de EOAT con robot

